



Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie
Wydział Rolniczo-Ekonomiczny

mgr inż. Beata Jop

Nr albumu:1032

**Fitnes i konkurencyjność wrażliwych
i odpornych na herbicydy biotypów miotły zbożowej
(*Apera spica-venti* (L.) P. Beauv)**

Rozprawa doktorska

Praca wykonana pod kierunkiem naukowym
dr hab. inż. Agnieszki Synowiec, prof. URK
w Katedrze Agroekologii i Produkcji Roślinnej
Wydziału Rolniczo-Ekonomicznego

Promotor pomocniczy
dr inż. Katarzyna Marczevska-Kolasa
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli we Wrocławiu
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – PIB

Kraków 2023

Badania finansowano ze środków:

- Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, w ramach programu „Środowisko naturalne, rolnictwo i leśnictwo” BIOSTRATEG, projekt pt. „Strategia przeciwdziałania uodparnianiu się chwastów na herbicydy, jako istotny czynnik zapewnienia zrównoważonego rozwoju agroekosystemu”, akronim BioHerOd*, numer umowy BIOSTRATEG3/347445/1/NCBR/2017;
- Europejskiego Funduszu Społecznego, w ramach Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój, projekt pt. „Innowacyjny program strategicznego rozwoju Uczelni”, numer umowy POWR.03.05.00-00-Z020/18;
- Subwencji Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie na prowadzenie badań naukowych lub prac rozwojowych oraz zadań z nimi związanych, służących rozwojowi młodych naukowców oraz uczestników studiów doktoranckich finansowanych w wydziałowym trybie konkursowym na rok 2018, numer BM 2117.

Składam serdeczne podziękowania:

dr hab. inż. Agnieszce Synowiec, prof. URK

Promotorowi niniejszej rozprawy doktorskiej - za możliwość rozwoju naukowego pod jej skrzydłami, poświęcony czas, cierpliwość i życzliwość oraz wsparcie w kwestiach naukowych i nie tylko

dr inż. Katarzynie Marczewskiej-Kolasa

Promotorowi pomocniczemu – za współpracę w miłej i serdecznej atmosferze oraz wszelką pomoc naukową, umożliwiającą rozwinięcie problematyki badawczej podjętej w ramach rozprawy doktorskiej

prof. UPP dr hab. Janowi Bocianowskiemu oraz dr inż. Tomaszowi Wójtowiczowi
za wsparcie merytoryczne oraz cenne wskazówki w opracowaniu statystycznym wyników

Pracownikom Katedry Agroekologii i Produkcji Roślinnej

*za miłą i życzliwą atmosferę oraz wszelką pomoc
okazaną w trakcie studiów doktoranckich*

Kochanym Dziadkom, Rodzicom i Rodzeństwu

*za troskę i wsparcie na każdym etapie mojego życia
oraz ogromną wiarę w moje siły i możliwości*

Przyjaciółom i bliskim mi osobom

*za Waszą obecność, słowa otuchy w trudnych chwilach
i nieustającą motywację w dążeniu do celu*

SPIS TREŚCI

| | |
|---|----|
| Streszczenie..... | 6 |
| Summary | 8 |
| 1. Wstęp | 10 |
| 2. Główny cel badań, cele szczegółowe oraz hipotezy badawcze..... | 11 |
| 3. Przegląd literatury | 12 |
| 3.1. Charakterystyka miotły zbożowej (<i>Apera spica-venti</i> (L.) P. Beauv) | 12 |
| 3.1.1. Taksonomia i morfologia | 12 |
| 3.1.2. Ekologia i biologia gatunku | 14 |
| 3.1.3. Szkodliwość i zwalczanie | 16 |
| 3.2. Charakterystyka zjawiska odporności chwastów na herbicydy | 18 |
| 3.2.1. Definicja, typy i mechanizmy odporności na herbicydy | 18 |
| 3.2.2. Skala zjawiska odporności miotły zbożowej w Europie i w Polsce..... | 21 |
| 3.3. Znaczenie fitnessu w odporności chwastów na herbicydy | 23 |
| 3.3.1. Definicja fitnessu chwastów | 23 |
| 3.3.2. Fitness biotypów a zdolności konkurencyjne chwastów | 24 |
| 3.3.3. Modele doświadczalne w badaniach fitnessu i konkurencyjności chwastów..... | 26 |
| 4. Materiał i metody badań..... | 28 |
| 4.1. Charakterystyka materiału roślinnego..... | 28 |
| 4.1.1. Biotypy miotły zbożowej | 28 |
| 4.1.2. Pszenica ozima | 30 |
| 4.2. Przebieg doświadczeń | 30 |
| 4.2.1. Wpływ dynamiki sezonowej i temperatury na kiełkowanie wrażliwych i odpornych na herbicydy biotypów miotły zbożowej – eksperyment szalkowy..... | 30 |
| 4.2.2. Biologiczna charakterystyka wrażliwych i odpornych na herbicydy biotypów miotły zbożowej w warunkach konkurencji z pszenicą ozimą – eksperyment wazonowy (substytucyjny model konkurencji) | 32 |
| 4.2.3. Biologiczna charakterystyka wrażliwych i odpornych na herbicydy biotypów miotły zbożowej w warunkach konkurencji z pszenicą ozimą – eksperyment wazonowy (addytywny model konkurencji) | 36 |
| 4.3. Analizy morfologiczne i biometryczne pszenicy ozimej i miotły zbożowej w eksperymentach konkurencyjności | 39 |
| 4.4. Metody opracowania wyników badań | 41 |
| 4.4.1. Wskaźniki kiełkowania i analiza statystyczna wyników – eksperyment szalkowy | 41 |
| 4.4.2. Wskaźniki konkurencyjności i analiza statystyczna wyników – substytucyjny model konkurencji..... | 44 |
| 4.4.3. Wskaźniki konkurencyjności i analiza statystyczna wyników – addytywny model konkurencji..... | 46 |
| 4.5. Charakterystyka fizyko-chemiczna gleb | 48 |

| | |
|---|-----|
| 4.6. Przebieg warunków pogodowych w czasie trwania doświadczeń wazonowych | 50 |
| 5. Omówienie wyników | 54 |
| 5.1. Kiełkowanie biotypów miotły zbożowej | 54 |
| 5.1.1. Dynamika kiełkowania – sezon jesienny | 54 |
| 5.1.2. Dynamika kiełkowania – sezon wiosenny | 57 |
| 5.1.3. Wskaźniki kiełkowania – sezon jesienny | 60 |
| 5.1.4. Wskaźniki kiełkowania – sezon wiosenny | 69 |
| 5.1.5. Analiza dyskryminacyjna wskaźników kiełkowania – sezon jesienny | 78 |
| 5.1.6. Analiza dyskryminacyjna wskaźników kiełkowania – sezon wiosenny | 81 |
| 5.2. Substytucyjny model konkurencji | 85 |
| 5.2.1. Przebieg faz fitofenologicznych | 86 |
| 5.2.1.1. Przebieg faz fitofenologicznych w sezonie wegetacyjnym 2018/2019 | 86 |
| 5.2.2.2. Przebieg faz fitofenologicznych w sezonie wegetacyjnym 2019/2020 | 93 |
| 5.2.2. Analiza statystyczna wskaźników konkurencyjności | 100 |
| 5.2.2.1. Wskaźniki konkurencyjnego oddziaływania pomiędzy miotłą zbożową a pszenicą ozimą na wybrane parametry roślin – sezon wegetacyjny 2018/2019 | 100 |
| 5.2.2.2. Wskaźniki konkurencyjnego oddziaływania pomiędzy miotłą zbożową a pszenicą ozimą na wybrane parametry roślin – sezon wegetacyjny 2019/2020 | 102 |
| 5.3. Addytywny model konkurencji | 104 |
| 5.3.1. Przebieg faz fitofenologicznych | 106 |
| 5.3.1.1. Przebieg faz fitofenologicznych w sezonie wegetacyjnym 2018/2019 | 107 |
| 5.3.1.2. Przebieg faz fitofenologicznych w sezonie wegetacyjnym 2019/2020 | 118 |
| 5.3.2. Analiza statystyczna wskaźników konkurencyjności | 129 |
| 5.3.2.1. Wskaźniki konkurencyjnego oddziaływania biotypów S i R miotły zbożowej na wybrane cechy pszenicy ozimej – sezon wegetacyjny 2018/2019 | 129 |
| 5.3.2.2. Wskaźniki konkurencyjnego oddziaływania biotypów S i R miotły zbożowej na wybrane cechy pszenicy ozimej – sezon wegetacyjny 2019/2020 | 133 |
| 5.3.2.3. Analiza skupień – sezon wegetacyjny 2018/2019 | 137 |
| 5.3.2.4. Analiza skupień – sezon wegetacyjny 2019/2020 | 138 |
| 5.3.2.5. Analiza głównych składowych (PCA) – sezon wegetacyjny 2018/2019 | 139 |
| 5.3.2.6. Analiza głównych składowych (PCA) – sezon wegetacyjny 2019/2020 | 142 |
| 6. Dyskusja wyników | 145 |
| 7. Wnioski | 157 |
| 8. Bibliografia | 159 |
| Spis rycin | 177 |
| Spis tabel | 180 |
| Materiały dodatkowe | 184 |

Streszczenie

Miotła zbożowa (*Apera spica-venti* (L.) P. Beauv) jest jednym z gatunków chwastów segetalnych, wysoce konkurencyjnym względem roślin uprawnych, a szczególnie zbóż ozimych, ponieważ dobrze adaptuje się do zróżnicowanych warunków środowiskowych agroekosystemu. Wskutek intensywnej ochrony chemicznej zasiewów przed miotłą zbożową, wyselekcjonowane zostały liczne biotypy odporne na herbicydy, głównie z grupy inhibitorów syntazy acetylmleczanowej (ALS). Problem pojawiania się odpornych biotypów chwastów zyskał w ostatnich latach charakter globalny. W związku z tym powstała potrzeba analizy wzrostu i rozwoju odpornych biotypów miotły zbożowej w agroekosystemie, co stanowić może podstawę do opracowania strategii w walce z nimi. Kluczowym elementem badań nad odpornymi biotypami chwastów jest ponoszenie przez nich tzw. kosztu fitnessu oraz związany z nim poziom konkurencyjności względem roślin uprawnych.

Celem głównym pracy była analiza fitnessu (rozumianego jako zespół cech biologicznych chwastu) wrażliwych i odpornych na herbicydy biotypów miotły zbożowej oraz ich konkurencyjności względem pszenicy ozimej. W ramach badań własnych przeprowadzono dwie serie eksperymentu *in vitro*, w którym badano kiełkowanie trzech biotypów wrażliwych oraz dziesięciu biotypów o różnym poziomie odporności na herbicydy z grupy inhibitorów ACCazy (HRAC/WSSA 1) oraz inhibitorów ALS (HRAC/WSSA 2), z zastosowaniem trzech różnych reżimów temperaturowych i z uwzględnieniem sezonowości kiełkowania ziarniaków. Ponadto przeprowadzono dwa eksperymenty wazonowe, w dwóch modelach konkurencyjności: substytucyjnym oraz addytywnym, w których badano oddziaływania konkurencyjne odpornych i wrażliwych biotypów miotły zbożowej względem pszenicy ozimej odm. Arkadia. Analizowano fazy fitofenologiczne roślin i wskaźniki konkurencyjności z użyciem wielowymiarowych analiz statystycznych.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że odporne i wrażliwe na herbicydy biotypy miotły zbożowej charakteryzowały się podobnym fitnessem oraz konkurencyjnością względem pszenicy ozimej. Biotypy odporne miotły cechowały wyższe wartości parametrów kiełkowania, w porównaniu do biotypów wrażliwych, szczególnie w temperaturze 8 i 28°C. Nie udowodniono różnic w sezonowości kiełkowania pomiędzy wrażliwymi i odpornymi biotypami miotły zbożowej. Analiza spektrów fitofenologicznych wykazała brak różnic w przebiegu faz fitofenologicznych pomiędzy biotypami odpornymi i wrażliwymi miotły zbożowej, niezależnie od modelu doświadczenia. Jesienny przebieg faz fitofenologicznych konkurujących ze sobą gatunków – miotły zbożowej i pszenicy ozimej – był zbliżony, natomiast w okresie wiosennym notowano większe zróżnicowanie faz

fitofenologicznych miotły niż pszenicy, co mogło determinować ich oddziaływanie konkurencyjne. W modelu addytywnym, na substracie gleby ciężkiej i nawożonej, rośliny miotły zbożowej i pszenicy ozimej wschodziły wcześniej i rosły intensywniej. Z kolei analiza wskaźników konkurencyjności wykazała, że mniej konkurencyjne względem pszenicy są wrażliwe biotypy miotły zbożowej. Odporne biotypy miotły, szczególnie biotyp B-2 (o odporności pojedynczej), w większym stopniu powodują obniżenie wartości analizowanych cech biometrycznych pszenicy ozimej. W modelu substytucyjnym, konkurencyjność odpornych biotypów miotły zbożowej względem pszenicy ozimej, wynikająca z różnego stosunku liczbowego badanych roślin, zaznaczyła się jedynie w przypadku relatywnego plonu biomasy z jednej rośliny. Badania własne wykazały zatem, że nabycie odporności na herbicydy nie jest równoznaczne z poniesieniem kosztów fitnessu i nie powoduje zmniejszenia zdolności konkurencyjnych biotypów odpornych miotły zbożowej wobec pszenicy ozimej.

Słowa kluczowe: miotła zbożowa, pszenica ozima, dynamika kiełkowania, wskaźniki kiełkowania, temperatura kiełkowania, model addytywny, model substytucyjny, fazy fitofenologiczne, wskaźniki konkurencyjności

Summary

Common windgrass (*Apera spica-venti* (L.) P. Beauv) is a weed species highly competitive towards crops, especially winter cereals, because it adapts well to various environmental conditions of the agroecosystem. As a result of an intensive chemical protection of crops against common windgrass, numerous biotypes resistant to herbicides were selected, mainly from the group of acetolactate synthase (ALS) inhibitors. The problem of the emergence of resistant weed biotypes has become global in recent years. Therefore, there is a need to analyze the growth and development of herbicide-resistant windgrass biotypes in the agroecosystem, which may be the base for developing a strategy to manage them. A key element of research on herbicide-resistant weed biotypes is the so-called weed fitness and the level of competitiveness with crops related to it.

The study's main objective was to analyze the fitness (understood as a set of biological characteristics of weeds) of common windgrass biotypes sensitive and resistant to herbicides and their competitiveness towards winter wheat. Two series of *in vitro* experiments were carried out, in which the germination of three herbicide-sensitive biotypes and ten biotypes with various levels of herbicide-resistance to ACCase inhibitors (HRAC/WSSA 1) and ALS inhibitors (HRAC/WSSA 2) were assessed. In this experiment, three different temperature regimes were used and the seasonality of grain germination was taken into account. In addition, two pot experiments were carried out in two competitiveness models: substitutional and additive, in which the competitive impacts of herbicide-resistant and sensitive windgrass biotypes against winter wheat cv. Arkadia were examined. Plant developmental phases and competitiveness indicators were analyzed using multidimensional statistical analyses.

The research found that the biotypes of common windgrass that are resistant and sensitive to herbicides were characterized by similar fitness and competitiveness towards winter wheat. Resistant windgrass biotypes' germination parameters were higher than sensitive biotypes, especially at 8 and 28°C. Differences in germination seasonality between sensitive and resistant windgrass biotypes have not been found. The detailed analysis of developmental phases showed no differences between resistant and sensitive biotypes of windgrass, regardless of the experimental model applied. The autumn development of the competing species – windgrass and winter wheat – was similar. Contrarily, in the spring, greater differences in the development of windgrass than wheat were noted, which could determine their competitive impacts. In the additive model, windgrass and winter wheat plants emerged earlier and grew more intensively on the heavy and fertilized soil. In turn, the analysis of competitiveness indicators showed that

herbicide-sensitive biotypes of windgrass are less competitive towards winter wheat. Herbicide-resistant windgrass biotypes, especially biotype B-2 (with a single resistance), caused a decrease in the values of the analyzed biometric features of winter wheat to a greater extent. In the substitutive model, the competitiveness of herbicide-resistant windgrass towards winter wheat resulting from the different proportions of the tested plants, was only noticeable in the case of the relative yield of plant biomass. To sum up, the results have shown that the development of herbicide resistance is not equivalent to bearing fitness costs and does not reduce the competitiveness of resistant common windgrass biotypes towards winter wheat.

Key-words: common windgrass, winter wheat, germination dynamics, germination indicators, germination temperature, additive model, substitution model, developmental phases, competitiveness indicators

1. Wstęp

Chwasty, a szczególnie chwasty jednoliścienne, stanowią największe zagrożenie dla współczesnego rolnictwa [Adamczewski i in., 2019; Peterson i in., 2018; Pytlarz i Andrzejak, 2022; Stankiewicz-Kosyl i in., 2021]. Miotła zbożowa (*Apera spica-venti* (L.) P. Beauv.), archeofit, pochodzący z Eurazji, jest jednym z tego przykładów [Tokarska-Guzik i in., 2012; Wasowicz i in., 2013]. Gatunek przywędrował do Europy wraz z ziarnem zbóż, które zostało zanieczyszczone jej diasporami [USDA, 2016]. Obecnie miotła zbożowa występuje najliczniej w Europie Centralnej, Wschodniej i Północnej [Auškalnienė i in., 2020; Košnarová i in., 2021; Luneva i Budrevskaya, 2021]. Jest klasyfikowana w klimacie umiarkowanym Europy jako chwast jednoroczny ozimy, zachwaszczający głównie zboża ozime oraz rzepak ozimy [Adamczewski i Matysiak, 2007; Edwards i Onkokesung, 2020; Hamouzová i in., 2014; Kolářová i in., 2014; Lejman i in., 2022; Marko i Jaks, 2019]. Wskutek intensywnej ochrony chemicznej zasiewów przed miotłą zbożową wyselekcjonowane zostały liczne biotypy odporne na herbicydy, głównie z grupy inhibitorów syntazy acetylomleczanowej [Krysiak i in., 2011; Petersen i Raffael, 2022; Synowiec i in., 2021; Wrześcińska i in., 2021]. Biotypy odporne na herbicydy odnotowano m. in. w Czechach, Niemczech, Szwajcarii, Danii, na Litwie [Heap, 2023]. W Polsce pierwsze biotypy miotły zbożowej, odporne na chlorosulfuron, należący do substancji czynnych z grupy inhibitorów ALS, odnotowano w 2000 roku [Rola i Marczevska, 2002].

Miotła zbożowa jest chwastem silnie konkurującym z roślinami uprawnymi, również w warunkach tzw. presji selekcyjnej herbicydów [Babineau i in., 2017a; Bitarafan i Andreasen, 2020]. Próg ekonomicznej szkodliwości miotły wynosi 5 – 20 roślin na 1 m kw. lub 25 – 40 wiech na 1 m kw. [Adamczewski, 2014; Lejman i in., 2022; Rola i in., 2013; Woźnica, 2012]. Często jednak, przy braku stosowania herbicydów, biotypy odporne chwastu cechuje tzw. koszt odporności, czyli fitness [Cousens i Fournier-Level, 2018; Keshtkar i in., 2017a; Leon i in., 2020; Vila-Aiub, 2019]. Fitness biotypów odpornych jest powiązany ze zmianami biologiczno-morfologicznymi rośliny i jest zależny od miejsca pochodzenia biotypu chwastu (w tym historii pola) oraz lokalnych cech populacji chwastu [Perotti i in., 2020]. W związku z tym istnieje potrzeba badania zjawiska fitnessu występującego u biotypów miotły zbożowej odpornych na herbicydy i pochodzących ze zróżnicowanych geograficznie lokalizacji, w kontekście ich konkurencyjności z rośliną uprawną, ale też konkurencyjności względem siebie, w celu tworzenia strategii zarządzania odpornością chwastów.

2. Główny cel badań, cele szczegółowe oraz hipotezy badawcze

Celem głównym rozprawy doktorskiej była analiza zespołu cech biologicznych (fitnes) wrażliwych i odpornych na herbicydy biotypów miotły zbożowej (*Apera spica-venti* (L.) P. Beauv.) oraz ich konkurencyjności względem pszenicy ozimej. W ramach badań własnych, przeprowadzono eksperyment szalkowy w którym badano kiełkowanie miotły zbożowej w warunkach *in vitro* oraz dwa eksperymenty wazonowe, w których w warunkach *in vivo*, sprawdzano oddziaływania konkurencyjne miotły zbożowej na pszenicę ozimą odmiany Arkadia. Dla poszczególnych eksperymentów wyznaczono cele szczegółowe.

1) Wpływ dynamiki sezonowej i temperatury na kiełkowanie wrażliwych i odpornych na herbicydy biotypów miotły zbożowej

Dla eksperymentu postawiono hipotezy badawcze:

- wrażliwe i odporne biotypy miotły zbożowej charakteryzuje różna sezonowość kiełkowania;
- temperatura wpływa na intensywność kiełkowania biotypów wrażliwych i odpornych miotły zbożowej;
- biotypy odporne i wrażliwe charakteryzują się odmiennymi parametrami kiełkowania.

Celem doświadczenia była analiza wskaźników kiełkowania wrażliwych i odpornych na herbicydy biotypów miotły zbożowej *in vitro* w zależności od sezonu (wiosna i jesień) oraz wysokości temperatury kiełkowania.

2) Biologiczna charakterystyka wrażliwych i odpornych na herbicydy biotypów miotły zbożowej w warunkach konkurencji z pszenicą ozimą – substytucyjny model konkurencji

W hipotezie badawczej założono, że odporne i wrażliwe na herbicydy biotypy miotły zbożowej różnią się w zależności od ich liczebności względem pszenicy ozimej:

- fitnesem;
- zdolnościami konkurencyjnymi.

Celem doświadczenia była analiza konkurencyjności i rozwoju biotypów miotły zbożowej, wrażliwych i odpornych na herbicydy, w zależności od proporcji konkurujących gatunków rosnących w jednakowych warunkach siedliskowych.

3) Biologiczna charakterystyka wrażliwych i odpornych na herbicydy biotypów miotły zbożowej w warunkach konkurencji z pszenicą ozimą - addytywny model konkurencji

Postawiono następującą hipotezę badawczą: właściwości podłoża i poziom nawożenia azotem modyfikują fitness i konkurencyjność wrażliwych i odpornych na herbicydy biotypów miotły zbożowej względem pszenicy ozimej.

Celem doświadczenia była analiza konkurencyjności i rozwoju wrażliwych i odpornych na herbicydy biotypów miotły zbożowej względem pszenicy ozimej, w zależności od wybranych właściwości fizyczno-chemicznych substratu glebowego i poziomu nawożenia azotem.

3. Przegląd literatury

3.1. Charakterystyka miotły zbożowej (*Apera spica-venti* (L.) P. Beauv)

3.1.1. Taksonomia i morfologia

Miotła zbożowa (*Apera spica-venti* (L.) P. Beauv) jest diploidalnym ($2n = 14$), jednorocznym gatunkiem rośliny z rodziny wiechlinowatych (*Poaceae*) [ITIS, 2021]. W Polsce występuje forma ozima miotły [Adamczewski, 2014], choć są doniesienia także o jej formach jarych [Kierzek i in., 2015]. Identyfikowana w nomenklaturze botanicznej pod licznymi synonimami, m.in. *Agraulus anemagrostoides* (Trin.) Trin., *Agrostis spica-venti* L., *Anemagrostis spica-venti* (L.) Trin., *Apera longiseta* Klokov, *Apera purpurea* P. Beauv., *Festuca spica-venti* (L.) Raspail, *Muhlenbergia spica-venti* (L.) Trin. [The Plant List, 2021]. Ponadto opisano występowanie podgatunków: *A. spica-venti* subsp. *spica-venti*, *A. spica-venti* subsp. *maritime* oraz występujący na terenie Rumuni *A. spica-venti* var. *ruderalis* [Adamczewski, 2014; Warwick i in., 1985]. Różnice pomiędzy poszczególnymi podgatunkami można zaobserwować w cechach morfologicznych rośliny, głównie w kształcie wiechy, wysokości rośliny, czy w preferowanych warunkach środowiskowych [Warwick i in., 1985]. Pokrój miotły zbożowej przedstawiono na rycinie 1.



Rycina 1. Miotła zbożowa (*Apera spica-venti* (L.) P. Beauv). A – pokrój, B – kłosek, C – pręciki, D – jęczyczek liściowy, E – siewka [Warwick i in., 1985]

Pierwszy liść *A. spica-venti*, po wykiełkowaniu, odznacza się delikatną budową: jest bardzo wąski, praktycznie nitkowaty i zaokrąglony na szczycie, z czerwono nabiegłą, nagą pochwą liściową [Klaaßen i Freitag, 2004]. Posiada dobrze widoczne nerwy – środkowy oraz dwa boczne [Adamczewski, 2014]. Blaszki liściowe o długości do 30 cm i szerokości 0,5 – 10 mm są lekko skręcone i żłobkowane, gładkie lub o niewielkim i szorstkim owłosieniu, pozbawione uszek [Soukup i in., 2006; Warwick i in., 1985]. Cechą diagnostyczną roślin miotły zbożowej w wegetatywnych fazach rozwojowych jest długi jęczyczek liściowy, głęboko wycięty i o poszarpanych brzegach, barwy białej, jasnożółtobiałej lub jasnozielonej [Warwick i in., 1985]. Chwast może bardzo silnie się krzewić. Miotła zbożowa zdolna jest do wytworzenia na jednej roślinie nawet 30 lub więcej źdźbeł zakończonych organami generatywnymi (wiechami) [Kierzek i in., 2015]. Rozpierzchła i bardzo rozgałęziona wiecha, w którą zebrane

są kwiaty, może osiągnąć długość 40 cm i szerokość 25 cm [Klaaßen i Freitag, 2004; Soukup i in., 2006; Stace, 2010], przy czym cała roślina przeciętnie osiąga od 40 do 100 cm wysokości [Kierzek i in., 2015], a przy sprzyjających warunkach siedliskowych może osiągnąć nawet do 150 cm [Adamczewski, 2014; Bojňanský i Fargašová, 2007; Warwick i in., 1985]. Kłoski miotły zbożowej podczas kwitnienia są jajowate lub podłużne, zazwyczaj otwarte, jednokwiatowe, zielone bądź czerwono lub fioletowo nabiegłe [Babineau i in., 2017a; Soukup i in., 2006; Warwick i in., 1985]. Owocem są ziarniaki o długości 2 – 3 mm i szerokości 0,5 – 1 mm. Ziarniaki są oplewione, a plewka ma oś, która jest dwu – trzykrotnie dłuższa niż sam ziarniak [Babineau i in., 2017a; Soukup i in., 2006]. System korzeniowy rośliny jest charakterystyczny dla traw – płytki, gęsty, złożony z korzeni wiązkowych [USDA, 2016].

3.1.2. Ekologia i biologia gatunku

Obszar występowania miotły zbożowej ograniczają czynniki siedliskowe [Warwick i in., 1985]. *Apera spica-venti* występuje w klimacie umiarkowanym lub umiarkowanie wilgotnym, szczególnie w warunkach, kiedy pomiędzy październikiem a grudniem występuje temperatura powyżej 5°C oraz umiarkowane opady deszczu [Soukup i in., 2006; Warwick i in., 1985]. Roślina preferuje podłoża lżejsze, piaszczyste oraz lekkie gleby gliniaste, o lekko kwaśnym odczynie; znacznie rzadziej występuje na glebach ciężkich [Gerhards i Masa, 2011; Luneva i Budrevskaya, 2021; Stace, 2010]. *A. spica-venti* łatwo wniknęła do antropogenicznych, kształtowanych przez człowieka, zbiorowisk roślinnych [Tokarska-Guzik i in., 2012]. Jest to chwast segetalny, występujący szczególnie w uprawach roślin ozimych: pszenicy, jęczmienia i rzepaku [Adamczewski i Matysiak, 2007; Adamczewski i Matysiak, 2009; Auškalnienė i in., 2020; Hamouzová i in., 2014; Luneva i Budrevskaya, 2021]. Dynamice jej występowania i rozprzestrzeniania się sprzyja wysoki udział w płodozmianie zbóż ozimych, uprawa bezorkowa oraz stosowanie nawożenia mineralnego [Auškalnienė i in., 2018; Auškalnienė i in., 2020; Gerhards i Masa, 2011; Kadziene i in., 2020; Piekarczyk, 2010; Scherner i in., 2016; Scherner i in., 2017]. *Apera spica-venti* jest też notowana jako chwast ruderalny, porastający rowy, pobocza dróg i nasypy kolejowe, tory oraz nieużytki [Weakley, 2015]. Stan spoczynku diaspor *A. spica-venti* w glebie jest krótki [Adamczewski, 2014, Bitarafan i Andreasen, 2020], jednak zachowują one zróżnicowaną żywotność, wynoszącą od 1 – 2 lat [Holzner i in., 1982] do 4 lat [Koch i Hurle, 1978; Soukup i in., 2006]. Z kolei Zemanek [1980] oraz Luneva i Budrevskaya [2021] dowodzą, że żywotność nasion może utrzymać się nawet od 6 do 7 lat. Żywotność diaspor chwastu w glebie zależy także od głębokości ich zalegania; im głębiej znajdują się ziarniaki, tym wyższe

prawdopodobieństwo, że dłużej przetrwają w glebowym banku nasion [Melander i in., 2008]. Wschody *A. spica-venti* pojawiają się już późnym latem, a okres maksymalnego kiełkowania chwastu – na terenie Europy Północnej – przypada na przełom września i października [Babineau i in., 2017b], pokrywając się z cyklem życiowym zbóż ozimych, głównie pszenicy ozimej [Jensen, 2009; Warwick i in., 1985] i rzepaku [Gerhards i Masa, 2011; Nordmeyer, 2009]. Jednak, jak podaje Warwick i in. [1985], ze względu na szeroką amplitudę termiczną kiełkowania ziarniaków miotły zbożowej proces ten może zachodzić również podczas łagodnej zimy i wczesną wiosną, prowadząc do wiosennych wschodów chwastu [Babineau i in., 2017b; Melander i in., 2008; Soukup i in., 2006]. Według Anderson i Åkerblom Espeby [2009], miotła jest gatunkiem fotoblastycznym, który do skiełkowania wymaga impulsu świetlnego oraz wysokiej wilgotności gleby. Odrębnego zdania jest Zemanek [1980], który wykazał, że kiełkowanie tego gatunku może przebiegać również w ciemności. Proces ten najszybciej zachodzi w przypadku ziarniaków znajdujących się na powierzchni gleby lub w jej wierzchniej warstwie (0,5 – 1 cm) [Adamczewski, 2014; Warwick i in., 1985], sporadycznie z większej głębokości (do 2 cm) [Soukup i in., 2006], aż do całkowitego zaprzestania kiełkowania [Luneva i Budrevskaya, 2021]. Miotła zbożowa, po wykiełkowaniu jesienią, jest w stanie przetrwać w fazie rozwiniętych dwóch do trzech liści (BBCH 12 – 13) [Warwick i in., 1985]. Zaliczana jest do roślin dnia długiego, w związku z czym do wytworzenia organów generatywnych potrzebuje wydłużania się dnia [Adamczewski, 2014]. Roślina nie rozmnaża się wegetatywnie [Warwick i in., 1985]. Jak większość gatunków z rodziny wiechlinowatych, *A. spica-venti* jest gatunkiem obcopylnym (wiatropylnym), choć może wystąpić również samozapylenie [USDA, 2016]. Kwitnie od lata do jesieni [Babineau i in., 2017a]. Odznacza się wysoką plennością. Jedna roślina może wydać od 1 000 do ponad 10 000 ziarniaków [Babineau i in., 2017a; Gerhards i Massa, 2011]. Ziarniaki miotły zbożowej osiągają dojrzałość i osypują się przed zbiorem rośliny uprawnej (głównie zbóż) i z łatwością przenoszone są przez wiatr, wodę, zwierzęta (ptaki) oraz podczas wykonywania zabiegów uprawowych [Bitarafan i Andreasen, 2020; Scherner i in., 2016]. Łatwość w rozprzestrzenianiu się miotły zbożowej, w tym jej biotypów, które przejawiają odporność na stosowanie herbicydów, skłoniła wielu naukowców do prowadzenia badań nad dynamiką ekspansji oraz efektywnością regulacji zachwaszczenia pól uprawnych tym gatunkiem [Bitarafan i Andreasen, 2020; Domaradzki, 2006; Małecka-Jankowiak i in., 2015; Nordmeyer, 2009; Piekarczyk, 2010; Rummland i in., 2014].

3.1.3. Szkodliwość i zwalczanie

Jak podają liczne źródła literaturowe, w wielu krajach europejskich *Apera spica-venti* jest jednym z najgroźniejszych chwastów jednoliściennym zbóż, zwłaszcza w pszenicy ozimej [Auškalnienė i in., 2020; Hamouzová i in., 2014; Lejman i in., 2022; Luneva i Budrevskaya, 2021; Kierzek i in., 2015], ale też rzepaku ozimym [Gerhards i Massa, 2011; Nordmeyer, 2009] i roślinach pastewnych [Soukup i in., 2006]. Miotła zbożowa najczęściej przerasta łan rośliny uprawnej, tym samym silnie konkurując z nią o światło oraz przestrzeń życiową [Gerhards i Massa, 2011]. Z tych względów *A. spica-venti* stanowi większe zagrożenie w uprawach pszenic krótkosłomych oraz uprawach, gdzie stosuje się regulatory wzrostu [Adamczewski, 2014; Rola i in., 2013]. Miotła zbożowa posiada podobny system korzeniowy co zboża [USDA, 2016], zatem gatunki te rywalizują ze sobą również o wodę oraz składniki pokarmowe, które pobierają z tożsamej warstwy gleby [Gerhards i Massa, 2011]. Wskutek konkurencji *A. spica-venti* zaburza plonowanie zbóż, prowadząc do istotnego obniżenia zarówno ilości jak i jakości zebranego plonu [Rola i in., 2013]. Próg ekonomicznej szkodliwości miotły, określający wartość obniżonego plonu wskutek konkurencji z miotłą, a równoważny kosztom jej zwalczania, zawiera się w granicach 5 – 20 roślin na 1 m kw. lub 25 – 40 wiech na 1 m kw. [Adamczewski, 2014; Lejman i in., 2022; Rola i in., 2013; Woźnica, 2012]. W łanie miotła zbożowa konkuruje nie tylko z rośliną uprawną, ale też z innymi gatunkami chwastów, dominując w strukturze zachwaszczenia i redukując liczebność towarzyszących jej gatunków chwastów [Feledyn-Szewczyk i in., 2020; Vikár i in., 2015]. Dominacja jednego gatunku chwastu w łanie rośliny uprawnej stanowi większe zagrożenie, niż zachwaszczenie wielogatunkowe, ponieważ prowadzi do zubożenia różnorodności biologicznej oraz jednostronnego wyczerpywania zasobów siedliskowych, co upośledza stabilność agrocenozy [Kaczmarek i Adamczewski, 2009; Rola i in., 2013]. Jak podaje literatura, roślina nie wykazuje potencjału allelopatycznego [USDA, 2016]. Opisana powyżej plastyczność fenotypowa miotły zbożowej i jej zdolności do dominacji w agrocenozie sprzyjają selekcji osobników i biotypów chwastu odpornych na herbicydy stosowane do jej zwalczania [Auškalnienė i in., 2020; Babineau i in., 2017a; Heap, 2023].

Obecnie na polskim rynku dostępnych jest szereg herbicydów zawierających substancje aktywne zwalczające miotłę zbożową. Wśród nich znajdują się typowe graminicydy niszczące tylko gatunki jednoliścienne. W uprawach rzepaku miotłę zbożową możemy wyeliminować za pomocą graminicydów zawierających chizalofop-P-etylu, cykloksydym, fluaazyfop-P-butyłu, kletodym czy propachizafop. W zbożach typowe graminicydy to środki zawierające w składzie pinoksaden lub fenoksaprop-P-etylu. Oprócz herbicydów zwalczających tylko

jednoliścienne gatunki chwastów istnieje szereg środków skutecznie eliminujących zarówno miotłę zbożową, jak i gatunki dwuliścienne. Wśród nich znajdują się preparaty jedno- i wieloskładnikowe. Decydując się na środki wieloskładnikowe poszerzamy spektrum działania na chwasty. Dodatkowym atutem takiego rozwiązania jest fakt, że substancje herbicydów wieloskładnikowych należą do różnych grup chemicznych i posiadają różne mechanizmy działania, co zapobiega powstawaniu odporności chwastów na te związki. Przykładem tego typu połączenia może być mieszanina chlorotoluronu (grupa HRAC/WSSA 7) z diflufenikanem (HRAC/WSSA 12), występująca na polskim rynku w postaci herbicydów Dyplocyma 600 SC, Legato Pro 425 SC czy Snajper 600 SC. Środki te skutecznie eliminują z plantacji zbóż miotłę zbożową oraz fiołka polnego, bodziszka drobnego, przytulię czepną i wiele innych gatunków [MRiRW, 2023]. Aktualne informacje na temat zarejestrowanych herbicydów zalecanych do zwalczania miotły zbożowej dostępne są na stronie Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi [MRiRW, 2023].

Tabela 1. Substancje aktywne herbicydów zalecane do zwalczania chwastów jednoliściennych w uprawach zbóż i rzepaku [opracowanie Jop B.]

| Przykłady substancji aktywnych herbicydów | Grupa HRAC/WSSA | Mechanizm działania |
|--|-----------------|--|
| chizalofop-P-etylu*/ cykloksydym*/ fenoksaprop-P-etylu/ fluazyfop-P-butylu*/ kletodym*/ kłodinafop/ pinoksaden/ propachizafop* | 1 | inhibitory karboksylazy acetylo-CoA (ACCazy) |
| /jodosulfuron metylosodowy/ mezosulfuron metyloowy/ piroksysulam/ propoksykarbazon sodu/ tienkarbazon metylu | 2 | inhibitory syntezy acetolaktanowej (ALS) |
| pendimetalina/ propyzamid | 3 | inhibitory tworzenia mikrotubuli |
| aminopyralid/ chinomerak/ imazamoks | 4 | syntetyczne auksyny |
| metrybuzyna/ chlorotoluron | 7 | inhibitory fotosyntezy na poziomie fotosystemu II |
| beflubutamid/ flurochloridon /pikolinafen | 12 | inhibitory biosyntezy karotenoidów na poziomie funkcjonowania desaturazyfitonowej (PDS) |
| chlomazon | 13 | inhibitory sytazy 1-deoksy-D-ksylulozo-5-fosforanowej (DXPS) |
| dimetachlor/ dimetenamid-P/ flufenacet/ metazachlor/ petoksamid | 15 | inhibitory biosyntezy kwasów tłuszczowych o długich łańcuchach (VLCFA) |
| prosulfokarb | 8 | inhibitory syntazy lipidów |
| mezotrion | 27 | inhibitory biosyntezy karotenoidów na poziomie 4-hydroksyfenylo-pyruwato-dioksygenazy (4-HPPD) |

Tabelę opracowano zgodnie z wykazem środków ochrony roślin na stronie Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi [MRiRW, 2023] oraz Globalnej Klasyfikacji Herbicydów HRAC [HRAC GLOBAL, 2023]

3.2. Charakterystyka zjawiska odporności chwastów na herbicydy

3.2.1. Definicja, typy i mechanizmy odporności na herbicydy

Herbicydy stanowią przeważającą część produkowanych na świecie pestycydów [Dayan i in., 2019; Qu i in., 2021]. Dane literaturowe podają, że w roku 2019 wartość sprzedaży herbicydów stanowiła 52% globalnych dochodów z dystrybucji środków ochrony roślin [Qu i in., 2021]. Znalezienie nowej substancji aktywnej o nieznanym dotąd mechanizmie działania jest niezwykle trudne, ze względu na pracochłonność i kosztocłonność niniejszych badań oraz coraz to nowe regulacje w zakresie wprowadzania na rynek i stosowania środków ochrony roślin [Moss i in., 2019; Sparks i Lorschach, 2017; Westwood i in., 2018]. Przykładowo, w Unii Europejskiej założenia Zielonego Ładu istotnie ograniczają rolę syntetycznych pestycydów, w tym herbicydów, w promowanym obecnie systemie rolnictwa zrównoważonego, co dodatkowo spowolni rozwój w sektorze tych środków [Cholajda i in., 2021; Gradziuk i in., 2021]. Za ograniczeniami w stosowaniu herbicydów we współczesnym rolnictwie niewątpliwie stoi ich powszechne i intensywne stosowanie w minionym już systemie rolnictwa uprzemysłowionego, konwencjonalnego. Doprowadziło ono, wraz z brakiem znajomości mechanizmów działania herbicydów, do niekorzystnych skutków środowiskowych, w tym selekcji chwastów odpornych na herbicydy [Dauer i in., 2018; Dayan i in., 2019; Gaines i in., 2020; Gage i in., 2019]. Szczegółowy podział herbicydów w oparciu o mechanizm ich działania został opracowany i jest systematycznie uaktualniany przez międzynarodową organizację Herbicide Resistance Action Committee (HRAC) na jej stronie internetowej [HRAC GLOBAL, 2022].

Definicja odporności chwastów na herbicydy została opracowana przez Amerykańskie Towarzystwo Herbologiczne – WSSA (ang. *Weed Science Society of America*), które określiło to zjawisko jako dziedziczną zdolność rośliny do przeżycia oraz reprodukcji po zastosowaniu herbicydu w dawce, która zwykle zwalczała jej populację [WSSA, 2022]. Jest to zatem stan, w którym część osobników danego gatunku chwastu, który do tej pory był uważany za wrażliwy, nie jest możliwa do zwalczenia i przeżywa cały cykl życiowy oraz wydaje nasiona pomimo zastosowania zalecanego zabiegu herbicydowego w warunkach polowych, który normalnie spowodowałby zniszczenie całej populacji [Beffa i in., 2019; Perotti i in., 2020]. Odporności na herbicydy sprzyjają nieodpowiednie praktyki rolnicze, szczególnie cykliczne stosowanie herbicydów o tym samym mechanizmie działania, często związane ze stosowaniem uproszczonego płodozmianu i agrotechniki [Głowicka-Wołoszyn i in., 2020; Liu i in., 2020; Zeller i in., 2021]. Doniesienia literaturowe wskazują również, że do zjawiska nabywania przez chwasty odporności na herbicydy przyczyniają się warunki środowiskowe, w jakich przebiega

uprawa roślin oraz zmiany klimatyczne [Matzrafi in., 2016; Rigon i in., 2017; Matzrafi, 2019]. Niepokojącym jest fakt, że corocznie zwiększa się liczba gatunków chwastów, które zostały sklasyfikowane jako odporne na herbicydy [Peterson i in., 2018; Clay, 2021]. Na dzień 06.02.2023 r. potwierdzonych jest na świecie 515 przypadków odporności na herbicydy, wśród 267 gatunków chwastów (154 dwuliściennych i 113 jednoliściennych). Chwasty wykształciły odporność na 21 z 31 znanych mechanizmów działania herbicydów – łącznie na 165 różnych substancji aktywnych herbicydów. Chwasty odporne na herbicydy towarzyszą 96 różnym gatunkom roślin uprawnych w 72 krajach [Heap, 2023].

Ze względu na fakt, że działanie herbicydu zależne jest od wielu czynników, takich jak warunki środowiskowe, faza rozwojowa chwastu czy ekonomia stosowania herbicydu, populacja chwastu w jednej uprawie może wykazywać cechy odporności na herbicydy, natomiast w innej – pozostać wrażliwa. Dlatego zidentyfikowanie w populacji określonego gatunku chwastu odporności na dany herbicyd musi zostać potwierdzone testami biologicznymi, zgodnie z metodyką wydaną przez HRAC [HRAC GLOBAL, 2022]. Osobniki danego gatunku chwastu, które w wyniku testów zidentyfikowano jako odporne, określa się mianem biotypu. Stopień odporności takiego biotypu na herbicyd określa wskaźnik odporności RI (ang. *Resistance Index*), który jest ilorazem współczynnika GR₅₀ (lub ED₅₀), biotypu odpornego do wrażliwego. Współczynnik GR₅₀ (lub ED₅₀), określa taką dawkę herbicydu, która powoduje obniżenie biomasy lub uszkodzenie biotypu o 50%, w porównaniu do roślin nie traktowanych herbicydem [Beckie, 2020; Woźnica, 2012]. Szczegółowa klasyfikacja stopnia odporności chwastów na herbicydy według wskaźnika odporności (RI) została przedstawiona w tabeli 2 [Burgos, 2015; Stankiewicz-Kosyl i in., 2021].

Tabela 2. Klasyfikacja stopnia odporności chwastów na herbicydy według wartości wskaźnika odporności RI [opracowanie Jop B.]

| Symbol wyrażający stopień odporności na herbicydy | Stopień odporności na herbicydy | Wartość wskaźnika odporności (RI) |
|---|---------------------------------|-----------------------------------|
| S | podatny (wrażliwy) | < 2 |
| r | zmniejszona podatność | 2 – 2.9 |
| R | niska odporność | 3 – 5 |
| RR | umiarkowana odporność | 6 – 10 |
| RRR | wysoka odporność | 11 – 71.4 |
| RRRR | bardzo wysoka odporność | > 71.4 |

Z wartością wskaźnika odporności wiąże się mechanizm odporności chwastu na herbicyd [Gaines i in., 2020]. W przypadku, kiedy wartość wskaźnika RI wskazuje na odporność wysoką, z dużym prawdopodobieństwem wystąpił mechanizm odporności celowej, tj. w miejscu działania herbicydu (ang. *target-site resistance* – TSR) [Gaines i in., 2019]. Odporność ta jest wywoływana przez zmiany mutacyjne, czyli zastąpienie określonego aminokwasu innym, w białku docelowym dla herbicydu [Gaines i in., 2019; Nakka i in., 2017; Murphy i Tranel, 2019]. W konsekwencji herbicyd nie przyłącza się do zmutowanego aminokwasu [Gaines i in., 2020]. Odporność związana z miejscem działania herbicydu występuje u wielu gatunków chwastów i nie można jej przełamać nawet na skutek kilkudziesięciokrotnego zwiększenia dawki polowej herbicydu [Délye i in., 2013; Qu i in., 2021]. Z kolei mechanizmy odporności niecelowej, niezwiązane z miejscem działania herbicydu (ang. *non-target site resistance* – NTSR), są zjawiskami bardziej złożonymi, których efektem jest ograniczenie dotarcia herbicydu do białka docelowego [Ghanizadeh i Harrington, 2017; Jugulam i Shylam, 2019]. W odporności niecelowej udział biorą m. in. enzymy, które powodują rozkład herbicydu do metabolitów o mniejszej fitotoksyczności [Moretti i in., 2018]. Detoksykacja herbicydu może również zaburzać jego translokację, w wyniku czego do docelowego miejsca działania herbicydu nie dociera w wystarczającej ilości substancja czynna [Ghanizadeh i Harrington, 2017; Rigon i in., 2020]. Do innych mechanizmów odporności niecelowej zalicza się zmniejszoną retencję herbicydu czy ograniczone przenikanie herbicydu przez kutykulę [Jugulam i Shyam, 2019]. Rozwój odporności niecelowej budowany jest w roślinie stopniowo, szczególnie na skutek stosowania obniżonych dawek herbicydu, przez co nazywana jest ona również odpornością pełzającą (ang. *creeping resistance*) [Adamczewski, 2014]. W roślinie powstaje wtedy jedna lub kilka niewielkich mutacji co, teoretycznie, jest mniej niebezpieczne niż odporność celowa, jednak krzyżowanie się roślin posiadających zróżnicowane mutacje może doprowadzić do powstania bardziej złożonych mechanizmów odporności [Gaines i in., 2021; Jugulam i Shyam, 2019].

Wśród chwastów może pojawić się jeden z trzech typów odporności: pojedyncza (prosta), krzyżowa (mieszana) oraz wielokrotna [Beffa i in., 2019; Gaines i in., 2020; Tétard-Jones i in., 2018]. Do niedawna typy odporności dotyczyły liczby substancji aktywnych i mechanizmów działania herbicydów, na jakie odporny jest biotyp chwastu. I tak, odporność pojedyncza dotyczyła odporności na jedną substancję aktywną herbicydu. Odporność krzyżowa dotyczyła co najmniej dwóch substancji aktywnych herbicydów z grupy o tym samym mechanizmie działania według klasyfikacji HRAC. Odporność wielokrotna była klasyfikowana, kiedy chwast nie reagował na co najmniej dwie substancje aktywne

herbicydów, każdą z grupy o innym mechanizmie działania HRAC [Adamczewski, 2014; Woźnica, 2012]. Jednakże, gwałtowny wzrost liczby przypadków chwastów odpornych na herbicydy na świecie i ich skomplikowany statut spowodował, że zmianie uległy klasyfikacje typów odporności. Obecnie, odporność krzyżowa (ang. *cross resistance*) dotyczy biotypu, który posiada jeden mechanizm odporności, umożliwiający przetrwanie chwastu po zabiegach herbicydami z różnych klas chemicznych lub o różnych sposobach lub miejscach działania. Z kolei odporność wielokrotna (ang. *multiple resistance*) odnosi się do biotypu, który posiada więcej niż jeden mechanizm odporności umożliwiający mu przetrwanie po aplikacji herbicydów o różnych sposobach lub miejscach działania [HRAC GLOBAL, 2022; Knezevic i in., 2017].

3.2.2. Skala zjawiska odporności miotły zbożowej w Europie i w Polsce

Niewłaściwe stosowanie herbicydów, polegające na braku ich rotacji poprzez długotrwałą aplikację substancji czynnej o tym samym mechanizmie działania, doprowadziło do pojawienia się biotypów miotły zbożowej (*Apera spica-venti* (L.) P. Beauv) odpornych na dostępne na rynku syntetyczne preparaty do walki z chwastami [Auškalnienė i in., 2020; Matzrafi i in., 2021]. Pierwsze przypadki odpornej *Apera spica-venti* odnotowano w Szwajcarii, w 1994 r., i dotyczyły one biotypów wykazujących brak wrażliwości na izoproturon należący do grupy inhibitorów fotosyntezy na poziomie fotosystemu II [Mayor i Maillard, 1997]. Kolejne biotypy odporne na substancje czynne z tej samej grupy herbicydów pojawiły się w Niemczech [Balgheim i in., 2007]. Późniejsze doniesienia wskazują odporność miotły zbożowej głównie na herbicydy z grupy inhibitorów syntazy acetylomleczanowej – ALS (grupa HRAC/WSSA 2) [Massa i in., 2013]. Obecnie, niepowodzenia w zwalczaniu tego gatunku herbicydami o różnym mechanizmie działania notuje się w wielu krajach Europy Wschodniej i Środkowej, a nawet Danii i Szwecji [Heap, 2023]. Szeroko zakrojone badania nad odpornością miotły zbożowej na herbicydy, szczególnie z grupy inhibitorów ALS, prowadzone są w Czechach, a wyniki kolejnych prac wskazują na skalę tego problemu. W 2000 roku Mikulka i Chodova wykazali brak odpornych populacji *Apera spica-venti* na terenie Republiki Czeskiej. Jednak już 6 lat później, Soukup i in. [2006] oraz Nováková i in. [2006] wykazali obecność biotypów miotły odpornych na chlorosulfuron. W kolejnych latach problem narastał i pojawiły się biotypy miotły zbożowej o potwierdzonej odporności wielokrotnej na różne substancje aktywne z grupy inhibitorów ALS (chlorosulfuron, jodosulfuron, sulfosulfuron, sulfometuron) i inhibitory fotosystemu PS II (izoproturon) [Hamouzová i in., 2011]. W ostatnich latach wykazano odporność miotły zbożowej na piroksulam, pinoksaden oraz

chlorotorulon, które charakteryzują się różnymi mechanizmami działania [Košnarová i in., 2021]. Biotypy miotły zbożowej odporne na sulfosulfuron zostały odnotowane również w Niemczech [Balgheim i in., 2007]. Potwierdzono tam również występowanie biotypów o odporności wielokrotnej na herbicydy z grupy inhibitorów ALS, inhibitorów ACCazy oraz inhibitorów fotosystemu PS II [Massa i in., 2013]. Gerhards i Massa [2011] przeprowadzili badania, w trakcie których przetestowali 265 populacji *Apera spica-venti* z terenu Europy Środkowej (Niemcy) i Wschodniej (Czechy i Polska), pod względem ich odporności na substancje z grupy inhibitorów ALS, inhibitorów ACCazy oraz inhibitorów fotosystemu PS II. Dwuletni eksperyment wykazał, że ponad 60% populacji było odpornych na herbicydy z grupy inhibitorów ALS, a kilka z nich dodatkowo nie zwalczane było przez herbicydy z grupy inhibitorów ACCazy. Natomiast nie stwierdzono odporności na inhibitory fotosystemu PS II. Na terenie Litwy wykryto biotypy miotły zbożowej odporne na substancje czynne z grupy inhibitorów ALS (jodosulfuron metylosodowy, sulfosulfuron i piroksysulam). Spośród 159 przetestowanych próbek chwastu, u 43% z nich stwierdzono odporność na powyższe substancje, z czego aż 69 biotypów wykazywało najniższą wrażliwość na sulfosulfuron [Auškalnienė i in., 2020]. Delabays i in. [2006] potwierdzili obecność miotły zbożowej odpornej na herbicydy z grupy inhibitorów ALS w Szwajcarii. Odporność krzyżową u biotypów *A. spica-venti* odnotowano w Austrii i Danii, na herbicydy z grupy inhibitorów ALS i fotosystemu PS II, a odporność wielokrotną na inhibitory ALS i ACCazy już tylko w Danii [Babineau i in., 2017b; Košnarová i in., 2021]. Papapanagiotou i in. [2022] odkryli występowanie pojedynczej i krzyżowej odporności na herbicydy z grup inhibitorów ALS i ACCazy u biotypów miotły zbożowej na terenie Grecji, gdzie dotąd zjawisko to było nienotowane.

Z kolei w Polsce o odporności miotły zbożowej na herbicydy jako pierwsi informowali Rola i Marczevska [2002], z Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa we Wrocławiu (IUNG–PIB), publikując badania, które potwierdziły obecność odpornych na chlorosulfuron biotypów *Apera spica-venti* na terenie Dolnego Śląska. Na skutek niniejszych doniesień oraz coraz częściej napływających niepokojących informacji od rolników o problemach ze zwalczaniem miotły zbożowej w uprawach, zespół badawczy z Instytutu Ochrony Roślin w Poznaniu (IOR–PIB), pod kierunkiem prof. Kazimierza Adamczewskiego, przeprowadził szereg doświadczeń, w celu poznania skali tego zjawiska. Badania wykazały, że w uprawach zbóż na terenie Polski licznie występują biotypy *Apera spica-venti*, które nie wykazywały wrażliwości na herbicydy suflonylomocznikowe (grupa inhibitorów ALS) i charakteryzowały się odpornością krzyżową na substancje aktywne z tej grupy herbicydów. Odporności prostej

nie stwierdzono [Adamczewski, 2009; Adamczewski i in., 2010; Adamczewski i Kierzek, 2007; Adamczewski i Kierzek, 2011; Krysiak i in., 2011]. Potwierdzono natomiast występowanie odporności na herbicydy z grupy inhibitorów ACCazy i w kilku przypadkach odporności wielokrotnej, na herbicydy o obu mechanizmach działania [Adamczewski i Matysiak, 2010; Adamczewski i in., 2019]. Dodatkowo, odnotowano biotypy odporne na izoproturon [Adamczewski i in., 2017; Adamczewski i in., 2019]. Na podstawie wyników uzyskanych z badań, prowadzonych przez IOR–PIB w Poznaniu oraz IUNG–PIB we Wrocławiu, sporządzono mapę obrazującą występowanie w Polsce odpornych na stosowanie herbicydów biotypów miotły zbożowej [Adamczewski, 2014; Adamczewski i in., 2019]. Z uwagi na to, że przetestowane w Polsce populacje *A. spica-venti* charakteryzowały się przede wszystkim odpornością krzyżową na wiele herbicydów z grupy sulfonilomoczników oraz łatwość w rozprzestrzenianiu się odporności na tę grupę preparatów, miotłę zbożową zakwalifikowano jako trudno zwalczany chwast, o zagrożeniu co najmniej regionalnym [Głowicka-Wołoszyn i in., 2020].

3.3. Znaczenie fitnessu w odporności chwastów na herbicydy

3.3.1. Definicja fitnessu chwastów

Wraz z pojawieniem się zjawiska odporności chwastów na herbicydy i badaniami nad mechanizmami jego powstawania i rozprzestrzeniania się zwrócono uwagę na cechy chwastów, które przetrwały zastosowanie zabiegu herbicydowego [Gressel i Segel, 1990; Maxwell i in., 1999]. Fitness chwastów (ang. *weed fitness*, *ecological fitness*, *competitive fitness*) zdefiniowany jest jako ewolucyjna korzyść fenotypu wynikająca z dostosowania się pojedynczych genów z puli genowej populacji do warunków, które wynikają ze stosowania herbicydów, pozwalająca na przeżycie i sukces reprodukcyjny chwastu. Fitness jest to zatem zespół cech decydujących o odporności chwastu, które pozwalają zmierzyć względną ewolucyjną korzyść pomiędzy dwoma genotypami. Najczęściej korzyść ta mierzona jest plennością danego genotypu [Adamczewski i Dobrzański, 2012; Asaduzzaman i in., 2021; Keshtkar i in., 2019; Leon i in., 2020]. Fitness chwastów definiowany jest również jako zespół cech przystosowawczych danego gatunku chwastu do zabiegu herbicydowego przeprowadzanego jedną lub wieloma substancjami czynnymi, z reguły o podobnym mechanizmie działania [Baucom, 2019; Vila-Aiub, 2019]. W polskiej nomenklaturze z zakresu herbologii, jako nauki zajmującej się chwastami, pojęcie fitnessu jest rzadko spotykane. Zostało wprowadzone dopiero przez Adamczewskiego i Dobrzańskiego [2012] i określone jako zespół zjawisk dotyczących odporności.

3.3.2. Fitness biotypów a zdolności konkurencyjne chwastów

Na przeżywalność chwastów w środowisku oraz ich zdolności konkurencyjne względem roślin uprawnych wpływają wskaźniki ekofizjologiczne roślin takie jak: produktywność fotosyntezy, zdolność rośliny do pobierania wody oraz składników pokarmowych z gleby, dynamika wzrostu i rozwoju, wielkość rośliny, liczba liści, liczba kwiatostanów i plenność rośliny, akumulacja biomasy. Wskaźniki te mogą zależeć od warunków środowiskowych, w jakich rozwija się chwast oraz ich przystosowania na poziomie fizjologicznym i biochemicznym, również do warunków stresowych, jakie powstają w wyniku aplikacji herbicydu [Adamczewski, 2014; Du i in., 2019]. Doniesienia literaturowe już od początku badania zjawiska fitnessu wskazują, że chwasty które cechuje posiadanie genu odporności na herbicydy, wykazują mniejszą żywotność oraz obniżone wartości wskaźników ekofizjologicznych [Baucom i Mauricio, 2004; Bourdot i in., 1996; Leroux, 1993]. Na przestrzeni lat naukowcy zaobserwowali, że biotypy chwastów odpornych, w porównaniu do chwastów wrażliwych, mogą mieć niższą wydajność fotosyntetyczną, niższy wskaźnik LAI (ang. *Leaf Area Index* – wskaźnik powierzchni liścia), niższy wzrost, mniejszy przyrost (akumulację) biomasy czy charakteryzować się mniejszym potencjałem reprodukcyjnym [Cousens i Fournier-Level, 2018; Frenkel i in., 2017; Vila-Aiub, 2019]. Zmiany, jakie zachodzą w organizmie rośliny, na skutek stosowania herbicydów, nie obejmują zazwyczaj wszystkich elementów jej cyklu życiowego i są na tyle małe, że początkowo wydają się nieistotne [Adamczewski, 2014]. Jednak mając na uwadze, że biotypy odporne, charakteryzujące się obniżonym fitnessem, a nabycie odporności może okazać się recesywne, w skutek zaprzestania stosowania herbicydów o tym samym mechanizmie działania, z czasem mogą zaniknąć z pól [Beckie i in., 2021; Ghanizadeh i in., 2019; Hulme i Liu, 2022]. Każda populacja chwastów jest w większym lub mniejszym stopniu zróżnicowana pod kątem genetycznym. Występują w niej osobniki (biotypy), które w odmienny sposób mogą reagować na czynniki środowiskowe, w tym również na herbicydy. W łanie rośliny uprawnej w zróżnicowanych stosunkach ilościowych mogą pojawić się zarówno biotypy wrażliwe (S – ang. *susceptible*) oraz odporne (R – ang. *resistant*) [Gaines i in., 2020]. Pomędzy biotypami S i R, tak samo jak pomiędzy chwastem a rośliną uprawną, zachodzi konkurencja o miejsce do życia, o światło oraz wodę i składniki pokarmowe pobierane z gleby [Kumar i Jha, 2015; Mobli i in., 2020; Osipitian i Dille, 2017]. Konkurencję między biotypami S i R o warunki środowiskowe, określa się względnym fitnessem chwastów (ang. *relative weed fitness* – RWF) [Leon i in., 2020; Vila-Aiub i in., 2021]. Z terminem tym związane jest również zagadnienie dotyczące kosztu fitnessu (ang. *fitness cost*), zależącego od genów i alleli w biotypie, które są odpowiedzialne za jego

odporność lub wrażliwość na herbicyd [Cousens i Fournier-Level, 2018; Vila-Aiub, 2019; Wu i in., 2018]. Badania fitnessu chwastu polegają zatem nie tylko na badaniu cech, które są odpowiedzialne za odporność danej populacji, ale również na badaniu konsekwencji, jakie poniosły biotypy, które nabyły odporność [Van Etten i in., 2016; Lenormand i in., 2018]. Koszt fitnessu, który wyraża te konsekwencje, oceniany jest w oparciu o porównanie biometrycznych cech biotypu S i biotypu R, a szczególnie wzrostu, biomasy części wegetatywnych oraz biomasy nasion. Cechy te wpływają na przeżycie biotypu chwastu, co łączy się z jego konkurencyjnością zarówno międzygatunkową, jak i wewnątrzgatunkową [Ashworth i in., 2016; Van Etten i in., 2016; Younginger i in., 2017]. Badania nad fitnessem chwastów i ich zdolnościami konkurencyjnymi składają się zatem z obserwacji cech, jakie wykształciły biotypy odporne [Squires i in., 2021]. Nie dotyczą one obserwacji kondycji chwastu pod względem objawów fitotoksycznych, będących następstwem aplikacji herbicydu. Ich celem jest poznanie cech przystosowawczych chwastów do siedliska, w którym nastąpiło zastosowanie herbicydu oraz mechanizmów dziedziczenia tych cech [Adamczewski i Dobrzański, 2012; Baucom, 2019; Van Etten i in., 2016]. Dlatego tak ważne jest uwzględnienie w badaniach nad fitnessem i konkurencyjnością chwastów zjawisk takich jak względny fitness chwastów oraz koszt fitnessu. Coraz powszechniejsze stają się również eksperymenty typu *time-to-event data* (ang.), dotyczące porównania między gatunkami lub biotypami czasu, jaki każdy z nich potrzebuje na osiągnięcie określonej fazy cyklu rozwojowego, przykładowo momentu kiełkowania czy kwitnienia [Onofri i in., 2022; Romano i Stevanato, 2020]. Jako wskaźnik różnic fitnessu, pomiędzy populacjami S i R najczęściej ocenia się: różnice morfologiczne i fizjologiczne, stosunek ilościowy S do R w danej populacji, zmiany biochemiczne oraz różnice w potencjale reprodukcyjnym, wyrażane ilością i jakością materiału nasiennego. Porównuje się również zmiany i mutacje genetyczne w allelach, jednak z uwagi na zachodzenie mutacji w różnych szeregach aminokwasów, co ma miejsce w przypadku odporności na inhibitory ALS, trudno jest zidentyfikować wszystkie mutacje odpowiedzialne za odporność na tę grupę związków [Pedersen i in., 2007; Van Etten i in., 2016; Vila-Aiub i in., 2009; Vila-Aiub i in., 2011]. Obserwacje odpornych i wrażliwych populacji powinny obejmować cały okres wzrostu i rozwoju testowanych chwastów, w kombinacjach z rośliną uprawną oraz zróżnicowanymi biotypami [Cousens i Fournier-Level, 2018; Ziska i in., 2019]. Takie badania prowadzi się w zazwyczaj w formie modelowych eksperymentów wazonowych lub poletkowych [Butts i in., 2018; Synowiec i in., 2021; Wenda-Piesik i in., 2022]. Najwięcej badań dotyczących różnic w fitnessie biotypów chwastów oraz ich konkurencyjności względem roślin uprawnych oraz siebie wykonuje się w tych krajach, gdzie odnotowano najwięcej

gatunków chwastów odpornych na herbicydy: USA, Australii, Francji, Niemczech, Anglii. Ponadto, badania skupiają się przede wszystkim na tych gatunkach chwastów, których występowanie na polach uprawnych przynosi duże straty ekonomiczne oraz charakteryzujących się łatwym rozprzestrzenianiem w środowisku [Shrestha i in., 2010].

3.3.3. Modele doświadczalne w badaniach fitnessu i konkurencyjności chwastów

Oddziaływania, jakie zachodzą pomiędzy roślinami uprawnymi a chwastami w agroekosystemach, mają zazwyczaj charakter konkurencji międzygatunkowej, której nasilenie określa się w oparciu o różnice w wielkości wskaźników ekologicznych, w tym elementów plonowania roślin [Altieri i in., 2018; Mézière i in., 2015]. Zrozumienie tych interakcji, zarówno na poziomie międzygatunkowym, jak i wewnątrzgatunkowym, jest niezbędnym elementem opracowania oszczędnej oraz zrównoważonej strategii zarządzania chwastami, szczególnie w dobie nasilającego się na skalę światową problemu z występowaniem chwastów odpornych na stosowanie herbicydów [Sardana i in., 2017]. Badania nad konkurencyjnością mogą dostarczyć cennych informacji zarówno dla rolników, jak i dla producentów środków ochrony roślin [Beckie i Harker, 2017; Perotti i in., 2020]. Stanowią również istotny aspekt badań nad ekologią i fizjologią roślin, pod względem kosztów morfologiczno-fizjologicznych, jakie są związane z nabyciem cechy odporności na herbicydy oraz inwazyjnym potencjałem biotypów odpornych [Fernando i in., 2016; Piasecki i in., 2019].

Z uwagi na to, że zjawisko konkurencji jest zagadnieniem silnie złożonym i trudno mierzalnym, nie ma wielu dostępnych metod badania oddziaływania pomiędzy roślinami. Jedyne istniejące metody opierają się na założeniach doświadczeń modelowych, najczęściej polowych, które oceniają konkurencyjność na podstawie względnej reakcji roślin lub wyrażają siłę konkurencyjności w oparciu o wskaźniki względnej konkurencyjności, wyznaczone dla każdego z przyjętych modeli [Aslani i Saediipour, 2015; Bagavathiannan i in., 2011; Cousens, 1991; Cousens i O'Neill, 1993; Knezevic i Datta, 2015; Kumar i Jha, 2016; Radosevich, 1987; Shrestha i in., 2018; Swanton i in., 2015]. Modele uwzględniają parametry zmienne takie jak: zagęszczenie roślin, przestrzenny układ roślin oraz proporcję każdego z testowanych gatunków w mieszaninie, co pozwala na rozróżnienie poziomu konkurencyjności międzygatunkowej i wewnątrzgatunkowej, a także mają na uwadze czynniki takie jak warunki pogodowe czy rodzaj gleby [Swanton i in., 2015]. Modele komponowane są w oparciu o obiekty, które zawierają roślinę uprawną w zbiorowisku odchwaszczonym i nieodchwaszczonym oraz obiekt jedynie zachwaszczony (bez udziału rośliny uprawnej), przy występowaniu analogicznych warunków siedliskowych i agrotechnicznych we wszystkich obiektach badawczych [Rudnicki

i Jaskulski, 2006]. Względne różnice wielkości cech roślin uprawnych oraz chwastów pozwalają ocenić efekt wzajemnych oddziaływań na sobie testowanych gatunków [Shrestha i in., 2018]. Modele konkurencyjności, wykorzystywane do badań w agroekosystemach, opierają się zazwyczaj na addytywnym lub substytucyjnym (wymennym) układzie roślin [Cousens, 1991; Snaydon, 1991, Singh i in., 2002; Galon i in., 2015; Nazari i in., 2012]. Modele addytywne na przestrzeni lat były najczęściej wykorzystywanymi układami do badania konkurencyjności między chwastami a roślinami uprawnymi [Banik i in., 2006; Bantie i in., 2014; Blackshaw, 1993; Cousens, 1985; Guglielmini i in., 2017; Knezevic i Datta, 2015; Sanjani i in., 2009; Weaver i Ivany, 1998]. W modelu tym obiekt badawczy zawiera stałą liczbę roślin uprawnych oraz wybraną liczbę chwastów, której wielkość można zmieniać w zależności od założeń badawczych [Bantie i in., 2014; Bitew i Asargew, 2014]. Niniejszy układ odzwierciedla większość sytuacji na polach uprawnych, gdzie występuje określona i jednolita obsada rośliny uprawnej, natomiast zagęszczenie chwastów jest zróżnicowane [Swanton i in., 2015]. Taki schemat doświadczenia pozwala określić odsetek strat plonu (lub innej mierzonej cechy rośliny) wraz ze wzrostem zagęszczenia chwastów [Guglielmini i in., 2017]. Najczęściej jest on wykorzystywany do określenia ekonomicznego progu szkodliwości chwastów i potencjalnej wydajności upraw [Oliveira i in., 2018]. W przypadku modelu substytucyjnego, obiekt badawczy zawiera określoną liczbę roślin uprawnych, której pojedyncze osobniki są stopniowo zastępowane przez osobniki chwastu, co prowadzi do uzyskania obiektu obsadzonego jedynie chwastem. Układy substytucyjne zakłada się również w wariancie, gdzie w pojedynczym obiekcie badawczym konkurują ze sobą chwasty o różnych biotypach, bez udziału rośliny uprawnej [Aslani i Saeedipour, 2015; Cousens, 1991; Radosevich, 1987; Rizzarda i in., 2014]. Udział procentowy danej rośliny w mieszance zmniejsza się zgodnie z proporcją 100:75:50:25:0 lub 100:80:60:40:20:0 [Swanton i in., 2015]. Kluczową rolę w niniejszym modelu odgrywa przestrzenny układ roślin, który w każdej mieszance roślin testowych musi pozostać taki sam [Radosevich, 1987]. Wyniki badań prezentuje się najczęściej graficznie, w postaci krzywych na wykresach, które wyznaczają bezwzględną lub względną konkurencję każdego z gatunków, a interpretacja krzywych, względem określonego modelu graficznego, pozwala na zbadanie interakcji zachodzących pomiędzy gatunkami, które można podzielić na negatywne, pozytywne lub neutralne [Swanton i in., 2015]. Model substytucyjny jest wykorzystywany najczęściej w celu określenia, który z testowanych gatunków jest bardziej konkurencyjny oraz do zbadania interakcji zarówno międzygatunkowej, jak i wewnątrzgatunkowej [Galon i in., 2015]. Do innych, mniej popularnych modeli, wykorzystywanych w celu badań nad konkurencyjnością, zaliczamy model opierający się

na sąsiedztwie i poznaniu obszaru wpływów, który wykorzystuje się do obserwacji reakcji pojedynczej rośliny na bliskość konkurencyjnych roślin [Keshtkar i in., 2017b; Matloob i Chauhan, 2021]. Z uwagi na to, że opracowanie niniejszego modelu jest bardzo pracochłonne, nie jest on często wykorzystywany w badaniach [Schiffers i in., 2011; Kahrیمان i in., 2018]. Podobne założenia prezentuje model Nelder [1962] który opiera się na zróżnicowanej gęstości oraz układzie przestrzennym roślin, w którym to testowana roślina ma coraz mniej miejsca do wzrostu i rozwoju, na skutek zagęszczenia pozostałych testowych roślin. Jest on jednak wykorzystywany częściej w naukach leśnych niż rolniczych. Ciekawym modelem doświadczalnym do badań nad konkurencyjnością jest układ, który pomaga określić okres krytyczny dla zwalczania chwastów. Okresem takim nazywa się ten czas w cyklu życiowym rośliny uprawnej, kiedy chwasty muszą być bezwzględnie zwalczane, aby miały jak najmniejszy wpływ jej na plonowanie. W tym modelu stosuje się dwa rodzaje układów roślin. Pierwszy z nich testuje jak długo uprawa musi być utrzymywana w stanie wolnym od chwastów, aby zapobiec stratom plonów. Drugi układ sprawdza jak długi jest maksymalny okres bytowania chwastów w uprawie, aby roślina uprawna tolerowała zachwaszczenie na tyle, że nie wpłynie na jej plonowanie [Knezevic i Datta, 2015; Tursun i in., 2016].

Wymienione modele badawcze pozwalają na względną weryfikację zjawiska konkurencyjności zachodzącego między rośliną uprawną a chwastami oraz kształtowania się fitnessu biotypów chwastu, w zależności od stosunku oraz układu przestrzennego roślin w zbiorowisku, w którym się znajdują. Jednak ich szczegółowe zaplanowanie, jak i interpretacja, stanowią wyzwanie dla naukowców zajmujących się zagadnieniami konkurencyjności roślin [Keshtkar i in., 2019].

4. Materiał i metody badań

4.1. Charakterystyka materiału roślinnego

4.1.1. Biotypy miotły zbożowej

Materiałem badawczym wykorzystanym w poszczególnych doświadczeniach były ziarniaki czternastu biotypów miotły zbożowej, wykazujące potwierdzoną wcześniej testami biologicznymi wrażliwość lub odporność na herbicydy z różnych grup HRAC/WSSA. Ziarniaki biotypów otrzymano z IOR–PIB w Poznaniu, IUNG–PIB we Wrocławiu (Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli) oraz Czeskiego Uniwersytetu Rolniczego w Pradze (Czech University of Life Sciences in Prague). Charakterystykę poszczególnych biotypów przedstawiono w tabeli 3. Do momentu przeprowadzenia poszczególnych eksperymentów ziarniaki przechowywano w ciemności, w temperaturze 4°C.

Tabela 3. Charakterystyka biotypów miotły zbożowej (*Apera spica-venti* (L.) P. Beauv.) wykorzystanych w eksperymentach [opracowanie Jop B.]

| Oznaczenie biotypu | Typ odporności* | Substancja aktywna, na którą biotyp wykazuje odporność | Grupa wg HRAC/WSSA | Rok zbioru | Miejsce zbioru (miejsceowość i lokalizacja GPS) |
|--------------------|-----------------|---|----------------------------|------------|---|
| B-1 | pojedyncza | chlorosulfuron | 2 | 2013 | Łojowice (woj. dolnośląskie) 50°44'16"N;17°12'34"E |
| B-2 | pojedyncza | piroksulam | 2 | 2016 | Republika Czeska |
| B-3 | pojedyncza | jodosulfuron metylosodowy | 2 | 2017 | Wądroże Małe (woj. dolnośląskie) 51°03'44"N 16°18'38"E |
| B-4 | pojedyncza | piroksulam | 2 | 2017 | Pałuzy (woj. warmińsko-mazurskie) 54°07'52"N 20°56'52"E |
| BB-1 | krzyżowa | chlorosulfuron/ jodosulfuron metylosodowy/ mezosulfuron metylowy | 2 2 2 | 2013 | Bystra (woj. śląskie) 49°45'34"N; 19°03'35"E |
| BB-2 | krzyżowa | chlorosulfuron/ jodosulfuron metylosodowy/ mezosulfuron metylowy | 2 2 2 | 2015 | Bystra (woj. śląskie) 49°45'34"N; 19°03'35"E |
| BB-3 | krzyżowa | jodosulfuron metylosodowy/ piroksulam | 2 2 | 2015 | Republika Czeska |
| AB-1 | wielokrotna | fenoksaprop-P-etylu/ chlorosulfuron/ jodosulfuron metylosodowy/ mezosulfuron metylowy | 1 2 2 2 | 2013 | Nowa Cerkiew (woj. pomorskie) 53°51'58"N; 18°39'27"E |
| AB-2 | wielokrotna | pinoksaden/ penoksulam/ piroksulam | 1 2 2 | 2016 | Republika Czeska |
| AB-3 | wielokrotna | fenoksaprop-P-etylu/ pinoksaden/ jodosulfuron metylosodowy/ piroksulam | 1 1 2 2 | 2017 | Rychliki (woj. warmińsko-mazurskie) 53°59'06"N 19°31'41"E |
| ABCK-1 | wielokrotna | fenoksaprop-P-etylu/ pinoksaden/ jodosulfuron metylosodowy/ piroksulam/ chlorotoluron/ pendimetalina | 1 1 2 2 7 3 | 2018 | Sątopy (woj. warmińsko-mazurskie) 54°03'42"N 21°00'45"E |
| S1 | -- | wrażliwy | - | 2012 | Sitno (woj. zachodniopomorskie) 53°11'10"N; 16°01'46"E |
| S2 | -- | wrażliwy | - | 2016 | Poznań (woj. poznańskie) 52°24'30"N; 16°56'03"E |
| S3 | -- | wrażliwy | - | 2016 | Polska |

*Typ odporności – zgodnie z definicjami Adamczewski [2014] i Woźnica [2012]. Tabelę opracowano na podstawie danych z bazy SEEP w projekcie „Strategia przeciwdziałania uodparnianiu się chwastów na herbicydy jako istotny czynnik zapewnienia zrównoważonego rozwoju agroekosystemu” [BIOHEROD IOR–PIB, 2022] oraz Globalnej Klasyfikacji Herbicydów HRAC [HRAC GLOBAL, 2022]. W oznaczeniach biotypów uwzględniono starszą, literową wersję klasyfikacji HRAC

4.1.2. Pszenica ozima

W doświadczeniach wazonowych gatunkiem uprawnym konkurującym z biotypami miotły zbożowej była pszenica ozima odmiany Arkadia (rok rejestracji 2011). Kwalifikowany materiał siewny pszenicy został zakupiony od firmy Danko Hodowla Roślin Sp. z o.o. Jak podaje hodowca, jest to wysokojakościowa odmiana pszenicy ozimej; pod względem wartości technologicznej zakwalifikowana do grupy elitarniej i jakościowej (E/A). Cechuje się możliwością uprawy na słabszych kompleksach glebowych. Pszenica odm. Arkadia osiąga stabilne oraz wysokie plony, niezależnie od regionu uprawy. Charakteryzuje się średnio długim źdźbłem (102 cm) oraz wczesnym terminem kłoszenia i dojrzewania. Ziarno cechuje się bardzo dobrymi parametrami jakościowymi – ziarniaki o dobrym wyrównaniu oraz niewielkim udziale pośladu (średnia MTZ [g] – 46). Zalecana norma wysiewu pszenicy ozimej odm. Arkadia, przy optymalnym terminie siewu, to 360 – 390 kielkujących nasion na 1 m kw., tj. 160 – 190 kg na 1 ha [<https://danko.pl/odmiany/arkadia/>]. Ważniejsze cechy rolniczo-użytkowe odmiany oraz odporność na choroby przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Cechy rolniczo-użytkowe oraz odporność na choroby pszenicy ozimej odm. Arkadia stosowanej w doświadczeniach wazonowych [opracowanie Jop B.]

| Cecha | Charakterystyka | Choroby grzybowe | Odporność |
|------------------------|-----------------|---------------------------|---------------|
| zawartość białka | średnia | mączniak prawdziwy | dobra |
| zawartość glutenu | średnia | rdza brunatna | dobra |
| odporność na wyleganie | dobra | septorioza liści/plew | średnia/dobra |
| fuzarioza kłosa | dobra | choroby podstawy źdźbła | dobra |
| zimotrwałość | wysoka | brunatna plamistość liści | dobra |

Tabelę opracowano na podstawie danych ze strony internetowej hodowcy [DANKO 2022]

4.2. Przebieg doświadczeń

4.2.1. Wpływ dynamiki sezonowej i temperatury na kielkowanie wrażliwych i odpornych na herbicydy biotypów miotły zbożowej – eksperyment szalkowy

Eksperyment szalkowy został przeprowadzony w dwóch terminach – jesień 2018 oraz wiosna 2019, w laboratorium Katedry Agroekologii i Produkcji Roślinnej, w warunkach *in vitro*, z wykorzystaniem wolnostojącej komory fitotronowej (model MDF-500, BIOGENET, Polska). Testowane ziarniaki miotły zbożowej kielkowały w jednakowych temperaturach 8, 18 oraz 28°C, przy fotoperiodzie dzień/noc: 10/14 h. Źródło światła w komorze stanowiło

15 świetlówek TDL (liniowych), o długości 120 cm, mocy 36W i temperaturze barwowej na poziomie 6500K, emitującej bardzo białe światło, porównywalne do światła dziennego. Lampy rozmieszczone są w urządzeniu bocznie trójstronnie – na obu bokach komory vegetacyjnej i na jej tylnej ścianie oraz dodatkowo oddzielone szybą, w celu zachowania izolacji cieplnej. Wilgotność w komorze utrzymywano na względnie stałym poziomie ok. 60%. W eksperymencie wykorzystano nasiona 13 biotypów miotły zbożowej. Szczegółową charakterystykę biotypów przedstawiono w tabeli 3 na stronie 29. Eksperyment przeprowadzono w układzie całkowicie losowym, w trzech powtórzeniach. W każdym terminie wykonano dwie serie eksperymentu.

Zastosowano dwa czynniki badawcze:

1. Biotypy miotły zbożowej o różnym poziomie wrażliwości na herbicydy z grupy inhibitorów ACCazy (HRAC/WSSA 1) oraz inhibitorów ALS (HRAC/WSSA 2):

- trzy biotypy populacji wrażliwych na herbicydy (S1, S2, S3);
- dziesięć biotypów populacji odpornych na herbicydy (B-1, B-2, B-3, B-4, BB-1, BB-2, BB-3, AB-1, AB-2, AB-3).

2. Trzy stałe poziomy temperatury kiełkowania:

- 8°C;
- 18°C;
- 28°C.

Szklane szalki Petriego o średnicy 11 cm zdezynfekowano powierzchniowo poprzez ich przemycie jałową gazą, nasączoną alkoholem etylowym (stężenie 99,8%, POCH, Gliwice). Do każdej szalki wykładano po 2 warstwy jałowych krążków bibułowych (sączki jakościowe miękkie, EUROCHEM, Tarnów), które uprzednio zwilżono 5 cm³ wody destylowanej. Ziarniki miotły wysterylizowano powierzchniowo w 2,5% roztworze alkoholu etylowego (stężenie 99,8%, POCH, Gliwice) przez 5 minut, a następnie obficie przepłukano wodą destylowaną z tryskawki, w celu wypłukania alkoholu. Tak przygotowane ziarniki wykładano przy pomocy sterylnej pęsety na szalki. Na każdej szalce umieszczono równomiernie po 30 ziarniaków. Szalki wstawiono do komory vegetacyjnej na okres 10 dni. Kiełkujące ziarniki codziennie liczono, usuwając pęsetą te skiełkowane. Jako kiełkujący uznawano ziarniak, u którego zaobserwowano pękniętą łupinę nasienną i wysuwający się korzonek zarodkowy [Bochenek i in., 2016]. W razie wysychania krążków bibułowych, zwilżano je wodą destylowaną, w celu zapewnienia stałej wilgotności podłoża.

4.2.2. Biologiczna charakterystyka wrażliwych i odpornych na herbicydy biotypów miotły zbożowej w warunkach konkurencji z pszenicą ozimą – eksperyment wazonowy (substytucyjny model konkurencji)

Eksperyment wazonowy z pszenicą ozimą odm. Arkadia i biotypami miotły zbożowej o różnym poziomie odporności na herbicydy został przeprowadzony w dwóch sezonach wegetacyjnych: 2018/2019 i 2019/2020, na terenie Stacji Doświadczalnej Katedry Roślin Warzywnych i Zielarskich w Mydlnikach – Zakliki, należącej do Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie. Doświadczenie zostało założone w układzie losowanych bloków, w trzech powtórzeniach (rycina 2).

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|----|----|----|----|---|----|----|----|---|----|----|---|----|----|----|
| Blok 3 | 9 | 6 | 14 | 3 | 8 | 5 | 13 | 2 | 7 | 4 | 15 | 1 | 10 | 12 | 11 |
| Blok 2 | 12 | 1 | 15 | 6 | 9 | 2 | 5 | 11 | 8 | 10 | 14 | 3 | 4 | 13 | 7 |
| Blok 1 | 6 | 13 | 5 | 11 | 2 | 12 | 15 | 1 | 4 | 3 | 9 | 7 | 14 | 8 | 10 |

Rycina 2. Układ doświadczenia dla substytucyjnego modelu konkurencji między biotypami miotły zbożowej oraz między pszenicą ozimą a chwastem, w jednakowych warunkach siedliskowych [opracowanie Praczyk T., Marcinkowska K., Synowiec A. dla projektu „Strategia przeciwdziałania uodpornianiu się chwastów na herbicydy jako istotny czynnik zapewnienia zrównoważonego rozwoju agroekosystemu” [BIOHEROD IOR-PIB, 2022]]. Legenda: 1-15 – obiekty o zróżnicowanym stosunku liczby roślin w wazonie

Zastosowano dwa czynniki badawcze, z kilkoma poziomami każdy:

Czynnik 1: biotypy miotły zbożowej o różnym poziomie wrażliwości na herbicydy z grupy inhibitorów ACCazy (HRAC/WSSA 1), inhibitorów ALS (HRAC/WSSA 2), inhibitorów tworzenia mikrotubuli (HRAC/WSSA 3), inhibitorów fotosyntezy (HRAC/WSSA 7):

- biotyp wrażliwy na herbicydy (S1);
- biotyp odporny na herbicydy (AB-3, ABCK-1).

Szczegółową charakterystykę użytych w doświadczeniu biotypów miotły: S3 – dla obu sezonów doświadczalnych oraz AB-3 w roku 2018 i ABCK-1 w roku 2019, przedstawiono w tabeli 3 na stronie 29. Rokrocznie, w badaniach wykorzystywano ten sam biotyp wrażliwy miotły zbożowej, natomiast biotyp odporny był różny w każdym sezonie wegetacyjnym. Wynikało to z tego, że badania te były prowadzone w siedmiu różnych lokalizacjach, co umożliwiło porównanie konkurencyjności różnych biotypów miotły względem pszenicy, w różnych warunkach siedliskowych Polski.

Czynnik 2: proporcja roślin konkurujących gatunków (tabela 5):

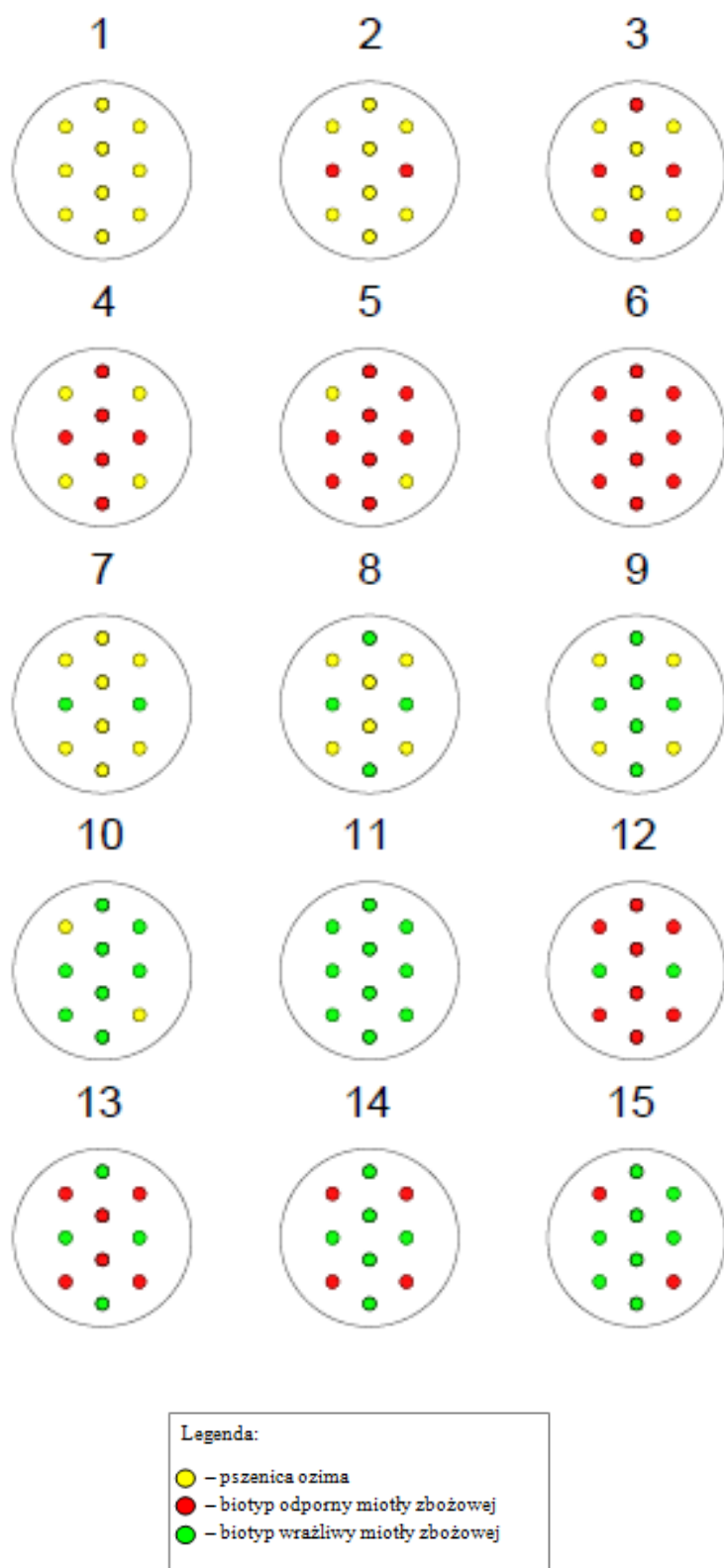
Tabela 5. Proporcja konkurujących gatunków, wyrażona stosunkiem liczby poszczególnych roślin testowych w wazonie [opracowanie Praczyk T., Marcinkowska K., Synowiec A. dla projektu „Strategia przeciwdziałania uodpornianiu się chwastów na herbicydy jako istotny czynnik zapewnienia zrównoważonego rozwoju agroekosystemu” [BIOHEROD IOR-PIB, 2022]]

| Obiekt | Stosunek liczby roślin |
|--------|------------------------|
| 1* | PZ10 : R0 |
| 2* | PZ8 : R2 |
| 3* | PZ6 : R4 |
| 4* | PZ4 : R6 |
| 5* | PZ2 : R8 |
| 6* | PZ0 : R10 |
| 7* | PZ8 : S2 |
| 8* | PZ6 : S4 |
| 9* | PZ4 : S6 |
| 10* | PZ2 : S8 |
| 11* | PZ0 : S10 |
| 12 | R8 : S2 |
| 13 | R6 : S4 |
| 14 | R4 : S6 |
| 15 | R2 : S8 |

Legenda: PZ – pszenica ozima; R – biotyp odporny miotły zbożowej; S – biotyp wrażliwy miotły zbożowej,
* – obiekty, które zostały wykorzystane w badaniach własnych, w ramach niniejszej rozprawy doktorskiej

W celu uniknięcia niepożądanego zachwaszczenia całą powierzchnię kwatery doświadczalnej wyłożono czarną agrotkaniną ściółkującą (producent BIOVITA, Tenczynek, gramatura 100 g na 1 m kw.) i ogrodzono siatką w celu zabezpieczenia przed szkodnikami. Plastikowe wazony, o pojemności 12 litrów (wymiary: średnica górna 30 cm, średnica dolna 22 cm, wysokość 23 cm) wwiercono w glebę za pomocą świdra glebowego (Mitsubishi TB50 AG500, Japonia). Górna krawędź wazonów wystawała 2 – 3 cm ponad powierzchnię gleby, co ograniczało możliwość napływania i akumulowania się w nich wody, w czasie obfitych lub gwałtownych opadów deszczu. Wazony rozmieszczono w trzech rzędach (blokach), z zachowaniem 0,5 metra odległości między nimi, zgodnie z układem przedstawionym na rycinie 2. Po wwierceniu, wazony wypełniono świeżą warstwą gleby ornej (tabela 7

na stronie 49) pobranej z pola przygotowanego pod uprawę pszenicy w systemie konwencjonalnym. Gleba została uprzednio przesiana przez sito o średnicy oczek 0,5 cm, w celu oddzielenia kamieni i resztek roślinnych. Do tak przygotowanego podłoża w wazonach zaaplikowano nawóz azotowy w przewidzianej dawce, zalecanej dla pszenicy ozimej odmiany Arkadia. W obu sezonach wegetacyjnych zastosowano Polifoskę M (NPK(MgS) 5-16-24-(4-7)) w dawce po 2,12 g na wazon (równoważną 300 kg na 1 ha). Nawóz wymieszano z glebą i wysiano rośliny. Ziarniki pszenicy wysiano punktowo, po dwa lub trzy, na głębokość 2 – 3 cm. Ziarniki miotły zbożowej także wysiano punktowo, po kilkanaście sztuk, na głębokość 0,5 cm, zgodnie z substytucyjnym modelem konkurencyjności [Radosevich, 1987] oraz proporcją konkurujących gatunków w poszczególnych obiektach (tabela 5). Odległość pomiędzy punktami wysiewu roślin testowych wynosiła ok. 5 cm. Schemat punktowego wysiewu w wazonach ziarniaków roślin testowych przedstawiono na rycinie 3. Wysiew pszenicy i chwastu przeprowadzono tego samego dnia, w terminach: 04.10.2018 r. i 16.10.2019 r. Zapewniono identyfikowalność biotypów przy użyciu kolorowych patyczków (biały – biotyp wrażliwy, niebieski – biotyp odporny). Z uwagi na ryzyko wypadnięcia roślin zimą, ostateczna obsada została ustalona wiosną, po ruszeniu wegetacji, poprzez usunięcie nadmiaru roślin testowych. Zaaplikowano również dwie kolejne dawki nawożenia azotowego: po ruszeniu wiosennej wegetacji oraz w fazie strzelania w źdźbło pszenicy ozimej (BBCH 31 – 33). W każdym z terminów zastosowano saletrę amonową 34N w dawce po 0,88 g na wazon (równoważną 250 kg na 1 ha). W trakcie sezonu wegetacyjnego ręcznie usuwano z wazonów inne, niepożądane gatunki chwastów. Rokrocznie, w fazie kłoszenia (BBCH 51 – 59) oraz kwitnienia pszenicy ozimej (BBCH 61 – 69) wystąpiła mszyca zbożowa, stąd zaaplikowano insektycyd deltametrynę (preparat Decis Mega 50 EW, Bayer). Chorób grzybowych oraz innych szkodników nie odnotowano. W sezonie wegetacyjnym 2019/2020, w I i II dekadzie kwietnia, ze względu na brak opadów atmosferycznych zastosowano dodatkowe nawadnianie roślin. Nawadnianie zastosowano, kiedy substrat glebowy w wazonie przestał zwężle przylegać do obrzeży, a rośliny wykazywały objawy wędnięcia. Do każdego wazonu aplikowano za pomocą konewki taką ilość wody, która pozwoliła na spulchnienie podłoża i ponowne jego przyleganie do ścianek wazonu. Nawadniania kontynuowano w odstępach 5 – 7 dniowych, aż do wystąpienia opadów atmosferycznych w I dekadzie maja.



Rycina 3. Schemat punktowego wysiewu ziarniaków roślin testowych w wazonach w przypadku substytucyjnego modelu konkurencji [opracowanie Praczyk T., Marcinkowska K., Synowiec A., Piesik-Wenda A., dla projektu „Strategia przeciwdziałania uodparnianiu się chwastów na herbicydy jako istotny czynnik zapewnienia zrównoważonego rozwoju agroekosystemu” [BIOHEROD IOR–PIB, 2022; opracowanie graficzne Jop B.]

4.2.3. Biologiczna charakterystyka wrażliwych i odpornych na herbicydy biotypów miotły zbożowej w warunkach konkurencji z pszenicą ozimą – eksperyment wazonowy (addytywny model konkurencji)

Eksperyment wazonowy z pszenicą ozimą odm. Arkadia i różnymi biotypami miotły zbożowej (*A. spica-venti*) przeprowadzono w dwóch sezonach wegetacyjnych: 2018/2019 i 2019/2020, w hali wegetacyjnej Katedry Chemii Rolnej i Środowiskowej, na terenie Stacji Doświadczalnej Uniwersytetu Rolniczego w Mydlnikach – Krakowie. Doświadczenie zostało założone w układzie całkowicie losowym, w trzech powtórzeniach (rycina 4).

| | | |
|---------|---------|---------|
| S1 a0 | S3 a0 | B-3 a0 |
| S3 a1 | PZ a1 | S1 a1 |
| PZ a0 | AB-1 a1 | B-2 a0 |
| B-2 a1 | B-3 a0 | S3 a1 |
| S3 a1 | S3 a0 | S1 a0 |
| S1 a1 | S3 a0 | B-2 a1 |
| PZ a1 | B-3 a1 | PZ a1 |
| AB-1 a1 | B-3 a1 | AB-1 a0 |
| S3 a1 | S1 a0 | S3 a0 |
| S1 a1 | S1 a1 | B-3 a1 |
| B-2 a0 | S1 a1 | PZ a0 |
| AB-1 a1 | B-3 a0 | B-2 a1 |
| S3 a1 | PZ a1 | AB-1 a0 |
| PZ a0 | B-2 a0 | B-2 a0 |
| B-3 a0 | S1 a0 | B-2 a1 |
| B-3 a1 | PZ a1 | B-2 a1 |
| AB-1 a1 | B-3 a0 | S1 a0 |
| AB-1 a1 | AB-1 a0 | PZ a1 |
| AB-1 a1 | B-3 a1 | PZ a0 |
| B-2 a1 | AB-1 a0 | B-2 a0 |
| B-2 a0 | PZ a0 | AB-1 a0 |
| S3 a0 | S1 a0 | S3 a1 |
| PZ a0 | AB-1 a0 | B-3 a0 |
| S1 a1 | B-3 a1 | S3 a0 |

Rycina 4. Układ doświadczenia dla addytywnego modelu konkurencji pomiędzy pszenicą ozimą a biotypami miotły zbożowej, w zależności od substratu glebowego oraz poziomu nawożenia [opracowanie Jop B.]. Legenda: S – biotypy wrażliwe; B – biotypy z odpornością pojedynczą; AB – biotyp z odpornością wielokrotną; PZ – pszenica ozima; a0 – brak nawożenia, a1 – nawożenie zgodne z dawką zalecaną dla wytypowanej odmiany pszenicy; – gleba ciężka, – gleba lekka

Czynniki badawcze w doświadczeniu obejmowały:

1. Biotypy miotły zbożowej o różnym poziomie wrażliwości na herbicydy z grupy inhibitorów ACCazy (HRAC/WSSA 1) oraz inhibitorów ALS (HRAC/WSSA 2):

- dwa biotypy wrażliwe (S1,S3);
- trzy biotypy odporne (B-2, B-3, AB-1).

Szczegółową charakterystykę użytych w doświadczeniu biotypów miotły przedstawiono w tabeli 3 na stronie 29.

2. Rodzaj podłoża:

- warstwa orna gleby brunatnej właściwej o składzie granulometrycznym piasku gliniastego (GEOMAŁOPOLSKA, 2023; PTG, 2009);
- warstwa orna gleby brunatnej właściwej o składzie granulometrycznym pyłu gliniastego (GEOMAŁOPOLSKA, 2023; PTG, 2009).

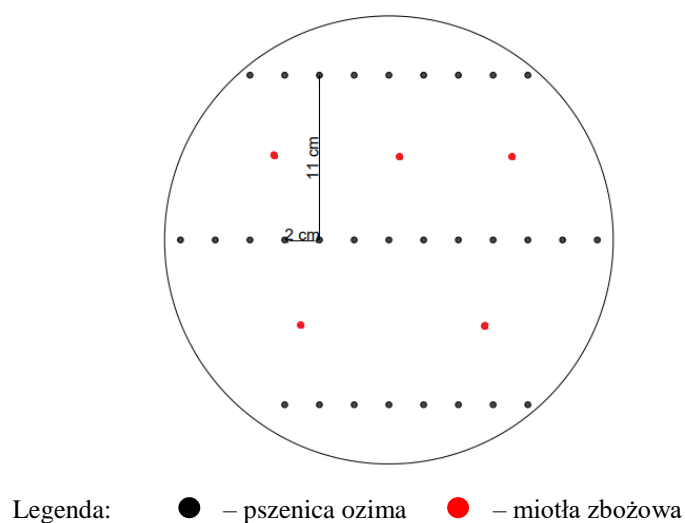
Szczegółową charakterystykę wybranych właściwości fizyko-chemicznych obu substratów glebowych wykorzystywanych w doświadczeniu przedstawiono w rozdziale 4.5. na stronie 49.

3. Poziom nawożenia azotowego rośliny uprawnej:

- bez nawożenia (a0);
- z nawożeniem, w dawce zalecanej dla pszenicy ozimej odm. Arkadia (a1).

Plastikowe wazon, o pojemności 18 litrów (średnica górna 31 cm, średnica dolna 25 cm, wysokość 27 cm) wypełniono świeżą warstwą orną jednego z dwóch substratów glebowych, zgodnie z układem doświadczenia (rycina 4). Wazon, umieszczono, na terenie niezadaszonym, z dostępem wody opadowej i naturalną cyrkulacją powietrza, zabezpieczonym siatką ogrodową. Obiekty badawcze ustawiono w trzech rzędach i odpowiednio oznaczono. Glebę przesiano przez sito o średnicy oczek 0,5 cm, w celu usunięcia kamieni i resztek roślinnych. W wytypowanych do nawożenia obiektach, zaaplikowano przedsięwzięcie nawóz azotowy Polifoska M (NPK(MgS) 5-16-24-(4-7)) w dawce 2,26 g na wazon (równoważnej 300 kg na 1 ha) zalecanej dla pszenicy odm. Arkadia. Nawóz wymieszano z glebą i do tak przygotowanego podłoża wysiano rośliny testowe. Rośliny wysiano w wazonach zgodnie z addytywnym modelem konkurencyjności [Rudnicki i Jaskulski, 2006], w optymalnym agrotechnicznym terminie siewu pszenicy ozimej: 29.09.2018 r. i 28.09.2019 r. Wysiew pszenicy i chwastu przeprowadzono tego samego dnia. Ziarniki pszenicy ozimej wysiano punktowo zgodnie z optymalną obsadą podaną przez hodowcę (375 szt. na 1 m kw.), na głębokość 2 – 3 cm. Ziarniki miotły zbożowej wysiano w międzyrzędzia rośliny uprawnej, punktowo, na głębokość ok. 0,5 cm. Ostateczna obsada roślin w wazonie została ustalona po ruszeniu wiosennej wegetacji i wynosiła w przypadku pszenicy ozimej 30 sztuk,

a w przypadku miotły zbożowej 5 sztuk. W każdym wazonie znajdowały się rośliny pszenicy ozimej oraz jeden biotyp miotły zbożowej. Obiekt kontrolny w doświadczeniu stanowiły wazony wypełnione odpowiednią glebą o poziomie nawożenia a0 lub a1 i obsiane jedynie pszenicą ozimą. Schemat wysiewu roślin w wazonie przedstawiono na rycinie 5. Kolejne dwie dawki nawożenia azotowego zostały zaaplikowane po ruszeniu wiosennej wegetacji i w fazie strzelania w źdźbło pszenicy ozimej (BBCH 31 – 33). Zastosowano saletrę amonową 34N w dawkach po 0,95 g na każdy wazon (równoważną 250 kg na 1 ha).



Rycina 5. Schemat punktowego wysiewu ziarniaków roślin testowych w wazonach w przypadku addytywnego modelu konkurencyjności [opracowanie: Jop B.]

W trakcie sezonu wegetacyjnego zapewniono prawidłowy wzrost i rozwój roślin testowych, poprzez ręczne usuwanie niepożądanego zachwaszczenia. Rokrocznie, w fazie kłoszenia (BBCH 51 – 59) oraz kwitnienia pszenicy ozimej (BBCH 61 – 69) zaobserwowano występowanie mszycy zbożowej, stąd zaaplikowano insektycyd deltametrynę (Decis Mega 50 EW, Bayer). Chorób grzybowych oraz innych szkodników nie odnotowano. W przypadku wystąpienia suszy zapewniono ręczne nawadnianie gleby. Nawadnianie zastosowano, kiedy substrat glebowy w wazonie przestał zwięźle przylegać do obrzeży, a rośliny wykazywały objawy wędnięcia. Do każdego wazonu aplikowano za pomocą konewki taką ilość wody, która pozwoliła na spulchnienie podłoża i ponowne jego przyleganie do ścianek wazonu. Nawadniania kontynuowano w odstępach 5 – 7 dniowych, aż do wystąpienia opadów atmosferycznych w I dekadzie maja.

4.3. Analizy morfologiczne i biometryczne pszenicy ozimej i miotły zbożowej w eksperymentach konkurencyjności

W trakcie każdego sezonu wegetacyjnego, w obu doświadczeniach wazonowych, prowadzono obserwacje faz fitofenologicznych (rozwojowych) roślin pszenicy ozimej i miotły zbożowej, wyrażonych skalą BBCH (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie) [Bleinholder i in., 1997]. Obserwacje rozpoczęto od momentu odnotowania wschodów u jednego z testowanych gatunków/biotypów. Za rozpoczęcie wschodów przyjęto dzień wydobycia się z pochwki liściowej na powierzchnię gleby pierwszego liścia u pierwszej rośliny reprezentującej dany gatunek/biotyp (BBCH 10). Pomiary faz fitofenologicznych prowadzono w podziale na okres jesiennej oraz wiosennej wegetacji. Okres jesiennej wegetacji obejmował dni pomiędzy terminem siewu a końcem listopada, który przyjęto za początek okresu zimowego spoczynku roślin. Okres wiosennej wegetacji obejmował dni pomiędzy zauważalnym wzrostem i rozwojem roślin na przełomie marca/kwietnia aż do momentu zbioru testowanych roślin, przed osypaniem się nasion chwastu. W początkowym okresie wegetacji roślin, tj. jesienią oraz wczesną wiosną, pomiary wykonywano co 5 dni. Od momentu wzmożonej wegetacji, kiedy przyrost biomasy roślinnej był widocznie szybszy, pomiarów dokonywano co 3 dni.

Ramy czasowe wykonywanych obserwacji faz fitofenologicznych w poszczególnych sezonach wegetacyjnych przedstawiono poniżej:

1) doświadczenie model substytucyjny:

- sezon wegetacyjny 2018/2019:
 - okres jesienny: od 04.10.2018 r. do 27.11.2018 r.;
 - okres wiosenny: od 08.04.2019 r. do 04.07.2019 r.;
- sezon wegetacyjny 2019/2020:
 - okres jesienny: od 16.10.2019 r. do 27.11.2019 r.;
 - okres wiosenny: od 19.03.2020 r. do 14.07.2020 r. dla miotły zbożowej oraz od 19.03.2020 r. do 21.07.2020 r. dla pszenicy ozimej.

2) doświadczenie model addytywny:

- sezon wegetacyjny 2018/2019:
 - okres jesienny: od 29.09.2018 r. do 27.11.2018 r.;
 - okres wiosenny: od 08.04.2019 r. do 14.07.2019 r. dla miotły zbożowej oraz od 08.04.2019 r. do 21.07.2019 r. dla pszenicy ozimej;

- sezon wegetacyjny 2019/2020:
 - okres jesienny: od 28.09.2019 r. do 27.11.2019 r.;
 - okres wiosenny: od 19.03.2020 r. do 14.07.2020 r. dla miotły zbożowej oraz od 19.03.2020r. do 21.07.2020 r. dla pszenicy ozimej.

W zależności od modelu doświadczenia, substytucyjnego lub addytywnego, przyjęto inny sposób oznaczania fazy rozwojowej roślin. W przypadku modelu substytucyjnego, gdzie w każdym z wazonów znajdowało się po 10 roślin, fazy fitofenologiczne oznaczano na indywidualnych roślinach. W przypadku modelu addytywnego, gdzie w każdym z wazonów znajdowało się po 30 roślin pszenicy ozimej i 5 roślin miotły zbożowej, dla rośliny uprawnej przyjęto wyznaczenie pełnej fazy fitofenologicznej przy 50% osobników znajdujących się w danej fazie. Z kolei dla chwastu fazy oznaczano indywidualnie dla każdego osobnika.

W fazie pełnej dojrzałości nasion miotły zbożowej (BBCH 89), przed ich osypaniem, rośliny zebrano i przewieziono do laboratorium Katedry Agroekologii i Produkcji Roślinnej, w celu dokonania pomiarów biometrycznych. Zbioru roślin dokonano 04.07.2019 r. oraz 14.07.2020 r. (miotła zbożowa) i 04.07.2019 r. oraz 21.07.2020 r. (pszenica ozima) – dla modelu substytucyjnego. W przypadku modelu addytywnego: 14.07.2019 r. oraz 14.07.2020 r. (miotła zbożowa), 21.07.2019 r. oraz 21.07.2020 r. (pszenica ozima). Zróżnicowany termin zbioru miotły zbożowej oraz pszenicy ozimej spowodowany był liczebnością materiału roślinnego koniecznego do przeanalizowania, szczególnie pod względem pomiarów świeżej biomasy. W pierwszej kolejności zebrano chwast, aby zapobiec osypywaniu się jego nasion. W przypadku substytucyjnego modelu konkurencji – z każdego wazonu zebrano wszystkie rośliny. W przypadku addytywnego modelu konkurencji – z każdego wazonu zebrano pięć roślin miotły zbożowej oraz dziesięć wybranych losowo roślin pszenicy ozimej. Wykaz pomiarów biometrycznych oraz elementów struktury plonu, jakim zostały poddane poszczególne rośliny w obu doświadczeniach wazonowych przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 6. Wykaz pomiarów biometrycznych oraz elementów struktury plonu wykonanych na roślinach pszenicy ozimej i miotły zbożowej (*Apera spica-venti* (L) P. Beauv.) testowanych w obu doświadczeniach wazonowych [opracowanie Jop B.]

| Pomiary biometryczne roślin |
|---|
| długość źdźbła [cm] |
| liczba źdźbeł i kłosów/wiech |
| liczba międzywęźli źdźbła |
| długość dokłosa[cm] |
| długość kłosa/wiechy [cm] |
| biomasa części nadziemnych [g na wazon] |
| biomasa części podziemnych [g na wazon] |
| Pomiary struktury plonu |
| masa kłosa/wiechy [g] |
| liczba ziaren/nasion z kłosa/wiechy |
| masa ziaren/nasion [g na wazon] |
| masa tysiąca ziaren [g] |

Pomiary roślin wykonano tuż po ich zebraniu. Długość poszczególnych części roślin mierzono przy użyciu linijki z podziałką milimetrową. Ze względu na parametry wielkościowe materiału nasiennego miotły zbożowej i jego wysoką liczebność, masę wiechy oszacowano poprzez podzielenie masy wiech zebranych z rośliny przez ich liczbę na danej roślinie. Pomiarów liczby ziaren miotły zbożowej dokonano natomiast poprzez podzielenie masy ziaren z rośliny przez wartość 0,0002 g, przyjętą jako szacunkową masę jednego ziarniaka miotły. Szacunkową masę jednego ziarniaka miotły wyznaczono odważając losowo pobrany 1,0000 g ziaren miotły zbożowej, a następnie dzieląc tą wartość przez zliczoną liczbę ziaren. W celu określenia masy korzeni przepłukano je pod bieżącą wodą, osuszono ręcznikiem papierowym, a następnie zważono. Bezwzględnie suchą masę części nadziemnych i korzeni roślin oraz ziarniaków pszenicy ozimej i miotły zbożowej oznaczono po wysuszeniu ich w suszarce laboratoryjnej, w temperaturze 105°C przez 8h. Masę ziaren oraz biomasa części nadziemnych i korzeni przeliczono następnie na masę normatywną, 15% wilgotności.

4.4. Metody opracowania wyników badań

4.4.1. Wskaźniki kiełkowania i analiza statystyczna wyników – eksperyment szalkowy

W oparciu o codzienne pomiary liczby skielkowanych ziarniaków miotły zbożowej wyznaczono krzywe przebiegu kiełkowania, osobno dla każdego z analizowanych sezonów – jesiennego oraz wiosennego – dla modelu temperaturowego 8–18–28°C. Za pomocą

niniejszych krzywych przedstawiono graficznie dynamikę kiełkowania analizowanego materiału roślinnego. Dodatkowo, na podstawie powyższych danych obliczono następujące wskaźniki kiełkowania, według metodyki opracowanej przez Kadera [2005]:

1) współczynnik FGP (ang. *Final Germination Percentage*) – końcowy procent kiełkowania, który odzwierciedla zdolność kiełkowania nasion w danej partii/populacji. Im wyższa wartość wskaźnika, tym wyższa zdolność kiełkowania nasion.

$$FGP = (\text{liczba nasion kiełkujących w danej partii nasion/wszystkie nasiona z partii}) \cdot 100 \quad [1]$$

2) współczynnik MGT (ang. *Mean Germination Time*) – średni czas kiełkowania nasion, który odzwierciedla dzień, w którym kiełkowała największa liczba nasion w danej partii/populacji. Im niższa wartość wskaźnika, tym wcześniej (szybciej) nasiona kiełkowały.

$$MGT = \Sigma f \cdot x / \Sigma f \quad [2]$$

gdzie, f – liczba nasion skiełkowanych w dniu x ;

3) współczynnik GRI (ang. *Germination Rate Index*) – wskaźnik szybkości kiełkowania (% skiełkowanych nasion dla każdego dnia eksperymentu) – który odzwierciedla dzienny procent kiełkowania nasion w danej partii/populacji. Im wyższa wartość wskaźnika, tym nasiona kiełkują szybciej i mają większą zdolność kiełkowania.

$$GRI = \frac{G_1}{1} + \frac{G_2}{2} + \dots + \frac{G_x}{x}, \quad [3]$$

gdzie,

G_1 – procent kiełkowania w pierwszym dniu po siewie $\cdot 100$,

G_2 – procent kiełkowania w drugim dniu po siewie $\cdot 100$,

G_x – procent kiełkowania w x dniu po siewie $\cdot 100$;

4) współczynnik CVG (ang. *Coefficient of Velocity of Germination*) – wskaźnik intensywności kiełkowania, który odzwierciedla czas potrzebny do osiągnięcia maksymalnego kiełkowania nasion w danej partii/populacji. Tym wyższy, im liczba kiełkujących nasion jest wyższa, a czas potrzebny na ich skiełkowanie maleje. Wskaźnik osiągnąłby wartość 100, gdyby w pierwszym dniu skiełkowały wszystkie nasiona.

$$CVG = N_1 + N_2 + \dots + N_x/100 \cdot N_1T_1 + \dots + N_xT_x \quad [4]$$

gdzie,

N – liczba nasion skielkowanych danego dnia,

T – liczba dni od wyłożenia na szalkę do skielkowania;

5) współczynnik GI (ang. *Germination Index*) – indeks kielkowania, który odzwierciedla zarówno procent kielkujących nasion w danej partii/populacji jak i tempo ich kielkowania. Jest zbliżony do współczynnika GRI, jednak przypisuje poszczególnym dniom kielkowania wagi, gdzie najwyższa waga występuje w pierwszym dniu kielkowania, a najniższa w ostatnim. Im wyższa wartość wskaźnika, tym wyższa zdolność i szybkość kielkowania nasion.

$$GI = (10 \cdot n1) + (9 \cdot n2) + \dots + (1 \cdot n10), \quad [5]$$

gdzie,

$n1, n2 \dots n10$ – liczba kielkujących ziarniaków w pierwszym, drugim i kolejnych dniach do dziesiątego dnia,

10, 9 ... i 1 – wagi odpowiadające liczbie kielkujących ziarniaków w pierwszym, drugim i kolejnych dniach kielkowania.

6) pierwszy dzień kielkowania FDG (ang. *First Day of Germination*) – pierwszy dzień kielkowania, który odzwierciedla jak szybko pojawiają się kielkujące nasiona w danej partii/populacji. Im niższy, tym szybciej nasiona kielkują.

Obliczone wskaźniki kielkowania testowanych ziarniaków miotły zbożowej poddano analizom statystycznym z wykorzystaniem programu STATISTICA 13.0.

Przeprowadzono dwuczynnikową (czynniki: temperatura kielkowania oraz biotyp miotły zbożowej) analizę wariancji dla układu całkowicie losowego. Wykonanie analizy wariancji poprzedzono testowaniem zgodności rozkładu empirycznego z rozkładem normalnym za pomocą testu normalności rozkładu Kołmogorowa-Smirnowa oraz testem jednorodności wariancji Levene'a [Domański, 2009]. W razie niespełnienia warunku jednorodności wariancji przeprowadzono logistyczną lub pierwiastkową transformację danych. Transformacji danych dokonano dla wskaźników:

- FGP na stopnie Bliss'a: $FGP = \arcsin(\sqrt{FGP/100})$ [6]

- oraz wskaźnika FDG funkcją tangens: $FDG = \tan(FDG)+4$ [7]

Średnie różnicowano testem NIR Fishera na poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Wyniki przeanalizowano w oparciu o opracowanie Kadera [2005], Lazima i Ramadhana [2019], Ranala i Santana [2006] oraz Ranala i in. [2009].

Analizę zmiennych kanonicznych zastosowano do wielowskaźnikowego przedstawienia zróżnicowania badanych biotypów. Graficzny rozkład biotypów miotły zbożowej (zmienna jakościowa), opisany współczynnikami kiełkowania (predyktor ilościowy), przedstawiono w układzie dwóch pierwszych zmiennych kanonicznych. Ponadto przeprowadzono analizę dyskryminacyjną, rozstrzygającą, które zmienne niezależne w najlepszy sposób dzielą dany zbiór przypadków na występujące w naturalny sposób grupy, opisane jakościową zmienną zależną. Analiza, z wyróżnieniem zakresów temperatury kiełkowania lub nie, została przeprowadzona dla wszystkich sześciu wskaźników kiełkowania. Analizę przeprowadzono w programie statystycznym GenStat 18.

Jako miarę podobieństwa pomiędzy biotypami miotły zbożowej zastosowano analizę odległości Mahalanobisa (MD), której istotność weryfikowana jest za pomocą wartości krytycznej D_{α} , określanej jako najmniejsza istotna odległość [Penny, 1996]. Odległość Mahalanobisa jest sposobem analizy relacji (podobieństwa) między zmiennymi: im niższa wartość MD, tym wyższa korelacja (podobieństwo) między daną parą biotypów miotły.

4.4.2. Wskaźniki konkurencyjności i analiza statystyczna wyników – substytucyjny model konkurencji

Na podstawie uzyskanych wyników przeprowadzono ocenę konkurencyjności biotypów miotły zbożowej względem pszenicy ozimej (obiekty podane poniżej są zgodnie z tabelą 5 na stronie 33):

- 1) analizę konkurencyjności pszenicy ozimej względem biotypu odpornego miotły zbożowej przeprowadzono w oparciu o obiekty 1 – 5;
- 2) analizę konkurencyjności pszenicy ozimej względem biotypu wrażliwego miotły zbożowej przeprowadzono w oparciu o obiekty 7 – 11.

Analizy konkurencyjności [Radosevich, 1987] obejmowały wyliczenie:

- **względnej wartości badanej cechy każdego z komponentów (RY):**

$$RY_a = RY_{ab}/RY_{aa} \quad [8]$$

$$RY_b = RY_{ba}/RY_{bb} \quad [9]$$

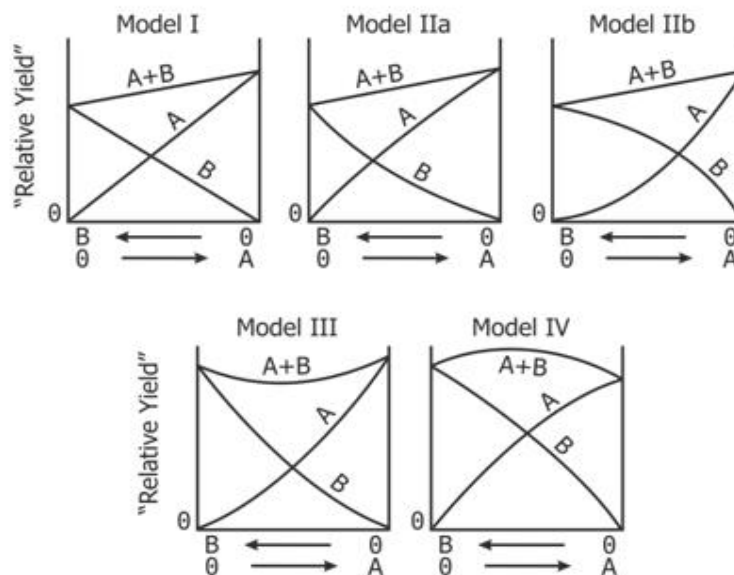
gdzie, RY_a/RY_b – względna wartość badanej cechy dla gatunku a/b; ab/ba – gatunki w mieszance; aa/bb – gatunki w siewie czystym;

- całkowitej względnej wartości badanej cechy obu komponentów (TRY):

$$TRY = RY_a + RY_b \quad [10]$$

gdzie, TRY – całkowita względna wartość badanej cechy obu komponentów.

Analizy powyższych współczynników, dla wybranych parametrów roślin, przedstawiono w postaci wykresów i dopasowano do jednego z pięciu substytucyjnych modeli konkurencji według Radosevicha [1987], przedstawionych na rycinie 6. Modele dopasowano przy użyciu testu t-Studenta na poziomie istotności $p < 0,05$ [da Costa i Rizzardi, 2015] w programie Statistica 13.0. Jeśli RY jest linią prostą, oznacza to brak konkurencji między komponentami mieszanki. Wypukła linia RY wskazuje na większą konkurencyjność komponentu, z kolei linia wklęsła oznacza jego mniejszą konkurencyjność. Jeśli $TRY A + B$ równa się 1 (pozioma linia prosta), oznacza to, że obydwa gatunki/komponenty konkurują o te same zasoby. Z kolei, wypukła linia TRY (większa niż 1), oznacza brak konkurencji w mieszance. Jeśli linia $TRY A + B$ jest wklęsła (mniej niż 1), istnieje antagonizm pomiędzy komponentami mieszanki, skutkujący wzajemną stratą [Hoffman i Buhler, 2002].



Rycina 6. Modele konkurencji dla eksperymentów serii substytucyjnej. Oś pionowa przedstawia względne wartości mierzonego parametru, podczas gdy oś pozioma przedstawia proporcję (0 do 1) dwóch gatunków w mieszance [Radosevich, 1987]

W oparciu o pomiary faz fitofenologicznych roślin, wyrażone w skali BBCH, dokonano analizy przebiegu rozwoju poszczególnych gatunków testowanych roślin, w odniesieniu do konkurencji wewnątrzgatunkowej, jak i międzygatunkowej. W analizie uwzględniono również kluczowe terminy związane z wegetacją roślin, takie jak termin siewu, termin wschodu oraz termin zbioru roślin. Szczegółowy przebieg faz przedstawiono dla każdego okresu graficznie, w postaci spektra fitofenologicznego, uwzględniając najpierw przebieg rozwoju roślin w okresie wegetacji jesiennej, a następnie w okresie wegetacji wiosennej. Spektrum dla okresu jesiennego obejmowało rozwój testowanych roślin od momentu siewu, aż do przejścia roślin w okres zimowego spoczynku (koniec listopada). Spektrum dla okresu wiosennego obejmowało rozwój roślin w najintensywniejszym momencie, od ruszenia wegetacji wiosennej aż do fazy rozwojowej, po której nastąpiło względne wyrównanie rozwoju roślin w poszczególnych obiektach badawczych. W każdym z sezonów wegetacyjnych analizowane były różne biotypy odporne mitoty zbożowej, w związku z czym otrzymane wyniki nie zostały potraktowane jako następujące po sobie serie. Niniejsze wyniki ze specyfiki projektu badawczego BIOSTRATEG „Strategia przeciwdziałania uodparnianiu się chwastów na herbicydy jako istotny czynnik zapewnienia zrównoważonego rozwoju agroekosystemu”.

Spektra fitofenologiczne zestawiono, w zależności od proporcji konkurujących ze sobą gatunków, w następujących konfiguracjach:

- pszenica ozima w konkurencji z miotłą zbożową biotypem odpornym (R),
- pszenica ozima w konkurencji z miotłą zbożową biotypem wrażliwym (S).

Spektrum fitofenologiczne, w postaci wykresu warstwowego, prezentuje czas trwania (oś X) odnotowanych w trakcie badań faz rozwojowych roślin testowych, w zależności od ich konfiguracji w wazonie. Oś Y wskazuje procentowy udział roślin danego gatunku w określonej fazie BBCH, oznaczonej odpowiednim kolorem. Opis kodów faz fitofenologicznych obserwowanych podczas rozwoju roślin testowych w doświadczeniach wazonowych, wyrażonych w skali BBCH, zamieszczono w tabeli 45 na stronie 190.

4.4.3. Wskaźniki konkurencyjności i analiza statystyczna wyników – addytywny model konkurencji

W oparciu o pomiary faz fitofenologicznych roślin, analogicznie jak w eksperymencie z substytucyjnym modelem konkurencyjności (omówionym w rozdziale 4.4.2.) analizowano przebieg rozwoju poszczególnych gatunków testowanych roślin, wyrażony w skali BBCH.

Spektra fitofenologiczne zestawiono, w zależności od zastosowanego w wazonach substratu glebowego oraz poziomu nawożenia, w następujących konfiguracjach:

- gleba lekka, poziom nawożenia a0;
- gleba lekka, poziom nawożenia a1;
- gleba ciężka, poziom nawożenia a0;
- gleba ciężka, poziom nawożenia a1.

Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów morfologicznych i biometrycznych roślin testowych oraz analizy elementów struktury plonu przeprowadzono ocenę konkurencyjności chwastów względem rośliny uprawnej, w oparciu o wybrane wskaźniki konkurencyjności wg Rudnickiego i Jaskulskiego [2006]:

1. Wskaźnik oddziaływania chwastów na cechy rośliny uprawnej – K_{cu} oceniający względną różnicę wielkości cechy [R] pojedynczej rośliny uprawnej (np. liczba kłosów, długość kłosa) na obiekcie nie zachwaszczonym (b) i na obiekcie zachwaszczonym (a), zgodnie ze wzorem:

$$K_{cu} = (R_b - R_a) \cdot 100 / R_b (\%) \quad [11]$$

2. Wskaźnik wypierania rośliny uprawnej przez chwasty – K_{wu} oceniający względną różnicę obsady pędów [O] rośliny uprawnej na obiekcie nie zachwaszczonym (b) i na obiekcie zachwaszczonym (a), zgodnie ze wzorem:

$$K_{wu} = (O_b - O_a) \cdot 100 / O_b (\%) \quad [12]$$

3. Wskaźnik ograniczania produktywności rośliny uprawnej przez chwasty – K_{ou} oceniający względną różnicę ilości biomasy/plonu rośliny uprawnej [B] na obiekcie nie zachwaszczonym (b) i na obiekcie zachwaszczonym (a), zgodnie ze wzorem:

$$K_{ou} = (B_b - B_a) \cdot 100 / B_b (\%) \quad [13]$$

Wymienione powyżej wskaźniki pozwalają względnie ocenić skutki konkurencyjnego oddziaływania chwastów na roślinę uprawną poprzez wyrażanie za pomocą wartości procentowej stopnia redukcji analizowanej cechy rośliny uprawnej w łanie zachwaszczonym, w odniesieniu do obiektu kontrolnego, w którym roślina uprawna wegetuje bez chwastów. Im wyższa jest dodatnia wartość procentowa danego wskaźnika, tym zachodzi względnie

silniejsza konkurencja chwastów wobec rośliny uprawnej. Zerowa lub bliska zeru ($< 0,5$) procentowa wartość wskaźnika świadczy o braku względnej konkurencji pomiędzy roślinami w badanej agrofitycenozie. Ujemna procentowa wartość wskaźnika wskazuje na względnie stymulujący wpływ chwastów na ocenianą cechę rośliny uprawnej [Rudnicki i Jaskulski, 2006]. Analizy względnej konkurencyjności biotypów S i R miotły zbożowej na pszenicę ozimą dokonano w oparciu o średnie arytmetyczne wartości danego wskaźnika, wyliczone dla analizowanych obiektów badawczych [Rudnicki i Jaskulski, 2006]. Następnie średnie wartości wskaźników poddano analizie skupień, w której uwzględniono wszystkie wskaźniki badane w danej serii doświadczenia. Skupienia utworzono z zastosowaniem metody Warda [1963], a wyniki przedstawiono graficznie, w postaci diagramu drzewa (dendrogramu). Analizę wykonano w programie Statistica 13.0. W celu ustalenia związku pomiędzy badanymi wskaźnikami a typem rośliny, gleby oraz nawożenia, wykonano analizę głównych składowych (PCA) w programie R (wersja 3.6.1) [R Core Team, 2019]. Do graficznej prezentacji wyników analizy w postaci wykresu typu biplot wykorzystano pakiet ggfortify (wersja 0.4.9) [Tang i in., 2016].

4.5. Charakterystyka fizyko-chemiczna gleb

Substraty gleby lekkiej oraz ciężkiej, wykorzystywane w doświadczeniach wazonowych, zostały poddane analizie fizyko-chemicznej w Okręgowej Stacji Chemiczno-Rolniczej w Krakowie. Próby gleb do analiz pobrano bezpośrednio z wazonów do sterylnych, plastikowych woreczków strunowych o pojemności 1 kg, przed zastosowaniem nawożenia azotowego oraz siewem roślin testowych. Następnie glebę wysuszono w temperaturze pokojowej oraz naważono ponownie do plastikowych woreczków strunowych 0,5 kg próby, które zostały przesłane do analiz laboratoryjnych. Wybrane parametry analizy fizyko-chemicznej gleb przedstawiono w tabeli 7. Analizy składu granulometrycznego poszczególnych substratów glebowych dokonano przy wykorzystaniu laserowego miernika cząstek. Odczyn pH w KCl sprawdzono metodą potencjometryczną (PN-ISO 10390:1997). Analizy składników pokarmowych dokonano przy wykorzystaniu: dla fosforu - metody kolorymetrycznej (PN-R-04023:1996), dla potasu – metody fotometrii płomieniowej (PN-R-04022:1996+Az1), dla magnezu – metody FAAS (PN-R-04020:1994+Az1:2004 z wył. pkt 3), dla azotu ogólnego – metody miareczkowej (PB17 ed.4).

Tabela 7. Wybrane właściwości fizyko-chemiczne substratów glebowych, wykorzystywanych w doświadczeniach wazonowych [opracowanie Jop B.]

| Skład granulometryczny substratu glebowego | | | | | | |
|--|-------------------|-----------------------|--|--|------------------------------|------------------------------|
| rodzaj substratu glebowego | sezon wegetacyjny | zawartość frakcji w % | | | | klasyfikacja PTG 2008 |
| | | < 2 μm | 2-20 μm | 20-50 μm | 50-2000 μm | |
| GC ^{AS} | 2018/2019 | 5,8 | 28,3 | 29,6 | 36,4 | pył gliniasty |
| GC ^{AS} | 2019/2020 | 5,0 | 26,9 | 28,2 | 40,0 | pył gliniasty |
| GL ^A | 2018/2019 | 1,7 | 10,2 | 9,2 | 78,9 | piasek gliniasty |
| GL ^A | 2019/2020 | 1,6 | 9,8 | 10,5 | 78,5 | piasek gliniasty |
| Właściwości fizyko-chemiczne substratu glebowego | | | | | | |
| rodzaj substratu glebowego | sezon wegetacyjny | pH w KCL | zawartość fosforu P ₂ O ₅ [mg/100 g] | zawartość potasu K ₂ O [mg/100 g] | zawartość magnezu [mg/100 g] | zawartość azotu ogólnego [%] |
| GC ^{AS} | 2018/2019 | 6,7 | 9,1 | 15,8 | 5,9 | 0,10 |
| GC ^{AS} | 2019/2020 | 6,3 | 13,0 | 15,5 | 6,7 | 0,08 |
| GL ^A | 2018/2019 | 5,4 | 13,8 | 9,5 | 2,5 | 0,07 |
| GL ^A | 2019/2020 | 5,4 | 15,0 | 9,5 | 2,9 | 0,06 |

Legenda: GC – substrat gleby ciężkiej, GL – substrat gleby lekkiej, A – eksperyment wazonowy w układzie addytywnym, S – eksperyment wazonowy w układzie substytucyjnym

Substrat gleby lekkiej, wykorzystywany do doświadczeń w addytywnym eksperymencie wazonowym sklasyfikowano jako glebę brunatną właściwą o uziarnieniu piasku gliniastego, który zaliczany jest zgodnie z kategoriami ciężkości agrotechnicznej gleb do gleb lekkich [GEOMAŁOPOLSKA, 2023; PTG, 2009]. Kompleks glebowo-rolniczy: pszenny wadliwy [GEOMAŁOPOLSKA, 2023]. Niniejszy substrat, o kwaśnym odczynie, w obu sezonach wegetacyjnych charakteryzował się wyższą zawartością fosforu niż substrat gleby ciężkiej, przy czym wyższą zawartość odnotowano dla substratu wykorzystywanego w sezonie wegetacyjnym 2019/2020 (15 mg/100 g gleby). Wykazywał jednak niższe zawartości potasu (9,5 mg/100 g gleby) oraz magnezu (2,5 – 2,9 mg/100g gleby). Z kolei substrat gleby ciężkiej, wykorzystywany w obu doświadczeniach wazonowych, sklasyfikowano jako glebę brunatną właściwą o uziarnieniu pyłu gliniastego, który zaliczany jest zgodnie z kategoriami ciężkości agrotechnicznej gleb do gleb średnich [GEOMAŁOPOLSKA, 2023; PTG, 2009]. Kompleks glebowo-rolniczy: żytni dobry [GEOMAŁOPOLSKA, 2023]. Niniejszy substrat, o odczynie wahającym się między lekko kwaśnym a obojętnym, charakteryzował się niższą zawartością fosforu, szczególnie w sezonie wegetacyjnym 2018/2019 (9,1 mg/100 g gleby). Wartości

potasu i magnezu oznaczone dla substratu gleby ciężkiej były wyższe, niż dla substratu gleby lekkiej, w obu sezonach wegetacyjnych. Niezależnie od substratu, zawartość azotu ogólnego była zbliżona i wynosiła 0,6 – 1,0 %.

4.6. Przebieg warunków pogodowych w czasie trwania doświadczeń wazonowych

Podczas przeprowadzania doświadczeń wazonowych zebrano dane dotyczące warunków pogodowych, takich jak temperatura oraz opady atmosferyczne. Dane pozyskano z pobliskich stacji meteorologicznych:

- dla sezonu wegetacyjnego 2018/2019 ze stacji Mydlniki k. Krakowa;
- dla sezonu wegetacyjnego 2019/2020 ze stacji ze stacji Mydlniki k. Krakowa – rok 2019 oraz, wskutek awarii stacji w Mydlnikach, IMGW Kraków – Balice – rok 2020 (tabela 8). Powyższe stacje meteorologiczne zlokalizowane są od siebie w odległości ok. 4 km.

Wszystkie dane meteorologiczne uzyskane w trakcie eksperymentu porównano do wielolecia 1961–1990 dla stacji Mydlniki, najbliższej której zlokalizowane były oba doświadczenia wazonowe.

Spośród obu sezonów wegetacyjnych, w których dokonywano obserwacji, cieplejszy był sezon 2019/2020. Średnia roczna temperatura w tym okresie była wyższa aż o 2°C w porównaniu do wielolecia oraz o 0,2°C wyższa w porównaniu do sezonu 2018/2019. Temperatura w miesiącach wrzesień – listopad, w przypadku obu okresów badawczych, była zbliżona i nie spadła poniżej zera, a jej wartości były porównywalne do danych wieloletnich. Takie warunki temperaturowe pozwoliły większości testowanych roślin na rozkrzewienie się i osiągnięcie odpowiedniej do przezimowania fazy wegetacyjnej. Łagodne temperatury w okresie spoczynku zimowego roślin nie wpłynęły negatywnie na ich obsadę, jednak, z uwagi na występowanie jedynie niewielkiej pokrywy śnieżnej lub jej całkowity brak, zaobserwowano uszkodzenia niektórych roślin w postaci wysmalania szczytów liści przez wiatr, szczególnie w drugim z badanych okresów. Najniższą temperaturę podczas badań odnotowano w lutym 2019 roku, średnio o 1,1°C niżej w porównaniu do wielolecia. Z kolei w lutym 2020 roku, odnotowana średnia temperatura wynosiła zaledwie -0,5°C i była wyższa od średniej wieloletniej o 1,1°C. W trakcie ruszenia wiosennej wegetacji roślin, w marcu 2020 roku, odnotowano średnią temperaturę powietrza na poziomie aż 9,3°C, która w porównaniu do okresu 1961–1990 była prawie czterokrotnie wyższa. Tak wysoka temperatura, wraz z niską sumą opadów, wynoszącą jedynie 15 mm, wpłynęła niekorzystnie na rozwój testowanych roślin i spowodowała konieczność sztucznego nawadniania obu doświadczeń wazonowych. W porównaniu do danych wieloletnich jest to spadek sumy opadów o prawie

50%. Najniższe sumy opadów odnotowano w kwietniu 2020 roku (na poziomie 8,1 mm) i była to wartość niższa o 39,9 mm w porównaniu do wielolecia i o 69 mm niższa w porównaniu do kwietnia 2019 roku. Najwyższą sumę opadów odnotowano w maju 2019 roku, na poziomie 207,6 mm i była ona wyższa o 124,6 mm w odniesieniu do okresu 1961–1990. Biorąc pod uwagę oba okresy badawcze, bardziej suchy okazał się sezon wegetacyjny 2019/2020, ze średnią roczną sumą opadów 573,2 mm. Jest to spadek wysokości opadów średnio o 112,8 mm w porównaniu do danych wieloletnich. Z kolei sezon wegetacyjny 2018/2019 okazał się wilgotniejszy, niż okres 1961–1990, ze średnią roczną sumą opadów wyższą o 65,9 mm.

Tabela 8. Wartości temperatur powietrza [°C] i opadów atmosferycznych [mm] według danych pozyskanych w poszczególnych sezonach wegetacyjnych ze stacji meteorologicznych [opracowanie Jop B.]

| Średnia temperatura powietrza [°C] | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|---------|
| Sezon wegetacyjny | IX | X | XI | XII | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | Średnia |
| 2018/2019 | 13,3 | 8,2 | 3,3 | -0,9 | -0,9 | -2,7 | 1,4 | 15,7 | 16,9 | 18,8 | 20,1 | 21,3 | 9,5 |
| 2019/2020 | 13,2 | 8,7 | 3,7 | -0,8 | -2,1 | -0,5 | 9,3 | 10,8 | 12 | 21 | 19,6 | 20,3 | 9,7 |
| 1961–1990 | 13,1 | 8,3 | 3,2 | -1,0 | -3,3 | -1,6 | 2,4 | 7,9 | 13,1 | 16,2 | 17,5 | 16,9 | 7,7 |
| Suma opadów atmosferycznych [mm] | | | | | | | | | | | | | |
| Sezon wegetacyjny | IX | X | XI | XII | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | Suma |
| 2018/2019 | 84,3 | 52,6 | 42,5 | 45,6 | 44,6 | 13,1 | 21,2 | 77,1 | 207,6 | 22,8 | 54,1 | 86,4 | 751,9 |
| 2019/2020 | 85,3 | 37,7 | 42,4 | 38,0 | 15,2 | 41,3 | 15 | 8,1 | 91,2 | 87,4 | 72,9 | 38,7 | 573,2 |
| 1961–1990 | 54,0 | 46,0 | 45,0 | 41,0 | 34,0 | 32,0 | 34,0 | 48,0 | 83,0 | 97,0 | 85,0 | 87,0 | 686,0 |

W oparciu o opracowane dane meteorologiczne (tabela 8) obliczono współczynnik hydrotermiczny Sieljaninowa K , dla poszczególnych sezonów wegetacyjnych. Niniejszy współczynnik łączy zarówno opady jak i temperaturę powietrza i pozwala na określenie zaopatrzenia roślin w wodę [Ziernicka-Wojtaszek i in., 2012]. Obliczany jest według wzoru:

$$K = \frac{P}{0,1\Sigma t} \quad [14]$$

gdzie,

P – suma średnich miesięcznych opadów w mm;

Σt – suma średnich dobowych temperatur powietrza $> 0^{\circ}\text{C}$.

W zależności od wartości współczynnika wyróżnia się sezony: umiarkowanie suche ($K < 1,3$), optymalne (wartości K w przedziale 1,3 – 1,6) i wilgotne ($K > 1,6$) [Dacko i in., 2016; Skowera i in., 2014; Synowiec i in., 2021; Ziernicka-Wojtaszek i in., 2012].

Obliczone wartości współczynnika K , z podziałem na poszczególne miesiące sezonu wegetacyjnego, przedstawiono w tabeli 9. Sezon wegetacyjny 2018/2019 sklasyfikowano jako wilgotny, za wyjątkiem miesiąca kwietnia – zaklasyfikowanego jako optymalny, oraz czerwca i lipca, zaklasyfikowanych jako suche. Wszystkie pozostałe miesiące sezonu wegetacyjnego były wilgotne. Sezon wegetacyjny 2019/2020 sklasyfikowano jako optymalny. W pierwszych miesiącach wiosennej wegetacji roślin (w marcu i kwietniu) wystąpiły okresy suche. Jako suchy zakwalifikowano również lipiec. Optymalne wartości współczynnika hydrotermicznego uzyskano w miesiącu październiku oraz czerwcu. Jako miesiące wilgotne określono wrzesień, listopad oraz maj.

Tabela 9. Wartości współczynnika hydrotermicznego K dla poszczególnych miesięcy w sezonach wegetacyjnych 2018/2019 i 2019/2020

| Miesiąc | Sezon wegetacyjny 2018/2019 | Sezon wegetacyjny 2019/2020 |
|----------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | Wartość współczynnika K | |
| IX | 2,1 | 2,2 |
| X | 2,1 | 1,4 |
| XI | 4,3 | 3,8 |
| XII | - | - |
| I | - | - |
| II | - | - |
| III | 4,9 | 0,5 |
| IV | 1,6 | 0,3 |
| V | 4,0 | 2,5 |
| VI | 0,4 | 1,4 |
| VII | 0,9 | 1,2 |
| Średnia | 2,5 | 1,6 |

5. Omówienie wyników

5.1. Kielkowanie biotypów miotły zbożowej

Parametry kielkowania badanych biotypów miotły zbożowej analizowano w oparciu o codzienny pomiar liczby skielkowanych ziarniaków (tabela 39 – 44 na stronach 184 – 189). Kielkowanie biotypów miotły zbożowej w sezonach jesiennym oraz wiosennym analizowano osobno. Poszczególne biotypy miotły zbożowej, w zależności od warunków termicznych panujących w komorze fitotronowej, różniły się między sobą zarówno czasem potrzebnym na skielkowanie jak również liczbą kielkujących w danym dniu ziarniaków. Oba wymienione parametry złożyły się na różnice w dynamice kielkowania ziarniaków.

5.1.1. Dynamika kielkowania – sezon jesienny

Przebieg dynamiki kielkowania testowanych biotypów miotły zbożowej w sezonie jesiennym, przy zastosowaniu modelu temperaturowego 8–18–28°C, przedstawia rycina 7.

W temperaturze 8°C, krzywe kielkowania miały kształt sigmoidalny (rycina 7A). Pierwsze ziarniaki kielkowały w drugim – trzecim dniu, z odsetkiem wynoszącym od 3,33% dla biotypów S3, BB-2, BB-3, AB-2 i AB-3 do 6,66% dla biotypu AB-1. W czwartym dniu obserwacji odnotowano wzrost liczby kielkujących ziarniaków, szczególnie widoczny dla biotypów S1 i BB-2 – 30,0% (10 ziarniaków), B-1 – 27,3% (11 ziarniaków), BB-3 – 21,4% (14 ziarniaków), AB-1 – 56,7% (17 ziarniaków). Ponad połowa testowanych biotypów skielkowała na poziomie 50,0% dopiero w szóstym dniu obserwacji. Ostateczny odsetek skielkowanych ziarniaków był wysoki. Najwyższą liczbę skielkowanych ziarniaków (28 sztuk = 93,33%) osiągnęły biotypy: B-2, BB-3 i AB-1. Najslabiej skielkował biotyp BB-1, z odpornością krzyżową, na poziomie 66,66% (20 ziarniaków).

W temperaturze 18°C krzywe kielkowania dla większości biotypów przyjmowały kształt logarytmiczny (rycina 7B). Ziarniaki każdego z biotypów kielkowały już w drugim dniu obserwacji, z odsetkiem wynoszącym od 6,66% dla biotypów S2 i S3 do 50,0% dla biotypu BB-2. W trzecim dniu obserwacji ponad połowa testowanych próbek osiągnęła już poziom kielkowania powyżej 50,0%, a biotyp BB-2 skielkował aż w 76,66% (23 ziarniaki). Ostateczny odsetek skielkowanych ziarniaków nie był jednak tak wysoki. Niskie wartości badanego czynnika na poziomie 50,0 – 66,66 % (15 – 20 ziarniaków) uzyskały biotypy S2, S3, B-3, B-4, AB-3, z czego najniższą biotyp B-3, z odpornością pojedynczą. Najwyższą liczbę skielkowanych ziarniaków (26 sztuk = 86,66%) osiągnął biotyp BB-2, z odpornością krzyżową.

W temperaturze 28°C krzywe kielkowania ponownie miały kształt sigmoidalny (rycina 7C). W drugim dniu obserwacji odnotowano kielkujące ziarniaki u każdego z biotypów,

z odsetkiem wynoszącym od 6,66% dla biotypów S2, S3, B-3, BB-1, BB-3 i AB-3 do 13,33% dla biotypów S-1, B-1 oraz AB-1. W trzecim dniu odsetek kiełkowania na poziomie ponad 50% osiągnęły jedynie biotypy S1, B-1, BB-2 i AB-1. Ponad połowa testowanych biotypów skiełkowała minimum w 50% dopiero w czwartym dniu obserwacji. Ostateczny odsetek skiełkowanych ziarniaków był wysoki. Najwyższą wartość osiągnęły biotypy B-1 i AB-1 (po 29 sztuk = 96,66%) oraz BB-2, na poziomie 90,0% (27 ziarniaków). Najślabiej skiełkowały biotypy wrażliwe S2 (18 sztuk = 60,0%) oraz S3 (20 sztuk = 66,66%).

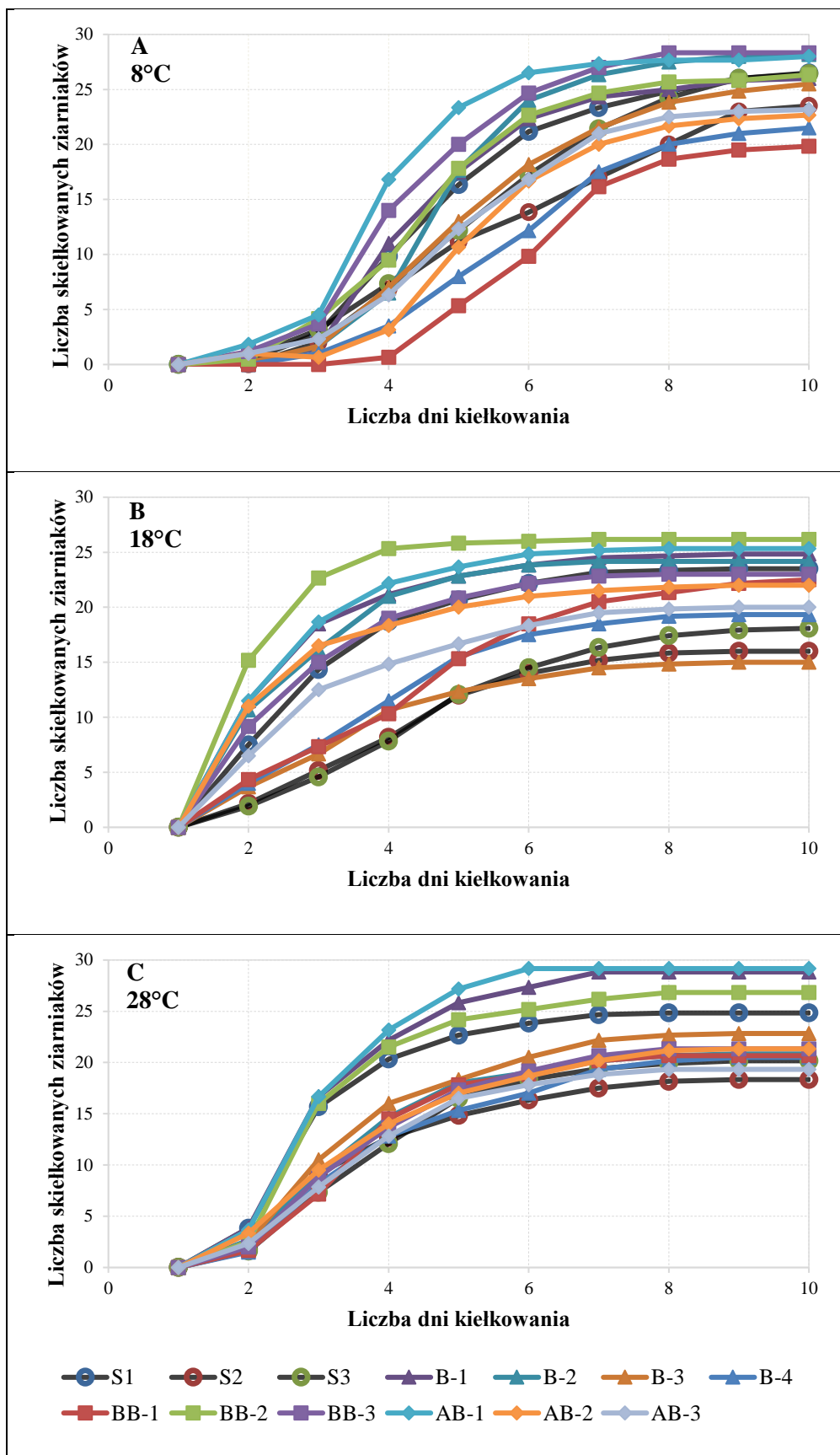
Analizując krzywe kiełkowania biotypów miotły zbożowej dla wszystkich testowanych temperatur w sezonie jesiennym (rycina 7), stwierdzono grupowanie się krzywych poszczególnych biotypów, związane z liczebnością kiełkujących ziarniaków. W temperaturze 8°C (rycina 7A) grupowanie zaobserwowano w czwartym – siódmym dniu kiełkowania. W dziesiątym dniu kiełkowania grupę biotypów kiełkujących słabiej stanowiły S2, B-4, BB-1, AB-2, AB-3. W temperaturze 18°C (rycina 7B) grupowanie obserwowano od drugiego dnia. W ostatnim dniu eksperymentu stwierdzono dwie grupy biotypów:

- I. biotypy kiełkujące intensywniej: S1, B-1, B-2, BB-1, BB-2, BB-3, AB-1, AB-2;
- II. biotypy kiełkujące słabiej: S2, S3, B-3, B-4, AB-3.

W temperaturze 28°C (rycina 7C) wyraźne grupowanie obserwowano w trzecim dniu kiełkowania. W dniu dziesiątym wydzieliły się dwie grupy biotypów:

- I. biotypy kiełkujące intensywniej: S1, B-1, BB-2, AB-1;
- II. biotypy kiełkujące słabiej: S2, S3, B-2, B-3, B-4, BB-1, BB-3, AB-2, AB-3.

Podsumowując, do grupy biotypów które charakteryzowały się wyższą dynamiką kiełkowania w sezonie jesiennym zaliczono biotyp S1 (wrażliwy), B-1 (odporność pojedyncza), BB-2 (odporność krzyżowa) i AB-1 (odporność wielokrotna). Z kolei niższa dynamika kiełkowania charakteryzowała biotyp S2 (wrażliwy), B-4 (odporność pojedyncza) oraz AB-3 (odporność wielokrotna).



Rycina 7. Dynamika kielkowania biotypów miotły zbożowej w serii jesiennej w trzech zakresach stałych temperatur 8°C(A), 18°C(B), 28°C(C). Legenda: S – biotypy wrażliwe; B – biotypy z odpornością pojedynczą; BB – biotypy z odpornością krzyżową; AB – biotypy z odpornością wielokrotną

5.1.2. Dynamika kiełkowania – sezon wiosenny

Przebieg dynamiki kiełkowania testowanych biotypów miotły zbożowej w sezonie wiosennym, przy zastosowaniu modelu temperaturowego 8–18–28°C, przedstawia rycina 8.

W temperaturze 8°C, krzywe kiełkowania miały kształt sigmoidalny (rycina 8A). Pierwsze ziarniaki kiełkowały w trzecim dniu, z odsetkiem wynoszącym od 3,33% dla biotypów S3, B-4, BB-2 i AB-1 do 20,0% dla biotypu BB-2. W czwartym dniu obserwacji odnotowano wzrost liczby kiełkujących ziarniaków, szczególnie widoczny dla biotypów BB-2 – 36,66% (11 ziarniaków), BB-3 – 46,66% (14 ziarniaków), AB-1 – 56,66% (17 ziarniaków). Z kolei biotyp BB-1 w czwartym dniu dopiero zaczął kiełkować (2 sztuki = 6,66%). Ponad połowa testowanych biotypów skiełkowała powyżej poziomu 50% dopiero w szóstym dniu obserwacji. Ostateczny odsetek skiełkowanych ziarniaków był wysoki. Najwyższą liczbę skiełkowanych ziarniaków osiągnęły biotypy BB-3 (28 sztuk = 93,33%) oraz B-2, BB-2 i AB (27 sztuk = 90,0%). Najślabiej skiełkowały biotypy B-4, BB-1 oraz AB-3 (21 sztuk = 70,0%).

W temperaturze 18°C krzywe kiełkowania dla większości biotypów przyjmowały kształt logarytmiczny, a tylko dla biotypu BB-1, S1 i S3 – sigmoidalny (rycina 8B). Już w drugim dniu obserwacji ziarniaki każdego z biotypów kiełkowały na poziomie od 3,33% dla biotypu BB-1 aż do 43,33% dla biotypu BB-2. W trzecim dniu obserwacji ponad połowa biotypów osiągnęła już poziom kiełkowania powyżej 50,0%, a biotyp BB-2 skiełkował aż w 70,0% (21 ziarniaków). Ostateczny odsetek skiełkowanych ziarniaków nie był jednak tak wysoki. Słabo skiełkowały biotypy S2, S3, B-3, B-4, AB-3 na poziomie 50,0 – 66,66 % (15 – 20 ziarniaków), z czego najślabiej biotyp B-3, z odpornością pojedynczą. Najwyższą liczbę skiełkowanych ziarniaków (27 sztuk = 90,0%) osiągnął biotyp AB-1, z odpornością wielokrotną.

W temperaturze 28°C krzywa kiełkowania ponownie miała kształt sigmoidalny (rycina 8C). W drugim dniu obserwacji odnotowano kiełkujące ziarniaki u każdego z biotypów, z odsetkiem wynoszącym od 3,33% dla biotypu S3 do 13,33% dla biotypów S-1, AB-1 oraz AB-2. W trzecim dniu odsetek kiełkowania na poziomie powyżej 50% osiągnęły jedynie biotypy B-1, BB-2 i AB-1. Ponad połowa biotypów skiełkowała minimum w 50% dopiero w czwartym dniu obserwacji. Ostateczny odsetek skiełkowanych ziarniaków był wysoki. Najwyższą liczbę skiełkowanych ziarniaków (28 sztuk = 93,33%) osiągnął biotyp AB-1, z odpornością wielokrotną. Wysoki odsetek badanej cechy uzyskał również biotyp B-1 i BB-2, na poziomie 90,00% (27 ziarniaków). Najślabiej skiełkowały biotypy wrażliwe S2 oraz S3 (19 sztuk = 63,33%).

Również w sezonie wiosennym obserwowano grupowanie się krzywych kiełkowania poszczególnych biotypów, tym wyraźniejsze im wyższa była temperatura kiełkowania. W temperaturze 8°C (rycina 8A) grupowanie było wyraźne w ostatnim dniu kiełkowania biotypów:

- I. biotypy kiełkujące intensywniej: S1, S3, B-1, B-2, B-3, BB-2, BB-3, AB-1;
- II. biotypy kiełkujące słabiej: S2, B-4, BB-1, AB-2, AB-3.

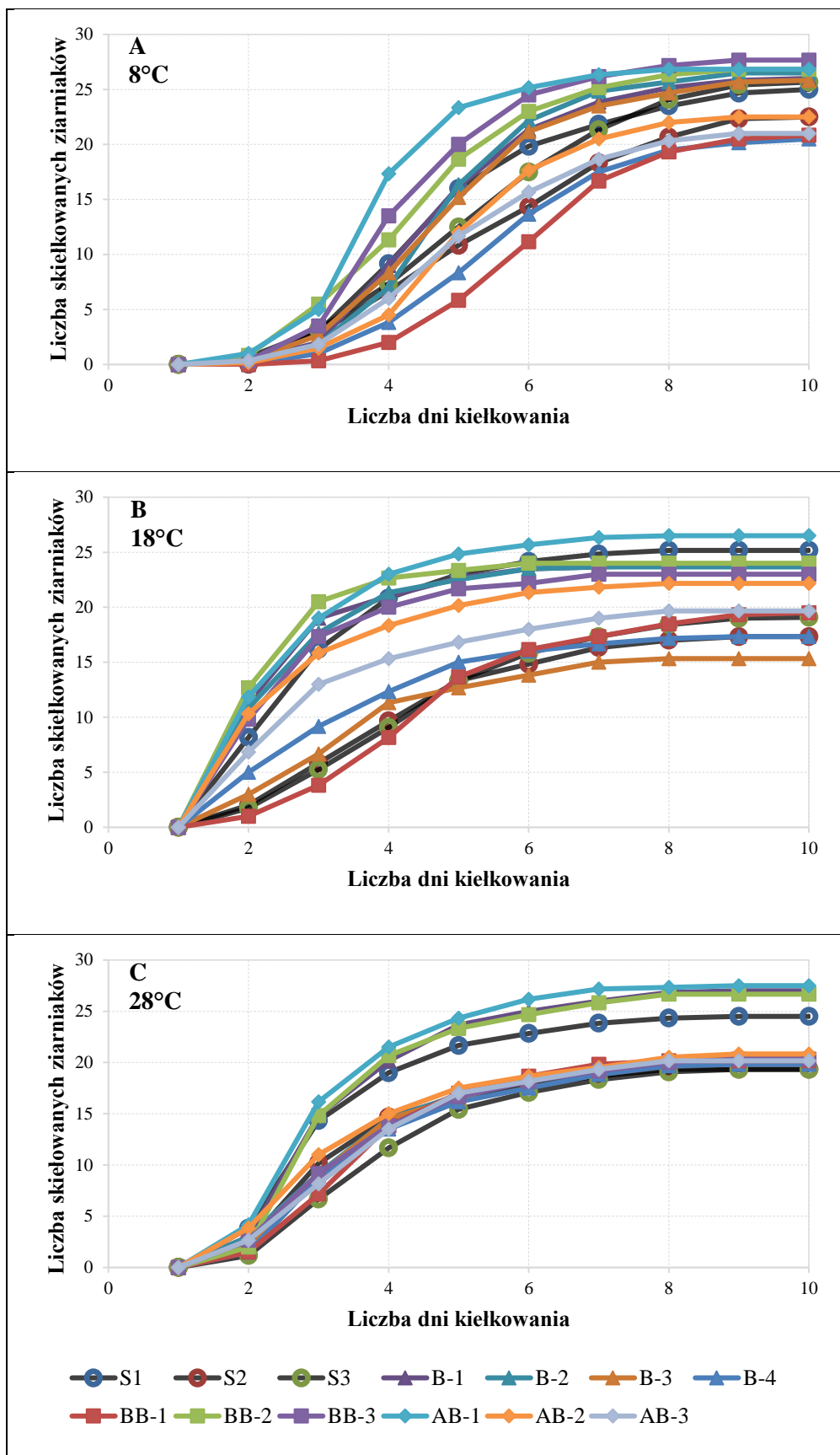
W temperaturze 18°C (rycina 8B) grupowanie kiełkowania obserwowano od drugiego dnia:

- I. biotypy kiełkujące intensywniej: S1, B-1, B-2, BB-1, BB-2, BB-3, AB-1, AB-2;
- II. biotypy kiełkujące słabiej: S2, S3, B-3, B-4, AB-3.

W przypadku kiełkowania testowanych biotypów miotły zbożowej w temperaturze 28°C (rycina 8C) wyraźne grupowanie obserwowano od trzeciego dnia:

- I. biotypy kiełkujące intensywniej: S1, B-1, BB-2, AB-1;
- II. biotypy kiełkujące słabiej: S2, S3, B-2, B-3, B-4, BB-1, BB-3, AB-2, AB-3.

Do grupy biotypów które charakteryzują się wyższą dynamiką kiełkowania w sezonie wiosennym zaliczono biotyp S1 (wrażliwy), B-1 (odporność pojedyncza), BB-2 (odporność krzyżowa) i AB-1 (odporność wielokrotna). Z kolei niższa dynamika kiełkowania charakteryzowała biotyp S2 (wrażliwy), B-4 (odporność pojedyncza) oraz AB-3 (odporność wielokrotna).



Rycina 8. Dynamika kiełkowania biotypów miotły zbożowej serii wiosennej w trzech zakresach stałych temperatur 8°C(A), 18°C(B), 28°C(C). Legenda: S – biotypy wrażliwe; B – biotypy z odpornością pojedynczą; BB – biotypy z odpornością krzyżową; AB – biotypy z odpornością wielokrotną

5.1.3. Wskaźniki kiełkowania – sezon jesienny

Analiza wariancji, przeprowadzona dla kiełkowania biotypów miotły zbożowej w serii jesiennej (tabela 10), wykazała wysoce istotne zróżnicowanie dla obu badanych czynników (temperatura i biotyp) i ich interakcji w przypadku wszystkich analizowanych wskaźników kiełkowania.

Wartość wskaźnika GRI (szybkość kiełkowania) odzwierciedla procent kiełkowania diaspor każdego dnia okresu kiełkowania. Im wyższe wartości wskaźnika tym wyższe i szybsze kiełkowanie diaspor. Najszybciej kiełkowały biotypy miotły zbożowej w temperaturze 18°C (tabela 11). Średnia szybkość kiełkowania biotypów w tej temperaturze wynosiła 7,31 i była o 30% wyższa niż w temperaturze 8°C, w której wskaźnik GRI był najniższy i wynosił 5,08. Spośród testowanych biotypów miotły, średnio najwyższe wartości badanego wskaźnika odnotowano dla biotypu AB-1 (8,54), zaś średnio najniższe dla biotypów BB-1 (4,55) i S-2 (4,60). Najwyższe wartości wskaźnika GRI odnotowano dla biotypu BB-2 (11,16) w temperaturze 18°C, a najniższe dla biotypu BB-1 (3,19) w temperaturze 8°C.

Wartość wskaźnika GI (indeks kiełkowania) odzwierciedla procent kiełkowania diaspor każdego dnia okresu kiełkowania. Przypisuje on wagi kiełkującym nasionom: największą kiełkującym pierwszego dnia, a najmniejszą kiełkującym ostatniego dnia eksperymentu. Najwyższy indeks kiełkowania biotypy miotły zbożowej osiągnęły w temperaturze 18°C, gdzie średnio GI biotypów wynosiło 160,60 (tabela 12). Najniższą średnią wartość badanego wskaźnika odnotowano w temperaturze 8°C (139,40) i była o 13% niższa od GI w 18°C. Spośród testowanych biotypów miotły, średnio najwyższe GI odnotowano dla biotypu AB-1 (202,90) i BB-2 (192,30), zaś średnio najniższe dla biotypów BB-1 (119,70) oraz S-2 (116,30). Najwyższą wartość indeksu kiełkowania odnotowano dla biotypu BB-2 (222,80) w temperaturze 18°C, a najniższą dla biotypu BB-1 (90,00) w temperaturze 8°C.

Wartość wskaźnika FGP (końcowy procent kiełkowania), określanego również jako wskaźnik zdolności kiełkowania, odzwierciedla procent kiełkowania diaspor w danej partii/populacji nasion w ostatnim dniu kiełkowania. Im wyższa wartość FGP, tym większa zdolność kiełkowania nasion. Najwyższy końcowy procent kiełkowania biotypy miotły zbożowej osiągnęły w temperaturze 8°C (tabela 13). Średnio FGP w tej temperaturze wynosiło 1,33 i było o 19% wyższe niż FGP w temperaturze 18°C (1,07). Spośród testowanych biotypów miotły, najwyższe średnie wartości FGP odnotowano dla biotypu AB-1 (1,41), zaś najniższe dla biotypów AB-3 (1,05) i S-2 (1,03). Najwyższe wartości wskaźnika FGP stwierdzono dla biotypu AB-1 (1,50) w temperaturze 8°C, a najniższe B-3 (0,81) w temperaturze 18°C.

Wartość wskaźnika MGT (średni czas kiełkowania), odzwierciedla miarę czasu potrzebnego na skielkowanie najwyższej liczby diaspor. Im niższa wartość MGT, tym szybciej kiełkuje dana partia/populacja nasion. Najniższy średni czas kiełkowania biotypy miotły zbożowej osiągnęły w temperaturze 18°C, gdzie średnia wartość tego wskaźnika wynosiła 3,65 (tabela 14). Najwyższy średni czas kiełkowania był o 33% wyższy i wynosił 5,49 w temperaturze 8°C. Spośród testowanych biotypów miotły, średnio najniższe wartości MGT wykazały biotypy AB-1 (3,69) oraz BB-2 (3,75). Z kolei średnio najwyższy MGT uzyskał biotyp BB-1 (5,27). Najszybszy średni czas kiełkowania osiągnął biotyp BB-2 (2,53) w temperaturze 18°C, najwolniejszy odnotowano dla biotypu BB-1 (6,44) w temperaturze 8°C.

Wartość wskaźnika CVG (wskaźnik intensywności/szybkości kiełkowania), odzwierciedla prędkość kiełkowania i jest odwrotnością wskaźnika MGT. Jego wartość wzrasta wraz ze wzrostem liczby kiełkujących nasion i skróceniem czasu potrzebnego na ich kiełkowanie, zatem im wyższa wartość wskaźnika CVG, tym intensywniej/szybciej kiełkują nasiona w danej partii/populacji. Najintensywniej kiełkowały biotypy miotły zbożowej w temperaturze 8°C, osiągając średnią wartość wskaźnika na poziomie 34,43 (tabela 15). Najmniejsza średnia wartość wskaźnika CVG została odnotowana w temperaturze 18°C, na poziomie 16,89. Tym samym intensywność kiełkowania spadła w niniejszej temperaturze aż o 51%. Spośród testowanych biotypów miotły, średnio najwyższy CVG wykazały biotypy AB-1 (28,78) oraz B-1 (28,15). Średnio najniższe wartości wskaźnika CVG odnotowano w przypadku biotypów AB-3 (19,90) i S2 (19,77). Najwyższą wartość wskaźnika CVG osiągnął biotyp B-2 (42,34) w temperaturze 8°C. Najmniejszą intensywność kiełkowania odnotowano dla biotypu B-3 (8,57) w temperaturze 18°C.

Wartość wskaźnika FDG (pierwszego dnia kiełkowania) odzwierciedla szybkość pojawienia się pierwszych kiełkujących diaspor. Im niższa jego wartość, tym wcześniej rozpoczął się proces kiełkowania danej partii nasion. Biotypy miotły zbożowej najwcześniej kiełkowały w temperaturze 18°C, osiągając wskaźnik FDG na poziomie średnio 1,87 (tabela 16). Najpóźniej kiełkowanie odnotowano w 8°C, ze wskaźnikiem FDG na poziomie średnio 3,48. Spośród testowanych biotypów miotły, średnio najniższy FDG wykazał biotyp BB-2 (1,82), a średnio najwyższy – biotyp B-3 (3,01). Opóźnienie kiełkowania odnotowano dla biotypu B-3 (2,50) w temperaturze 18°C oraz dla biotypów BB-1 (2,50), S2 (2,50) oraz S3 (3,25) w temperaturze 28°C. Najpóźniej skielkowały biotypy AB-2 (4,72) i AB-3 (4,72) w 8°C.

Tabela 10. Średnie kwadraty z dwuczynnikowej analizy wariancji w układzie zrandomizowanym dla czynników temperatura kiełkowania i biotyp miotły zbożowej, wyliczone dla sześciu wskaźników kiełkowania w serii jesiennej

| Źródło zmienności | l.s.s. | GRI | GI | FGP | MGT | CVG | FDG |
|----------------------|--------|----------|------------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Temperatura | 2 | 99,78*** | 11333,8*** | 1,569*** | 75,053*** | 6627,8*** | 61,064*** |
| Biotyp | 12 | 36,31*** | 15729,9*** | 0,267*** | 4,38*** | 168,17*** | 2,2322*** |
| Temperatura x Biotyp | 24 | 7,60*** | 2427,7*** | 0,051*** | 0,914*** | 125,93*** | 2,2216*** |
| Błąd | 195 | 0,77 | 335,2 | 0,013 | 0,107 | 23,36 | 0,3893 |

*** $\alpha < 0,001$; l.s.s. – liczba stopni swobody

Legenda: GRI – wskaźnik szybkości kiełkowania, GI – indeks kiełkowania, FGP – końcowy procent kiełkowania, MGT – średni czas kiełkowania, CVG – wskaźnik intensywności kiełkowania, FDG – pierwszy dzień kiełkowania

Tabela 11. Wartości wskaźnika GRI (wskaźnik szybkości kiełkowania) biotypów miotły zbożowej o różnym poziomie odporności na herbicydy w zależności od temperatury kiełkowania w serii jesiennej (średnia ± odchylenie standardowe; w tabeli zaprezentowano średnią z dwóch serii, n = 6)

| Temp | 8C | | | 18C | | | 28C | | | 8-18-28C | | |
|----------------|-------------|--------------|----------|--------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|------------|-------|
| Biotyp | Średnia | s.d. | | Średnia | s.d. | | Średnia | s.d. | | Średnia | | s.d. |
| AB-1 | 6,77 | 0,548 | g | 9,93 | 1,698 | b | 8,93 | 0,446 | cde | 8,54 | A | 1,684 |
| AB-2 | 4,14 | 0,433 | pqr | 8,36 | 1,877 | def | 6,08 | 0,552 | ghij | 6,19 | D | 2,080 |
| AB-3 | 4,64 | 0,661 | lmnopq | 6,71 | 1,614 | g | 5,41 | 0,430 | ijkl | 5,59 | E | 1,311 |
| B-1 | 5,49 | 0,629 | hijkl | 9,39 | 0,653 | bc | 8,77 | 0,561 | cdef | 7,88 | B | 1,853 |
| B-2 | 5,60 | 0,334 | hijkl | 9,22 | 1,229 | bcd | 5,96 | 0,468 | ghij | 6,93 | C | 1,828 |
| B-3 | 4,92 | 0,270 | klmnop | 4,34 | 1,210 | nopq | 6,44 | 0,261 | gh | 5,23 | EF | 1,141 |
| B-4 | 3,79 | 0,689 | qr | 5,98 | 1,999 | ghij | 5,39 | 0,494 | jklm | 5,05 | EFG | 1,515 |
| BB-1 | 3,19 | 0,203 | r | 4,86 | 0,497 | klmnop | 5,59 | 0,825 | hijkl | 4,55 | G | 1,161 |
| BB-2 | 5,92 | 0,947 | ghij | 11,16 | 0,537 | a | 8,05 | 0,982 | ef | 8,38 | AB | 2,351 |
| BB-3 | 6,39 | 0,937 | ghi | 8,52 | 1,002 | cdef | 5,82 | 0,348 | ghijk | 6,91 | C | 1,420 |
| S1 | 5,53 | 0,599 | hijkl | 7,94 | 1,005 | ef | 7,83 | 0,692 | f | 7,10 | C | 1,360 |
| S2 | 4,40 | 0,310 | mnopq | 4,20 | 0,776 | opq | 5,19 | 1,038 | jklmno | 4,60 | G | 0,845 |
| S3 | 5,21 | 0,429 | jklmn | 4,38 | 0,763 | nopq | 5,33 | 0,784 | jklmn | 4,97 | FG | 0,771 |
| Średnia | 5,08 | 1,132 | Z | 7,31 | 2,567 | X | 6,52 | 1,451 | Y | | | |

LSD_{0,05} Temp: 0,277; Biotyp: 0,577; Temperatura x Biotyp: 0,999

Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, BB – biotypy z odpornością krzyżową, AB – biotypy z odpornością wielokrotną, temp – temperatura, s. d. – odchylenie standardowe, LSD – najmniejsza istotna różnica

Tabela 12. Wartości wskaźnika GI (indeks kiełkowania) biotypów miotły zbożowej o różnym poziomie odporności na herbicydy w zależności od temperatury kiełkowania w serii jesienniej (średnia \pm odchylenie standardowe; w tabeli zaprezentowano średnią z dwóch serii, n = 6)

| Temp | 8C | | | 18C | | | 28C | | | 8-18-28C | | |
|----------------|---------------|---------------|----------|---------------|---------------|----------|---------------|---------------|----------|---------------|-----------|--------|
| Biotyp | Średnia | s.d. | | Średnia | s.d. | | Średnia | s.d. | | Średnia | | s.d. |
| AB-1 | 182,80 | 12,610 | cde | 209,30 | 29,170 | ab | 216,50 | 8,550 | ab | 202,90 | A | 23,250 |
| AB-2 | 117,80 | 13,850 | mno | 174,50 | 32,100 | efg | 146,50 | 11,410 | hijkl | 146,30 | D | 31,060 |
| AB-3 | 127,80 | 14,730 | klmn | 148,20 | 32,630 | hijk | 134,20 | 9,350 | jklm | 136,70 | DE | 21,890 |
| B-1 | 153,70 | 14,940 | ghij | 196,70 | 13,130 | bc | 211,20 | 11,750 | ab | 187,20 | B | 28,070 |
| B-2 | 159,80 | 9,350 | fgh | 195,70 | 26,550 | bcd | 146,00 | 12,950 | hijkl | 167,20 | C | 27,320 |
| B-3 | 135,70 | 8,260 | jklm | 102,20 | 23,500 | op | 158,30 | 4,800 | fghi | 132,10 | E | 27,440 |
| B-4 | 104,70 | 21,110 | op | 137,80 | 40,640 | ijklm | 135,30 | 12,190 | jklm | 125,90 | EF | 30,020 |
| BB-1 | 90,00 | 5,290 | p | 127,00 | 11,920 | lmn | 142,20 | 17,800 | hijkl | 119,70 | F | 25,520 |
| BB-2 | 158,20 | 20,340 | fghi | 222,80 | 12,110 | a | 196,00 | 21,940 | bc | 192,30 | AB | 32,430 |
| BB-3 | 175,00 | 22,040 | def | 181,80 | 18,100 | cde | 145,70 | 8,310 | hijkl | 167,50 | C | 22,810 |
| S1 | 151,20 | 15,210 | hij | 176,80 | 21,220 | cdef | 185,50 | 13,610 | cde | 171,20 | C | 21,910 |
| S2 | 117,30 | 7,810 | mno | 104,50 | 18,440 | op | 127,20 | 22,880 | lmn | 116,30 | F | 19,050 |
| S3 | 138,70 | 10,100 | ijkl | 110,70 | 18,310 | nop | 135,50 | 15,720 | jklm | 128,30 | EF | 19,160 |
| Średnia | 139,40 | 29,640 | Y | 160,60 | 45,880 | X | 160,00 | 32,760 | X | | | |

LSD_{0,05} Temp: 5,782; Biotyp: 12,036; Temp x Biotyp: 20,848

Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, BB – biotypy z odpornością krzyżową, AB – biotypy z odpornością wielokrotną, temp – temperatura, s. d. – odchylenie standardowe, LSD – najmniejsza istotna różnica

Tabela 13. Wartości wskaźnika FGP (końcowy procent kiełkowania) biotypów miotły zbożowej o różnym poziomie odporności na herbicydy w zależności od temperatury kiełkowania w serii jesiennej (średnia ± odchylenie standardowe; w tabeli zaprezentowano średnią z dwóch serii, n = 6)

| Temp | 8C | | | 18C | | | 28C | | | 8-18-28C | | |
|----------------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|-----------|-------------|--------------|----------|-------------|-----------|--------------|
| Biotyp | Średnia | s.d. | | Średnia | s.d. | | Średnia | s.d. | | Średnia | s.d. | |
| AB-1 | 1,50 | 0,120 | a | 1,27 | 0,190 | defg | 1,45 | 0,132 | ab | 1,41 | A | 0,174 |
| AB-2 | 1,20 | 0,031 | ghi | 1,07 | 0,118 | ijklmnopq | 1,04 | 0,047 | mnopqr | 1,10 | D | 0,099 |
| AB-3 | 1,20 | 0,058 | ghi | 0,99 | 0,147 | pqrs | 0,96 | 0,029 | qrs | 1,05 | DE | 0,138 |
| B-1 | 1,38 | 0,101 | bc | 1,18 | 0,091 | ghij | 1,46 | 0,156 | ab | 1,33 | B | 0,160 |
| B-2 | 1,44 | 0,148 | ab | 1,16 | 0,215 | ghijkl | 1,03 | 0,078 | nopqr | 1,21 | C | 0,231 |
| B-3 | 1,36 | 0,174 | bcde | 0,81 | 0,096 | t | 1,10 | 0,061 | ijklmno | 1,09 | DE | 0,259 |
| B-4 | 1,17 | 0,049 | ghijk | 1,01 | 0,232 | opqr | 1,03 | 0,057 | nopqr | 1,07 | DE | 0,150 |
| BB-1 | 1,18 | 0,071 | ghij | 1,05 | 0,051 | lmnopqr | 1,04 | 0,072 | mnopqr | 1,09 | DE | 0,088 |
| BB-2 | 1,45 | 0,147 | ab | 1,26 | 0,158 | efg | 1,30 | 0,151 | cdef | 1,34 | AB | 0,165 |
| BB-3 | 1,46 | 0,122 | ab | 1,09 | 0,078 | ijklmnop | 1,06 | 0,051 | klmnopqr | 1,20 | C | 0,207 |
| S1 | 1,38 | 0,152 | bcd | 1,12 | 0,084 | ijklmn | 1,15 | 0,076 | hijklm | 1,22 | C | 0,157 |
| S2 | 1,24 | 0,065 | fgh | 0,89 | 0,066 | st | 0,96 | 0,107 | qrs | 1,03 | E | 0,172 |
| S3 | 1,39 | 0,119 | abc | 0,95 | 0,087 | rs | 0,99 | 0,067 | opqrs | 1,11 | D | 0,223 |
| Średnia | 1,33 | 0,157 | X | 1,07 | 0,182 | Z | 1,12 | 0,183 | Y | | | |

LSD_{0,05} Temp: 0,005; Biotyp: 0,07; Temp x Biotyp: 0,11

Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, BB – biotypy z odpornością krzyżową, AB – biotypy z odpornością wielokrotną, temp – temperatura, s. d. – odchylenie standardowe, LSD – najmniejsza istotna różnica

Tabela 14. Wartości wskaźnika MGT (średni czas kiełkowania) biotypów miotły zbożowej o różnym poziomie odporności na herbicydy w zależności od temperatury kiełkowania w serii jesiennej (średnia ± odchylenie standardowe; w tabeli zaprezentowano średnią z dwóch serii, n = 6)

| Temp | 8C | | | 18C | | | 28C | | | 8-18-28C | | |
|----------------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|-----------|-------|
| Biotyp | Średnia | s.d. | | Średnia | s.d. | | Średnia | s.d. | | Średnia | | s.d. |
| AB-1 | 4,47 | 0,191 | i | 3,01 | 0,389 | r | 3,58 | 0,060 | opq | 3,69 | F | 0,664 |
| AB-2 | 5,82 | 0,338 | bcd | 3,17 | 0,428 | qr | 4,13 | 0,406 | ijkl | 4,37 | C | 1,185 |
| AB-3 | 5,48 | 0,568 | def | 3,59 | 0,436 | opq | 4,06 | 0,155 | jklm | 4,38 | C | 0,920 |
| B-1 | 5,07 | 0,623 | gh | 3,08 | 0,193 | r | 3,68 | 0,225 | nop | 3,94 | DE | 0,939 |
| B-2 | 5,33 | 0,056 | efg | 2,95 | 0,175 | r | 3,97 | 0,253 | klmn | 4,08 | D | 1,015 |
| B-3 | 5,68 | 0,232 | cde | 3,98 | 0,368 | klmn | 4,07 | 0,099 | jklm | 4,57 | C | 0,840 |
| B-4 | 6,18 | 0,653 | ab | 3,90 | 0,342 | lmno | 4,39 | 0,229 | ij | 4,82 | B | 1,090 |
| BB-1 | 6,44 | 0,332 | a | 5,23 | 0,284 | fg | 4,13 | 0,230 | ijkl | 5,27 | A | 1,005 |
| BB-2 | 5,00 | 0,289 | gh | 2,53 | 0,211 | s | 3,71 | 0,213 | mnp | 3,75 | EF | 1,064 |
| BB-3 | 4,84 | 0,470 | h | 3,16 | 0,256 | qr | 4,16 | 0,231 | ijkl | 4,05 | D | 0,778 |
| S1 | 5,30 | 0,277 | fg | 3,49 | 0,335 | pq | 3,53 | 0,137 | opq | 4,10 | D | 0,902 |
| S2 | 5,99 | 0,285 | bc | 4,47 | 0,283 | i | 4,07 | 0,265 | jklm | 4,84 | B | 0,887 |
| S3 | 5,75 | 0,251 | cd | 4,85 | 0,533 | h | 4,29 | 0,294 | ijk | 4,97 | B | 0,714 |
| Średnia | 5,49 | 0,649 | X | 3,65 | 0,839 | Z | 3,98 | 0,339 | Y | | | |

LSD_{0,05} Temp: 0,1; Biotyp: 0,22; Temp x Biotyp: 0,37

Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, BB – biotypy z odpornością krzyżową, AB – biotypy z odpornością wielokrotną, temp – temperatura, s. d. – odchylenie standardowe, LSD – najmniejsza istotna różnica

Tabela 15. Wartości wskaźnika CVG (wskaźnik intensywności kiełkowania) biotypów miotły zbożowej o różnym poziomie odporności na herbicydy w zależności od temperatury kiełkowania w serii jesiennej (średnia \pm odchylenie standardowe; w tabeli zaprezentowano średnią z dwóch serii, n = 6)

| Temp | 8C | | | 18C | | | 28C | | | 8-18-28C | | |
|----------------|--------------|--------------|----------|--------------|--------------|----------|--------------|--------------|----------|--------------|------------|--------|
| Biotyp | Średnia | s.d. | | Średnia | s.d. | | Średnia | s.d. | | Średnia | | s.d. |
| AB-1 | 35,14 | 4,250 | bcd | 20,75 | 5,296 | ijk | 30,45 | 1,758 | defg | 28,78 | A | 7,248 |
| AB-2 | 29,80 | 1,497 | defg | 15,42 | 2,865 | klm | 18,89 | 3,361 | jkl | 21,37 | E | 6,794 |
| AB-3 | 29,48 | 4,323 | efg | 14,94 | 7,048 | lm | 15,27 | 2,692 | klm | 19,90 | E | 8,421 |
| B-1 | 34,73 | 8,851 | cde | 19,12 | 3,505 | jkl | 30,62 | 3,393 | defg | 28,15 | A | 8,732 |
| B-2 | 42,34 | 4,231 | a | 17,83 | 5,294 | jkl | 17,63 | 5,469 | jkl | 25,93 | ABC | 12,836 |
| B-3 | 37,01 | 4,173 | abc | 8,57 | 3,484 | n | 21,22 | 1,657 | ij | 22,27 | DE | 12,364 |
| B-4 | 28,35 | 2,850 | fg | 15,31 | 7,994 | klm | 18,70 | 4,674 | jkl | 20,79 | E | 7,741 |
| BB-1 | 25,77 | 6,873 | ghi | 25,44 | 4,273 | ghi | 17,71 | 3,151 | jkl | 22,97 | CDE | 6,070 |
| BB-2 | 34,86 | 6,271 | cde | 17,76 | 4,197 | jkl | 26,73 | 4,253 | gh | 26,45 | AB | 8,584 |
| BB-3 | 38,69 | 2,711 | abc | 16,95 | 2,260 | jkl | 19,15 | 3,990 | jkl | 24,93 | BCD | 10,458 |
| S1 | 37,41 | 6,498 | abc | 19,30 | 3,653 | jkl | 21,85 | 2,954 | hij | 26,19 | AB | 9,312 |
| S2 | 33,64 | 9,220 | cdef | 11,72 | 4,181 | mn | 13,95 | 4,335 | lmn | 19,77 | E | 11,763 |
| S3 | 40,39 | 6,840 | ab | 16,42 | 5,731 | jklm | 17,59 | 4,039 | jkl | 24,80 | BCD | 12,534 |
| Średnia | 34,43 | 7,107 | X | 16,89 | 5,992 | Z | 20,75 | 6,180 | Y | | | |

LSD_{0,05} Temp: 1,5; Biotyp: 3,2; Temp x Biotyp: 5,5

Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, BB – biotypy z odpornością krzyżową, AB – biotypy z odpornością wielokrotną, temp – temperatura, s. d. – odchylenie standardowe, LSD – najmniejsza istotna różnica

Tabela 16. Wartości wskaźnika FDG (pierwszy dzień kiełkowania) biotypów miotły zbożowej o różnym poziomie odporności na herbicydy w zależności od temperatury kiełkowania w serii jesiennej (średnia ± odchylenie standardowe; w tabeli zaprezentowano średnią z dwóch serii, n = 6)

| Temp | 8C | | | 18C | | | 28C | | | 8-18-28C | | |
|---------------------|--|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|------------|-------|
| Biotyp | Średnia | s.d. | | Średnia | s.d. | | Średnia | s.d. | | Średnia | | s.d. |
| AB-1 | 2,50 | 1,055 | de | 1,82 | 0,000 | e | 1,82 | 0,000 | e | 2,04 | EF | 0,661 |
| AB-2 | 4,72 | 0,672 | a | 1,82 | 0,000 | e | 1,82 | 0,000 | e | 2,79 | AB | 1,458 |
| AB-3 | 3,18 | 1,055 | cd | 1,82 | 0,000 | e | 1,82 | 0,000 | e | 2,27 | CDE | 0,874 |
| B-1 | 4,29 | 0,672 | ab | 1,82 | 0,000 | e | 1,82 | 0,000 | e | 2,64 | ABC | 1,255 |
| B-2 | 3,86 | 0,000 | bc | 1,82 | 0,000 | e | 1,82 | 0,000 | e | 2,50 | BCD | 0,991 |
| B-3 | 4,72 | 0,672 | a | 2,50 | 1,055 | de | 1,82 | 0,000 | e | 3,01 | A | 1,447 |
| B-4 | 4,29 | 0,672 | ab | 1,82 | 0,000 | e | 1,82 | 0,000 | e | 2,64 | ABC | 1,255 |
| BB-1 | 2,13 | 2,344 | e | 1,82 | 0,000 | e | 2,50 | 1,055 | de | 2,15 | DEF | 1,423 |
| BB-2 | 1,82 | 0,000 | e | 1,82 | 0,000 | e | 1,82 | 0,000 | e | 1,82 | F | 0,000 |
| BB-3 | 3,18 | 1,055 | cd | 1,82 | 0,000 | e | 1,82 | 0,000 | e | 2,27 | CDE | 0,874 |
| S1 | 3,18 | 1,055 | cd | 1,82 | 0,000 | e | 1,82 | 0,000 | e | 2,27 | CDE | 0,874 |
| S2 | 3,86 | 0,000 | bc | 1,82 | 0,000 | e | 2,50 | 1,055 | de | 2,72 | AB | 1,044 |
| S3 | 3,45 | 0,312 | c | 1,82 | 0,000 | e | 3,25 | 0,000 | c | 2,84 | AB | 0,770 |
| Średnia | 3,48 | 1,261 | X | 1,87 | 0,325 | Y | 2,03 | 0,575 | Y | | | |
| LSD _{0,05} | Temp: 0,2; Biotyp: 0,41; Temp x Biotyp: 0,71 | | | | | | | | | | | |

Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, BB – biotypy z odpornością krzyżową, AB – biotypy z odpornością wielokrotną, temp – temperatura, s. d. – odchylenie standardowe, LSD – najmniejsza istotna różnica

5.1.4. Wskaźniki kiełkowania – sezon wiosenny

Analiza wariancji, przeprowadzona dla serii wiosennej kiełkowania biotypów miotły zbożowej (tabela 17), wykazała wysoce istotne zróżnicowanie dla obu badanych czynników (temperatura i biotyp) i ich interakcji w przypadku prawie wszystkich analizowanych wskaźników kiełkowania, za wyjątkiem wskaźnika FDG (pierwszy dzień kiełkowania), w przypadku którego istotna różnica wystąpiła jedynie pomiędzy temperaturami kiełkowania.

W przypadku wskaźnika GRI, w serii wiosennej, najszybciej kiełkowały biotypy miotły zbożowej w temperaturze 18°C (tabela 18). Średnio GRI biotypów w tej temperaturze wynosiło 7,24 i było o 30% wyższe niż GRI w temperaturze 8°C (5,05). Spośród testowanych biotypów miotły, średnio najwyższe wartości wskaźnika szybkości kiełkowania odnotowano dla biotypu AB-1 (8,35), zaś średnio najniższe dla biotypu BB-1 (4,45). Najwyższe wartości wskaźnika GRI odnotowano dla biotypu AB-1 (9,93) w temperaturze 18°C, a najniższe dla biotypu BB-1 (3,47) w temperaturze 8°C.

Dla wskaźnika GI najwyższy indeks kiełkowania biotypy miotły zbożowej osiągnęły w temperaturze 18°C i wynosił on średnio 159,60 (tabela 19). Najniższą średnią wartość GI (138,60) odnotowano w temperaturze 8°C. W porównaniu do wartości badanego wskaźnika uzyskanej w 18°C był to spadek indeksu kiełkowania o 13%. Spośród testowanych biotypów miotły średnio najwyższe GI odnotowano dla biotypu AB-1 (196,90) i BB-2 (185,00), zaś średnio najniższe dla biotypu BB-1 (117,60). Najwyższe wartości wskaźnika GI odnotowano dla biotypu AB-1 (210,20) w temperaturze 18°C, a najniższe dla biotypu BB-1 (96,70) w temperaturze 8°C.

Najwyższy końcowy procent kiełkowania (wskaźnik FGP) biotypy miotły zbożowej osiągnęły w temperaturze 8°C (tabela 20). Średnio FGP w tej temperaturze wynosiło 1,24 i było o 14% wyższe niż FGP w temperaturze 18°C, w której wskaźnik ten był najniższy i wynosił 1,07. Spośród testowanych biotypów miotły, średnio najwyższe FGP odnotowano dla biotypu AB-1 (1,30), zaś średnio najniższe dla biotypu B-4 (1,00). Najwyższe wartości wskaźnika FGP uzyskał biotyp BB-3 (1,41) w temperaturze 8°C, a najniższe biotyp B-3 (0,85) w temperaturze 18°C.

W przypadku wskaźnika MGT najniższy średni czas kiełkowania biotypy miotły zbożowej osiągnęły w temperaturze 18°C, gdzie średnia wartość tego wskaźnika wynosiła 3,57 (tabela 21). Najwyższy średni czas kiełkowania był o 33% wyższy i wynosił 5,37. Został on odnotowany w temperaturze 8°C. Spośród testowanych biotypów miotły, średnio najniższy MGT wykazały próbki AB-1 (3,69) oraz BB-2 (3,80). Z kolei średnio najwyższy MGT wystąpił w przypadku biotypu BB-1 (5,16). Najniższą wartość wskaźnika MGT, a tym samym

najszybszy średni czas kiełkowania, osiągnął biotyp BB-2 (2,69) w temperaturze 18°C. Najwolniejszy średni czas kiełkowania odnotowano dla biotypu BB-1 (6,35) w temperaturze 8°C.

Najintensywniej kiełkowały (wskaźnik CVG) biotypy miotły zbożowej w temperaturze 8°C, osiągając średnią wartość wskaźnika na poziomie 32,05 (tabela 22). Najmniejsza wartość wskaźnika CVG (16,03) została odnotowana w temperaturze 18°C. Tym samym intensywność kiełkowania spadła w niniejszej temperaturze aż o 50%, w porównaniu do wartości tego wskaźnika w temperaturze 8°C. Spośród testowanych biotypów miotły, średnio najwyższy CVG wykazały biotypy AB-1 (26,92), B-1 (26,83) oraz BB-2 (26,16). Średnio najniższą wartość badanego wskaźnika uzyskano w przypadku biotypów AB-3 (18,18) i B-4 (17,57). Najwyższą wartość wskaźnika CVG osiągnęły w temperaturze 8°C: biotyp wrażliwy S3 (37,39) oraz biotypy odporne B-2 (37,28) oraz BB-3 (37,18). Najmniejszą intensywność kiełkowania odnotowano dla biotypu B-3 (9,42) w temperaturze 18°C.

Pod względem wskaźnika FDG najwcześniej odnotowano kiełkujące biotypy miotły zbożowej w temperaturze 18°C, osiągając wartość wskaźnika FDG na poziomie średnio 1,90 (tabela 23). Najpóźniej kiełkowanie odnotowano w 8°C, ze wskaźnikiem FDG na poziomie średnio 3,48, co wskazuje na spadek jego wartości o 55%, w porównaniu do FDG w temperaturze 18°C. Spośród testowanych biotypów miotły, średnio najniższy FDG wykazał biotyp AB-1 (2,16), a średnio najwyższy wystąpił w przypadku biotypów B-4 (2,68), BB-1 (2,76) oraz S3 (2,70). Testowane biotypy w temperaturze 18°C i 28°C osiągnęły wartość wskaźnika FDG na poziomie 1,82. Opóźnienie kiełkowania odnotowano natomiast w temperaturze 18°C dla próbek miotły: B-3 (2,16), BB-1 (2,16) oraz S3 (2,29). W temperaturze 28°C były to biotypy: B-4 (2,16), BB-1 (2,16), BB-2 (2,16) oraz S3 (2,74). Biotyp, który skiełkował najpóźniej to B-4 (4,07), w temperaturze 8°C.

Tabela 17. Średnie kwadraty z dwuczynnikowej analizy wariancji w układzie zrandomizowanym dla czynników temperatura kiełkowania i biotyp miotły zbożowej, wyliczone dla sześciu wskaźników kiełkowania w serii wiosennej

| Źródło zmienności | l.s.s. | GRI | GI | FGP | MGT | CVG | FDG |
|----------------------|--------|----------|-----------|-----------|----------|------------|----------|
| Temperatura | 2 | 94,97*** | 9510*** | 0,6628*** | 69,22*** | 5526,66*** | 61,98*** |
| Biotyp | 12 | 30,47*** | 12883*** | 0,1840*** | 3,424*** | 193,44*** | 0,643 |
| Temperatura x Biotyp | 24 | 5,91*** | 1874,2*** | 0,0351*** | 0,840*** | 84,78*** | 0,62 |
| Błąd | 195 | 0,516 | 229,1 | 0,0097 | 0,082 | 17,17 | 0,544 |

*** $\alpha < 0,001$; l.s.s. – liczba stopni swobody

Legenda: GRI – wskaźnik szybkości kiełkowania, GI – indeks kiełkowania, FGP – końcowy procent kiełkowania, MGT – średni czas kiełkowania, CVG – wskaźnik intensywności kiełkowania, FDG – pierwszy dzień kiełkowania

Tabela 18. Wartości wskaźnika GRI (wskaźnik szybkości kiełkowania) biotypów miotły zbożowej o różnym poziomie odporności na herbicydy w zależności od temperatury kiełkowania w serii wiosennej (średnia \pm odchylenie standardowe; w tabeli zaprezentowano średnią z dwóch serii, n = 6)

| Temp | 8C | | 18C | | 28C | | 8-18-28C | | | | | |
|---------------------|---|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|-----------|-------|
| Biotyp | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | | | | |
| AB-1 | 6,65 | 0,576 | ij | 9,93 | 1,031 | a | 8,47 | 0,582 | cdef | 8,35 | A | 1,553 |
| AB-2 | 4,37 | 0,548 | stu | 8,30 | 0,718 | defg | 6,28 | 0,718 | ijk | 6,32 | E | 1,765 |
| AB-3 | 4,22 | 0,630 | tuv | 6,78 | 1,024 | hi | 5,67 | 0,409 | klmno | 5,55 | F | 1,278 |
| B-1 | 5,38 | 0,968 | lmnop | 9,24 | 1,023 | abc | 7,97 | 0,678 | efg | 7,53 | BC | 1,856 |
| B-2 | 5,35 | 0,385 | mnpq | 9,04 | 1,461 | bcd | 5,83 | 0,596 | jklmn | 6,74 | DE | 1,900 |
| B-3 | 5,34 | 0,807 | mnpq | 4,56 | 0,507 | qrst | 5,70 | 0,182 | klmno | 5,20 | FG | 0,719 |
| B-4 | 3,74 | 0,384 | uv | 5,56 | 0,932 | klmno | 5,42 | 0,683 | lmnop | 4,90 | GH | 1,077 |
| BB-1 | 3,47 | 0,082 | v | 4,47 | 0,432 | rstu | 5,43 | 0,760 | mnpq | 4,45 | H | 0,951 |
| BB-2 | 6,13 | 0,745 | ijklm | 9,73 | 0,812 | ab | 7,76 | 0,676 | fg | 7,87 | B | 1,669 |
| BB-3 | 6,19 | 0,531 | ijkl | 8,62 | 1,021 | cde | 5,77 | 0,978 | klmno | 6,86 | D | 1,530 |
| S1 | 5,26 | 0,422 | nopqr | 8,68 | 0,597 | cde | 7,54 | 0,595 | gh | 7,16 | CD | 1,550 |
| S2 | 4,38 | 0,301 | stu | 4,55 | 0,547 | qrst | 5,73 | 0,913 | klmno | 4,89 | GH | 0,859 |
| S3 | 5,14 | 0,530 | nopqrs | 4,69 | 0,730 | pqrst | 5,00 | 0,528 | opqrst | 4,94 | G | 0,599 |
| Średnia | 5,05 | 1,073 | Z | 7,24 | 2,263 | X | 6,35 | 1,273 | Y | | | |
| LSD _{0.05} | Temp: 0,23; Biotyp: 0,47; Temp x Biotyp: 0,82 | | | | | | | | | | | |

Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, BB - biotypy z odpornością krzyżową, AB - biotypy z odpornością wielokrotną, temp – temperatura, s. d. – odchylenie standardowe, LSD – najmniejsza istotna różnica

Tabela 19. Wartości wskaźnika GI (indeks kiełkowania) biotypów miotły zbożowej o różnym poziomie odporności na herbicydy w zależności od temperatury kiełkowania w serii wiosennej (średnia ± odchylenie standardowe; w tabeli zaprezentowano średnią z dwóch serii, n = 6)

| Temp | 8C | | | 18C | | | 28C | | | 8-18-28C | | |
|---------------------|--|---------------|----------|---------------|---------------|----------|---------------|---------------|----------|---------------|------------|--------|
| Biotyp | Średnia | s.d. | | Średnia | s.d. | | Średnia | s.d. | | Średnia | | s.d. |
| AB-1 | 178,70 | 7,660 | defg | 210,20 | 20,610 | a | 201,80 | 10,420 | ab | 196,90 | A | 19,030 |
| AB-2 | 123,30 | 12,990 | lmno | 174,30 | 11,840 | efg | 147,70 | 13,970 | hi | 148,40 | F | 24,650 |
| AB-3 | 116,50 | 15,350 | nop | 148,00 | 19,970 | hi | 139,30 | 11,330 | ijkl | 134,60 | G | 20,280 |
| B-1 | 149,70 | 21,620 | hi | 192,70 | 20,330 | bcd | 193,50 | 15,140 | abcd | 178,60 | BC | 27,750 |
| B-2 | 151,00 | 8,810 | hi | 190,50 | 25,520 | bcde | 141,20 | 14,510 | ijk | 160,90 | E | 27,530 |
| B-3 | 147,30 | 19,850 | hi | 108,50 | 8,170 | opq | 140,80 | 4,450 | ijk | 132,20 | GH | 21,130 |
| B-4 | 104,50 | 9,990 | pq | 126,00 | 15,900 | klmn | 135,50 | 16,170 | ijklm | 122,00 | IJ | 18,940 |
| BB-1 | 96,70 | 2,500 | q | 117,50 | 9,050 | nop | 138,50 | 18,190 | ijkl | 117,60 | J | 20,790 |
| BB-2 | 164,50 | 17,940 | gh | 199,20 | 19,260 | abc | 191,30 | 14,610 | bcde | 185,00 | B | 22,360 |
| BB-3 | 170,50 | 13,900 | fg | 183,00 | 21,090 | cdef | 140,30 | 21,320 | ijkl | 164,60 | DE | 25,710 |
| S1 | 143,30 | 10,630 | ij | 192,70 | 13,020 | bcd | 178,80 | 8,680 | defg | 171,60 | CD | 23,710 |
| S2 | 118,50 | 9,480 | mnop | 113,70 | 11,380 | nopq | 138,50 | 19,410 | ijkl | 123,60 | HIJ | 17,250 |
| S3 | 137,70 | 13,380 | ijkl | 119,10 | 16,370 | mnop | 128,10 | 10,600 | jklmn | 128,30 | GHI | 15,020 |
| Średnia | 138,60 | 27,520 | Y | 159,60 | 40,070 | X | 155,00 | 28,440 | X | | | |
| LSD _{0.05} | Temp: 4,78; Biotyp: 9,95; Temp x Biotyp: 17,23 | | | | | | | | | | | |

Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, BB – biotypy z odpornością krzyżową, AB – biotypy z odpornością wielokrotną, temp – temperatura, s. d. – odchylenie standardowe, LSD – najmniejsza istotna różnica

Tabela 20. Wartości wskaźnika FGP (końcowy procent kiełkowania) biotypów miotły zbożowej o różnym poziomie odporności na herbicydy w zależności od temperatury kiełkowania w serii wiosennej (średnia ± odchylenie standardowe; w tabeli zaprezentowano średnią z dwóch serii, n = 6)

| Temp | 8C | | | 18C | | | 28C | | | 8-18-28C | | |
|---------------------|---|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|------------|-------|
| Biotyp | Średnia | s.d. | | Średnia | s.d. | | Średnia | s.d. | | Średnia | | s.d. |
| AB-1 | 1,32 | 0,133 | abc | 1,27 | 0,162 | cd | 1,31 | 0,133 | abc | 1,30 | A | 0,137 |
| AB-2 | 1,15 | 0,068 | fg | 1,12 | 0,057 | fghi | 1,04 | 0,059 | hijklm | 1,10 | EF | 0,077 |
| AB-3 | 1,09 | 0,057 | fghijk | 1,00 | 0,111 | klmn | 1,02 | 0,097 | ijklmn | 1,04 | FG | 0,095 |
| B-1 | 1,33 | 0,138 | abc | 1,16 | 0,078 | efg | 1,30 | 0,147 | bc | 1,26 | ABC | 0,138 |
| B-2 | 1,26 | 0,043 | cde | 1,13 | 0,103 | fgh | 1,02 | 0,076 | ijklmn | 1,14 | DE | 0,123 |
| B-3 | 1,29 | 0,147 | bcd | 0,85 | 0,057 | o | 1,03 | 0,047 | ijklm | 1,05 | FG | 0,206 |
| B-4 | 1,07 | 0,033 | ghijkl | 0,93 | 0,069 | no | 1,02 | 0,072 | jklmn | 1,00 | G | 0,083 |
| BB-1 | 1,11 | 0,035 | fghij | 1,01 | 0,061 | jklmn | 1,02 | 0,074 | ijklmn | 1,05 | FG | 0,071 |
| BB-2 | 1,38 | 0,160 | ab | 1,15 | 0,125 | fg | 1,29 | 0,150 | cd | 1,27 | AB | 0,169 |
| BB-3 | 1,41 | 0,181 | a | 1,13 | 0,101 | fgh | 1,02 | 0,057 | jklmn | 1,19 | CD | 0,206 |
| S1 | 1,27 | 0,159 | cd | 1,19 | 0,061 | def | 1,15 | 0,028 | fg | 1,20 | BCD | 0,107 |
| S2 | 1,15 | 0,064 | fg | 0,96 | 0,036 | mn | 1,01 | 0,081 | klmn | 1,04 | FG | 0,101 |
| S3 | 1,29 | 0,082 | cd | 1,00 | 0,083 | klmn | 0,99 | 0,049 | lmn | 1,09 | EF | 0,157 |
| Średnia | 1,24 | 0,150 | X | 1,07 | 0,143 | Z | 1,09 | 0,145 | Y | | | |
| LSD _{0.05} | Temp: 0,004; Biotyp: 0,08; Temp x Biotyp: 0,1 | | | | | | | | | | | |

Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, BB – biotypy z odpornością krzyżową, AB – biotypy z odpornością wielokrotną, temp – temperatura, s. d. – odchylenie standardowe, LSD – najmniejsza istotna różnica

Tabela 21. Wartości wskaźnika MGT (średni czas kiełkowania) biotypów miotły zbożowej o różnym poziomie odporności na herbicydy w zależności od temperatury kiełkowania w serii wiosennej (średnia ± odchylenie standardowe; w tabeli zaprezentowano średnią z dwóch serii, n = 6)

| Temp | 8C | | | 18C | | | 28C | | | 8-18-28C | | |
|----------------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|-----------|-------|
| Biotyp | Średnia | s.d. | | Średnia | s.d. | | Średnia | s.d. | | Średnia | | s.d. |
| AB-1 | 4,34 | 0,297 | ij | 3,07 | 0,234 | pq | 3,66 | 0,098 | mno | 3,69 | J | 0,574 |
| AB-2 | 5,53 | 0,223 | cde | 3,14 | 0,213 | pq | 3,91 | 0,283 | klm | 4,19 | FG | 1,049 |
| AB-3 | 5,46 | 0,521 | cde | 3,47 | 0,209 | no | 4,08 | 0,132 | jkl | 4,34 | EF | 0,911 |
| B-1 | 5,26 | 0,350 | ef | 2,92 | 0,194 | qr | 3,83 | 0,212 | lm | 4,00 | GH | 1,020 |
| B-2 | 5,30 | 0,248 | ef | 2,97 | 0,172 | qr | 3,93 | 0,238 | klm | 4,07 | GH | 1,008 |
| B-3 | 5,31 | 0,229 | de | 3,89 | 0,540 | klm | 4,13 | 0,139 | ijkl | 4,44 | DE | 0,719 |
| B-4 | 5,91 | 0,281 | b | 3,74 | 0,428 | mn | 4,17 | 0,316 | ijk | 4,60 | CD | 1,021 |
| BB-1 | 6,35 | 0,295 | a | 4,97 | 0,240 | fg | 4,14 | 0,206 | ijkl | 5,16 | A | 0,965 |
| BB-2 | 4,87 | 0,187 | g | 2,69 | 0,192 | r | 3,82 | 0,213 | lm | 3,80 | IJ | 0,937 |
| BB-3 | 4,84 | 0,080 | g | 3,04 | 0,158 | pq | 4,11 | 0,382 | jkl | 4,00 | HI | 0,794 |
| S1 | 5,27 | 0,260 | ef | 3,34 | 0,158 | op | 3,70 | 0,279 | mn | 4,10 | GH | 0,890 |
| S2 | 5,71 | 0,541 | bc | 4,45 | 0,265 | hi | 3,85 | 0,248 | klm | 4,67 | C | 0,873 |
| S3 | 5,63 | 0,355 | bcd | 4,74 | 0,447 | gh | 4,39 | 0,198 | ij | 4,92 | B | 0,630 |
| Średnia | 5,37 | 0,573 | X | 3,57 | 0,764 | Z | 3,98 | 0,300 | Y | | | |

LSD_{0.05} Temp: 0,09; Biotyp: 0,19; Temp x Biotyp: 0,33

Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, BB – biotypy z odpornością krzyżową, AB – biotypy z odpornością wielokrotną, temp – temperatura, s. d. – odchylenie standardowe, LSD – najmniejsza istotna różnica

Tabela 22. Wartości wskaźnika CVG (wskaźnik intensywności kiełkowania) biotypów miotły zbożowej o różnym poziomie odporności na herbicydy w zależności od temperatury kiełkowania w serii wiosennej (średnia ± odchylenie standardowe; w tabeli zaprezentowano średnią z dwóch serii, n = 6)

| Temp | 8C | | | 18C | | | 28C | | | 8-18-28C | | |
|----------------|--------------|--------------|----------|--------------|--------------|----------|--------------|--------------|----------|--------------|------------|--------|
| Biotyp | Średnia | s.d. | | Średnia | s.d. | | Średnia | s.d. | | Średnia | | s.d. |
| AB-1 | 31,30 | 3,212 | bcd | 21,70 | 4,124 | ghi | 27,77 | 3,513 | def | 26,92 | A | 5,322 |
| AB-2 | 28,02 | 3,488 | def | 15,42 | 1,557 | klm | 17,12 | 3,889 | ijkl | 20,19 | FGH | 6,458 |
| AB-3 | 24,09 | 3,222 | fg | 13,65 | 3,901 | lmn | 16,80 | 3,712 | jkl | 18,18 | GH | 5,642 |
| B-1 | 35,68 | 6,809 | ab | 16,70 | 3,472 | jkl | 28,10 | 4,899 | def | 26,83 | A | 9,420 |
| B-2 | 37,28 | 3,551 | a | 16,61 | 2,755 | jkl | 15,98 | 4,001 | klm | 23,29 | CDE | 10,694 |
| B-3 | 35,56 | 6,281 | ab | 9,42 | 3,166 | n | 17,37 | 1,136 | ijkl | 20,78 | EFG | 11,906 |
| B-4 | 24,83 | 2,019 | efg | 11,29 | 2,461 | mn | 16,60 | 4,280 | kl | 17,57 | H | 6,421 |
| BB-1 | 27,70 | 3,671 | def | 19,00 | 2,986 | hijk | 16,95 | 3,543 | jkl | 21,22 | DEF | 5,768 |
| BB-2 | 35,32 | 6,404 | ab | 15,82 | 4,920 | klm | 27,33 | 4,467 | def | 26,16 | AB | 9,638 |
| BB-3 | 37,18 | 5,299 | a | 16,30 | 4,200 | kl | 17,10 | 3,796 | ijkl | 23,53 | BCD | 10,795 |
| S1 | 33,00 | 3,839 | abc | 21,32 | 3,837 | ghij | 22,21 | 1,708 | gh | 25,51 | ABC | 6,271 |
| S2 | 29,29 | 6,593 | cde | 13,40 | 1,974 | lmn | 14,50 | 3,379 | klm | 19,06 | FGH | 8,536 |
| S3 | 37,39 | 7,014 | a | 17,75 | 6,046 | hijkl | 16,47 | 2,415 | kl | 23,87 | BCD | 11,136 |
| Średnia | 32,05 | 6,542 | X | 16,03 | 4,826 | Z | 19,56 | 5,827 | Y | | | |

LSD_{0,05} Temp: 1,309; Biotyp: 2,724; Temp x Biotyp: 4,718

Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, BB – biotypy z odpornością krzyżową, AB – biotypy z odpornością wielokrotną, temp – temperatura, s. d. – odchylenie standardowe, LSD – najmniejsza istotna różnica

Tabela 23. Wartości wskaźnika FDG (pierwszy dzień kielkowania) biotypów miotły zbożowej o różnym poziomie odporności na herbicydy w zależności od temperatury kielkowania w serii wiosennej (średnia ± odchylenie standardowe; w tabeli zaprezentowano średnią z dwóch serii, n = 6)

| Temp | 8C | | | 18C | | | 28C | | | 8-18-28C | | |
|---------------------|---|--------------|----------|-------------|--------------|------------|-------------|--------------|------------|-------------|--------------|-------|
| Biotyp | Średnia | s.d. | | Średnia | s.d. | | Średnia | s.d. | | Średnia | | s.d. |
| AB-1 | 2,84 | 1,119 | def | 1,82 | 0,000 | g | 1,82 | 0,000 | g | 2,16 | C | 0,783 |
| AB-2 | 3,95 | 1,225 | ab | 1,82 | 0,000 | g | 1,82 | 0,000 | g | 2,53 | 2.527 | 1,231 |
| AB-3 | 3,39 | 1,322 | abcd | 1,82 | 0,000 | g | 1,82 | 0,000 | g | 2,34 | ABC | 1,049 |
| B-1 | 3,95 | 1,225 | ab | 1,82 | 0,000 | g | 1,82 | 0,000 | g | 2,53 | ABC | 1,231 |
| B-2 | 3,73 | 1,074 | abc | 1,82 | 0,000 | g | 1,82 | 0,000 | g | 2,46 | ABC | 1,098 |
| B-3 | 3,18 | 1,055 | bcd | 2,16 | 0,834 | fg | 1,82 | 0,000 | g | 2,38 | ABC | 0,941 |
| B-4 | 4,07 | 0,531 | a | 1,82 | 0,000 | g | 2,16 | 0,834 | fg | 2,68 | AB | 1,155 |
| BB-1 | 3,97 | 1,760 | ab | 2,16 | 0,834 | fg | 2,16 | 0,834 | fg | 2,76 | A | 1,447 |
| BB-2 | 2,84 | 1,119 | def | 1,82 | 0,000 | g | 2,16 | 0,834 | fg | 2,27 | BC | 0,874 |
| BB-3 | 3,18 | 1,055 | bcd | 1,82 | 0,000 | g | 1,82 | 0,000 | g | 2,27 | BC | 0,874 |
| S1 | 3,18 | 1,055 | bcd | 1,82 | 0,000 | g | 1,82 | 0,000 | g | 2,27 | BC | 0,874 |
| S2 | 3,86 | 0,000 | abc | 1,82 | 0,000 | g | 1,82 | 0,000 | g | 2,50 | ABC | 0,991 |
| S3 | 3,08 | 1,004 | cde | 2,29 | 0,743 | efg | 2,74 | 1,032 | def | 2,70 | AB | 0,938 |
| Średnia | 3,48 | 1,115 | X | 1,90 | 0,392 | Y | 1,96 | 0,525 | Y | | | |
| LSD _{0.05} | Temp: 0,23; Biotyp: 0,48; Temp x Biotyp: 0,84 | | | | | | | | | | | |

Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, BB – biotypy z odpornością krzyżową, AB – biotypy z odpornością wielokrotną, temp – temperatura, s. d. – odchylenie standardowe, LSD – najmniejsza istotna różnica

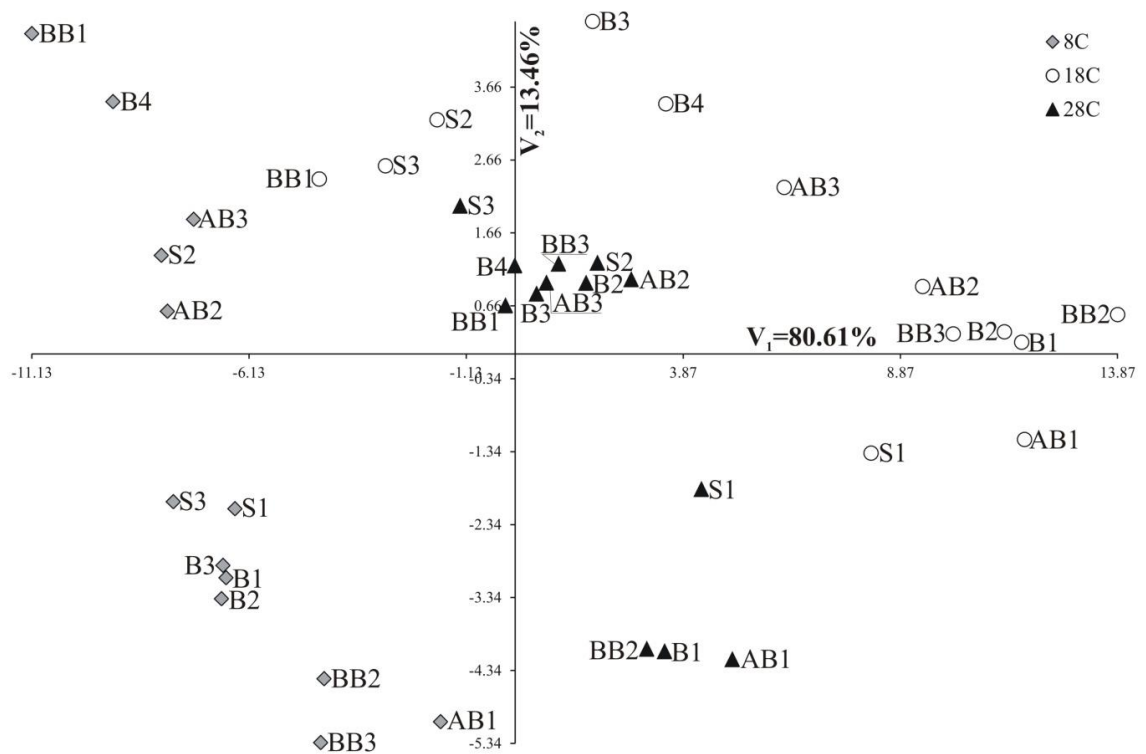
5.1.5. Analiza dyskryminacyjna wskaźników kiełkowania – sezon jesienny

Dwie pierwsze zmienne kanoniczne, V_1 i V_2 , wyjaśniły łącznie 94,07% zmienności w analizowanym zbiorze przypadków (rycina 9). Dane przedstawione w tabeli 24 wskazują, że poza wskaźnikiem FGP wszystkie pozostałe wskaźniki konkurencyjności, wyznaczone dla nasion analizowanych biotypów miotły zbożowej, wywierały istotny wpływ na zmienną V_1 . Była to zależność zarówno dodatnia (GRI i GI) jak i ujemna (MGT, CVG i FDG). Natomiast na drugą zmienną (V_2) istotny ujemny wpływ wywierały trzy spośród sześciu wskaźników (GI, FGP i CVG). Wpływ temperatury podczas kiełkowania na jego przebieg określony za pomocą obliczonych wskaźników okazał się być głównym kryterium grupowania obiektów. Nie zaobserwowano natomiast trendu w grupowaniu się biotypów w zależności od typu odporności na herbicydy. W grupie biotypów o wyższych parametrach wskaźników kiełkowania znalazły się biotypy z odpornością pojedynczą (B-2, B-3) oraz krzyżową (BB-3, AB-2 i AB-3), kiełkujące w temperaturze 18°C i 28°C. Niniejsze biotypy znalazły się również w grupie biotypów kiełkujących najsłabiej, ale dotyczyło to ich kiełkowania w temperaturze 8°C. Ponadto do biotypów o najsłabszych parametrach wskaźników kiełkowania zaliczono również biotyp z odpornością pojedynczą B-1, krzyżową AB-1 i biotypy wrażliwe – S1 i S3, również kiełkujące w temperaturze 8°C.

Tabela 24. Współczynniki korelacji między dwiema pierwszymi zmiennymi kanonicznymi, a wskaźnikami kiełkowania testowanych biotypów miotły zbożowej z uwzględnieniem trzech zastosowanych temperatur kiełkowania – seria jesienna

| Wskaźniki kiełkowania | cV_1 | cV_2 |
|-----------------------|------------|------------|
| GRI | 0.8884*** | -0.4047* |
| GI | 0.7239*** | -0.6655*** |
| FGP | -0,1003 | -0.877*** |
| MGT | -0.9828*** | 0,0286 |
| CVG | -0.5852*** | -0.7304*** |
| FDG | -0.7973*** | -0,0245 |

Legenda: cV_1 – współczynnik korelacji dla pierwszej zmiennej kanonicznej, cV_2 – współczynnik korelacji dla drugiej zmiennej kanonicznej, GRI – wskaźnik szybkości kiełkowania, GI - indeks kiełkowania, FGP – końcowy procent kiełkowania, MGT – średni czas kiełkowania, CVG – wskaźnik intensywności kiełkowania, FDG – pierwszy dzień kiełkowania



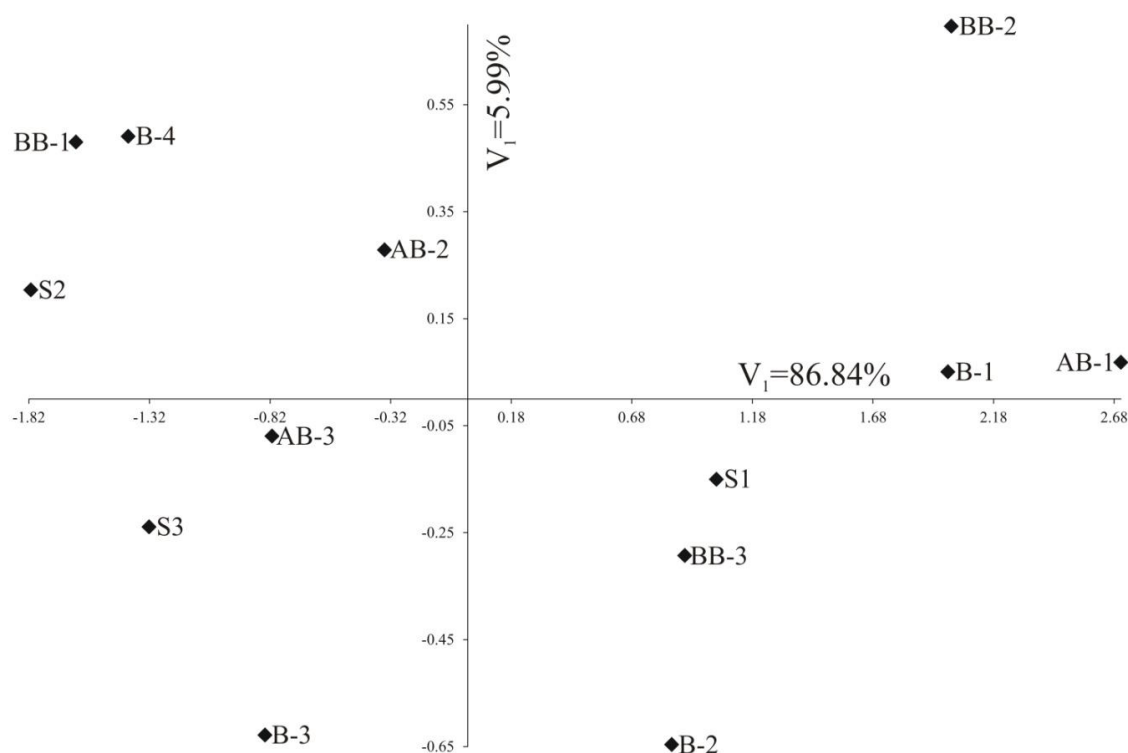
Rycina 9. Rozmieszczenie analizowanych biotypów miotły zbożowej w serii jesiennej w trzech różnych zakresach stałych temperatur 8-18-28°C w układzie dwóch pierwszych zmiennych kanonicznych na podstawie badanych wskaźników kiełkowania. Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, BB – biotypy z odpornością krzyżową, AB – biotypy z odpornością wielokrotną

Analiza zmiennych kanonicznych przeprowadzona dla wszystkich wskaźników kiełkowania biotypów miotły zbożowej, niezależnie od temperatury kiełkowania, wyjaśniła łącznie 92,83% zmienności w analizowanej zbiorowości (rycina 10). Wszystkie badane wskaźniki kiełkowania wywierały istotny wpływ na zmienną V_1 , przy czym dla wskaźników MGT i FDG była to zależność ujemna (tabela 25). Druga zmienna V_2 nie była istotnie związana z żadnym z wskaźników. Położenie poszczególnych biotypów w układzie zmiennych kanonicznych pozwala stwierdzić, że ze względu na takie współczynniki jak GRI, GI, FGP i CVG, najlepiej kiełkowały biotypy BB-2, B-1 i AB-1. Natomiast współczynniki MGT i FDG wskazały biotypy AB-3, B-3 i S3, jako najslabiej kiełkujące. Ponadto, porównując analizę dyskryminacyjną wskaźników kiełkowania z dynamiką kiełkowania poszczególnych biotypów, niezależnie od temperatury stwierdzono, że wyniki obu analiz pokrywały się dla biotypów BB-2, B-1 oraz AB-1 jako najlepiej kiełkujących oraz biotypu AB-3, jako najslabiej kiełkującego.

Tabela 25. Współczynniki korelacji między dwiema pierwszymi zmiennymi kanonicznymi a wskaźnikami kiełkowania testowanych biotypów miotły zbożowej bez względu na zastosowaną temperaturę podczas kiełkowania – seria jesienna

| Wskaźniki kiełkowania | cV_1 | cV_2 |
|-----------------------|------------|---------|
| GRI | 0.9923*** | 0,026 |
| GI | 0.9984*** | -0,0147 |
| FGP | 0.9607*** | 0,1274 |
| MGT | -0.9438*** | 0,1183 |
| CVG | 0.8663*** | -0,1378 |
| FDG | -0.6472* | 0,0295 |

Legenda: cV_1 – współczynnik korelacji dla pierwszej zmiennej kanonicznej, cV_2 – współczynnik korelacji dla drugiej zmiennej kanonicznej, GRI – wskaźnik szybkości kiełkowania, GI - indeks kiełkowania, FGP – końcowy procent kiełkowania, MGT – średni czas kiełkowania, CVG – wskaźnik intensywności kiełkowania, FDG – pierwszy dzień kiełkowania



Rycina 10. Rozmieszczenie analizowanych biotypów miotły zbożowej w serii jesienniej, niezależnie od zakresu temperatur, w układzie dwóch pierwszych zmiennych kanonicznych na podstawie badanych wskaźników kiełkowania. Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, BB – biotypy z odpornością krzyżową, AB – biotypy z odpornością wielokrotną

Analiza odległości Mahalanobisa (tabela 26) kielkujących nasion biotypów miotły zbożowej wykazała, że w sezonie jesiennym największe podobieństwo pod względem badanych wskaźników kiełkowania wystąpiło pomiędzy biotypami BB-3 oraz S1, między którymi odległość wyniosła 0,254. Z kolei najmniejsze podobieństwo zachodziło pomiędzy biotypami AB-1 i S2, a odległość między nimi osiągnęła 4,548.

Tabela 26. Odległości Mahalanobisa (MD) dla testowanych biotypów miotły zbożowej (*A. spica-venti* (L.) P. Beauv.) wrażliwych i odpornych na herbicydy w serii jesiennej, niezależnie od zakresu temperatur

| Biotyp | AB-1 | AB-2 | AB-3 | B-1 | B-2 | B-3 | B-4 | BB-1 | BB-2 | BB-3 | S1 | S2 | S3 |
|---------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|----|
| AB-1 | - | | | | | | | | | | | | |
| AB-2 | 3,155 | - | | | | | | | | | | | |
| AB-3 | 3,561 | 0,946 | - | | | | | | | | | | |
| B-1 | 0,913 | 2,384 | 2,919 | - | | | | | | | | | |
| B-2 | 2,050 | 1,550 | 1,827 | 1,391 | - | | | | | | | | |
| B-3 | 3,673 | 1,073 | 0,946 | 2,921 | 1,731 | - | | | | | | | |
| B-4 | 4,152 | 1,255 | 0,865 | 3,477 | 2,542 | 1,395 | - | | | | | | |
| BB-1 | 4,421 | 1,536 | 1,529 | 3,676 | 2,836 | 1,485 | 1,000 | - | | | | | |
| BB-2 | 1,187 | 2,515 | 2,957 | 1,073 | 1,849 | 3,261 | 3,444 | 3,866 | - | | | | |
| BB-3 | 1,863 | 1,505 | 1,752 | 1,268 | 0,481 | 1,859 | 2,440 | 2,789 | 1,573 | - | | | |
| S1 | 1,720 | 1,577 | 1,882 | 1,127 | 0,602 | 2,027 | 2,524 | 2,888 | 1,356 | 0,254 | - | | |
| S2 | 4,548 | 1,605 | 1,067 | 3,862 | 2,813 | 1,435 | 0,524 | 1,139 | 3,863 | 2,767 | 2,874 | - | |
| S3 | 4,080 | 1,443 | 0,795 | 3,429 | 2,279 | 1,124 | 0,845 | 1,434 | 3,476 | 2,279 | 2,382 | 0,811 | - |

5.1.6. Analiza dyskryminacyjna wskaźników kiełkowania – sezon wiosenny

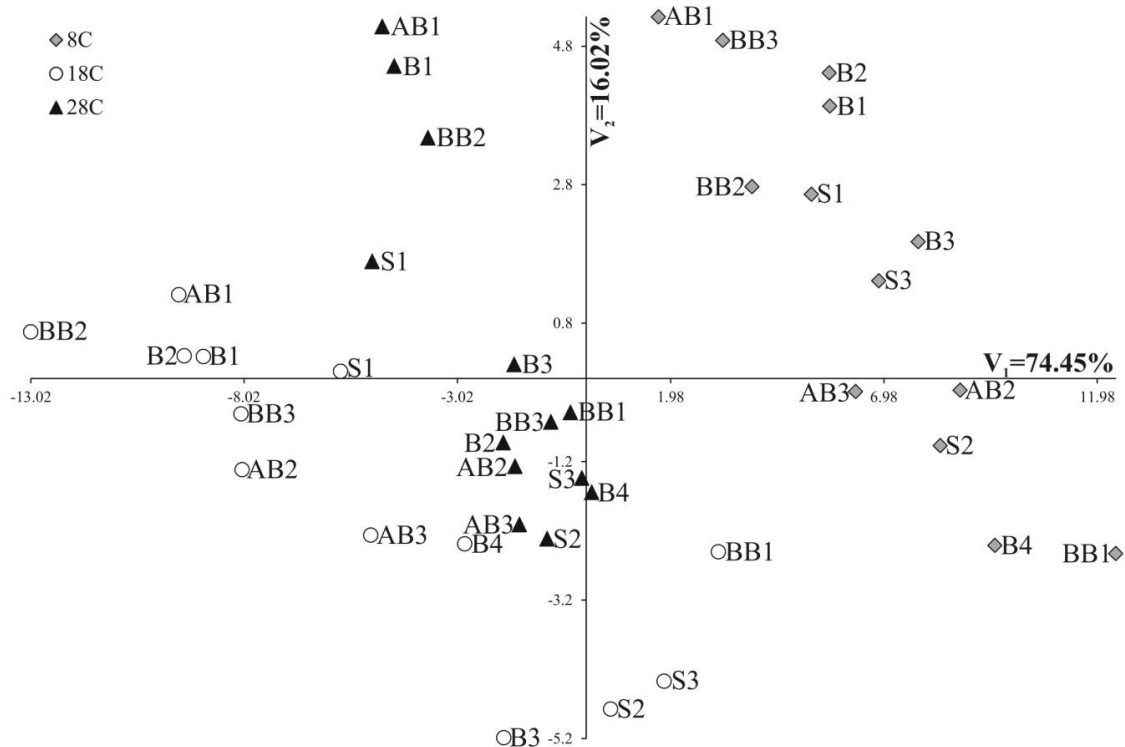
Analiza zmiennych kanonicznych wskaźników kiełkowania w sezonie wiosennym wykazała trend odwrotny do analizy wskaźników dla sezonu jesiennego. Dwie pierwsze zmienne kanoniczne, V_1 i V_2 , wyjaśniły łącznie 90,47% zmienności w analizowanym zbiorze przypadków (rycina 11). Stwierdzono, że wskaźniki konkurencyjności, wyliczone dla nasion analizowanych biotypów miotły zbożowej, były w większości istotnie związane z obiema zmiennymi kanonicznymi (tabela 27). Zmienna V_1 była istotnie dodatnio skorelowana z takimi wskaźnikami jak MGT, CVG i FSG, natomiast odwrotną zależność stwierdzono dla wskaźników GRI i GI. W przypadku zmiennej V_2 wystąpiła istotna dodatnia korelacja z takimi wskaźnikami jak GRI, GI, FGP i CVG. Położenie biotypów w układzie zmiennych kanonicznych pozwala stwierdzić, że dla obiektów kielkujących w temperaturze 8°C wskaźniki dodatnio skorelowane z zmiennymi V_1 i V_2 były najważniejszym kryterium grupowania. Natomiast biotypy miotły kielkujące w temperaturze 18°C i 28°C zostały pogrupowane przede wszystkim ze względu na wskaźniki wywierające ujemny wpływ na zmienną V_1 wskazujące

na mniejszą szybkość kiełkowania. Ponownie nie zaobserwowano trendu w grupowaniu się biotypów w zależności od typu odporności na herbicydy. W grupie biotypów o wyższych parametrach wskaźników kiełkowania znalazły się te biotypy, które w sezonie jesiennym odznaczały się najniższymi parametrami. Należały do nich głównie biotypy z odpornością pojedynczą (B-1, B-2, B-3) i krzyżową (BB-2, BB-3, AB-1) na herbicydy z grupy HRAC/WSSA 2, w tym również biotypy wrażliwe S1 i S3, kiełkujące w temperaturze 8°C. Z kolei w grupie biotypów kiełkujących najslabiej znalazły się biotypy BB-3, AB-2 i AB-3 (temp. zarówno 18°C i 28°C) oraz biotyp BB-2 (temp. 28°C), a także biotypy z odpornością pojedynczą B-3 i B-4 (temp. 18°C) oraz B-2 (temp. 28°C) i biotypy wrażliwe S2 i S3 (temp. 28°C).

Tabela 27. Współczynniki korelacji między dwiema pierwszymi zmiennymi kanonicznymi, a wskaźnikami kiełkowania testowanych biotypów miotły zbożowej z uwzględnieniem trzech zastosowanych temperatur kiełkowania – seria wiosenna

| Wskaźniki kiełkowania | cV₁ | cV₂ |
|------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| GRI | -0.863*** | 0.4309** |
| GI | -0.7164*** | 0.6762*** |
| FGP | 0,2382 | 0.8927*** |
| MGT | 0.991*** | -0,0297 |
| CVG | 0.5975*** | 0.746*** |
| FDG | 0.7809*** | 0,0646 |

Legenda: cV₁ – współczynnik korelacji dla pierwszej zmiennej kanonicznej, cV₂ – współczynnik korelacji dla drugiej zmiennej kanonicznej, GRI – wskaźnik szybkości kiełkowania, GI - indeks kiełkowania, FGP – końcowy procent kiełkowania, MGT – średni czas kiełkowania, CVG – wskaźnik intensywności kiełkowania, FDG – pierwszy dzień kiełkowania



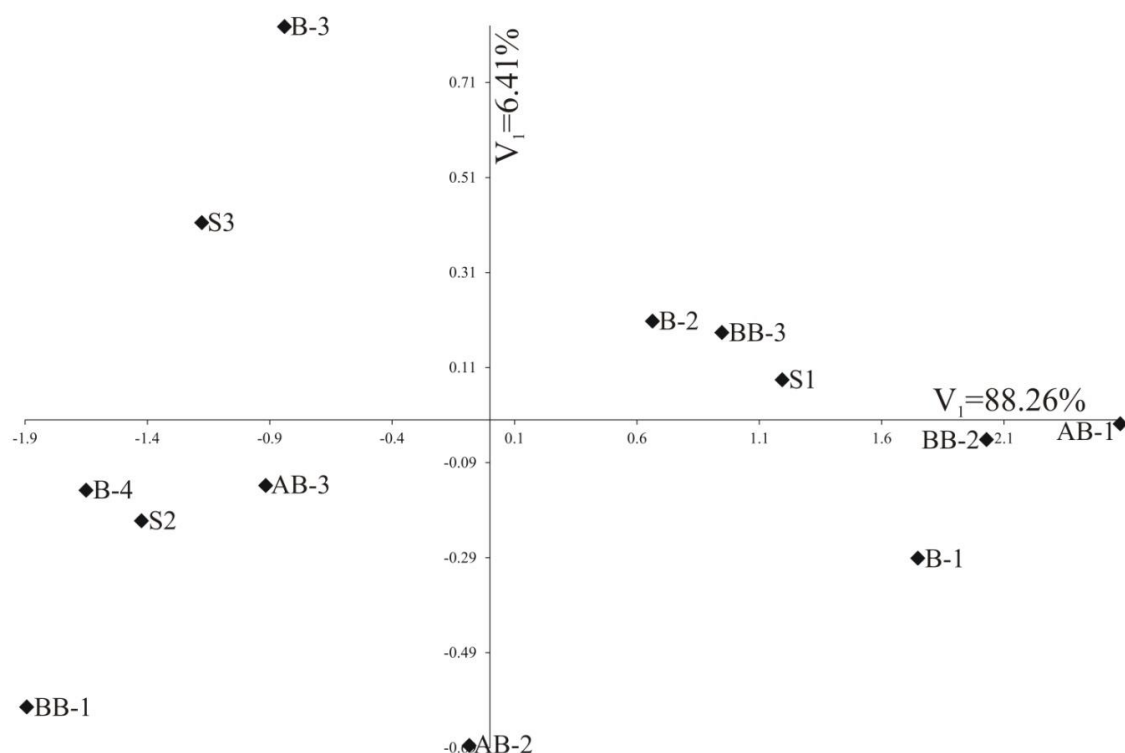
Rycina 11. Rozmieszczenie analizowanych biotypów miotły zbożowej w serii wiosennej w trzech różnych zakresach stałych temperatur 8-18-28°C w układzie dwóch pierwszych zmiennych kanonicznych na podstawie badanych wskaźników kiełkowania. Legenda: S – biotypy wrażliwe; B – biotypy z odpornością pojedynczą; BB – biotypy z odpornością krzyżową; AB – biotypy z odpornością wielokrotną

Dwie pierwsze zmienne kanoniczne dla wszystkich wskaźników kiełkowania biotypów miotły zbożowej, niezależnie od temperatury kiełkowania, wyjaśniły łącznie 94,67% zmienności w analizowanej zbiorowości (rycina 12). Podobnie jak w serii jesiennej, obliczone wskaźniki wywierały istotny wpływ tylko na pierwszą zmienną kanoniczną (tabela 28). Ze względu na wskaźniki istotnie pozytywnie związane ze zmienną V_1 można wskazać biotypy BB-3, B-2 oraz S1 jako najlepiej kiełkujące. Z kolei biotypy BB-1, B-4, AB-2 i AB-3 oraz S2 charakteryzowały się najslabszym kiełkowaniem, co było związane z wskaźnikami opisującymi czas kiełkowania (MGT i FDG). Ponadto, porównując analizę zmiennych kanonicznych dla wskaźników kiełkowania z dynamiką kiełkowania poszczególnych biotypów, niezależnie od temperatury stwierdzono, że wyniki obu analiz pokrywały się dla biotypu S1 jako najlepiej kiełkującego oraz biotypu S2, jako najslabiej kiełkującego.

Tabela 28. Współczynniki korelacji między dwiema pierwszymi zmiennymi kanonicznymi a wskaźnikami kiełkowania testowanych biotypów miotły zbożowej bez względu na zastosowaną temperaturę podczas kiełkowania – seria wiosenna

| Wskaźniki kiełkowania | cV_1 | cV_2 |
|-----------------------|------------|---------|
| GRI | 0.994*** | 0,0045 |
| GI | 0.9986*** | 0,0455 |
| FGP | 0.9645*** | -0,0377 |
| MGT | -0.9208*** | -0,0954 |
| CVG | 0.8503*** | 0,1731 |
| FDG | -0.651* | -0,4993 |

Legenda: cV_1 – współczynnik korelacji dla pierwszej zmiennej kanonicznej, cV_2 – współczynnik korelacji dla drugiej zmiennej kanonicznej, GRI – wskaźnik szybkości kiełkowania, GI - indeks kiełkowania, FGP – końcowy procent kiełkowania, MGT – średni czas kiełkowania, CVG – wskaźnik intensywności kiełkowania, FDG – pierwszy dzień kiełkowania



Rycina 12. Rozmieszczenie analizowanych biotypów miotły zbożowej w serii wiosennej, niezależnie od zakresu temperatur w układzie dwóch pierwszych zmiennych kanonicznych na podstawie badanych wskaźników kiełkowania. Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, BB – biotypy z odpornością krzyżową, AB – biotypy z odpornością wielokrotną

Analiza odległości Mahalanobisa (tabela 29) kiełkujących nasion biotypów miotły zbożowej wykazała, że w sezonie wiosennym największe podobieństwo wyrażone odległością 0,450 zachodziło pomiędzy biotypami B-2 oraz BB-3. Z kolei największa odległość 4,524 wskazująca na najmniejsze podobieństwo pod względem wskaźników stwierdzono pomiędzy biotypami AB-1 i BB-1.

Tabela 29. Odległości Mahalanobisa (MD) dla testowanych biotypów miotły zbożowej (A. spica-venti (L.) P. Beauv.) wrażliwych i odpornych na herbicydy w serii jesiennej, niezależnie od zakresu temperatur

| Biotyp | AB-1 | AB-2 | AB-3 | B-1 | B-2 | B-3 | B-4 | BB-1 | BB-2 | BB-3 | S1 | S2 | S3 |
|---------------|--------------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| AB-1 | - | | | | | | | | | | | | |
| AB-2 | 2,860 | - | | | | | | | | | | | |
| AB-3 | 3,535 | 1,069 | - | | | | | | | | | | |
| B-1 | 1,125 | 1,914 | 2,730 | - | | | | | | | | | |
| B-2 | 2,064 | 1,219 | 1,676 | 1,266 | - | | | | | | | | |
| B-3 | 3,571 | 1,757 | 1,032 | 2,867 | 1,649 | - | | | | | | | |
| B-4 | 4,265 | 1,727 | 0,790 | 3,450 | 2,359 | 1,282 | - | | | | | | |
| BB-1 | 4,524 | 1,983 | 1,296 | 3,695 | 2,769 | 1,890 | 0,824 | - | | | | | |
| BB-2 | 0,766 | 2,231 | 2,967 | 0,453 | 1,444 | 3,029 | 3,706 | 3,995 | - | | | | |
| BB-3 | 1,724 | 1,387 | 1,908 | 0,996 | 0,450 | 1,920 | 2,639 | 3,003 | 1,121 | - | | | |
| S1 | 1,441 | 1,591 | 2,173 | 0,813 | 0,844 | 2,257 | 2,916 | 3,196 | 0,889 | 0,487 | - | | |
| S2 | 4,035 | 1,500 | 0,638 | 3,211 | 2,227 | 1,326 | 0,636 | 0,882 | 3,470 | 2,425 | 2,649 | - | |
| S3 | 3,831 | 1,665 | 0,920 | 3,039 | 1,996 | 0,964 | 1,083 | 1,364 | 3,261 | 2,201 | 2,410 | 0,812 | - |

5.2. Substytucyjny model konkurencji

Dane dotyczące terminów siewu, wschodów i zbioru roślin w sezonach wegetacyjnych 2018/2019 i 2019/2020, zamieszczono w tabeli 30. Ze względu na brak znaczących różnic pomiędzy obiektami co do terminu wschodów roślin tego samego gatunku/biotypu, w tabeli przedstawiono terminy wschodów danego gatunku/biotypu niezależnie od kombinacji stosunku roślin testowych w wazonie.

W sezonie wegetacyjnym 2018/2019 pierwsze wschody pszenicy ozimej pojawiły się po 5 dniach od siewu (tabela 30). Z kolei w przypadku miotły zbożowej, wschody zarówno biotypów R jak i S odnotowano po 8 dniach od siewu. Rośliny wzeszły względnie szybko, co umożliwiło osiągnięcie, w większości przypadków, fazy krzewienia (BBCH 20 – 29) przed okresem zimowego spoczynku. Z kolei w sezonie wegetacyjnym 2019/2020 pierwsze wschody, zarówno pszenicy ozimej jak i obu biotypów chwastu, pojawiły się w tym samym czasie, czyli po 8 dniach od siewu (tabela 30). Podobnie jak w sezonie poprzednim, termin wschodów zapewnił roślinom osiągnięcie fazy krzewienia przed zimą.

Tabela 30. Terminy siewu, wschodu oraz zbioru roślin testowanych w doświadczeniu wazonowym – model substytucyjny

| Roślina | Sezon wegetacyjny 2018/2019 | | | Sezon wegetacyjny 2019/2020 | | |
|--------------------|-----------------------------|----------------|---------------|-----------------------------|----------------|---------------|
| | Termin siewu | Termin wschodu | Termin zbioru | Termin siewu | Termin wschodu | Termin zbioru |
| Pszenica ozima | 04.10.2018 | 09.10.2018 | 04.07.2019 | 16.10.2019 | 24.10.2019 | 14.07.2020 |
| Miotła zbożowa (R) | 04.10.2018 | 12.10.2018 | 04.07.2019 | 16.10.2019 | 24.10.2019 | 21.07.2020 |
| Miotła zbożowa (S) | 04.10.2018 | 12.10.2018 | 04.07.2019 | 16.10.2019 | 24.10.2019 | 21.07.2020 |

Legenda: R – biotyp miotły zbożowej odporny na stosowanie herbicydów, S – biotyp miotły zbożowej wrażliwy na stosowanie herbicydów

5.2.1. Przebieg faz fitofenologicznych

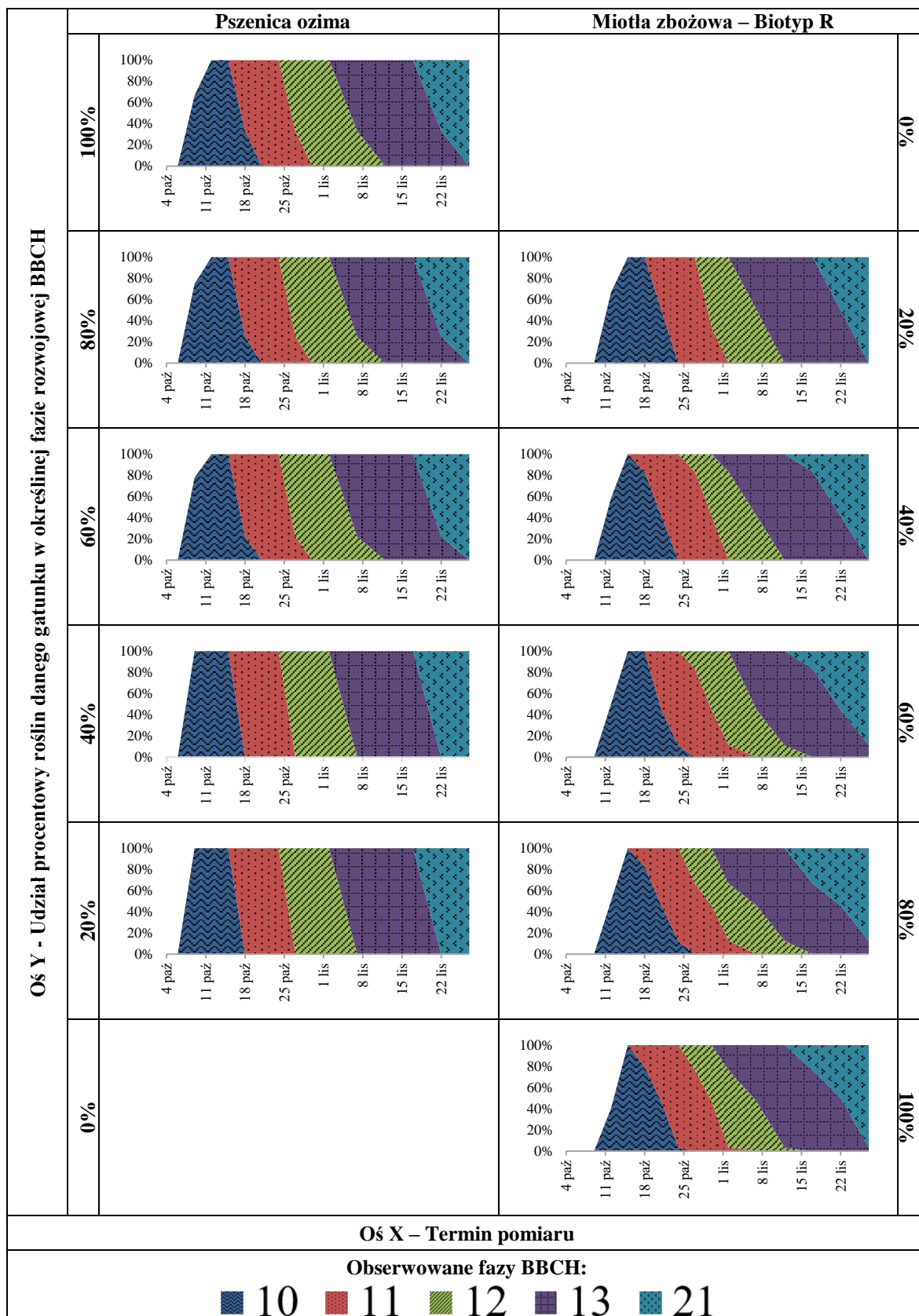
W oparciu o pomiary faz fitofenologicznych dokonano analizy przebiegu rozwoju poszczególnych testowanych gatunków roślin – dla każdego z sezonów wegetacyjnych osobno. Pomiary prowadzono przez cały sezon wegetacyjny, przy czym w postaci spektrów fitofenologicznych zobrazowano przebieg faz jedynie do momentu wyrównania rozwoju roślin pomiędzy obserwowanymi obiektami badawczymi. Opis kodów faz fitofenologicznych obserwowanych podczas rozwoju roślin testowych w doświadczeniach wazonowych, wyrażonych w skali BBCH, zamieszczono w tabeli 45 na stronie 190.

5.2.1.1. Przebieg faz fitofenologicznych w sezonie wegetacyjnym 2018/2019

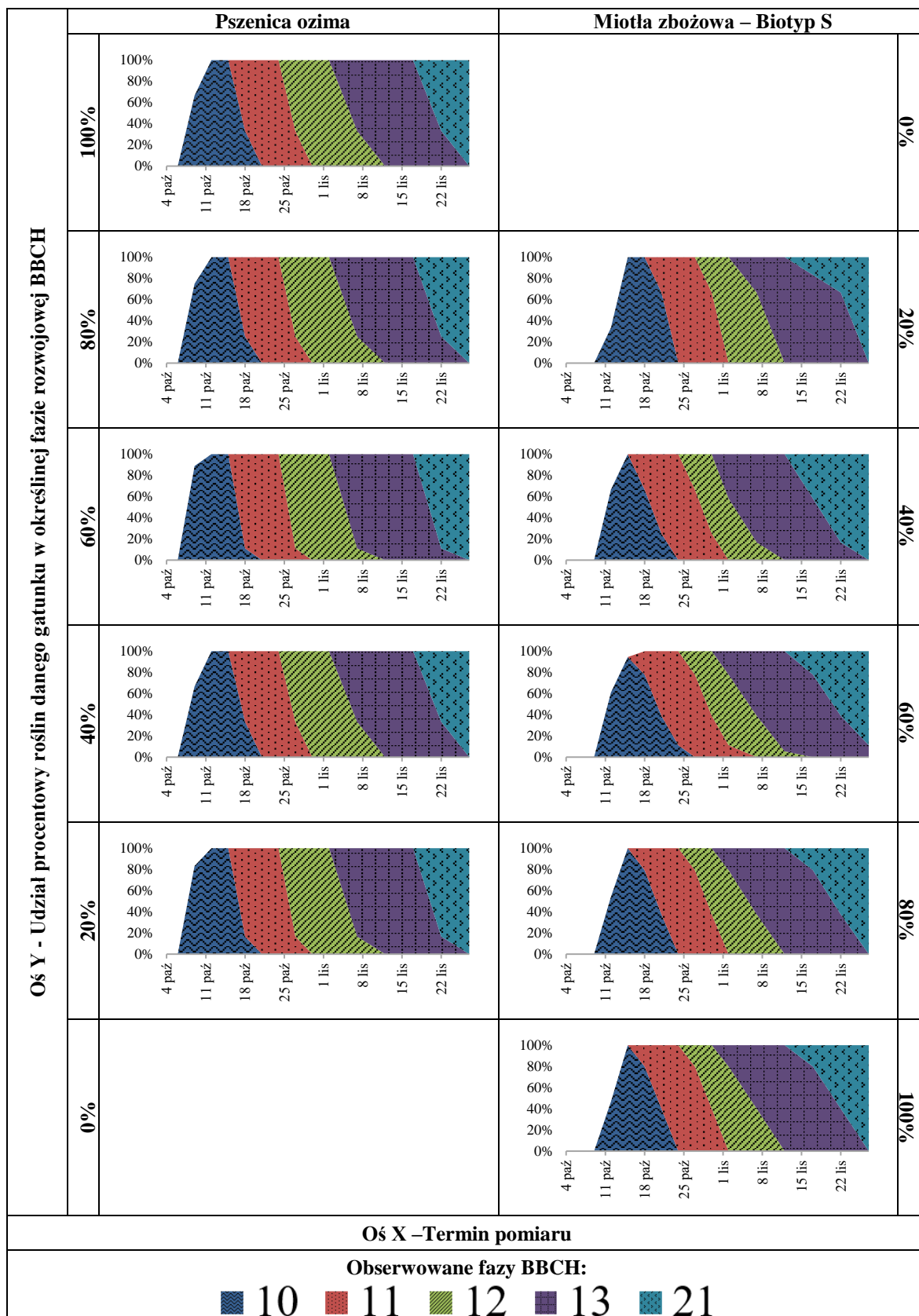
W sezonie wegetacyjnym 2018/2019 rozwój pszenicy ozimej w okresie jesiennym, niezależnie od zastosowanego biotypu chwastu oraz proporcji roślin w wazonie, cechował się pod wieloma względami podobnym trendem (rycina 13 i rycina 14). U osobników pszenicy ozimej, we wszystkich testowanych wariantach badawczych, odnotowano występowanie analogicznych faz BBCH, a przebieg ich rozwoju był względnie wyrównany i jednolity. Termin pojawiania się osobników reprezentujących daną fazę rozwojową, jak również rozpiętość czasowa trwania poszczególnych faz rozwojowych, nie różniły się znacząco w zależności od obiektu badawczego. Różnice pod tym względem zaobserwowano głównie w przypadku konkurencji pszenicy ozimej z biotypem miotły zbożowej odpornym na stosowanie herbicydów (R), gdzie udział procentowy roślin miotły zbożowej w wazonie wynosił 60% i 80% (rycina 13). W tych dwóch obiektach zaobserwowano, że przed 8 listopada nie występowały już osobniki pszenicy ozimej w fazie BBCH 12, a po 22 listopada – w fazie BBCH 13. Może to świadczyć o stymulującym wpływie biotypu R na rozwój pszenicy ozimej. Analizowane

spektra fitofenologiczne wykazały, że w obrębie jednego obiektu, w poszczególnych terminach prowadzenia obserwacji, występowały osobniki danego gatunku w różnych fazach rozwojowych. Nie notowano jednak większego zróżnicowania w trakcie jednego pomiaru niż dwie fazy rozwojowe w obrębie jednego testowanego gatunku. Procentowy udział osobników w danej fazie rozwojowej był silnie zróżnicowany i to głównie on obrazował zróżnicowanie w rozwoju testowanych roślin. W obiektach z udziałem biotypu wrażliwego (S) (rycina 14) na poziomie 60% oraz 20%, udział osobników pszenicy ozimej w fazie BBCH 12 podczas pomiarów 8 listopada wynosił w granicach 20 – 40%, z kolei w pozostałych obiektach badawczych, które notowały jeszcze taką fazę rozwojową, odsetek ten wynosił około 10 – 20%. Analogiczna sytuacja została odnotowana dla pomiarów w dniu 22 listopada, po osiągnięciu przez roślinę uprawną fazy trzeciego liścia. Niezależnie od testowanego wariantu badawczego wszystkie osobniki pszenicy ozimej osiągnęły fazę krzewienia na koniec okresu jesiennej wegetacji.

Analiza spektrów fitofenologicznych rozwoju miotły zbożowej w okresie jesiennym wykazała, że we wszystkich testowanych wariantach badawczych odnotowano występowanie analogicznych faz BBCH, jednak ich przebieg był zróżnicowany, w zależności od obiektu (rycina 13 i rycina 14). Różnice zaobserwowano głównie pod względem rozpiętości czasowej trwania poszczególnych faz oraz procentowego udziału osobników w danej fazie rozwojowej. Ponadto w poszczególnych terminach obserwowano występowanie roślin znajdujących się w różnych fazach rozwojowych. Niezależnie od testowanego biotypu zaobserwowano, że im większy udział pszenicy w wazonie, tym większy jest odsetek osobników chwastu, które w momencie wykonywania obserwacji znajdowały się w niższej fazie rozwojowej, w porównaniu do obiektu kontrolnego. Ponadto konkurencja pszenicy ozimej z chwastem spowodowała, że w wariantach badawczych R80:20PZ i R60:40PZ (rycina 13) oraz S60:40PZ (rycina 14) około 20% osobników miotły zbożowej nie osiągnęło przed zimą fazy krzewienia.

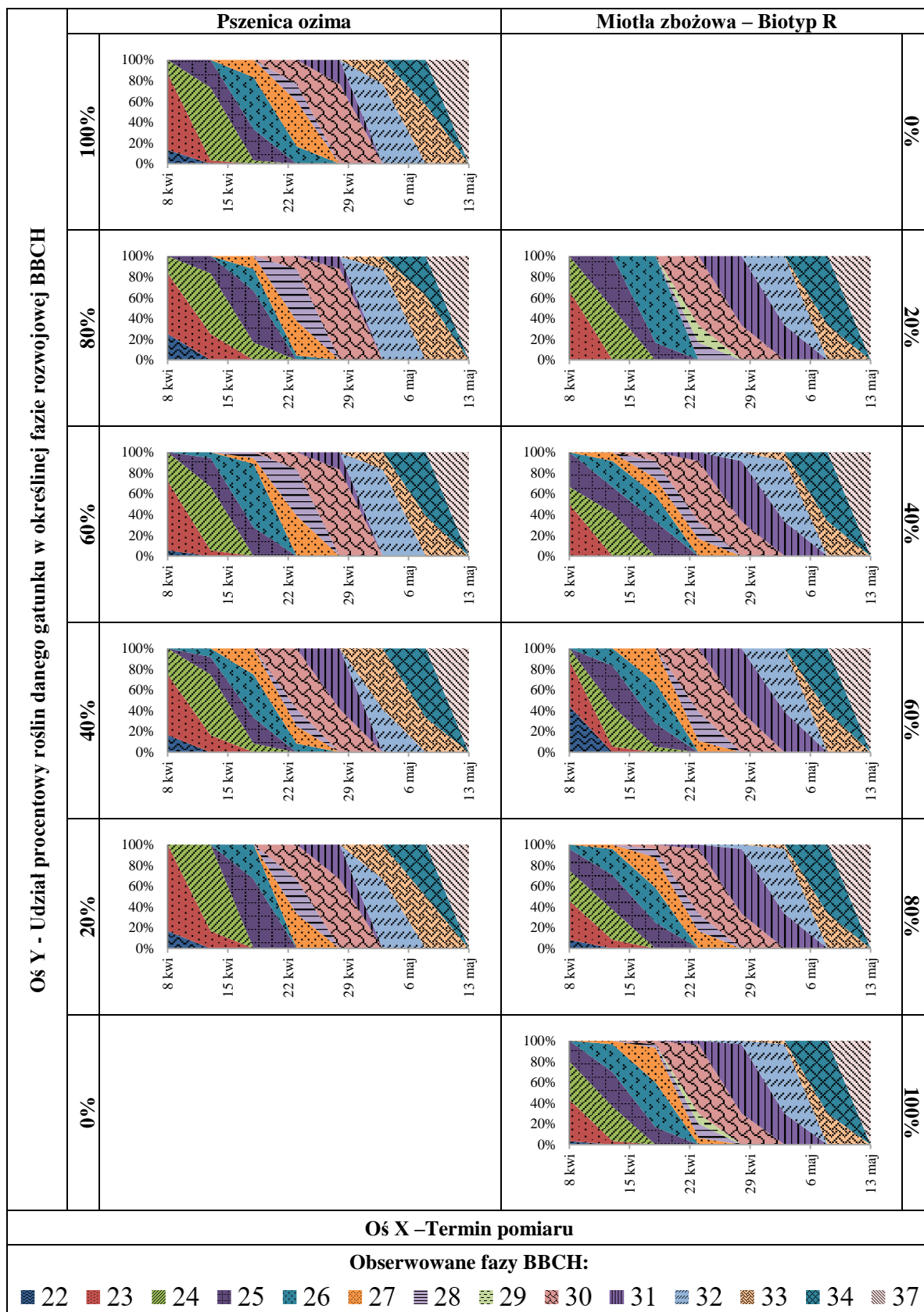


Rycina 13. Przebieg faz rozwojowych pszenicy ozimej odm. Arkadia i miotły zbożowej odpornej na stosowanie herbicydów (R) w doświadczeniu wazonowym – model substytucyjny, w okresie wegetacji jesiennej, sezon 2018/2019. Legenda: 0-100% – proporcja roślin danego gatunku zastosowana w testowanej kombinacji

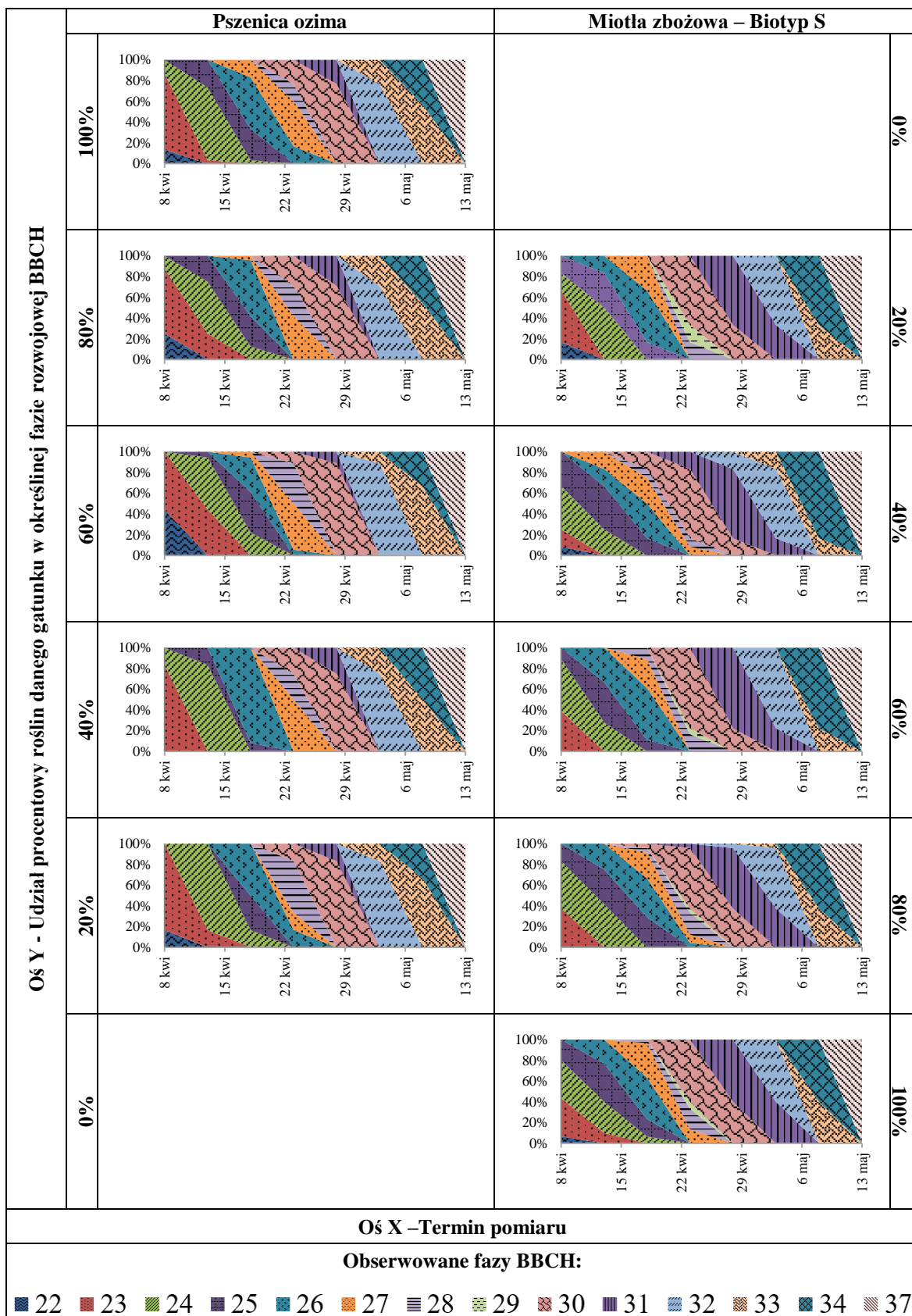


Rycina 14. Przebieg faz rozwojowych pszenicy ozimej odm. Arkadia i miotły zbożowej wrażliwej na stosowanie herbicydów (S) w doświadczeniu wazonowym – model substytucyjny, w okresie wegetacji jesiennej, sezon 2018/2019. Legenda: 0-100% – proporcja roślin danego gatunku zastosowana w testowanej kombinacji

Po wznowieniu wegetacji wiosną (rycina 15 i rycina 16) spektra fitofenologiczne testowanych roślin cechowały się podobnym trendem. Obserwacje wykonywane wiosną wykazały, że niezależnie od wariantu badawczego, w poszczególnych terminach prowadzenia pomiarów występowały osobniki znajdujące się w co najmniej kilku fazach rozwojowych, w obrębie jednego obiektu badawczego. Tym samym rozwój osobników w obrębie gatunku był silnie zróżnicowany. Zróżnicowanie uwidoczniło się szczególnie w okresie krzewienia oraz wzrostu źdźbła roślin. Od fazy BBCH 37 nie obserwowano już różnic w rozwoju testowanych roślin. Wiosną pszenica ozima konkurująca z biotypem R rozwijała się szybciej, we wszystkich testowanych wariantach badawczych (rycina 15). Dla obiektów z 60% i 40% udziałem pszenicy ozimej trend ten widoczny był od początku pomiarów wiosennych, ponieważ już 8 kwietnia notowano osobniki w fazie rozwojowej BBCH 26. W połowie kwietnia na obiekcie z 40% udziałem pszenicy ozimej odnotowano najwyższy odsetek osobników w fazie BBCH 26 – 27, a 22 kwietnia już około 40% osobników osiągnęło fazę BBCH 30. W pozostałych wariantach badawczych odsetek osobników pszenicy w fazie strzelania w źdźbło wynosił około 20%. U pszenicy ozimej konkurującej z biotypem S (rycina 16) nie zaobserwowano już tak wyraźnego trendu, jak w przypadku konkurencji z biotypem R. Dla obiektów z 80%, 60% i 40% udziałem pszenicy ozimej, w okresie pomiędzy 22 a 29 kwietnia, nie odnotowano osobników w fazie rozwojowej niższej niż BBCH 26. W przypadku miotły zbożowej zaobserwowano dużą rozpiętość w czasie pojawiania się osobników w poszczególnych fazach rozwojowych, niezależnie od testowanego biotypu. W obiektach z 20% i 100% udziałem odpornych biotypów (R) (rycina 15) oraz 20%, 60%, 80% i 100% udziałem osobników wrażliwych (S) (rycina 16) zaobserwowano pojawienie się dziewięciu rozkrzewień miotły zbożowej, gdy tymczasem na pozostałych obiektach odnotowano fazę BBCH 28. Skrócenie czasu trwania poszczególnych faz, a tym samym bardziej jednolity rozwój chwastu zaobserwowano dla obiektu PZ80:20R (rycina 15), w terminie od 8 do 22 kwietnia. Ponadto, w obiektach PZ20:80R, PZ60:40R oraz obiekcie PZ60:40S (rycina 16) zaobserwowano, że miotła rozwijała się szybciej, w porównaniu do pozostałych wariantów badawczych, ponieważ już 8 kwietnia odnotowano pojawienie się osobników miotły zbożowej w fazie BBCH 27. Na pozostałych obiektach analogiczną fazę obserwowano dopiero około połowy kwietnia.



Rycina 15. Przebieg faz rozwojowych pszenicy ozimej odm. Arkadia i miotły zbożowej odpornej na stosowanie herbicydów (R) w doświadczeniu wazonowym – model substytucyjny, w okresie wegetacji wiosennej, sezon 2018/2019. Legenda: 0-100% – proporcja roślin danego gatunku zastosowana w testowanej kombinacji



Rycina 16. Przebieg faz rozwojowych pszenicy ozimej odm. Arkadia i miotły zbożowej wrażliwej na stosowanie herbicydów (S) w doświadczeniu wazonowym – model substytucyjny, w okresie wegetacji wiosennej, sezon 2018/2019. Legenda: 0-100% – proporcja roślin danego gatunku zastosowana w testowanej kombinacji

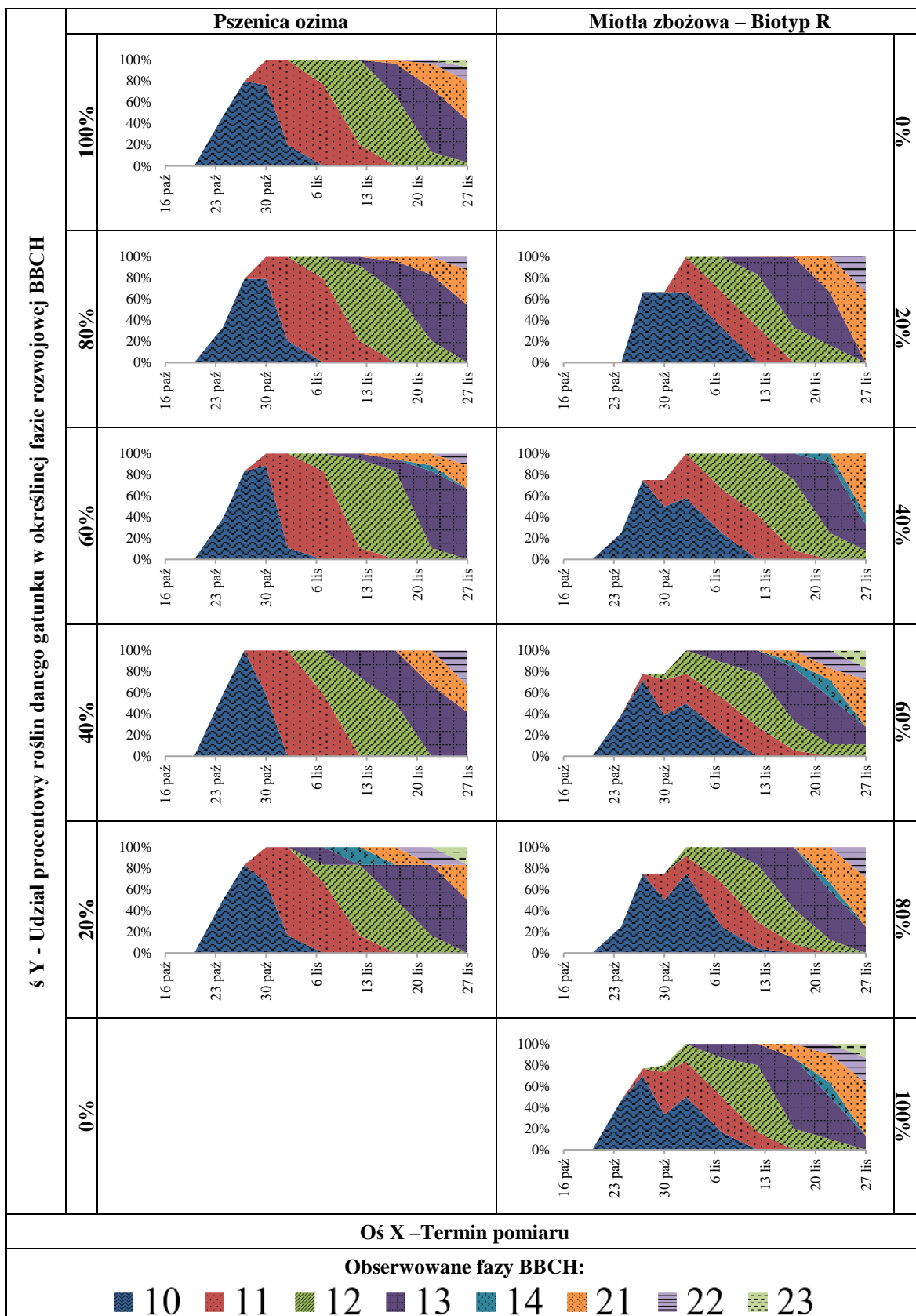
5.2.2.2. Przebieg faz fitofenologicznych w sezonie wegetacyjnym 2019/2020

W sezonie wegetacyjnym 2019/2020 u pszenicy ozimej w okresie jesiennym, zaobserwowano szereg elementów różnicujących jej rozwój, w zależności od wariantu badawczego (rycina 17 i rycina 18). Przy udziale 60% i 20% pszenicy ozimej w obecności odpornego biotypu (R) (rycina 17) oraz przy 60% i 40% udziale rośliny uprawnej w towarzystwie biotypu wrażliwego (S) (rycina 18) zaobserwowano pojawienie się czwartego liścia pszenicy. Dodatkowo, na koniec jesiennej wegetacji, na obiekcie PZ20:R80 oraz na obiekcie kontrolnym (100% obsady rośliny uprawnej) (rycina 17), zaobserwowano pojawienie się fazy trzech rozkrzewień, która nie występowała w pozostałych przypadkach. Terminy przechodzenia pszenicy ozimej w określone fazy rozwojowe, jak również rozpiętość czasowa trwania tych faz, w niektórych przypadkach różniły się znacząco. Na obiekcie z 20% udziałem pszenicy ozimej, rosnącej w obecności biotypu R, faza trzeciego liścia pojawiła się między 30 października a 6 listopada. Na pozostałych obiektach pszenica osiągnęła tę fazę między 6 a 13 listopada (rycina 17). W większości przypadków pszenica rozpoczęła krzewienie (BBCH 21) od 13 listopada, za wyjątkiem obiektu z 40% udziałem rośliny uprawnej. Ponadto tylko na obiekcie PZ20:R80 pszenica zakończyła jesienną wegetację w fazie trzech rozkrzewień. Analiza faz rozwojowych w konkurencji pszenicy ozimej z biotypem wrażliwym – S (rycina 18) wskazuje na wyrównany i jednolity ich przebieg. Jedynie na obiektach z 80% i 60% udziałem rośliny uprawnej zaobserwowano wcześniejsze pojawienie się fazy trzeciego liścia (między 6 a 13 listopada). W pozostałych kombinacjach faza ta wystąpiła dopiero po 13 listopada. Więcej znaczących różnic w tym zakresie nie obserwowano. Analizowane spektra fitofenologiczne pszenicy ozimej w konkurencji z biotypem R i S wykazały zróżnicowanie faz rozwojowych w obrębie obiektu w czasie prowadzenia obserwacji (rycina 17 i rycina 18). W trakcie danego pomiaru notowano od dwóch do czterech faz rozwojowych, w obrębie jednego testowanego gatunku. Procentowy udział osobników w danej fazie rozwojowej był silnie zróżnicowany i to głównie on obrazował zmienność w rozwoju testowanych roślin. Najszybciej rozwijała się pszenica ozima na obiekcie PZ20:R80 (rycina 17), na którym około 20% osobników pszenicy osiągnęło fazę BBCH 23. Zbliżony trend zaobserwowano w sezonie wegetacyjnym 2018/2019. Jesienią, najwolniej rozwijała się pszenica w obiekcie PZ60:R40 (rycina 17), gdzie około 70% roślin znajdowało się w fazie BBCH 13 oraz w obiekcie PZ80:20S (rycina 18), gdzie w ostatnim dniu obserwacji odnotowano jeszcze około 10% roślin w fazie BBCH 12. Ponadto zaobserwowano, że wraz ze wzrostem liczebności biotypu R, pszenica ozima rozwijała się szybciej – o czym świadczy zróżnicowany procentowy udział pszenicy w poszczególnych fazach rozwojowych (rycina 17). Odwrotny

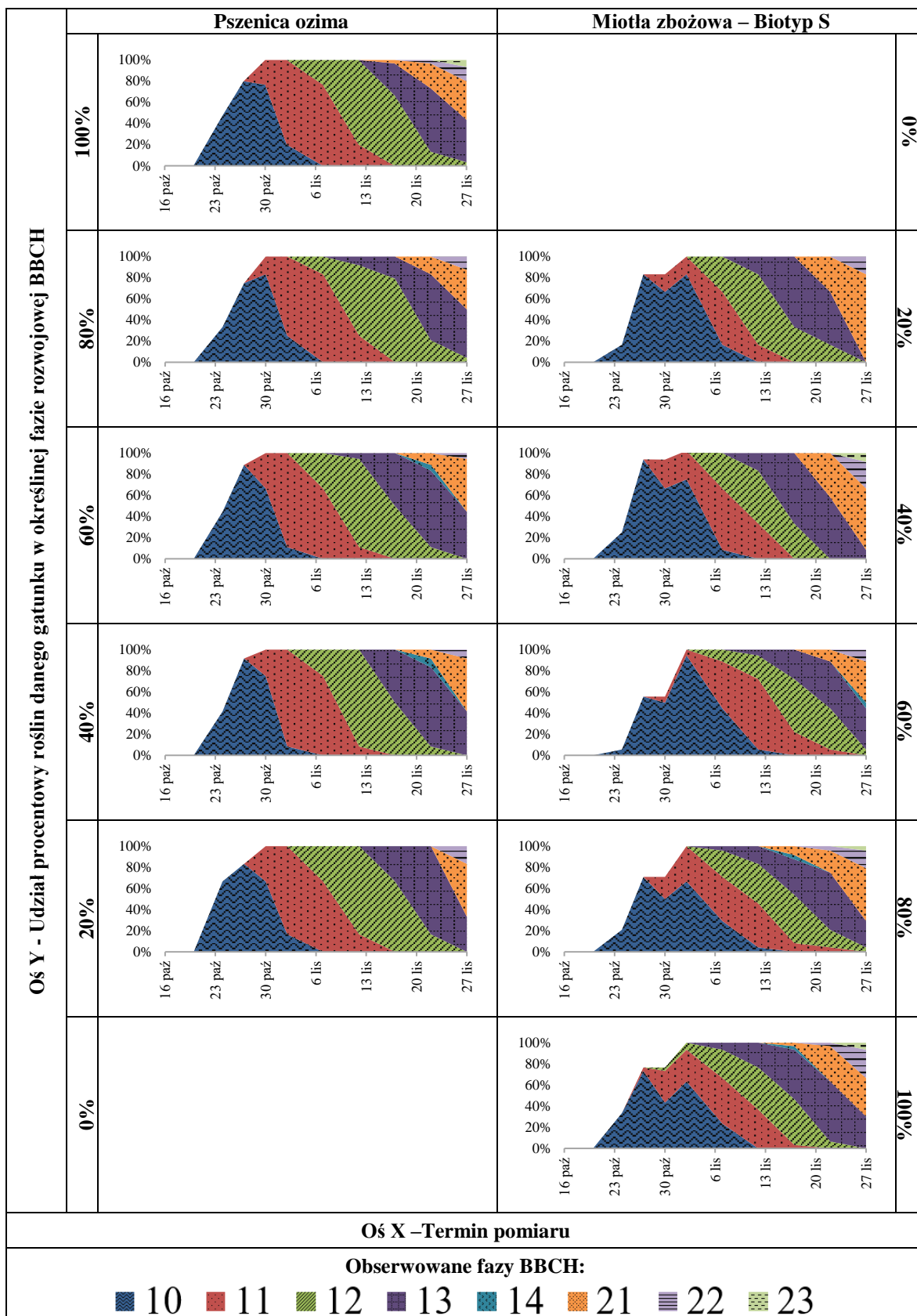
ternd obserwowano w przypadku pszenicy konkurującej z biotypem S. Zwiększony udział miotły w wazonie powodował spowolnienie rozwoju pszenicy ozimej (rycina 18).

Analiza rozwoju miotły zbożowej w okresie jesiennym nie wykazała tak znaczących różnic między obiektami, jak w przypadku pszenicy ozimej (rycina 17 i rycina 18). Zmienność dotyczyła zróżnicowanych faz BBCH oraz procentowego udziału miotły zbożowej w danej fazie rozwojowej. Najslabiej rozwijał się chwast w kombinacji PZ60:40R (rycina 17), gdzie na koniec jesiennej wegetacji prawie 20% osobników znajdowało się jeszcze w fazie dwóch liści, a żaden nie osiągnął fazy powyżej BBCH 21. Ponadto spektra fitofenologiczne miotły zbożowej pokazały silne zróżnicowanie faz rozwojowych, niezależnie od biotypu (rycina 17 i rycina 18). W trakcie pomiaru notowano od dwóch do nawet pięciu faz rozwojowych, w obrębie jednego testowanego gatunku.

U obu testowanych gatunków roślin zauważono dużą rozpiętość czasową terminu pojawiania się osobników o określonej fazie rozwojowej, co mogło być spowodowane warunkami termicznymi i wilgotnościowymi, jakie panowały w omawianym okresie wegetacyjnym. Ponadto przed zimą około 20 – 60% roślin miotły zbożowej i 40 – 70% pszenicy ozimej nie osiągnęło fazy krzewienia. Wyjątek stanowiła miotła zbożowa na obiektach PZ80:R20 (rycina 17) oraz PZ80:S20 (rycina 18), na których 100% osobników zakończyło jesienną wegetację w fazie BBCH 21.



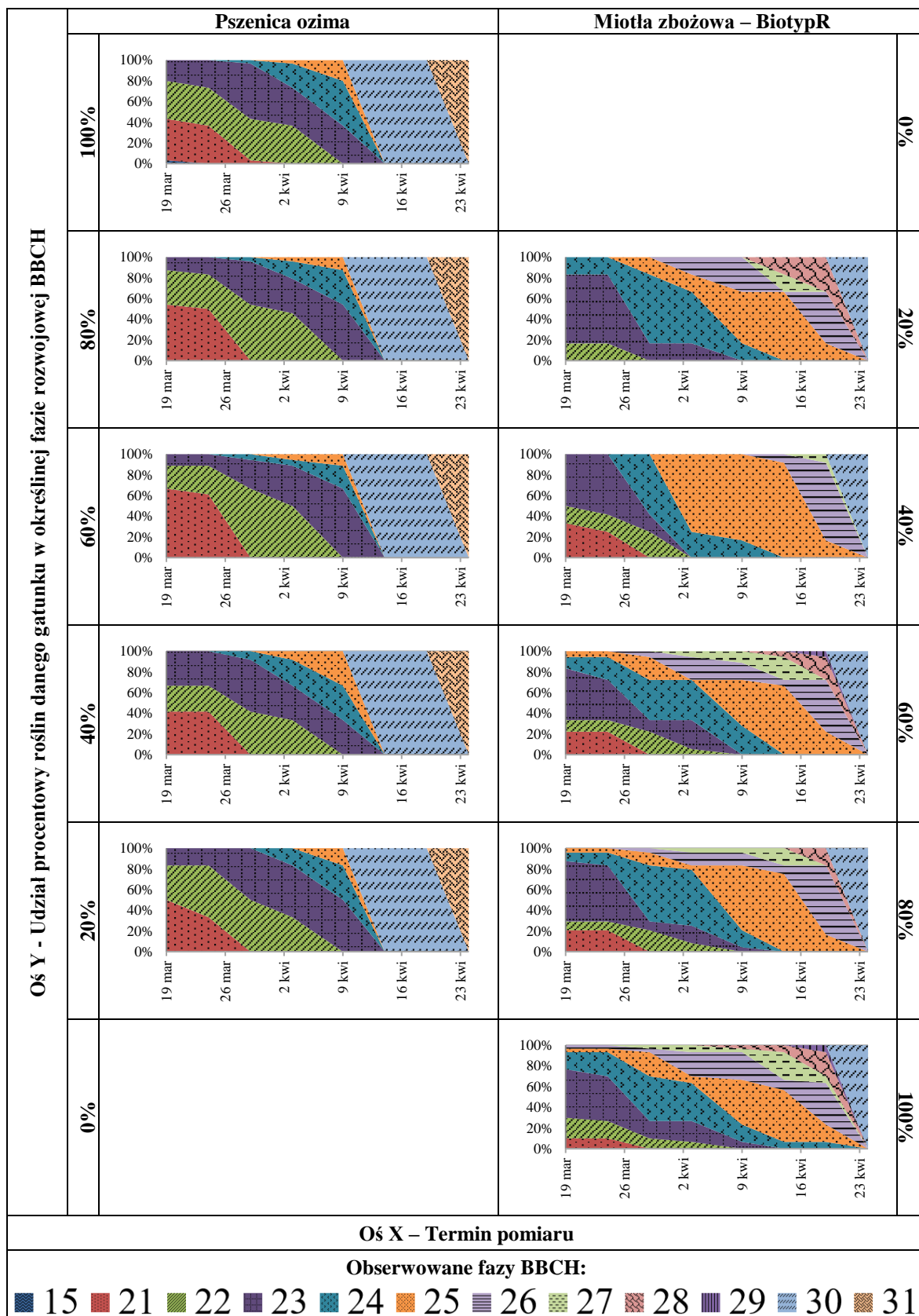
Rycina 17. Przebieg faz rozwojowych pszenicy ozimej odm. Arkadia i miotły zbożowej odpornej na stosowanie herbicydów (R) w doświadczeniu wazonowym – model substytucyjny, w okresie wegetacji jesiennej, sezon 2019/2020. Legenda: 0-100% – proporcja roślin danego gatunku zastosowana w testowanej kombinacji



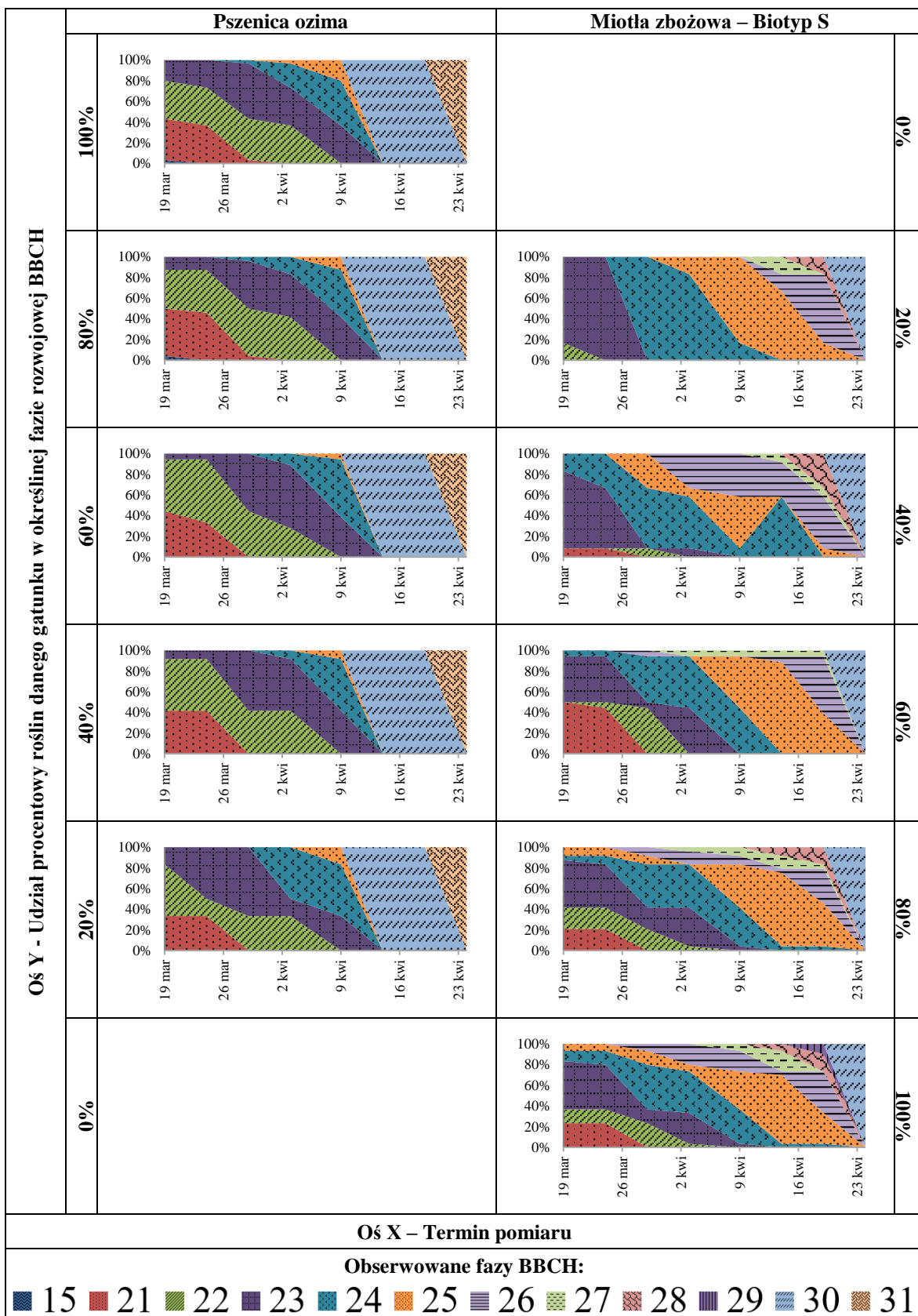
Rycina 18. Przebieg faz rozwojowych pszenicy ozimej odm. Arkadia i miotły zbożowej wrażliwej na stosowanie herbicydów (S) w doświadczeniu wazonowym – model substytucyjny, w okresie wegetacji jesiennej, sezon 2019/2020. Legenda: 0-100% – proporcja roślin danego gatunku zastosowana w testowanej kombinacji

Wiosenna analiza spektrów fitofenologicznych badanych roślin wykazała zróżnicowanie faz rozwojowych (rycina 19 i rycina 20). Obserwowano występowanie osobników danego gatunku reprezentujących równocześnie od trzech do sześciu różnych faz rozwojowych. Przebieg wzrostu pszenicy ozimej był bardzo zbliżony we wszystkich testowanych wariantach niezależnie od rodzaju konkurującego biotypu miotły zbożowej (rycina 19 i rycina 20). Pszenica wchodziła w fazę strzelania w źdźbło (BBCH 30 – 31) w połowie kwietnia i od tego momentu nie obserwowano już różnic we wzroście rośliny uprawnej między obiektami. We wszystkich analizowanych wariantach, od rozpoczęcia wiosennej wegetacji, pszenica osiągnęła fazę BBCH 23, która trwała do połowy kwietnia. Poszczególne obiekty nieznacznie różnicowane były terminem pojawiania się poszczególnych faz oraz rozpiętością czasu ich trwania.

Większe zróżnicowanie przebiegu faz rozwojowych obserwowano w przypadku miotły zbożowej na etapie krzewienia. Niezależnie od testowanego biotypu krzewiła się ona silniej niż pszenica ozima. W większości przypadków miotła osiągnęła osiem rozkrzewień. Tylko na obiektach P60:R40 (rycina 19) oraz P40:S60 (rycina 20) uzyskano ich maksymalnie siedem. Dodatkowo w przypadku obiektów ze 100% udziałem biotypu R i S (kontroli) oraz na obiekcie z 60% udziałem biotypu R odnotowano fazę BBCH 29. Ponadto, analizując spektra fitofenologiczne miotły zaobserwowano wyraźne zaznaczenie się przebiegu fazy BBCH 25. Obrazuje to silne rozciągnięcie pełni krzewienia miotły w czasie trwania obserwacji oraz wysoki odsetek udziału osobników w tej fazie. Na taki wynik mogły mieć wpływ warunki pogodowe. W kwietniu 2020 roku notowano wysokie temperatury powietrza w ciągu dnia, przy jednoczesnym braku opadów. To mogło spowodować, że rośliny nie miały możliwości dynamicznego przechodzenia w wyższe fazy rozwojowe. Brak różnic w fazach rozwojowych miotły zbożowej notowano od momentu wzrostu źdźbła (BBCH 30), podobnie jak u pszenicy ozimej.



Rycina 19. Przebieg faz rozwojowych pszenicy ozimej odm. Arkadia i miotły zbożowej odpornej na stosowanie herbicydów (R) w doświadczeniu wazonowym – model substytucyjny, w okresie wegetacji wiosennej, sezon 2019/2020. Legenda: 0-100% – proporcja roślin danego gatunku zastosowana w testowanej kombinacji



Rycina 20. Przebieg faz rozwojowych pszenicy ozimej odm. Arkadia i miotły zbożowej wrażliwej na stosowanie herbicydów (S) w doświadczeniu wazonowym – model substytucyjny, w okresie wegetacji wiosennej, sezon 2019/2020. Legenda: 0-100% – proporcja roślin danego gatunku zastosowana w testowanej kombinacji

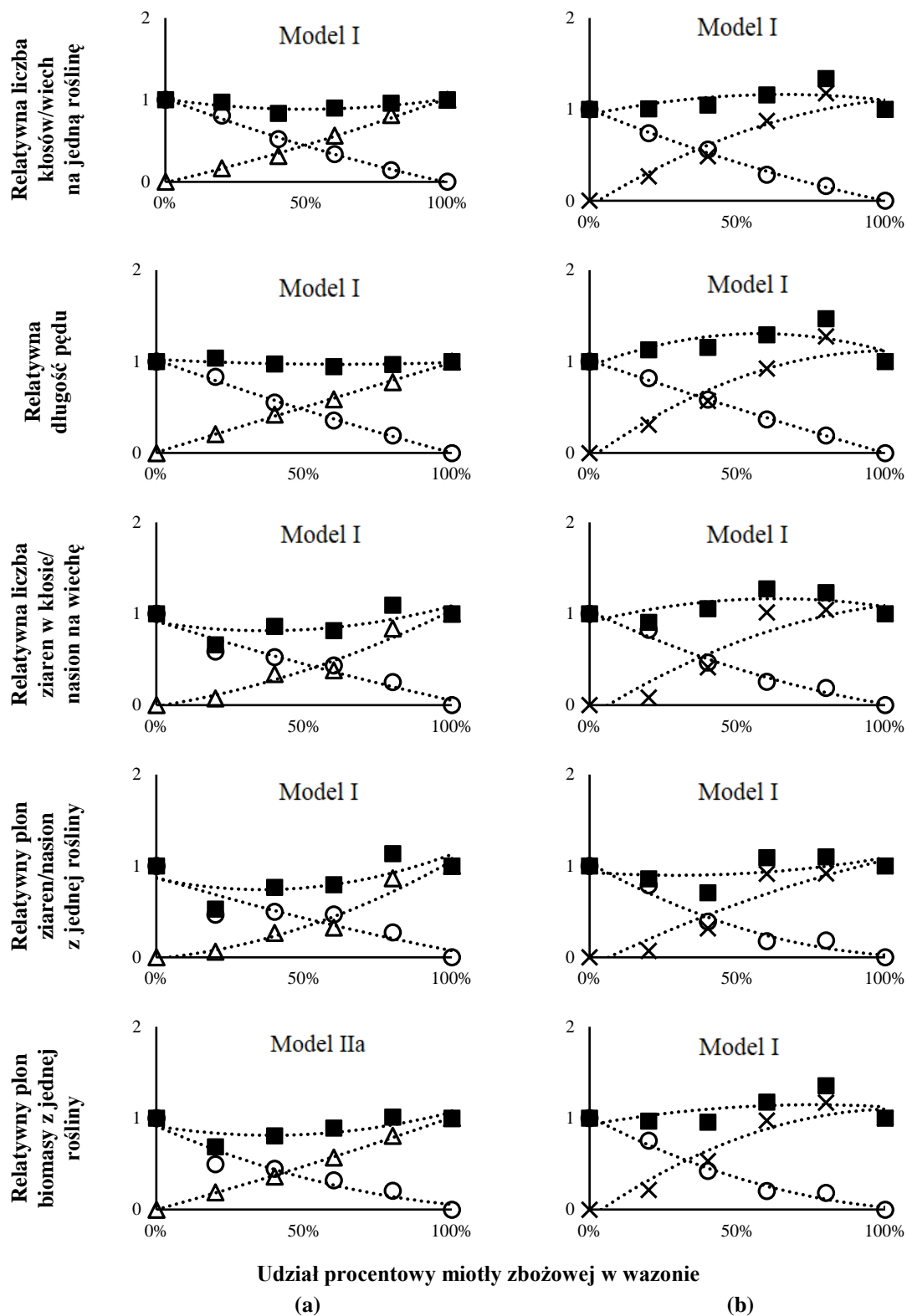
5.2.2. Analiza statystyczna wskaźników konkurencyjności

5.2.2.1. Wskaźniki konkurencyjnego oddziaływania pomiędzy miotłą zbożową a pszenicą ozimą na wybrane parametry roślin – sezon wegetacyjny 2018/2019

Na rycinie 21 przedstawiono substytucyjne modele konkurencji pszenicy ozimej i miotły zbożowej w sezonie wegetacyjnym 2018/2019, wyrażone względnymi wartościami wybranych pięciu cech:

- liczby kłosów/wiech na jedną roślinę;
- długości pędu;
- liczby ziaren w kłosie/ nasion na wiechę;
- plonu ziaren/nasion z jednej rośliny;
- biomasy jednej rośliny.

W przypadku konkurencji pomiędzy pszenicą ozimą a biotypem miotły zbożowej odpornym na herbicydy (R), na podstawie wyliczonych średnich wskaźników RY i TRY dla powyższych cech roślin testowych oraz zgodnie z wynikami testu t-Studenta (tabela 46 na stronie 191), prawie wszystkie otrzymane modele przyporządkowano do typu I (rycina 21). Tym samym otrzymano informację, że nie zachodziła istotna konkurencja między testowanymi gatunkami. Jedynie w przypadku biomasy jednej rośliny zachodziła istotna różnica odnotowana dla wskaźnika RY u biotypu odpornego (tabela 46). Tym samym niniejszy model zakwalifikowano jako typ IIa (rycina 21), który wskazuje na występowanie konkurencji miotły o biotypie R względem pszenicy ozimej. W przypadku konkurencji pomiędzy pszenicą ozimą a biotypem miotły zbożowej wrażliwym na stosowanie herbicydów (S), na podstawie wyliczonych średnich wskaźników RY i TRY dla powyższych cech roślin testowych oraz zgodnie z wynikami testu t-Studenta (tabela 47 na stronie 191), wszystkie otrzymane modele przyporządkowano do typu I (rycina 21). Tym samym otrzymano informację, że nie zachodziła istotna konkurencja między testowanymi roślinami.

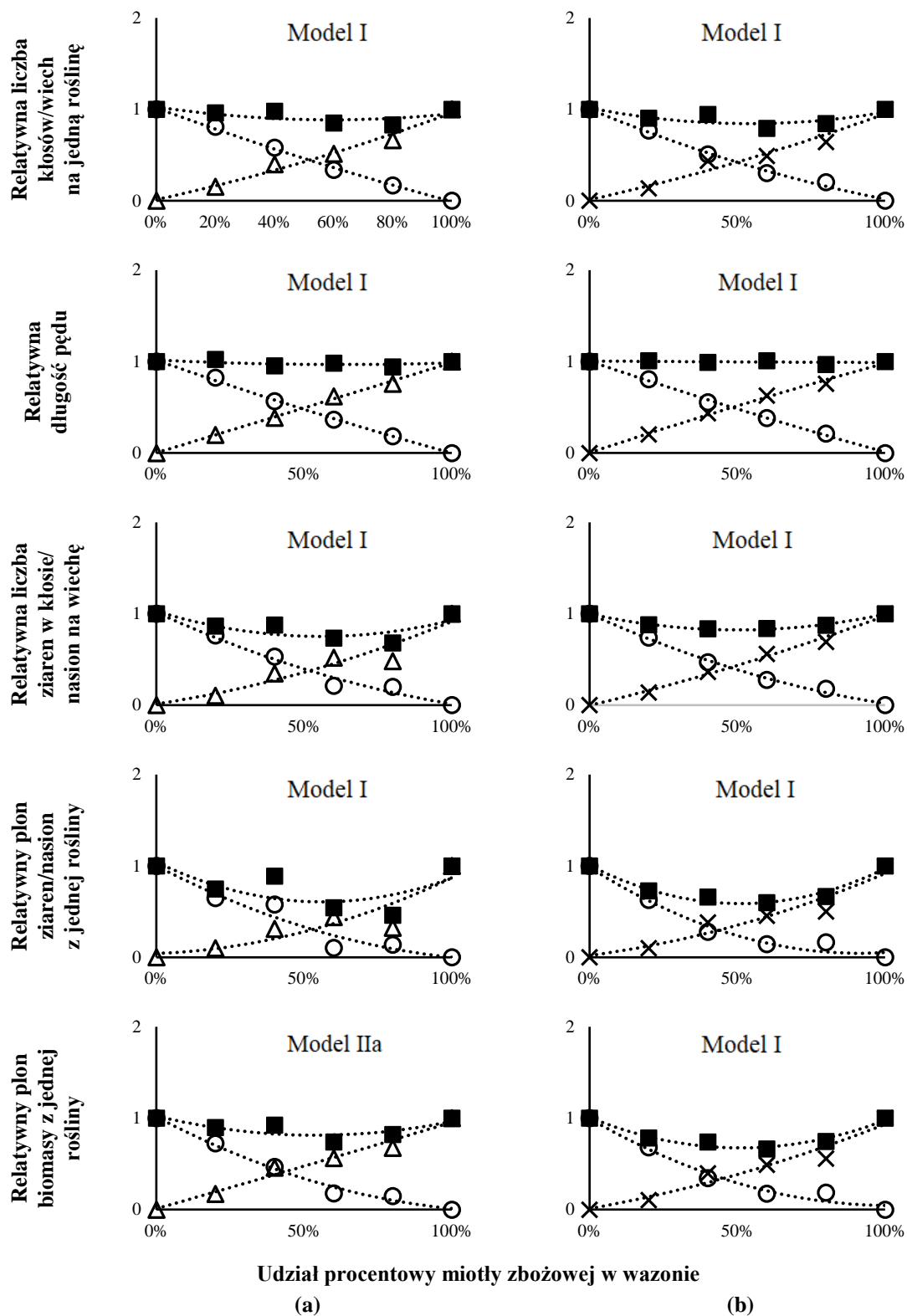


Rycina 21. Substytucyjny model konkurencji względnych wartości wybranych parametrów pszenicy ozimej i miotły zbożowej w sezonie wegetacyjnym 2018/2019. (a) – konkurencja pszenicy ozimej z biotypem odpornym (R), (b) – konkurencja pszenicy ozimej z biotypem wrażliwym (S)

5.2.2.2. Wskaźniki konkurencyjnego oddziaływania pomiędzy miotłą zbożową a pszenicą ozimą na wybrane parametry roślin – sezon wegetacyjny 2019/2020

Na rycinie 22 przedstawiono substytucyjne modele konkurencji pszenicy ozimej i miotły zbożowej w sezonie wegetacyjnym 2019/2020, wyrażone względnymi wartościami wybranych pięciu cech, analogicznych jak w sezonie wegetacyjnym 2018/2019.

W przypadku konkurencji pomiędzy pszenicą ozimą a biotypem miotły zbożowej odpornym na stosowanie herbicydów (R), na podstawie wyliczonych średnich wskaźników RY i TRY dla powyższych cech roślin testowych oraz zgodnie z wynikami testu t-Studenta (tabela 48 na stronie 192), prawie wszystkie otrzymane modele przyporządkowano do typu I (rycina 22). Tym samym otrzymano informację, że nie zachodziła istotna konkurencja między testowanymi roślinami. Jedynie w przypadku biomasy jednej rośliny zachodziła istotna różnica odnotowana dla wskaźnika RY u biotypu odpornego na stosowanie herbicydów (tabela 48). Tym samym niniejszy model zakwalifikowano jako typ IIa (rycina 22), który wskazuje na konkurencję miotły o biotypie R względem pszenicy ozimej. W przypadku konkurencji pomiędzy pszenicą ozimą a biotypem miotły zbożowej wrażliwym na stosowanie herbicydów (S), na podstawie wyliczonych średnich wskaźników RY i TRY dla powyższych cech roślin testowych oraz zgodnie z wynikami testu t-Studenta (tabela 49 na stronie 192), wszystkie otrzymane modele przyporządkowano do typu I (rycina 22). Tym samym otrzymano informację, że nie zachodziła istotna konkurencja między testowanymi roślinami. W sezonie wegetacyjnym 2018/2019 otrzymano analogiczne wyniki badań pomimo tego, że do badań wykorzystywano rokrocznie inny biotyp odporny (R).



Rycina 22. Substytucyjny model konkurencji względnych wartości wybranych parametrów pszenicy ozimej i miotły zbożowej w sezonie wegetacyjnym 2019/2020. (a) – konkurencja pszenicy ozimej z biotypem odpornym (R), (b) – konkurencja pszenicy ozimej z biotypem wrażliwym (S)

5.3. Addytywny model konkurencji

Dane dotyczące terminów siewu, wschodów i zbioru roślin, w sezonie wegetacyjnym 2018/2019 zamieszczono w tabeli 31, a w sezonie wegetacyjnym 2019/2020 w tabeli 32.

Tabela 31. Terminy siewu, wschodów oraz zbioru pszenicy ozimej i miotły zbożowej w doświadczeniu wazonowym – sezon wegetacyjny 2018/2019, model addytywny

| Poziom nawożenia | Roślina | Termin siewu | Substrat gleby lekkiej | | Substrat gleby ciężkiej | |
|------------------|-------------|--------------|------------------------|---------------|-------------------------|---------------|
| | | | Termin wschodu | Termin zbioru | Termin wschodu | Termin zbioru |
| a0 | PZ kontrola | 29.09.2018 | 09.10.2018 | 21.07.2019 | 09.10.2018 | 21.07.2019 |
| | PZ (S1) | | 12.10.2018 | 21.07.2019 | 09.10.2018 | 21.07.2019 |
| | S1 | | 12.10.2018 | 14.07.2019 | 12.10.2018 | 14.07.2019 |
| | PZ (S2) | | 12.10.2018 | 21.07.2019 | 09.10.2018 | 21.07.2019 |
| | S2 | | 12.10.2018 | 14.07.2019 | 12.10.2018 | 14.07.2019 |
| | PZ (B-2) | | 09.10.2018 | 21.07.2019 | 09.10.2018 | 21.07.2019 |
| | B-2 | | 16.10.2018 | 14.07.2019 | 16.10.2018 | 14.07.2019 |
| | PZ (B-3) | | 09.10.2018 | 21.07.2019 | 09.10.2018 | 21.07.2019 |
| | B-3 | | 12.10.2018 | 14.07.2019 | 12.10.2018 | 14.07.2019 |
| | PZ (AB-1) | | 09.10.2018 | 21.07.2019 | 12.10.2018 | 21.07.2019 |
| AB-1 | 12.10.2018 | 14.07.2019 | 12.10.2018 | 14.07.2019 | | |
| a1 | PZ kontrola | 29.09.2018 | 09.10.2018 | 21.07.2019 | 09.10.2018 | 21.07.2019 |
| | PZ (S1) | | 09.10.2018 | 21.07.2019 | 12.10.2018 | 21.07.2019 |
| | S1 | | 16.10.2018 | 14.07.2019 | 12.10.2018 | 14.07.2019 |
| | PZ (S2) | | 09.10.2018 | 21.07.2019 | 09.10.2018 | 21.07.2019 |
| | S2 | | 16.10.2018 | 14.07.2019 | 12.10.2018 | 14.07.2019 |
| | PZ (B-2) | | 12.10.2018 | 21.07.2019 | 09.10.2018 | 21.07.2019 |
| | B-2 | | 12.10.2018 | 14.07.2019 | 12.10.2018 | 14.07.2019 |
| | PZ (B-3) | | 09.10.2018 | 21.07.2019 | 09.10.2018 | 21.07.2019 |
| | B-3 | | 12.10.2018 | 14.07.2019 | 12.10.2018 | 14.07.2019 |
| | PZ (AB-1) | | 09.10.2018 | 21.07.2019 | 09.10.2018 | 21.07.2019 |
| AB-1 | 12.10.2018 | 14.07.2019 | 12.10.2018 | 14.07.2019 | | |

Legenda: PZ (S1 – AB-1) – pszenica w konkurencji z biotypem chwastu, S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, AB – biotyp z odpornością wielokrotną

Tabela 32. Terminy siewu, wschodów oraz zbioru pszenicy ozimej i miotły zbożowej w doświadczeniu wazonowym – sezon wegetacyjny 2019/2020, model addytywny

| Poziom nawożenia | Roślina | Termin siewu | Substrat gleby lekkiej | | Substrat gleby ciężkiej | |
|------------------|-------------|--------------|------------------------|---------------|-------------------------|---------------|
| | | | Termin wschodu | Termin zbioru | Termin wschodu | Termin zbioru |
| a0 | PZ kontrola | 28.09.2019 | 12.10.2019 | 21.07.2020 | 09.10.2019 | 21.07.2020 |
| | PZ (S1) | | 09.10.2019 | 21.07.2020 | 12.10.2019 | 21.07.2020 |
| | S1 | | 16.10.2019 | 14.07.2020 | 16.10.2019 | 14.07.2020 |
| | PZ (S2) | | 09.10.2019 | 21.07.2020 | 12.10.2019 | 21.07.2020 |
| | S2 | | 18.10.2019 | 14.07.2020 | 18.10.2019 | 14.07.2020 |
| | PZ (B-2) | | 09.10.2019 | 21.07.2020 | 09.10.2019 | 21.07.2020 |
| | B-2 | | 18.10.2019 | 14.07.2020 | 16.10.2019 | 14.07.2020 |
| | PZ (B-3) | | 12.10.2019 | 21.07.2020 | 12.10.2019 | 21.07.2020 |
| | B-3 | | 12.10.2019 | 14.07.2020 | 12.10.2019 | 14.07.2020 |
| | PZ (AB-1) | | 09.10.2019 | 21.07.2020 | 09.10.2019 | 21.07.2020 |
| | AB-1 | | 12.10.2019 | 14.07.2020 | 16.10.2019 | 14.07.2020 |
| a1 | PZ kontrola | 28.09.2019 | 09.10.2019 | 21.07.2020 | 12.10.2019 | 21.07.2020 |
| | PZ (S1) | | 09.10.2019 | 21.07.2020 | 09.10.2019 | 21.07.2020 |
| | S1 | | 16.10.2019 | 14.07.2020 | 16.10.2019 | 14.07.2020 |
| | PZ (S2) | | 12.10.2019 | 21.07.2020 | 12.10.2019 | 21.07.2020 |
| | S2 | | 12.10.2019 | 14.07.2020 | 16.10.2019 | 14.07.2020 |
| | PZ (B-2) | | 09.10.2019 | 21.07.2020 | 09.10.2019 | 21.07.2020 |
| | B-2 | | 12.10.2019 | 14.07.2020 | 12.10.2019 | 14.07.2020 |
| | PZ (B-3) | | 12.10.2019 | 21.07.2020 | 09.10.2019 | 21.07.2020 |
| | B-3 | | 12.10.2019 | 14.07.2020 | 12.10.2019 | 14.07.2020 |
| | PZ (AB-1) | | 09.10.2019 | 21.07.2020 | 09.10.2019 | 21.07.2020 |
| | AB-1 | | 12.10.2019 | 14.07.2020 | 12.10.2019 | 14.07.2020 |

Legenda: PZ (S1 – AB-1) – pszenica w konkurencji z biotypem chwastu, S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, AB-1 – biotyp z odpornością wielokrotną

W sezonie wegetacyjnym 2018/2019 (tabela 31), niezależnie od rodzaju substratu glebowego oraz poziomu nawożenia, wschody pszenicy ozimej bez udziału chwastu w wazonie odnotowano po 10 dniach od siewu (9 października). W przypadku siewu z chwastem wschody pszenicy pojawiały po 10 – 13 dniach od siewu (między 9 a 12 października). Wydłużony czas

wschodów o trzy dni, względem obiektów kontrolnych, dotyczył pszenicy konkurującej z biotypami wrażliwymi: S1 – na substracie gleby lekkiej, bez nawożenia oraz ciężkiej, nawożonej i S2 – na substracie gleby lekkiej, bez nawożenia. Trzydniowe opóźnienie wschodów pszenicy odnotowano również w przypadku jej konkurencji z dwoma biotypami odpornymi: B-2 (substrat gleby lekkiej, nawożony) i AB-1 (substrat gleby ciężkiej, bez nawożenia). Rośliny miotły zbożowej wschodziły między 12 a 16 października, z czego wschody późniejsze odnotowano dla biotypu odpornego B-2 – na substracie gleby lekkiej i ciężkiej, w wariantach bez nawożenia, oraz dla biotypów wrażliwych S1 i S2 – na substracie gleby lekkiej, nawożonej.

Sezon wegetacyjny 2019/2020 (tabela 32) był bardziej zróżnicowany pod względem wschodów roślin testowych. Niezależnie od rodzaju substratu glebowego oraz poziomu nawożenia wschody pszenicy ozimej, zarówno w siewie bez chwastu jak i z chwastem, odnotowano po 10 – 13 dniach od siewu (między 9 a 12 października). Pszenica konkurująca z biotypami chwastu S1, S2, B-2 i AB-1 w wazonach z substratem gleby lekkiej, bez nawożenia, wschodziła o trzy dni wcześniej w porównaniu do obiektu kontrolnego. Podobną sytuację obserwowano w przypadku konkurencji pszenicy z biotypami S1, B-2, B-3 i AB-1 w wazonach z substratem gleby ciężkiej, nawożonej. W przypadku miotły zbożowej wschody odnotowano dopiero po 13 – 19 dniach od siewu (między 12 a 18 października). Biotyp wrażliwy S1 aż w trzech wariantach doświadczenia – na substracie gleby lekkiej, nawożonej oraz bez nawozu i substracie gleby ciężkiej, nawożonej, wschodził w terminie 16 października. Sześciodniowe opóźnienie wschodów, względem pierwszych pojawiających się osobników chwastu, odnotowano z kolei dla drugiego wrażliwego biotypu chwastu – S2 – w wazonach z substratem gleby lekkiej oraz ciężkiej, bez nawożenia i dla biotypu odpornego B-2 w wazonach z substratem gleby lekkiej, nawożonej.

5.3.1. Przebieg faz fitofenologicznych

W oparciu o pomiary faz fitofenologicznych dokonano analizy przebiegu rozwoju poszczególnych testowanych gatunków roślin – dla każdego z sezonów wegetacyjnych osobno. Pomiary prowadzono przez cały sezon wegetacyjny, przy czym w postaci spektów fitofenologicznych zobrazowano przebieg faz jedynie do momentu wyrównania rozwoju osobników pszenicy ozimej w danym wariantcie glebowo-nawozowym. Opis kodów faz fitofenologicznych obserwowanych podczas rozwoju roślin testowych w doświadczeniach wazonowych, wyrażonych w skali BBCH, zamieszczono w tabeli 45 na stronie 190.

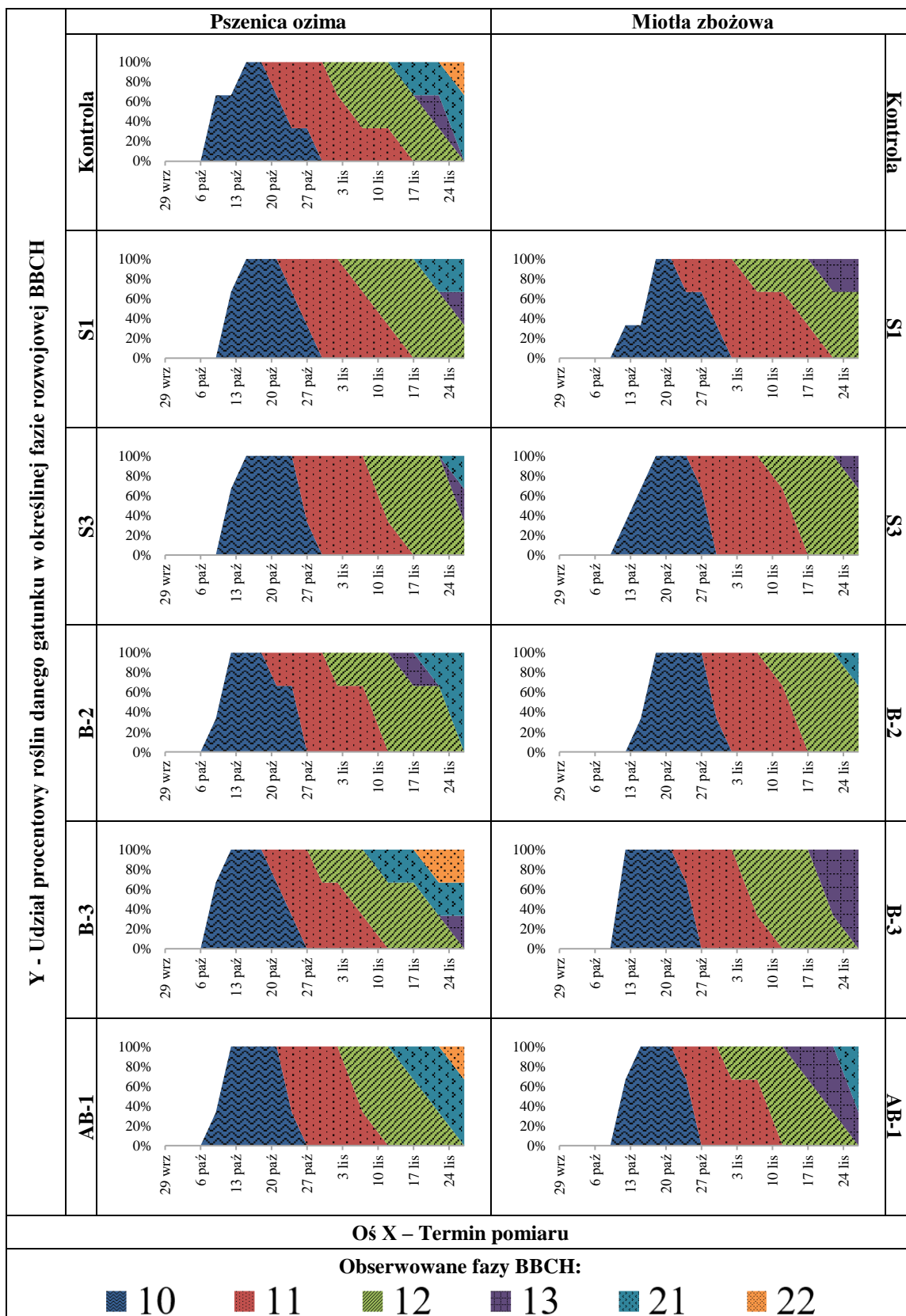
5.3.1.1. Przebieg faz fitofenologicznych w sezonie wegetacyjnym 2018/2019

W sezonie wegetacyjnym 2018/2019 rozwój pszenicy ozimej w okresie jesiennym, niezależnie od zastosowanego biotypu chwastu, rodzaju substratu glebowego oraz poziomu nawożenia, cechował się pod wieloma względami podobnym trendem (rycina 23 – 26).

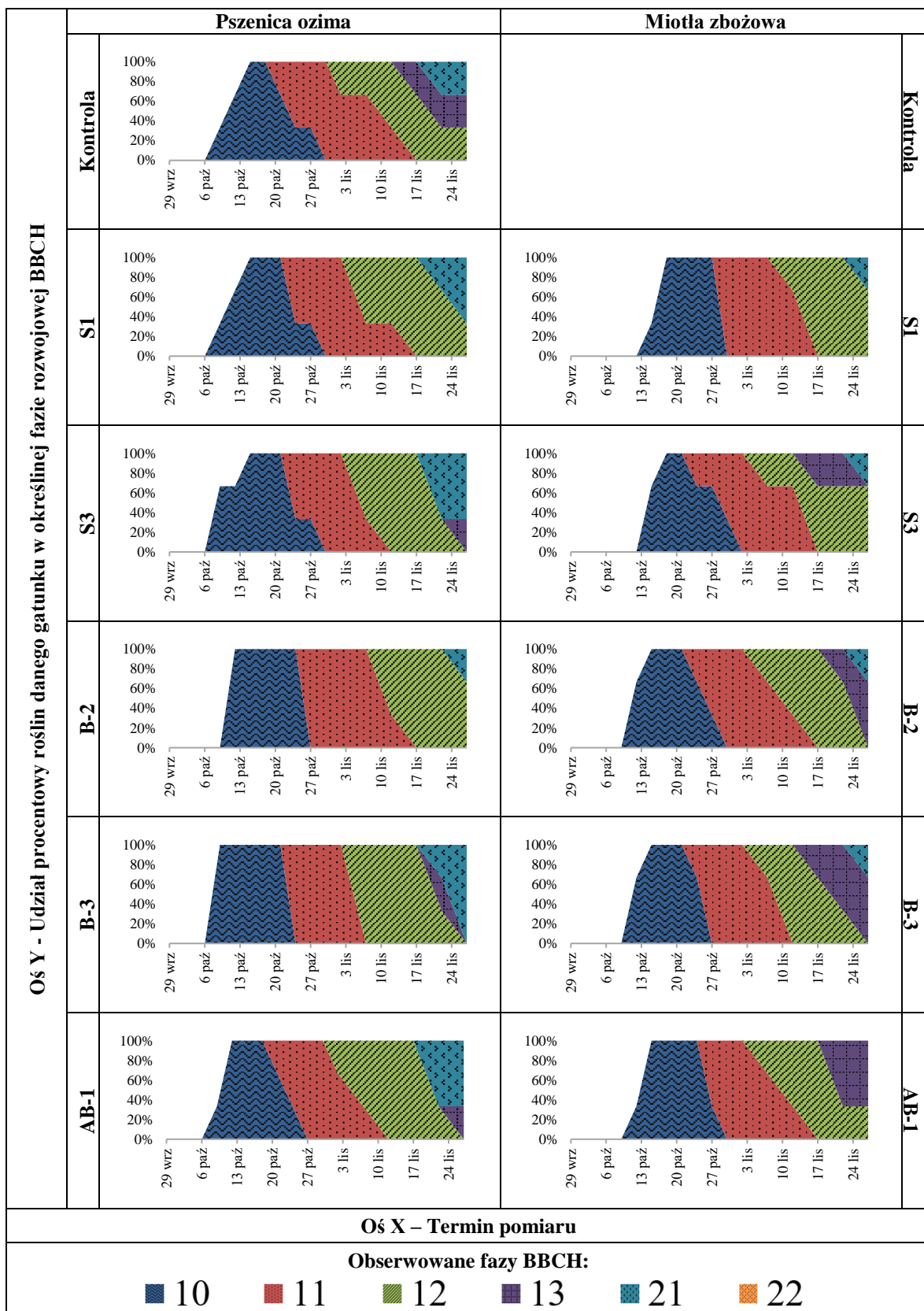
Jesienią przebieg faz rozwojowych pszenicy ozimej był względnie wyrównany i jednolity. Tuż przed zimowym spoczynkiem najwyższą fazę rozwojową (BBCH 22) roślina uprawna osiągnęła na obiektach z glebą lekką, bez nawożenia (L-a0): z samą pszenicą ozimą (KPZ-L-a0) oraz w towarzystwie biotypów B-3 (B-3-L-a0), AB-1 (AB-1-L-a0) (rycina 23), z glebą ciężką, bez nawożenia (C-a0): z samą pszenicą ozimą (KPZ-C-a0) oraz w towarzystwie biotypu B-3 (B-3-C-a0) (rycina 25), oraz na glebie ciężkiej, nawożonej (C-a1) w towarzystwie biotypów S3 (S3-C-a1), B-3 (B-3-C-a1) i AB-1 (AB-1-C-a1) (rycina 26). Na glebie lekkiej, nawożonej, w żadnym testowanym wariantcie pszenica ozima nie osiągnęła fazy wyższej niż BBCH 21 (rycina 24). Analizowane spektra fitofenologiczne wykazały, że w obrębie jednego obiektu występowały osobniki pszenicy ozimej znajdujące się w różnych fazach rozwojowych w czasie prowadzenia pomiaru. Nie notowano jednak większego zróżnicowania w trakcie jednego pomiaru niż dwie – cztery fazy rozwojowe, przy czym osobniki zróżnicowane na poziomie czterech faz, obserwowano na koniec jesiennej wegetacji. Termin pojawiania się osobników w danej fazie rozwojowej, jak również rozpiętość czasu trwania poszczególnych faz, nie różniły się znacząco w zależności od obiektu badawczego. Jedynie procentowy udział osobników pszenicy ozimej w poszczególnych fazach rozwojowych był zróżnicowany we wszystkich testowanych obiektach, co miało odzwierciedlenie w fazach rozwojowych rośliny uprawnej osiągniętych na koniec jesiennej wegetacji. Obserwacje wykazały, że 100% osobników osiągnęło fazę krzewienia w ostatnim dniu obserwacji tylko w obiektach: KPZ-L-a0, B-2-L-a0, AB-1-L-a0 (rycina 23), B-3-L-a1 (rycina 25), KPZ-C-a0, B-3-C-a0 (rycina 25) oraz S1-C-a1, B-3-C-a1, AB-1-C-a1 (rycina 26).

Analiza spektrów fitofenologicznych miotły zbożowej w okresie jesiennym wykazała, że niezależnie od zastosowanego biotypu chwastu, rodzaju substratu glebowego oraz poziomu nawożenia, rozwój chwastu cechował się pod wieloma względami podobnym trendem. U osobników miotły zbożowej odnotowano występowanie analogicznych faz BBCH, a przebieg ich był względnie wyrównany i jednolity. Na koniec jesiennej wegetacji tylko w niektórych przypadkach obserwowano początek krzewienia roślin (BBCH 21). Dotyczyło to obiektów z glebą lekką: B-2-L-a0, AB-1-L-a0 (na poziomie najwyższym, około 60% osobników) (rycina 23) oraz S1-L-a1, S3-L-a1, B-2-L-a1 i B-3-L-a1 (rycina 24). Ponadto, biotypy rosnące na glebie ciężkiej bez nawożenia, nie osiągnęły w żadnym z testowanych

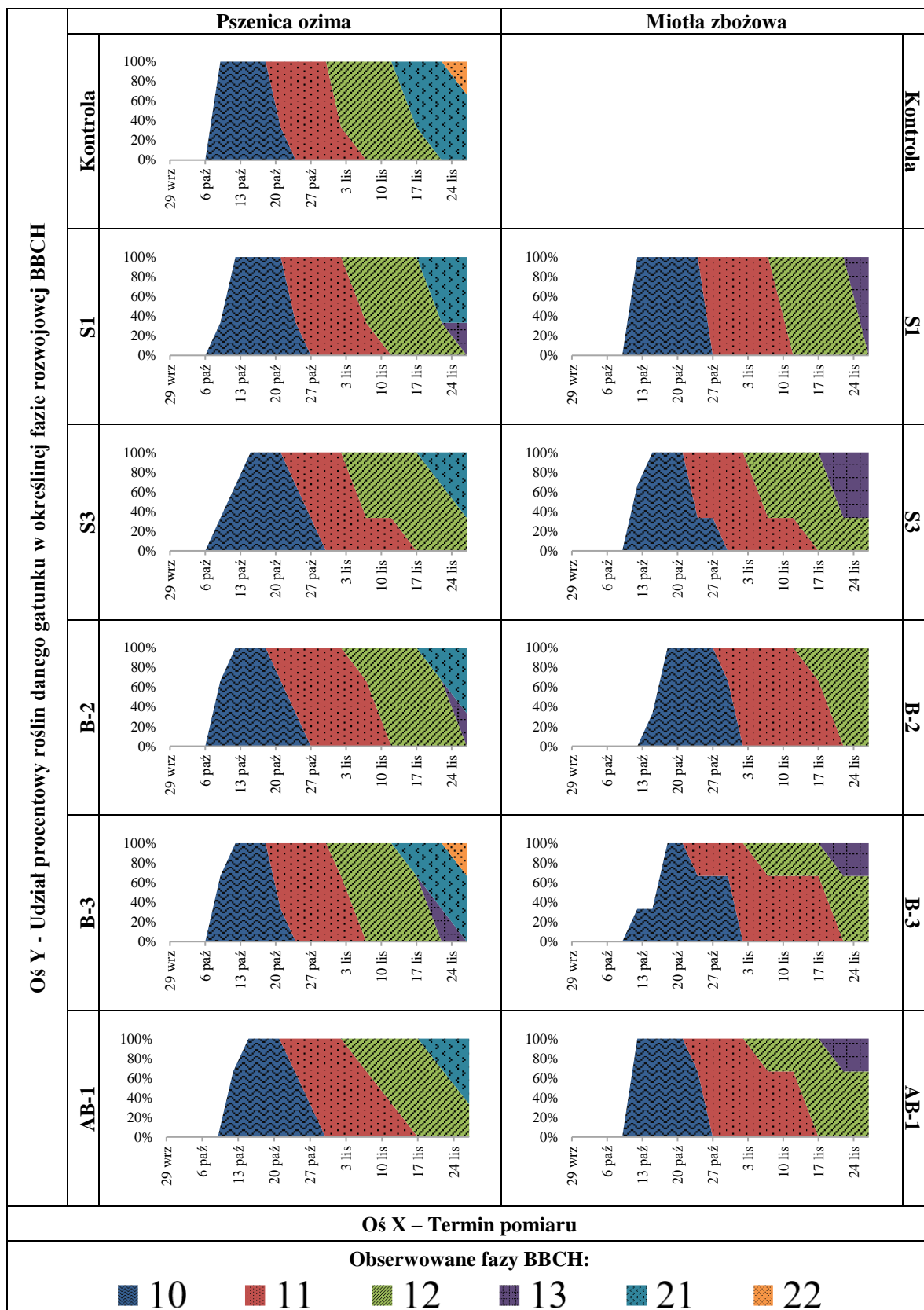
wariantów fazy krzewienia i rośliny weszły w okres zimowego spoczynku w fazie dwóch – trzech liści (rycina 25). W przypadku gleby ciężkiej, nawożonej (C-a1), zaobserwowano podobny trend w większości przypadków. Wyjątek stanowi obiekt z wrażliwym biotypem S1 (rycina 26), na którym około 20% osobników zakończyło jesienną wegetację w fazie początku krzewienia (BBCH 21). Spektra fitofenologiczne miotły zbożowej pokazują, że chwast rozwijał się szybciej w wazonach wypełnionych glebą lekką lub ciężką, nawożoną. Zdecydowanie lepiej w tych warunkach glebowych rozwijały się biotypy odporne niż wrażliwe.



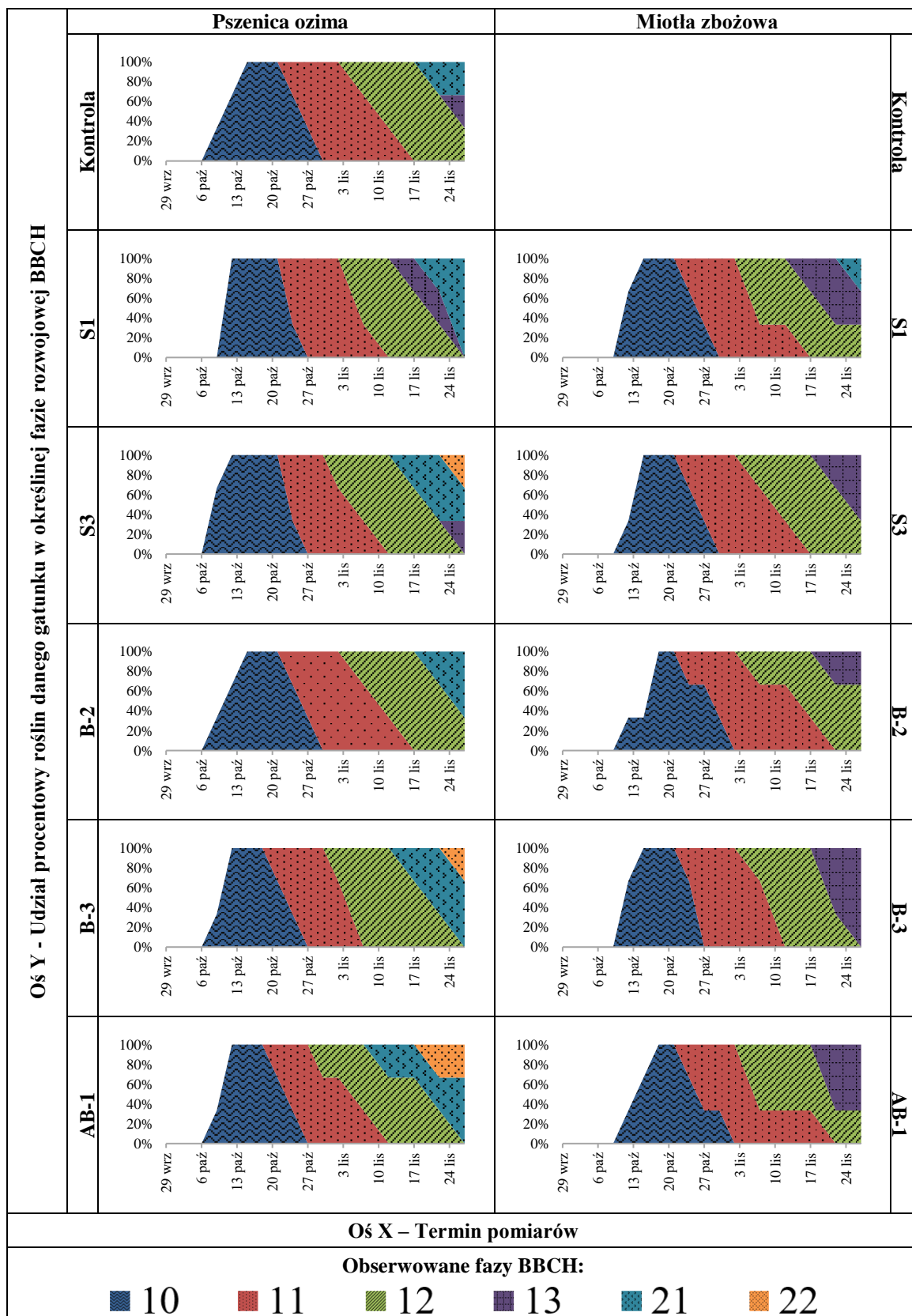
Rycina 23. Przebieg faz rozwojowych roślin w okresie wegetacji jesiennej (sezon 2018/2019) w doświadczeniu wazonowym – model addytywny. Kombinacja: gleba lekka, poziom nawożenia a0 (L-a0). Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, AB – biotyp z odpornością wielokrotną



Rycina 24. Przebieg faz rozwojowych roślin w okresie wegetacji jesiennej (sezon 2018/2019) w doświadczeniu wazonowym – model addytywny. Kombinacja: gleba lekka, poziom nawożenia a1 (L-a1). Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, AB – biotyp z odpornością wielokrotną



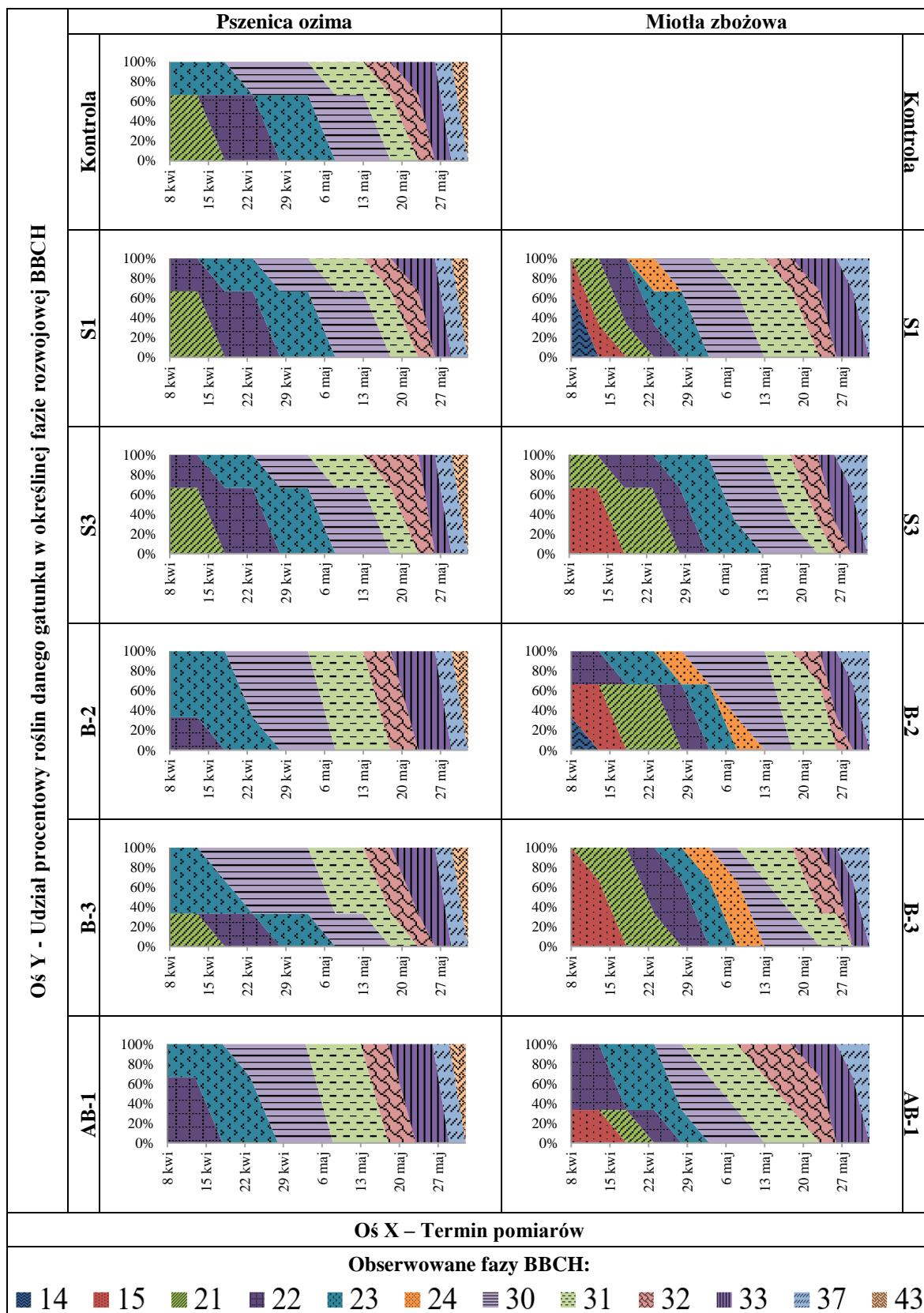
Rycina 25. Przebieg faz rozwojowych roślin w okresie wegetacji jesiennej (sezon 2018/2019) w doświadczeniu wazonowym – model addytywny. Kombinacja: gleba ciężka, poziom nawożenia a0 (C-a0). Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, AB – biotyp z odpornością wielokrotną



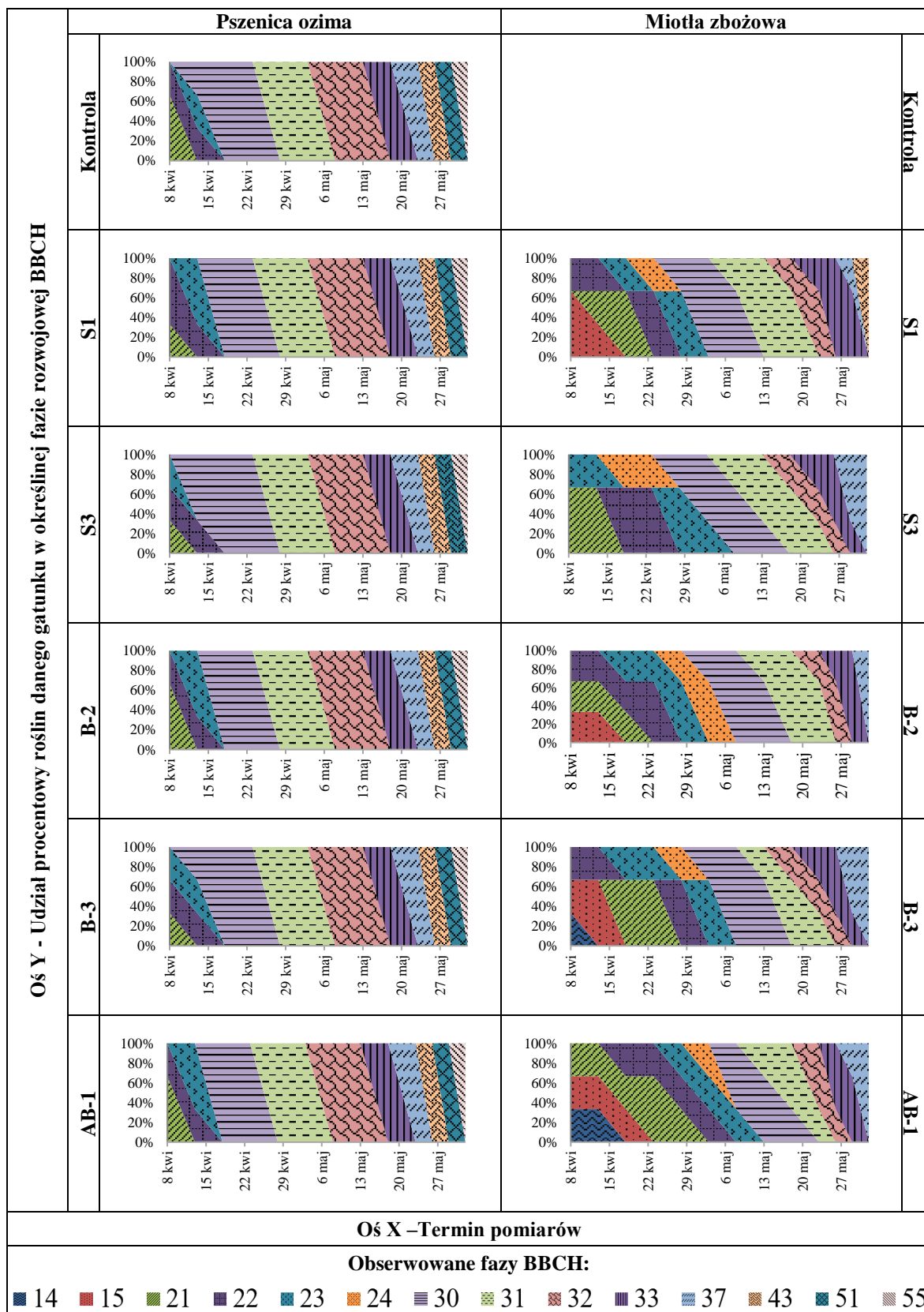
Rycina 26. Przebieg faz rozwojowych roślin w okresie wegetacji jesiennej (sezon 2018/2019) w doświadczeniu wazonowym – model addytywny. Kombinacja: gleba ciężka, poziom nawożenia a1 (C-a1). Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, AB – biotyp z odpornością wielokrotną

Po wznowieniu wegetacji wiosną (rycina 27 – 30) zaobserwowano, że rozwój pszenicy ozimej i miotły zbożowej (niezależnie od biotypu), wegetujących w tych samych warunkach glebowo-nawozowych, przebiega podobnie. Brak wyraźnych różnic w przebiegu faz rozwojowych zaobserwowano również w przypadku roślin rosnących w takich samych warunkach nawozowych, bez względu na rodzaj gleby (rycina 27 – 30). Rośliny testowe, niezależnie od wariantu badawczego, pozostawały w poszczególnych terminach pomiarów w dwóch – trzech fazach rozwojowych. W zależności od substratu glebowego oraz poziomu nawożenia wystąpiło zróżnicowanie w zakresie terminu pojawiania się osobników w danej fazie rozwojowej oraz rozpiętości czasu trwania odnotowywanych faz. Analiza spektrów fitofenologicznych pszenicy ozimej wskazuje, że na obiektach bez nawozu okres występowania osobników w danej fazie rozwojowej był wyraźnie rozciągnięty w czasie (rycina 27 i rycina 29). Brak różnic w rozwoju tych roślin zaobserwowano od fazy BBCH 37. Z kolei na obiektach nawożonych osobniki przechodziły w kolejne fazy dynamicznie i bardziej jednolicie (rycina 28 i rycina 30). Roślina uprawna wcześniej wchodziła w poszczególne fazy, w porównaniu z pszenicą nienawożoną. Brak różnic w rozwoju osobników pszenicy ozimej wegetujących na substracie glebowym nawożonym zaobserwowano już od fazy BBCH 31. Niezależnie od warunków glebowo-nawozowych oraz rodzaju konkurującego biotypu miotły, roślina uprawna rozpoczęła wiosenną wegetację w fazie krzewienia (BBCH 21 – 23).

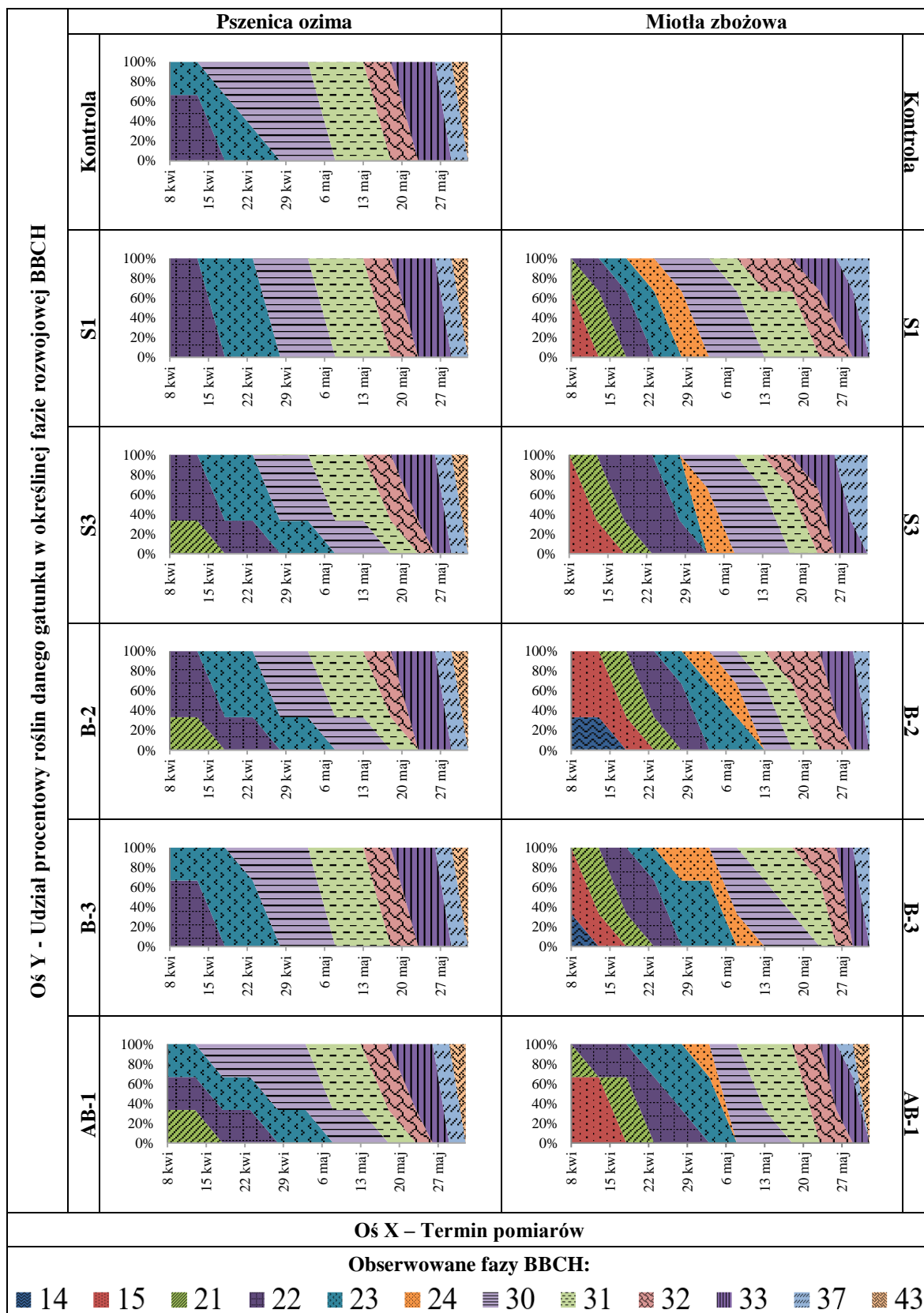
Spektra fitofenologiczne miotły zbożowej obrazują, że rośliny na początku wiosny osiągnęły w większości przypadków fazę rozwiniętych czterech – pięciu liści za wyjątkiem obiektów S3-L-a1 (rycina 28), S1-C-a1 i S3-C-a1 (rycina 30). Parametrem różnicującym między sobą rozwój miotły zbożowej był procentowy udział osobników w danej fazie, w zależności od biotypu, rodzaju substratu glebowego oraz zastosowanego poziomu nawożenia. Testowane rośliny na koniec maja osiągnęły fazę liścia flagowego we wszystkich badanych wariantach. Na glebie ciężkiej, nawożonej, około 80% roślin miotły osiągnęło fazę BBCH 43, niezależnie od biotypu (rycina 30). Podobną sytuację odnotowano również na obiektach AB-1-C-a0 (rycina 29) oraz S1-L-a1 (rycina 28).



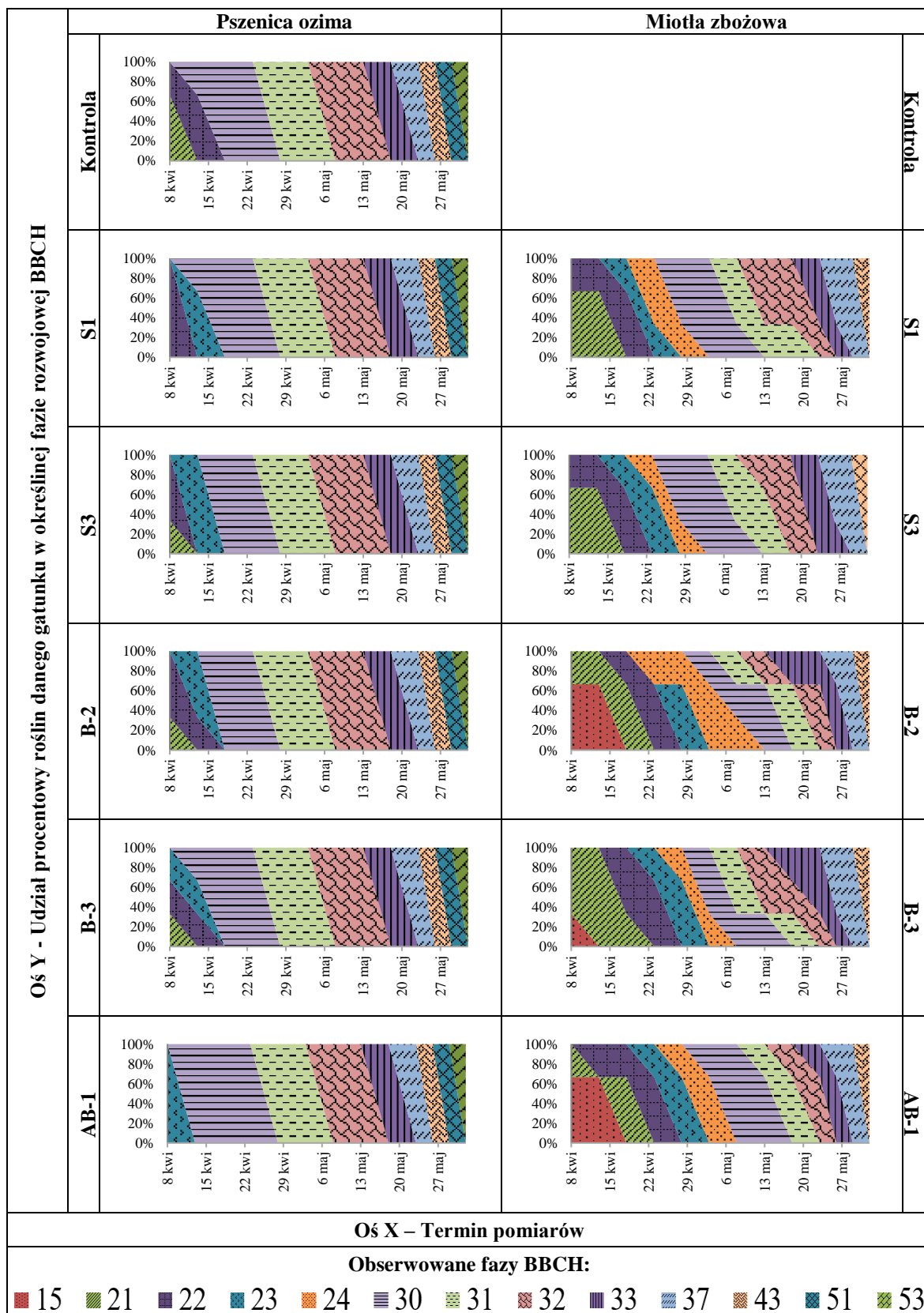
Rycina 27. Przebieg faz rozwojowych roślin w okresie wegetacji wiosennej (sezon 2018/2019) w doświadczeniu wazonowym – model addytywny. Kombinacja: gleba lekka, poziom nawożenia a0 (L-a0). Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, AB – biotyp z odpornością wielokrotną



Rycina 28. Przebieg faz rozwojowych roślin w okresie wegetacji wiosennej (sezon 2018/2019) w doświadczeniu wazonowym – model addytywny. Kombinacja: gleba lekka, poziom nawożenia a1 (L-a1). Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, AB – biotyp z odpornością wielokrotną



Rycina 29. Przebieg faz rozwojowych roślin w okresie wegetacji wiosennej (sezon 2018/2019) w doświadczeniu wazonowym – model addytywny. Kombinacja: gleba ciężka, poziom nawożenia a0 (C-a0). Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, AB – biotyp z odpornością wielokrotną



Rycina 30. Przebieg faz rozwojowych roślin w okresie wegetacji wiosennej (sezon 2018/2019) w doświadczeniu wazonowym – model addytywny. Kombinacja: gleba ciężka, poziom nawożenia a1 (C-a1). Legenda: S – biotypy wrażliwe; B – biotypy z odpornością pojedynczą; AB – biotyp z odpornością wielokrotną

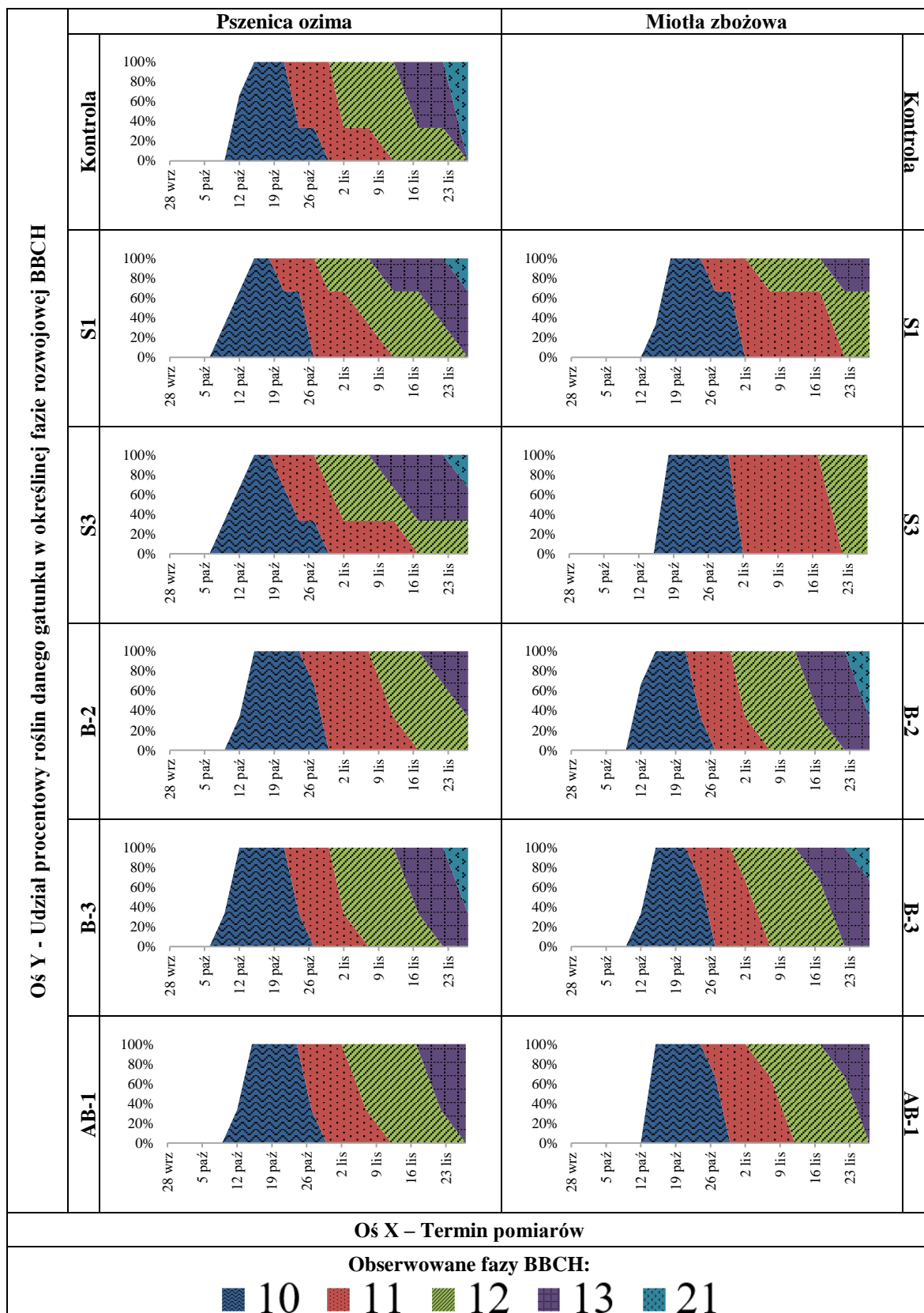
5.3.1.2. Przebieg faz fitofenologicznych w sezonie wegetacyjnym 2019/2020

W sezonie wegetacyjnym 2019/2020 rozwój pszenicy ozimej w okresie jesiennym, niezależnie od zastosowanego biotypu chwastu, rodzaju substratu glebowego oraz poziomu nawożenia, cechował się pod wieloma względami podobnym trendem (rycina 31 – 34). U osobników pszenicy ozimej w testowanych wariantach badawczych, odnotowano występowanie analogicznych faz BBCH, a przebieg ich rozwoju był względnie wyrównany i jednolity. Niezależnie od analizowanego substratu glebowego i biotypu chwastu, roślina uprawna szybciej rozwijała się po zastosowaniu nawożenia. Najwyższą fazę rozwojową, BBCH 23, osiągnęły osobniki wegetujące na obiektach B-2-L-a1 oraz AB-1-L-a1 (rycina 32). Analizowane spektra fitofenologiczne wykazały, że w obrębie jednego obiektu występowały osobniki pszenicy ozimej znajdujące się w momencie przeprowadzania pomiaru w różnych fazach rozwojowych. Nie notowano jednak większego zróżnicowania w trakcie jednego pomiaru niż dwie – trzy fazy rozwojowe, przy czym osobniki zróżnicowane na poziomie trzech faz notowano w końcowym okresie jesiennej wegetacji. Termin pojawiania się osobników reprezentujących daną fazę rozwojową, jak również rozpiętość czasowa trwania poszczególnych faz, nie różniły się znacząco w zależności od obiektu badawczego. W zależności od testowanego wariantu silne zróżnicowanie obserwowano jedynie w procentowym udziale osobników w danej fazie rozwojowej, co miało wpływ na fazy rozwojowe osiągnięte na koniec jesiennej wegetacji przez roślinę uprawną. Obserwacje wykazały, że w obiektach B-2-L-a0, AB-1-L-a0 (rycina 31) oraz S1-C-a0 (rycina 33) nie odnotowano osobników w fazie krzewienia na koniec pomiarów, a w obiekcie S1-C-a0 (rycina 33) prawie 80% osobników rozpoczęło okres zimowego spoczynku jedynie w fazie BBCH 12. Analiza spektrów fitofenologicznych dla pszenicy ozimej wykazała ujednoczenie przebiegu faz rozwojowych pod względem procentowego udziału osobników, zarówno w konkurencji z biotypami odpornymi, w obiektach: B-2-L-a0, B-3-L-a0, AB-1-L-a0 (rycina 36) oraz obiekcie B-3-C-a0 (rycina 33), jak i z biotypami wrażliwymi, na obiektach: S1-L-a1 (rycina 32) oraz S1-C-a0 i S3-C-a0 (rycina 34).

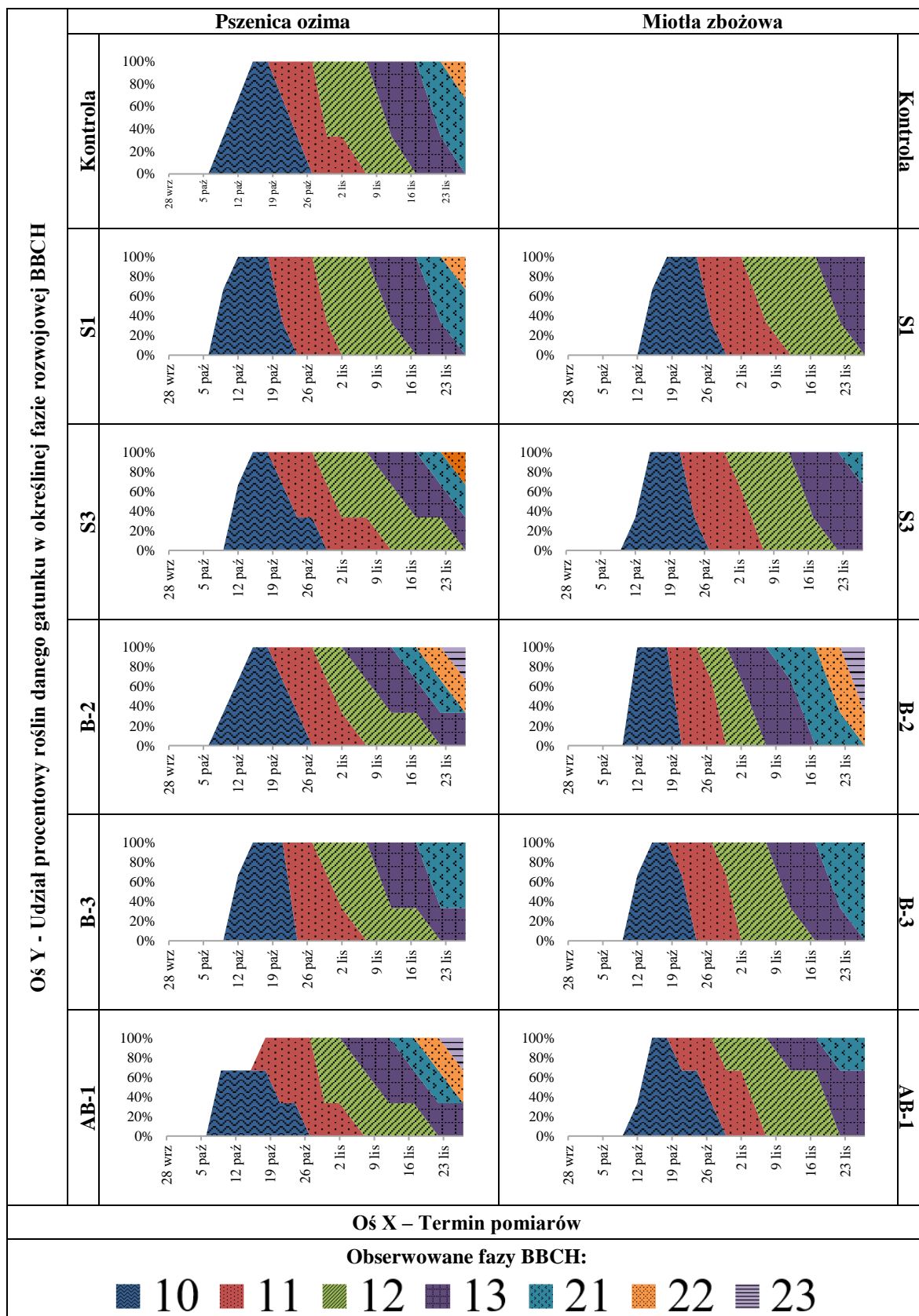
Spektra fitofenologiczne miotły zbożowej w okresie jesiennym wskazują, że niezależnie od zastosowanego biotypu chwastu, rodzaju substratu glebowego oraz poziomu nawożenia, rozwój badanych roślin cechował się pod wieloma względami podobnym trendem. Odnotowano również występowanie analogicznych faz BBCH, a przebieg ich rozwoju był względnie wyrównany i jednolity. Fazę trzech rozkrzewień (BBCH 23) odnotowano tylko w obiektach: B-2-L-a1 – gdzie udział takich osobników kształtował się na poziomie około 60% (rycina 32) oraz B-2-C-a1 – z około 30% udziałem osobników (rycina 34). Nie zaobserwowano

obiekty, w którym wszystkie rośliny miotły na koniec okresu jesiennych pomiarów osiągnęłyby fazę krzewienia. Ponadto na obiektach: S3-L-a0, AB-1-L-a0 (rycina 31), S1-L-a1 (rycina 32), S1-C-a0, S3-C-a0, AB-1-C-a0 (rycina 33) chwast nie uzyskał fazy krzewienia, a 100% roślin weszło w okres zimowego spoczynku w fazie dwóch – trzech liści.

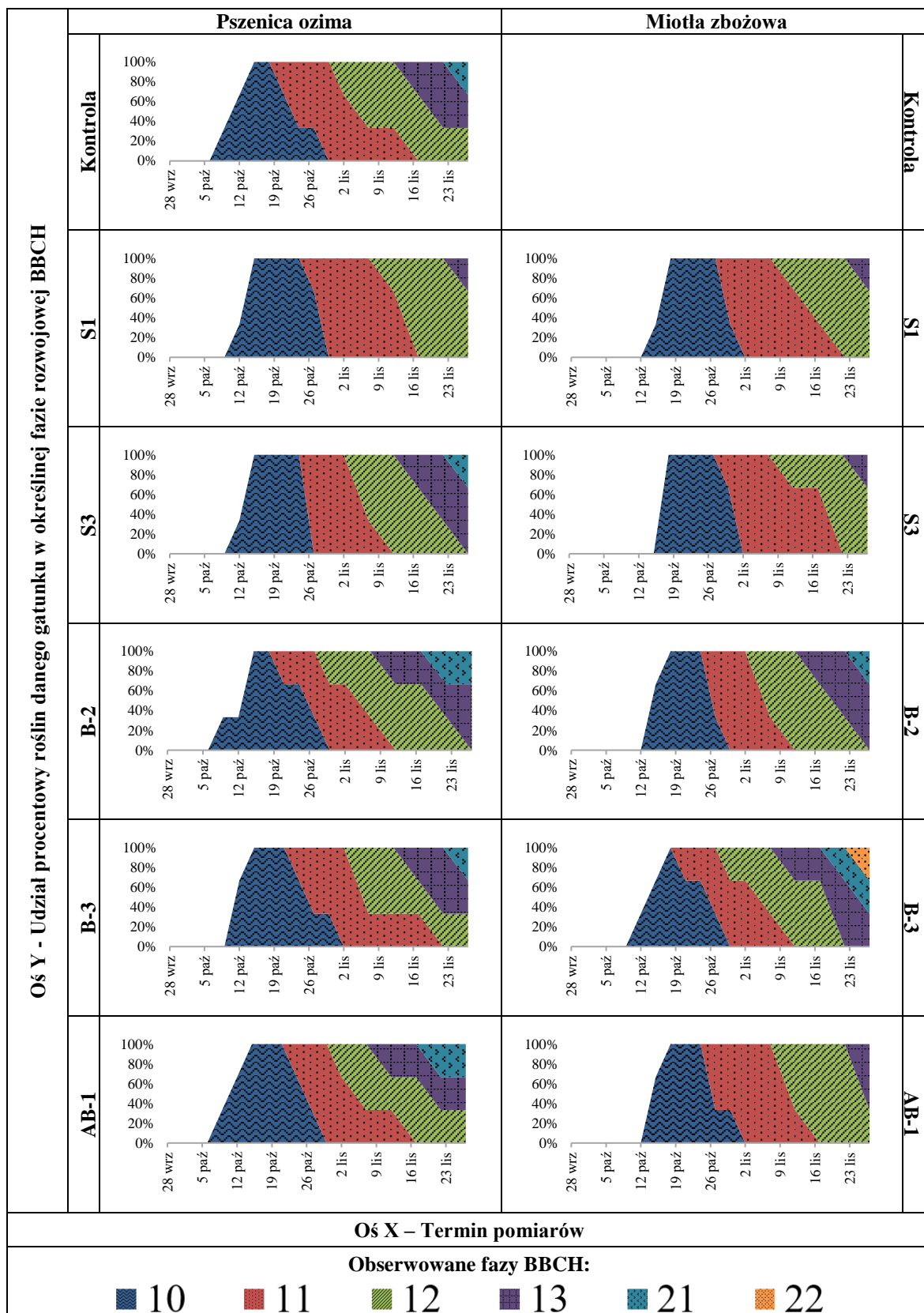
Z analizy spektrów fitofenologicznych miotły zbożowej wynika, że rozwijała się ona szybciej w wazonach, w których zastosowano nawożenie, niezależnie od rodzaju substratu glebowego. Podobną sytuację obserwowano w przypadku pszenicy ozimej. Dodatkowo tempo rozwoju biotypów odpornych było wyraźnie szybsze niż u biotypów wrażliwych, co obrazuje pojawienie się osobników w wyższych fazach rozwojowych we wcześniejszych terminach.



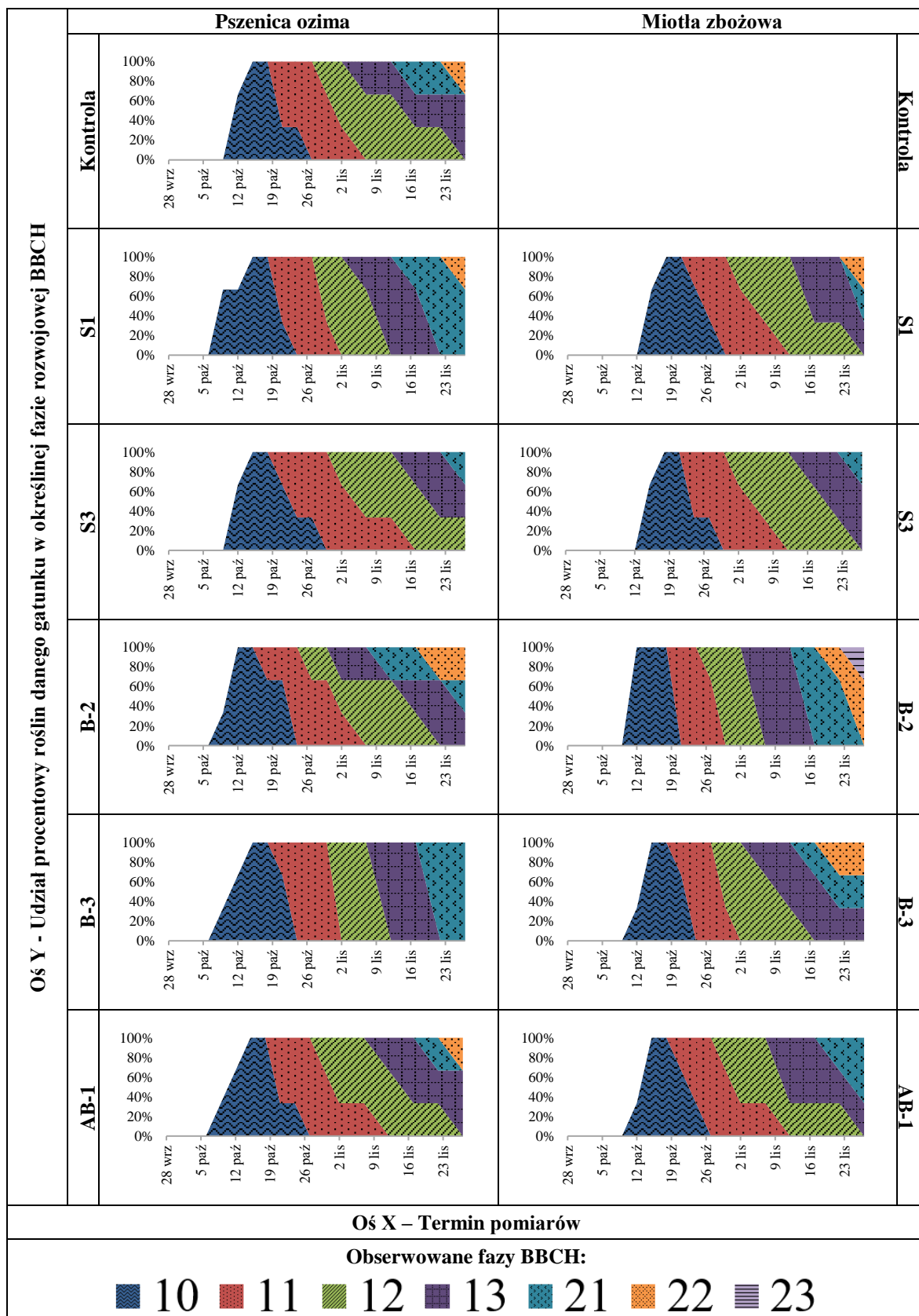
Rycina 31. Przebieg faz rozwojowych roślin w okresie wegetacji jesiennej (sezon 2019/2020) w doświadczeniu wazonowym – model addytywny. Kombinacja: gleba lekka, poziom nawożenia a0 (L-a0). Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, AB – biotyp z odpornością wielokrotną



Rycina 32. Przebieg faz rozwojowych roślin w okresie wegetacji jesiennej (sezon 2019/2020) w doświadczeniu wazonowym – model addytywny. Kombinacja: gleba lekka, poziom nawożenia a1 (L-a1). Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, AB – biotyp z odpornością wielokrotną



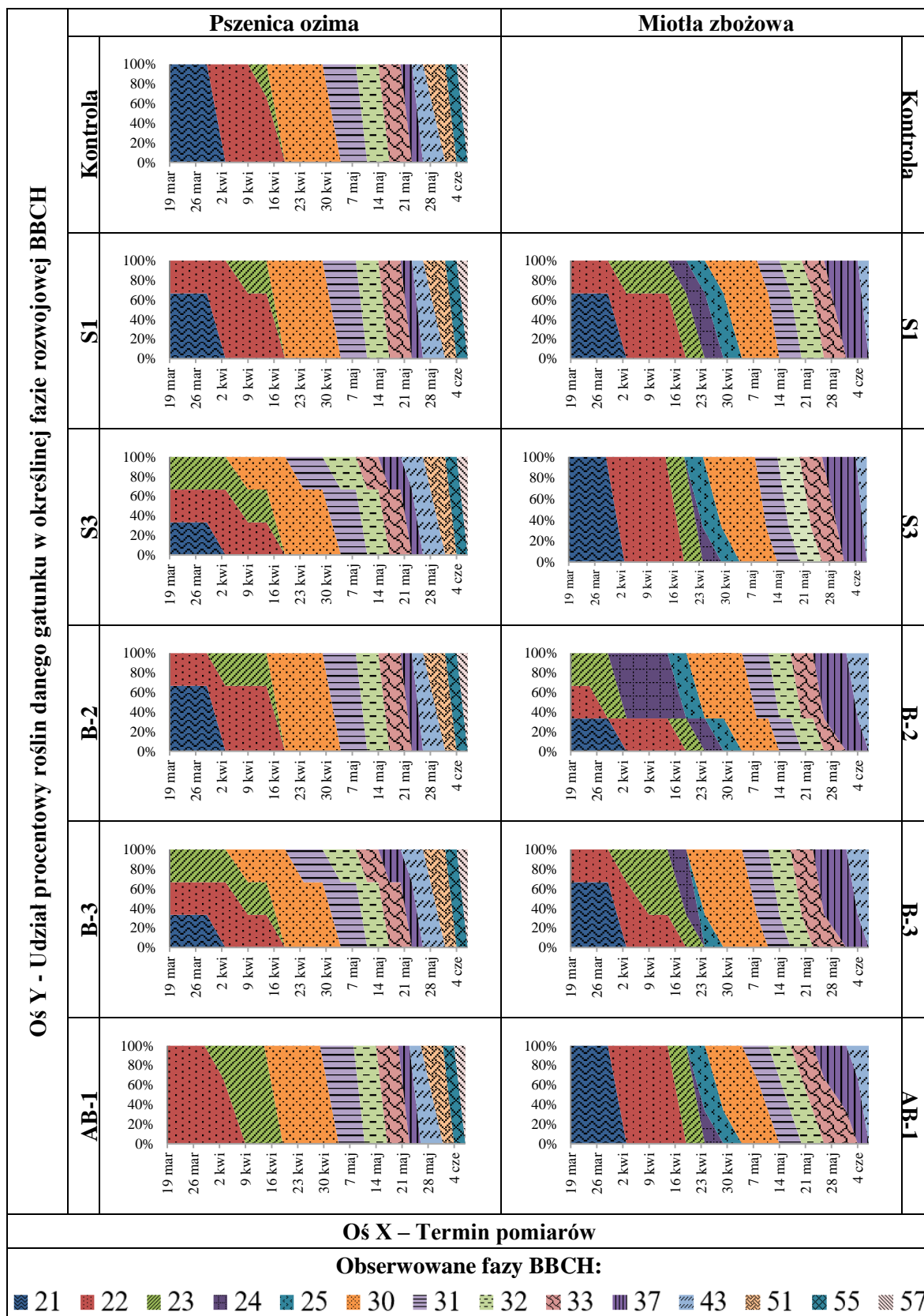
Rycina 33. Przebieg faz rozwojowych roślin w okresie wegetacji jesiennej (sezon 2019/2020) w doświadczeniu wazonowym – model addytywny. Kombinacja: gleba ciężka, poziom nawożenia a0 (C-a0). Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, AB – biotyp z odpornością wielokrotną



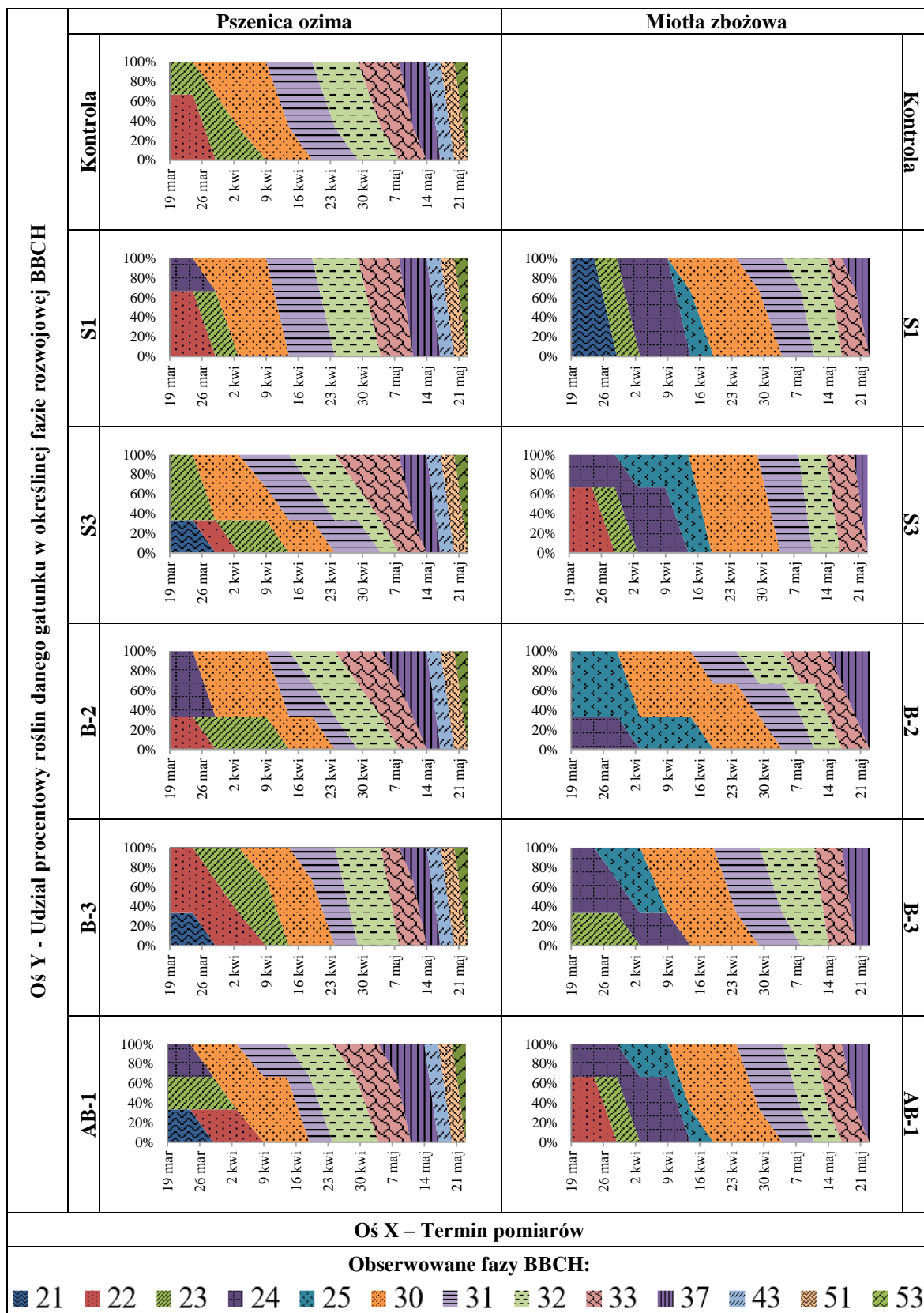
Rycina 34. Przebieg faz rozwojowych roślin w okresie wegetacji jesiennej (sezon 2019/2020) w doświadczeniu wazonowym – model addytywny. Kombinacja: gleba ciężka, poziom nawożenia a1 (C-a1). Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, AB – biotyp z odpornością wielokrotną

Wiosną (rycina 35 – 38) obserwowano podobny trend, jak w sezonie wegetacyjnym 2018/2019. Rozwój pszenicy ozimej i miotły zbożowej (niezależnie od biotypu), wegetujących w tych samych warunkach glebowo-nawozowych, był zbliżony. Obserwacje wykonywane wiosną wykazały, że w obrębie jednego obiektu pszenica ozima znajdowała się w dwóch – trzech fazach rozwojowych. W zależności od substratu glebowego oraz poziomu nawożenia wystąpiło zróżnicowanie w zakresie terminu pojawiania się osobników w danej fazie rozwojowej oraz rozpiętości czasu ich trwania. Na obiektach, które nie były nawożone, okres występowania osobników w danej fazie był wyraźnie rozciągnięty w czasie (rycina 35 i rycina 37). Z kolei na obiektach nawożonych osobniki przechodziły w kolejne fazy dynamicznie i bardziej jednolicie (rycina 42 i rycina 44). Brak różnic w rozwoju pszenicy ozimej uzależniony był w tym sezonie wegetacyjnym nie od poziomu nawożenia, a od rodzaju substratu glebowego. U pszenicy ozimej wegetującej na substracie gleby lekkiej różnice w rozwoju obserwowano do fazy BBCH 43, a na substracie gleby ciężkiej do fazy BBCH 51.

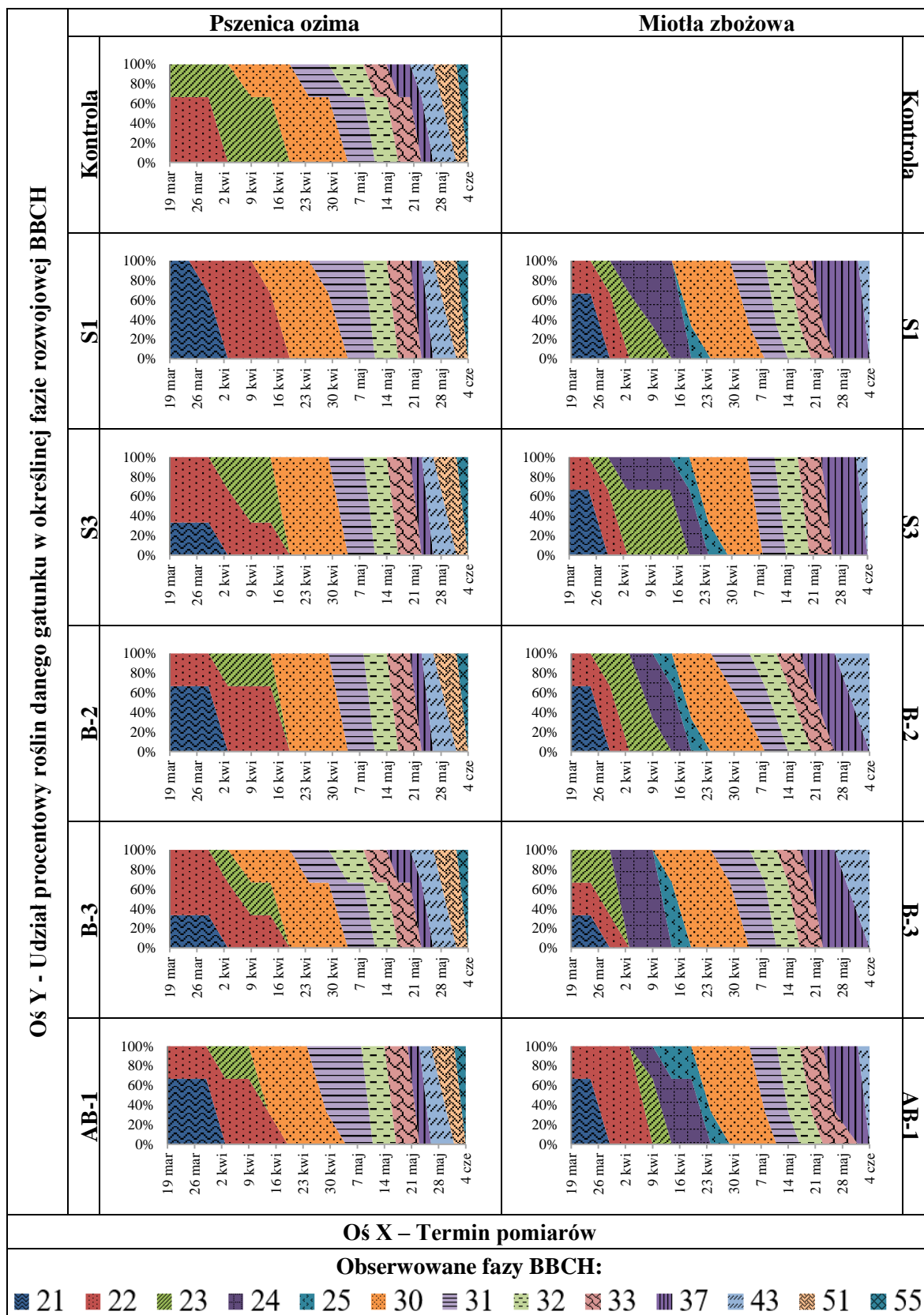
Spektra fitofenologiczne miotły zbożowej obrazują, że rośliny rozpoczęły wiosenną wegetację w fazie początku krzewienia (BBCH 21 – 23), niezależnie od biotypu, rodzaju substratu glebowego oraz poziomu nawożenia (rycina 35 – 38). Głównym parametrem różnicującym między sobą rozwój miotły był procentowy udział osobników w danej fazie rozwojowej, w zależności od zastosowanego biotypu chwastu, rodzaju substratu glebowego oraz poziomu nawożenia. Rośliny rosnące na glebie lekkiej i ciężkiej, nienawożonej, osiągnęły z początkiem czerwca fazę BBCH 43, niezależnie od biotypu (rycina 35 i rycina 37). Podobna sytuacja pojawiła się również na glebie ciężkiej, nawożonej, za wyjątkiem obiektu B-2-C-a1 (rycina 38). Wszystkie biotypy miotły zbożowej rosnące na glebie lekkiej, nawożonej (rycina 36), z końcem maja osiągnęły fazę rozwoju liścia flagowego (BBCH 37).



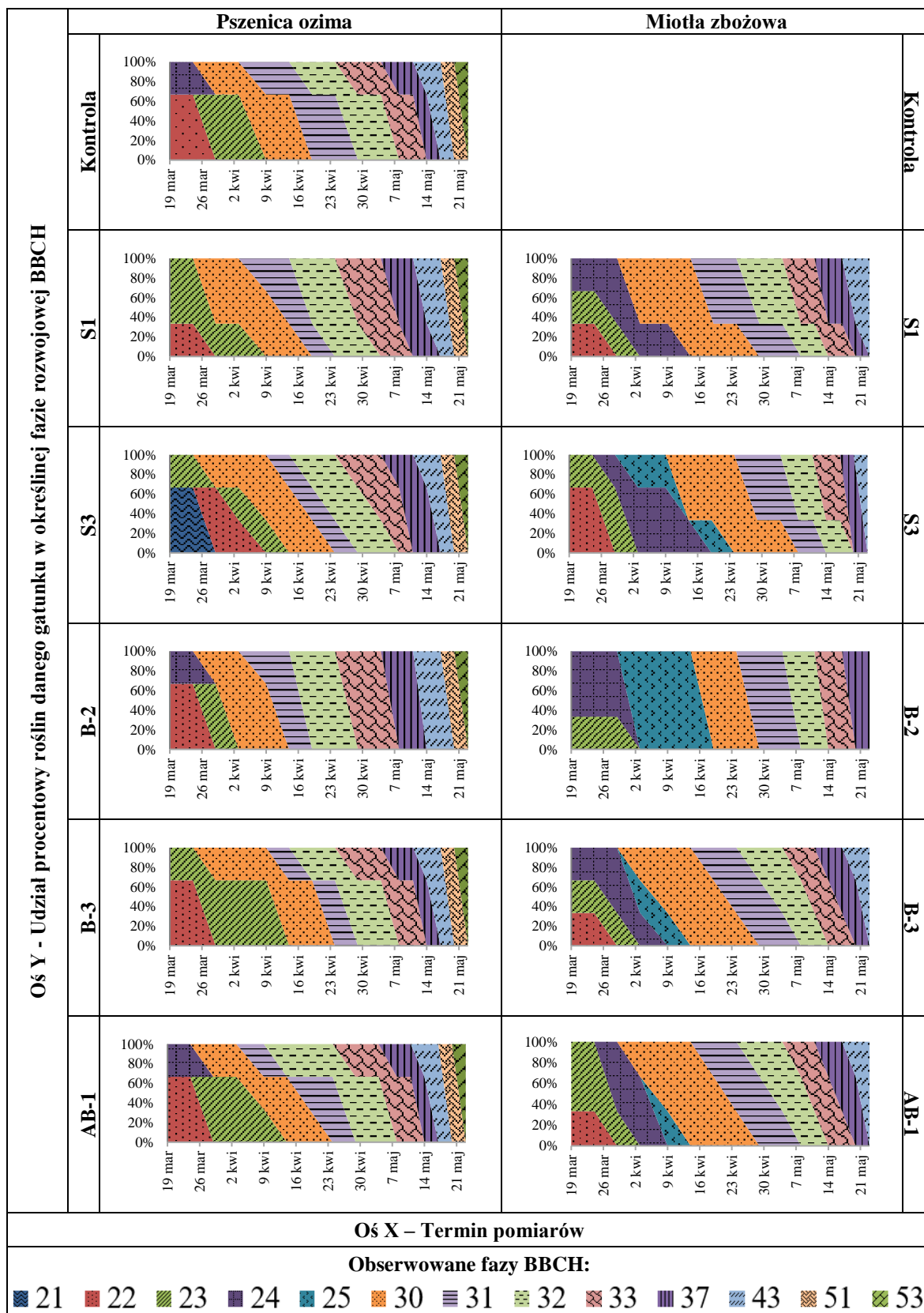
Rycina 35. Przebieg faz rozwojowych roślin w okresie wegetacji wiosennej (sezon 2019/2020) w doświadczeniu wazonowym – model addytywny. Kombinacja: gleba lekka, poziom nawożenia a0 (L-a0). Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, AB – biotyp z odpornością wielokrotną



Rycina 36. Przebieg faz rozwojowych roślin w okresie wegetacji wiosennej (sezon 2019/2020) w doświadczeniu wazonowym – model addytywny. Kombinacja: gleba lekka, poziom nawożenia a1 (L-a1). Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, AB – biotyp z odpornością wielokrotną



Rycina 37. Przebieg faz rozwojowych roślin w okresie wegetacji wiosennej (sezon 2019/2020) w doświadczeniu wazonowym – model addytywny. Kombinacja: gleba ciężka, poziom nawożenia a0 (C-a0). Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, AB – biotyp z odpornością wielokrotną



Rycina 38. Przebieg faz rozwojowych roślin w okresie wegetacji wiosennej (sezon 2019/2020) w doświadczeniu wazonowym – model addytywny. Kombinacja: gleba ciężka, poziom nawożenia a0 (C-a0). Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, AB – biotyp z odpornością wielokrotną

5.3.2. Analiza statystyczna wskaźników konkurencyjności

5.3.2.1. Wskaźniki konkurencyjnego oddziaływania biotypów S i R miotły zbożowej na wybrane cechy pszenicy ozimej – sezon wegetacyjny 2018/2019

Średnie wartości obliczone dla wskaźników oddziaływania miotły zbożowej na wybrane cechy pszenicy ozimej w sezonie wegetacyjnym 2018/2019 przedstawiono w tabeli 33 (wskaźnik K_{cu}) oraz tabeli 34 (wskaźnik K_{wu} oraz K_{ou}). Dla obiektów kontrolnych (bez zachwaszczenia) wskaźniki przyjmują wartość równą 0%. Dodatkowo wartości wskaźników K_{cu} (dla parametru liczba kłosów na roślinie) oraz K_{wu} (liczba źdźbeł na roślinie) mogą być równe w przypadku, kiedy wszystkie źdźbła pszenicy są kłosonośne.

W oparciu o wyliczone wskaźniki konkurencyjności stwierdzono występowanie zróżnicowanego poziomu konkurencyjności, w zależności od badanej cechy pszenicy, a także w zależności od zastosowanego wariantu badawczego.

Wskaźnik oddziaływania chwastów na cechy rośliny uprawnej K_{cu} (tabela 33) wykazał, że w większości testowanych wariantów badawczych zachodziło negatywne oddziaływanie miotły zbożowej na pszenicę ozimą, o czym świadczą dodatnie wartości wskaźnika K_{cu} uzyskane dla badanych cech. Wyjątkiem są tutaj ujemne wartości badanego wskaźnika (czyli stymulujący wpływ chwastu na pszenicę) dla średniej długości pędu (-2,10%) oraz średniej długości dokłosa (-3,85%) na obiekcie S3-C-a0. Dodatkowo w przypadku wariantu S1-C-a0, S3-C-a0 i S3-C-a1 wskaźnik K_{cu} dla liczby międzywęźli źdźbła wynosił 0%, co dowodzi braku konkurencji między rośliną uprawną a miotłą zbożową. Niekorzystne oddziaływanie miotły zbożowej na takie parametry pszenicy ozimej jak: liczbę kłosów (K_{cu} w przedziale 13,33 – 40,00%), długość kłosa (K_{cu} 8,33 – 30,68%), liczbę ziaren w kłosie (K_{cu} 7,02 – 54,39%) oraz liczbę ziaren na roślinie (K_{cu} 27,97 – 67,95%) obserwowano niezależnie od kombinacji czynników doświadczalnych. Najwyższe wartości badanego wskaźnika (K_{cu} powyżej 50%) osiągnięto w obiektach badawczych: S3-L-a0, B-2-L-a0, B-2-L-a1, B-2-C-a0, B-2-C-a1, B-3-L-a0, B-3-C-a1, AB-1-L-a1 – dla liczby ziaren na roślinie oraz w obiekcie B-2-L-a0 – dla liczby ziaren w kłosie.

Wartości wskaźnika wypierania rośliny uprawnej przez miotłę K_{wu} (tabela 34) wykazały, że we wszystkich testowanych wariantach badawczych chwast ujemnie oddziaływał na liczbę źdźbeł pszenicy ozimej, powodując ich redukcję w przedziale średnio od 13,33% (AB-1-C-a1) do 40,00% (B-2-C-a1).

W oparciu o analizę wartości wskaźnika ograniczania produktywności pszenicy ozimej przez miotłą zbożową K_{ou} (tabela 34) stwierdzono, że chwast oddziaływał negatywnie na plon ziarna jednej rośliny, masę jednego kłosa, biomasa jednej rośliny oraz biomasa korzeni rośliny

uprawnej, niezależnie od kombinacji czynników doświadczalnych. Najsilniej zredukowana została masa jednego kłosa, dla wariantu badawczego B-2-L-a0 – średnio o 81,28%. Jedynie na dwóch obiektach badawczych (AB-1-C-a1 oraz S3-L-a0) obserwowano stymulujące działanie chwastu na wartość masy tysiąca ziaren, które wynosiło odpowiednio -0,78% i -1,80%.

Analiza w/w wskaźników konkurencyjności pokazała, że w sezonie wegetacyjnym 2018/2019, nie udało się wskazać konkretnego wariantu lub wariantów badawczych, które miały największy niekorzystny wpływ na morfologię i plonowanie pszenicy ozimej. Dla cech związanych z produktywnością pszenicy ozimej, takich jak biomasa jednej rośliny oraz biomasa korzeni, najwyższe wartości wskaźnika konkurencyjności (wskaźnik K_{ou}) uzyskano dla biotypu odpornego B-2 miotły zbożowej (niezależnie od zastosowanego substratu glebowego oraz poziomu nawożenia).

Tabela 33. Średnie wartości wskaźnika konkurencyjnego oddziaływania miotły zbożowej na wybrane cechy pszenicy ozimej (K_{cu}) – sezon wegetacyjny 2018/2019

| Obiekt (wariant badawczy) | | | K_{cu} [%] | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|----------------|------------------|--------------------------|-------|--------------|-------|---------------------------|-------|------------------|-------|---------------|-------|------------------------|-------|--------------------------|-------|
| | | | Liczba kłosów na roślinę | | Długość pędu | | Liczba międzywęzli źdźbła | | Długość doklosia | | Długość kłosa | | Liczba ziaren w kłosie | | Liczba ziaren na roślinę | |
| Biotyp | Substrat gleby | Poziom nawożenia | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. |
| | | | S1 | L | a0 | 29,41 | 5,88 | 21,00 | 12,34 | 23,08 | 13,32 | 12,05 | 13,15 | 5,62 | 11,46 | 7,02 |
| S1 | L | a1 | 16,36 | 5,14 | 12,06 | 12,34 | 13,33 | 18,86 | 5,58 | 18,01 | 13,75 | 13,73 | 25,00 | 22,50 | 36,13 | 21,73 |
| S1 | C | a0 | 18,52 | 4,58 | 1,97 | 5,44 | 0,00 | 12,37 | 6,58 | 8,69 | 13,55 | 21,69 | 10,84 | 29,22 | 27,97 | 22,50 |
| S1 | C | a1 | 25,33 | 13,60 | 8,33 | 6,98 | 6,67 | 9,43 | 14,90 | 10,16 | 8,33 | 12,27 | 12,87 | 19,60 | 32,73 | 25,54 |
| S3 | L | a0 | 15,69 | 14,80 | 8,48 | 7,25 | 15,38 | 13,32 | 5,52 | 8,40 | 18,13 | 10,99 | 42,11 | 13,93 | 51,77 | 7,70 |
| S3 | L | a1 | 21,82 | 11,35 | 5,18 | 8,53 | 6,67 | 11,55 | 8,84 | 28,77 | 20,42 | 11,34 | 33,82 | 15,91 | 46,94 | 18,38 |
| S3 | C | a0 | 31,82 | 4,55 | -2,10 | 12,98 | 0,00 | 12,37 | -3,85 | 25,84 | 10,36 | 18,40 | 12,05 | 28,08 | 39,76 | 22,76 |
| S3 | C | a1 | 26,67 | 11,55 | 1,34 | 8,18 | 0,00 | 0,00 | 7,24 | 28,05 | 13,14 | 13,95 | 23,76 | 22,29 | 44,33 | 19,57 |
| B-2 | L | a0 | 31,37 | 12,25 | 23,99 | 15,90 | 23,08 | 13,32 | 27,05 | 18,77 | 29,38 | 5,73 | 54,39 | 13,25 | 67,95 | 11,51 |
| B-2 | L | a1 | 34,55 | 5,45 | 21,97 | 14,49 | 26,67 | 11,55 | 20,61 | 21,71 | 27,50 | 11,92 | 45,59 | 15,49 | 64,52 | 8,46 |
| B-2 | C | a0 | 27,27 | 12,03 | 21,04 | 8,19 | 21,43 | 12,37 | 33,25 | 18,67 | 30,68 | 11,40 | 36,14 | 16,30 | 53,98 | 12,57 |
| B-2 | C | a1 | 40,00 | 10,58 | 17,72 | 8,62 | 20,00 | 20,00 | 32,53 | 14,24 | 22,12 | 18,57 | 22,77 | 27,22 | 55,47 | 9,46 |
| B-3 | L | a0 | 25,49 | 3,40 | 10,98 | 14,19 | 15,38 | 13,32 | 21,95 | 22,74 | 25,00 | 11,25 | 38,60 | 16,08 | 54,07 | 9,91 |
| B-3 | L | a1 | 20,99 | 4,58 | 7,34 | 7,86 | 6,67 | 11,55 | 13,77 | 11,68 | 16,25 | 24,40 | 26,47 | 39,79 | 40,50 | 35,36 |
| B-3 | C | a0 | 33,33 | 2,62 | 16,88 | 11,07 | 14,29 | 21,43 | 18,13 | 16,96 | 17,53 | 19,57 | 15,66 | 28,99 | 44,12 | 19,63 |
| B-3 | C | a1 | 20,00 | 12,00 | 10,20 | 7,45 | 6,67 | 11,55 | 12,32 | 18,27 | 17,31 | 6,00 | 37,62 | 16,54 | 51,56 | 6,57 |
| AB-1 | L | a0 | 27,45 | 12,25 | 14,77 | 8,32 | 23,08 | 13,32 | 16,72 | 11,24 | 8,75 | 23,14 | 15,79 | 37,95 | 35,07 | 36,42 |
| AB-1 | L | a1 | 25,45 | 11,35 | 13,30 | 13,71 | 20,00 | 20,00 | 24,55 | 19,37 | 15,00 | 16,25 | 32,35 | 30,99 | 51,13 | 19,23 |
| AB-1 | C | a0 | 27,27 | 15,75 | 9,47 | 13,18 | 7,14 | 12,37 | 6,04 | 24,91 | 12,75 | 9,33 | 25,30 | 29,22 | 45,53 | 23,72 |
| AB-1 | C | a1 | 13,33 | 9,24 | 5,39 | 8,87 | 6,67 | 11,55 | 3,60 | 18,93 | 14,74 | 14,08 | 25,74 | 19,48 | 36,79 | 12,29 |

Legenda: PZ – pszenica ozima, S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, AB – biotyp z odpornością krzyżową, L – substrat gleby lekkiej, C – substrat gleby ciężkiej, a0 – brak nawożenia, a1 – nawożenie zgodnie z zaleceniami dla pszenicy ozimej odm. Arkadia, s.d.- odchylenie standardowe

Tabela 34. Średnie wartości wskaźnika wypierania pszenicy ozimej przez miotłę zbożową (K_{wu}) oraz wskaźnika ograniczania produktywności pszenicy ozimej przez miotłę zbożową (K_{ou}) – sezon wegetacyjny 2018/2019

| Obiekt (wariant badawczy) | | | K_{wu} [%] | | K_{ou} [%] | | | | | | | | | |
|---------------------------|----------------|------------------|--------------------------|-------|----------------------------|-------|--------------|-------|--------------------|-------|------------------------|-------|-----------------|-------|
| | | | Liczba źdźbeł na roślinę | | Plon ziaren jednej rośliny | | MTZ | | Masa jednego kłosa | | Biomasa jednej rośliny | | Biomasa korzeni | |
| Biotyp | Substrat gleby | Poziom nawożenia | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. |
| | | | S1 | L | a0 | 29,41 | 5,88 | 63,75 | 5,86 | 44,05 | 19,11 | 57,63 | 16,79 | 51,91 |
| S1 | L | a1 | 16,36 | 5,14 | 42,93 | 25,54 | 12,22 | 25,79 | 40,81 | 23,78 | 38,19 | 12,47 | 42,84 | 16,90 |
| S1 | C | a0 | 18,52 | 4,58 | 40,47 | 27,10 | 19,77 | 17,07 | 40,30 | 33,55 | 29,54 | 7,84 | 32,50 | 10,39 |
| S1 | C | a1 | 25,33 | 13,60 | 38,57 | 25,64 | 12,60 | 11,54 | 37,43 | 25,41 | 38,00 | 16,77 | 58,00 | 10,99 |
| S3 | L | a0 | 16,12 | 14,11 | 48,00 | 26,56 | -1,80 | 40,55 | 45,29 | 19,87 | 38,19 | 12,03 | 36,26 | 13,89 |
| S3 | L | a1 | 21,82 | 11,35 | 55,46 | 32,70 | 24,16 | 38,23 | 57,32 | 27,00 | 44,64 | 15,44 | 47,05 | 19,72 |
| S3 | C | a0 | 31,82 | 4,55 | 40,51 | 35,36 | 5,19 | 19,40 | 38,82 | 33,79 | 30,61 | 19,59 | 36,51 | 20,67 |
| S3 | C | a1 | 26,67 | 11,55 | 51,88 | 28,03 | 19,29 | 20,14 | 53,50 | 24,46 | 48,08 | 9,69 | 48,56 | 25,89 |
| B-2 | L | a0 | 31,37 | 12,25 | 79,71 | 13,24 | 38,57 | 26,79 | 81,28 | 3,41 | 66,99 | 3,36 | 74,31 | 3,33 |
| B-2 | L | a1 | 34,55 | 5,45 | 78,89 | 12,63 | 45,80 | 26,45 | 77,57 | 13,44 | 67,82 | 11,38 | 72,69 | 14,37 |
| B-2 | C | a0 | 27,27 | 12,03 | 72,55 | 1,24 | 35,73 | 22,79 | 70,11 | 2,28 | 66,03 | 8,38 | 72,47 | 5,44 |
| B-2 | C | a1 | 40,00 | 10,58 | 69,17 | 2,64 | 30,51 | 12,49 | 66,48 | 5,74 | 67,55 | 8,65 | 74,26 | 7,84 |
| B-3 | L | a0 | 25,49 | 3,40 | 64,69 | 17,63 | 23,52 | 39,03 | 59,61 | 28,34 | 41,96 | 7,74 | 49,50 | 5,46 |
| B-3 | L | a1 | 20,99 | 4,58 | 53,65 | 19,73 | 16,25 | 24,92 | 52,73 | 26,06 | 38,77 | 5,61 | 48,26 | 5,60 |
| B-3 | C | a0 | 33,33 | 2,62 | 52,22 | 29,20 | 14,59 | 33,96 | 54,58 | 26,37 | 58,82 | 10,43 | 69,74 | 7,65 |
| B-3 | C | a1 | 20,00 | 12,00 | 75,92 | 11,43 | 48,53 | 31,33 | 77,53 | 8,49 | 54,88 | 19,32 | 67,11 | 10,14 |
| AB-1 | L | a0 | 27,45 | 12,25 | 49,49 | 26,93 | 19,71 | 17,43 | 42,18 | 16,63 | 38,67 | 11,81 | 42,12 | 21,86 |
| AB-1 | L | a1 | 25,45 | 11,35 | 59,37 | 6,59 | 13,87 | 20,35 | 57,43 | 6,82 | 37,53 | 16,58 | 52,28 | 14,50 |
| AB-1 | C | a0 | 27,27 | 15,75 | 47,99 | 18,54 | -0,78 | 18,81 | 47,72 | 20,20 | 54,63 | 12,60 | 66,85 | 10,18 |
| AB-1 | C | a1 | 13,33 | 9,24 | 52,44 | 18,94 | 26,42 | 22,43 | 57,91 | 15,07 | 31,69 | 16,96 | 39,58 | 33,09 |

Legenda: PZ – pszenica ozima, S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, AB – biotyp z odpornością krzyżową, L – substrat gleby lekkiej, C – substrat gleby ciężkiej, a0 – brak nawożenia, a1 – nawożenie zgodnie z zaleceniami dla pszenicy ozimej odm. Arkadia, s.d.- odchylenie standardowe

5.3.2.2. Wskaźniki konkurencyjnego oddziaływania biotypów S i R miotły zbożowej na wybrane cechy pszenicy ozimej – sezon wegetacyjny 2019/2020

Średnie wartości obliczone dla wskaźników konkurencyjnego oddziaływania miotły zbożowej na wybrane cechy pszenicy ozimej w sezonie wegetacyjnym 2019/2020 przedstawiono w tabeli 35 (wskaźnik K_{cu}) oraz tabeli 36 (wskaźnik K_{wu} oraz K_{ou}). Dla obiektów kontrolnych (bez zachwaszczenia) wskaźniki przyjmują wartość równą 0%. Dodatkowo wartości wskaźników K_{cu} (dla parametru liczba kłosów na roślinę) oraz K_{wu} (liczba źdźbeł na roślinę) mogą być równe w przypadku, kiedy wszystkie źdźbła pszenicy są kłosonośne.

W oparciu o wyliczone wskaźniki konkurencyjności stwierdzono występowanie zróżnicowanego poziomu konkurencyjności, w zależności od badanej cechy pszenicy, a także w zależności od zastosowanego wariantu badawczego.

Wskaźnik oddziaływania chwastów na cechy rośliny uprawnej K_{cu} (tabela 35) wykazał, że w większości testowanych wariantów badawczych zachodziło negatywne oddziaływanie miotły zbożowej na pszenicę ozimą, o czym świadczą dodatnie wartości K_{cu} uzyskane dla większości badanych cech. Wyjątkiem jest stymulujące działanie miotły zbożowej na obiektach z biotypem wrażliwym (S3). Sytuacja ta dotyczy parametrów takich jak: długość dokłosa na obiekcie S3-L-a0 (K_{cu} -0,98%) oraz długość kłosa na obiekcie S3-C-a0 (K_{cu} -7,98%). Dodatkowo w przypadku wariantów: S1-L-a0, S3-L-a1, AB-1-L-11 dla liczby kłosów na roślinę oraz wariantów S1-C-a1, S3-C-a1 i B-3-C-a1 dla liczby międzywęźli źdźbła wskaźnik K_{cu} wynosił 0%, co dowodzi braku konkurencji między rośliną uprawną a wskazanymi biotypami miotły zbożowej. Niekorzystne oddziaływanie miotły zbożowej na takie parametry pszenicy ozimej jak: liczbę ziaren w kłosie (K_{cu} 7,87 – 40,00%) oraz liczbę ziaren na roślinę (K_{cu} 12,25 – 69,26%) obserwowano niezależnie od kombinacji czynników doświadczalnych. Najwyższe wartości wskaźnika K_{cu} (powyżej 50%) uzyskano dla liczby ziaren na roślinę w obiektach badawczych B-2-C-a1 (69,26%), B-2-C-a0 (51,56%) oraz B-3-C-a1 (54,76%).

Wartości wskaźnika wypierania rośliny uprawnej przez chwasty K_{wu} (tabela 36) wykazały, że w większości testowanych wariantów badawczych miotła zbożowa ujemnie oddziaływał na roślinę, powodując redukcję i wypieranie liczby źdźbeł pszenicy ozimej w przedziale od średnio 4,55% (S3-L-a1) do 48,65% (B-2-C-a1). Najwyższą wartość badanego wskaźnika odnotowano dla obiektu B-2-C-a1, a najniższą dla obiektu S3-L-a0. Nie stwierdzono konkurencji między pszenicą a miotłą zbożową na obiektach S1-L-a0, S3-L-a1 oraz AB-1-L-a1.

W oparciu o analizę wskaźnika ograniczania produktywności rośliny uprawnej przez chwast K_{ou} (tabela 36) stwierdzono, że miotła oddziaływała negatywnie na plon ziarna jednej rośliny, masę jednego kłosa, biomasę jednej rośliny oraz biomasę korzeni pszenicy ozimej, niezależnie od kombinacji czynników doświadczalnych. Najsilniej zredukowany został plon ziaren jednej rośliny oraz masa jednego kłosa dla wariantu badawczego B-2-C-a1, odpowiednio o 86,19% oraz 86,47%. Na dwóch obiektach badawczych (S-1-C-a0 oraz S1-L-a1) obserwowano stymulujące działanie chwastu na wartość masy tysiąca ziaren. W tych przypadkach wartość wskaźnika K_{ou} wynosiła odpowiednio -1,87% i -3,56%.

Analiza w/w wskaźników konkurencyjności pokazała, że w sezonie wegetacyjnym 2019/2020 największy niekorzystny wpływ na morfologię i plonowanie pszenicy ozimej miał odporny biotyp miotły zbożowej B-2, wegetujący na substracie gleby ciężkiej, nawożonej. W tym przypadku uzyskano najwyższe wartości wskaźników K_{cu} , K_{wu} oraz K_{ou} dla większości badanych parametrów rośliny uprawnej (z wyjątkiem długości pędu i liczby międzywęźli źdźbła).

Tabela 35. Średnie wartości wskaźnika konkurencyjnego oddziaływania miotły zbożowej na wybrane cechy pszenicy ozimej (K_{cu}) – sezon wegetacyjny 2019/2020

| Obiekt (wariant badawczy) | | | Wartość wskaźnika konkurencyjności K_{cu} [%] | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|----------------|------------------|---|-------|--------------|-------|---------------------------|-------|------------------|-------|---------------|-------|------------------------|-------|--------------------------|-------|
| | | | Liczba kłosów na roślinę | | Długość pędu | | Liczba międzywęzli źdźbła | | Długość doklosia | | Długość kłosa | | Liczba ziaren w kłosie | | Liczba ziaren na roślinę | |
| Biotyp | Substrat gleby | Poziom nawożenia | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. |
| S1 | L | a0 | 0,00 | 6,67 | 1,17 | 9,90 | 7,69 | 23,08 | 4,88 | 7,46 | 14,08 | 23,75 | 25,00 | 37,50 | 21,37 | 43,61 |
| S1 | L | a1 | 4,55 | 23,62 | 4,94 | 10,68 | 6,67 | 11,55 | 4,19 | 23,39 | 10,81 | 16,38 | 11,69 | 23,81 | 17,93 | 18,21 |
| S1 | C | a0 | 12,85 | 11,92 | 3,57 | 9,84 | 6,67 | 11,55 | 3,68 | 25,03 | 9,77 | 11,94 | 13,48 | 15,57 | 24,79 | 23,99 |
| S1 | C | a1 | 37,84 | 4,68 | 5,44 | 9,37 | 0,00 | 0,00 | 13,79 | 18,52 | 16,72 | 8,38 | 10,48 | 11,90 | 44,35 | 3,28 |
| S3 | L | a0 | 2,22 | 7,70 | 3,94 | 13,56 | 7,69 | 23,08 | -0,98 | 5,82 | 2,82 | 34,00 | 12,50 | 43,75 | 12,25 | 42,45 |
| S3 | L | a1 | 0,00 | 3,94 | 12,93 | 8,39 | 20,00 | 20,00 | 14,63 | 22,20 | 14,86 | 20,80 | 23,38 | 27,64 | 22,93 | 28,13 |
| S3 | C | a0 | 11,76 | 10,19 | 6,05 | 12,27 | 13,33 | 11,55 | 1,64 | 23,71 | -7,89 | 20,96 | 7,87 | 25,52 | 19,48 | 27,72 |
| S3 | C | a1 | 33,78 | 2,34 | 8,52 | 3,82 | 0,00 | 0,00 | 12,93 | 8,83 | 21,98 | 18,13 | 22,86 | 24,41 | 48,27 | 17,90 |
| B-2 | L | a0 | 15,56 | 3,85 | 17,99 | 8,60 | 30,77 | 0,00 | 15,08 | 9,79 | 24,65 | 14,99 | 39,58 | 28,18 | 47,01 | 26,16 |
| B-2 | L | a1 | 15,91 | 10,41 | 23,05 | 10,74 | 33,33 | 11,55 | 25,24 | 7,19 | 31,98 | 15,07 | 38,96 | 25,05 | 49,42 | 16,27 |
| B-2 | C | a0 | 29,41 | 15,56 | 21,30 | 9,65 | 33,33 | 11,55 | 32,37 | 9,48 | 16,92 | 17,48 | 28,09 | 16,97 | 51,56 | 6,59 |
| B-2 | C | a1 | 48,65 | 2,34 | 18,83 | 9,01 | 20,00 | 20,00 | 39,82 | 7,81 | 35,29 | 13,15 | 40,00 | 18,74 | 69,26 | 8,23 |
| B-3 | L | a0 | 13,33 | 6,67 | 8,36 | 15,58 | 15,38 | 26,65 | 15,24 | 11,84 | 9,15 | 30,47 | 18,75 | 45,07 | 28,35 | 39,65 |
| B-3 | L | a1 | 18,18 | 13,64 | 19,37 | 17,85 | 26,67 | 23,09 | 25,02 | 7,31 | 25,68 | 14,62 | 31,17 | 17,57 | 41,66 | 23,82 |
| B-3 | C | a0 | 23,53 | 0,00 | 2,67 | 8,47 | 6,67 | 11,55 | 1,85 | 21,48 | 1,13 | 23,93 | 22,47 | 30,89 | 41,75 | 23,21 |
| B-3 | C | a1 | 44,59 | 9,36 | 1,34 | 11,52 | 0,00 | 0,00 | 10,79 | 18,05 | 22,91 | 11,15 | 20,00 | 13,09 | 54,76 | 13,58 |
| AB-1 | L | a0 | 22,22 | 13,88 | 12,24 | 19,16 | 15,38 | 26,65 | 12,99 | 11,64 | 9,86 | 19,63 | 37,50 | 22,53 | 48,29 | 27,90 |
| AB-1 | L | a1 | 0,00 | 3,94 | 4,99 | 7,54 | 13,33 | 11,55 | 14,76 | 22,44 | 24,32 | 8,86 | 38,96 | 8,11 | 38,36 | 9,98 |
| AB-1 | C | a0 | 11,76 | 5,88 | 12,48 | 17,36 | 20,00 | 20,00 | 18,84 | 11,03 | 13,16 | 12,56 | 22,47 | 16,85 | 33,44 | 10,15 |
| AB-1 | C | a1 | 44,59 | 8,44 | 12,90 | 8,52 | 6,67 | 11,55 | 13,54 | 12,25 | 27,86 | 13,18 | 28,57 | 18,74 | 59,11 | 17,01 |

Legenda: PZ – pszenica ozima, S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, AB – biotyp z odpornością krzyżową, L – substrat gleby lekkiej, C – substrat gleby ciężkiej, a0 – brak nawożenia, a1 – nawożenie zgodnie z zaleceniami dla pszenicy ozimej odm. Arkadia, s.d.- odchylenie standardowe

Tabela 36. Średnie wartości wskaźnika wypierania pszenicy ozimej przez miotłę zbożową (K_{wu}) oraz wskaźnika ograniczania produktywności pszenicy ozimej przez miotłę zbożową (K_{ou}) – sezon wegetacyjny 2019/2020

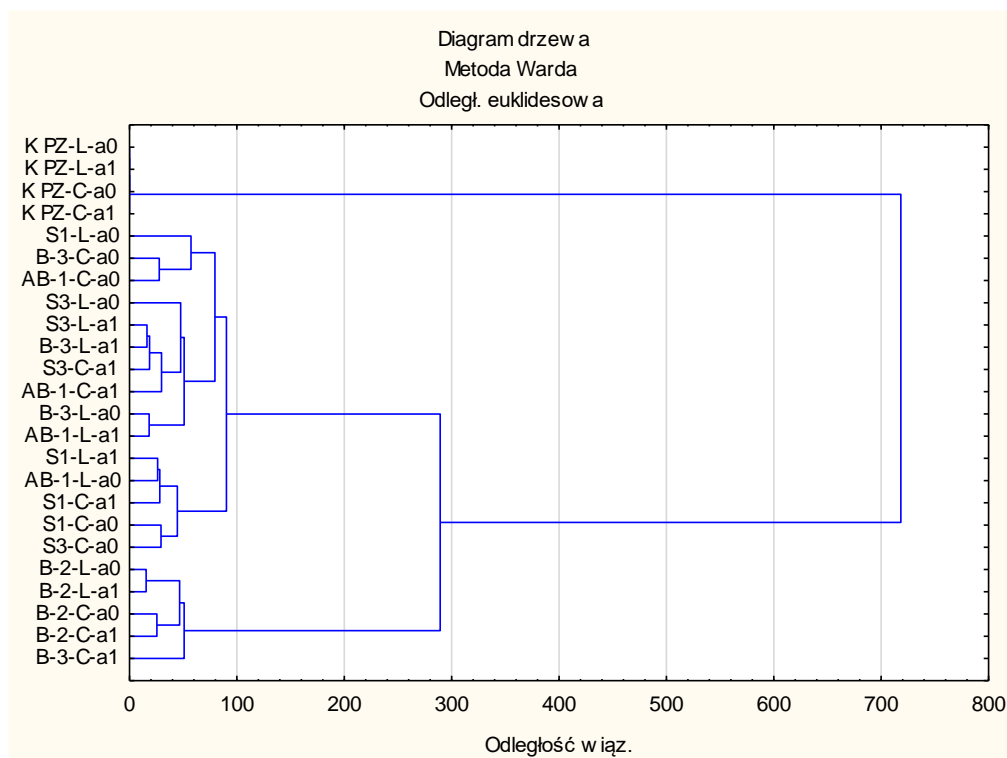
| Obiekt (wariant badawczy) | | | K_{wu} [%] | | K_{ou} [%] | | | | | | | | | |
|---------------------------|----------------|------------------|--------------------------|-------|----------------------------|-------|---------|-------|--------------------|-------|------------------------|-------|-----------------|-------|
| | | | Liczba źdźbeł na roślinę | | Plon ziaren jednej rośliny | | MTZ | | Masa jednego kłosa | | Biomasa jednej rośliny | | Biomasa korzeni | |
| Biotyp | Substrat gleby | Poziom nawożenia | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. |
| | | | S1 | L | a0 | 0,00 | 6,67 | 50,98 | 33,84 | 36,46 | 38,64 | 51,16 | 30,26 | 24,88 |
| S1 | L | a1 | 4,55 | 23,62 | 13,97 | 25,35 | -3,56 | 16,39 | 16,61 | 16,51 | 28,39 | 34,60 | 22,53 | 26,23 |
| S1 | C | a0 | 12,85 | 11,92 | 22,34 | 30,05 | -1,87 | 39,07 | 29,26 | 23,53 | 32,90 | 14,46 | 31,68 | 20,36 |
| S1 | C | a1 | 37,84 | 4,68 | 45,93 | 23,13 | 5,06 | 39,06 | 49,17 | 22,63 | 48,21 | 3,92 | 55,98 | 12,50 |
| S3 | L | a0 | 2,22 | 7,70 | 27,79 | 42,49 | 20,69 | 11,01 | 16,62 | 55,16 | 37,09 | 19,99 | 28,15 | 7,75 |
| S3 | L | a1 | 0,00 | 3,94 | 34,70 | 15,79 | 13,01 | 12,45 | 39,03 | 14,85 | 40,96 | 13,80 | 42,28 | 3,10 |
| S3 | C | a0 | 11,76 | 10,19 | 29,57 | 32,41 | 15,46 | 32,49 | 35,20 | 31,87 | 20,87 | 21,40 | 25,71 | 21,42 |
| S3 | C | a1 | 33,78 | 2,34 | 57,12 | 26,11 | 20,32 | 27,45 | 55,73 | 24,74 | 52,38 | 4,95 | 50,23 | 33,61 |
| B-2 | L | a0 | 15,56 | 3,85 | 69,17 | 29,40 | 51,14 | 28,80 | 66,15 | 34,75 | 62,66 | 5,67 | 61,52 | 1,93 |
| B-2 | L | a1 | 15,91 | 10,41 | 67,91 | 11,84 | 36,78 | 17,91 | 67,31 | 9,78 | 65,04 | 3,83 | 65,51 | 5,37 |
| B-2 | C | a0 | 29,41 | 15,56 | 75,07 | 10,41 | 49,34 | 22,57 | 71,64 | 11,42 | 73,58 | 2,79 | 72,00 | 2,85 |
| B-2 | C | a1 | 48,65 | 2,34 | 86,19 | 4,41 | 54,77 | 13,84 | 86,47 | 4,09 | 77,95 | 5,56 | 74,66 | 9,78 |
| B-3 | L | a0 | 13,33 | 6,67 | 39,52 | 26,71 | 12,78 | 23,36 | 36,11 | 29,93 | 24,59 | 21,77 | 26,99 | 32,85 |
| B-3 | L | a1 | 18,18 | 13,64 | 44,16 | 34,47 | 10,42 | 20,33 | 45,23 | 31,62 | 48,83 | 16,57 | 60,83 | 2,99 |
| B-3 | C | a0 | 23,53 | 0,00 | 53,38 | 26,08 | 21,39 | 32,88 | 51,70 | 29,22 | 55,98 | 37,79 | 53,11 | 14,48 |
| B-3 | C | a1 | 44,59 | 9,36 | 60,75 | 26,96 | 17,16 | 51,56 | 62,39 | 22,45 | 63,03 | 14,94 | 63,56 | 16,56 |
| AB-1 | L | a0 | 22,22 | 13,88 | 63,79 | 33,45 | 39,44 | 26,23 | 54,65 | 46,81 | 1,79 | 1,54 | 48,10 | 22,94 |
| AB-1 | L | a1 | 0,00 | 3,94 | 52,36 | 15,34 | 23,20 | 22,15 | 56,98 | 16,66 | 21,09 | 20,41 | 25,92 | 20,84 |
| AB-1 | C | a0 | 11,76 | 5,88 | 41,45 | 19,75 | 15,06 | 24,58 | 42,16 | 20,49 | 34,00 | 5,84 | 51,89 | 18,54 |
| AB-1 | C | a1 | 44,59 | 8,44 | 73,19 | 9,02 | 32,92 | 19,70 | 73,51 | 9,12 | 61,86 | 12,91 | 66,73 | 10,87 |

Legenda: PZ – pszenica ozima, S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, AB – biotyp z odpornością krzyżową, L – substrat gleby lekkiej, C – substrat gleby ciężkiej, a0 – brak nawożenia, a1 – nawożenie zgodnie z zaleceniami dla pszenicy ozimej odm. Arkadia, s.d.- odchylenie standardowe

5.3.2.3. Analiza skupień – sezon wegetacyjny 2018/2019

Średnie wartości obliczone dla wskaźników konkurencyjnego oddziaływania miotły zbożowej na wybrane cechy pszenicy ozimej (przedstawione w tabelach 33 oraz 34, w rozdziale 5.3.2.1.) poddano analizie skupień i zaprezentowano graficznie w postaci diagramu drzewa (dendrogramu).

Przyporządkowanie poszczególnych obiektów badawczych do poszczególnych skupień w sezonie wegetacyjnym 2018/2019 przedstawia dendrogram zamieszczony na rycinie 39. W analizowanym sezonie wegetacyjnym wyodrębniono trzy skupienia. Jedno ze skupień, całkowicie odrębne, stanowiły obiekty kontrolne, co wynika bezpośrednio z przyjętego w metodyce sposobu obliczania wskaźników (przyjęto, że kontrola ma wskaźniki równe 0%). W pozostałych odgałęzieniach wyróżniają się dwa główne skupienia. Jedno z nich (najniższa gałąź) składa się wyłącznie z obiektów, w których występował biotyp B-2 miotły zbożowej, a wegetacja odbywała się na substracie gleby ciężkiej lub lekkiej, zarówno przy braku nawożenia, jak i przy jego zastosowaniu. W skupieniu tym znalazł się także biotyp B-3, wegetujący na substracie gleby ciężkiej, ale tylko przy zastosowaniu nawożenia. W drugiej gałęzi znalazły się trzy skupienia. Ich cechą charakterystyczną jest to, że zawierają biotypy chwastu zarówno odporne, jak i wrażliwe. Elementem wiążącym w tym przypadku jest rodzaj substratu glebowego oraz poziom nawożenia. Należy również zauważyć, że biotyp AB-1 wykazywał często duże podobieństwo do biotypów S1 i S3, zwłaszcza gdy stosowano ten sam typ substratu glebowego i/lub ten sam poziom nawożenia.



Rycina 39. Grupowanie analizowanych obiektów badawczych w sezonie wegetacyjnym 2018/2019 z uwzględnieniem wszystkich badanych wskaźników konkurencyjności. Legenda: K PZ – kontrola - pszenica ozima, S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, AB – biotyp z odpornością krzyżową, L – substrat gleby lekkiej, C – substrat gleby ciężkiej, a0 – brak nawożenia, a1 – nawożenie zgodnie z zaleceniami dla pszenicy ozimej odm. Arkadia

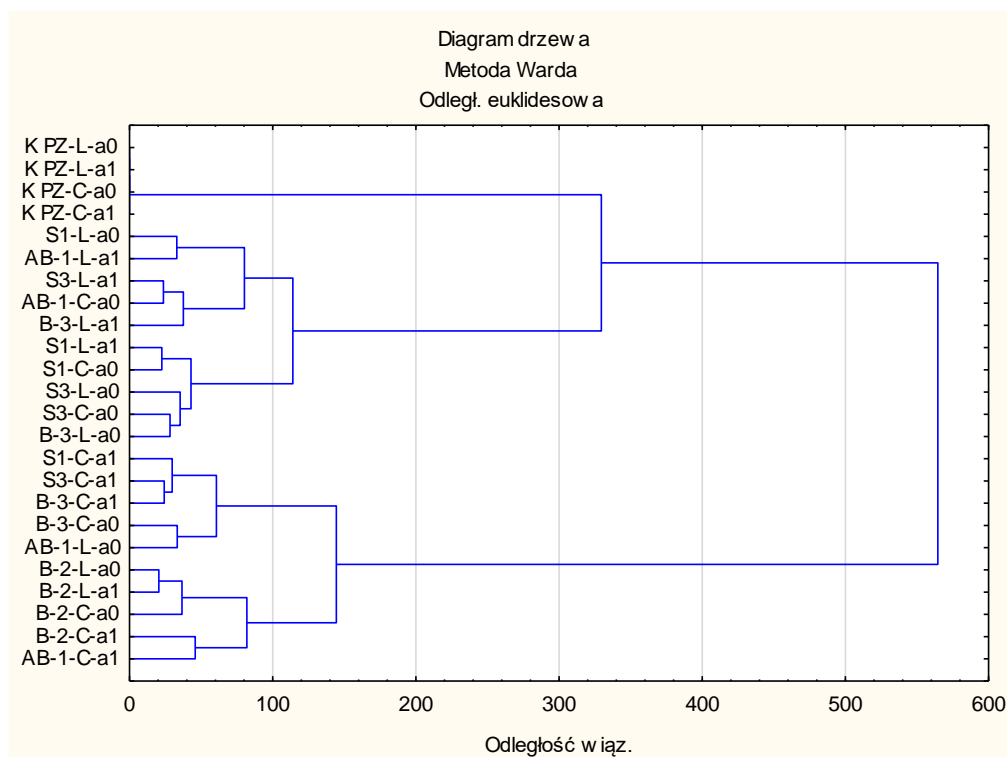
5.3.2.4. Analiza skupień – sezon wegetacyjny 2019/2020

Średnie wartości obliczone dla wskaźników konkurencyjnego oddziaływania miotły zbożowej na wybrane cechy pszenicy ozimej (przedstawione w tabelach 35 oraz 36, w rozdziale 5.3.2.2.) poddano analizie skupień i zaprezentowano graficznie w postaci diagramu drzewa (dendrogramu).

Przyporządkowanie poszczególnych obiektów badawczych do odpowiednich skupień w sezonie wegetacyjnym 2019/2020 przedstawia dendrogram zamieszczony na rycinie 40. W analizowanym sezonie wegetacyjnym wyodrębniono dwa skupienia. W pierwszym rozgałęzieniu, obok obiektów kontrolnych, znalazły się obiekty z miotłą zbożową o biotypach wrażliwych S1 i S3, wegetujących na obydwu rodzajach substratu glebowego i przy zastosowaniu obu poziomów nawożenia. Podobieństwo z tymi obiektami wykazywał również biotyp AB-1, testowany w wariacie z substratem gleby lekkiej, z zastosowaniem nawożenia oraz z substratem gleby ciężkiej, nienawożonej, a także biotyp B-3 badany na substracie gleby lekkiej, przy zastosowaniu obu poziomów nawożenia. W obrębie drugiego skupienia można wskazać na podobieństwo biotypów wrażliwych S1 i S3 (testowanych na substracie gleby

ciężkiej, nawożonej) z biotypem odpornym B-3 (testowanym na substracie gleby ciężkiej, z zastosowaniem nawożenia i bez nawożenia) oraz biotypem odpornym AB-1 (wegetującym na substracie gleby lekkiej, nienawożonej). W jednej gałęzi w ramach tego skupienia znalazły się też wszystkie warianty badawcze z udziałem miotły zbożowej o biotypie B-2, które to wykazywały podobieństwo do biotypu AB-1, badanego na substracie gleby ciężkiej, z zastosowaniem nawożenia.

W sezonie wegetacyjnym 2019/2020 analiza skupień zakończyła się wyodrębnieniem dwóch, a nie trzech głównych gałęzi. W sezonie wegetacyjnym 2018/2019 obiekty kontrolne były całkowicie odrębne, natomiast w kolejnym roku badań obiekty znajdujące się w głównej gałęzi wykazywały już większe podobieństwo do kontroli.

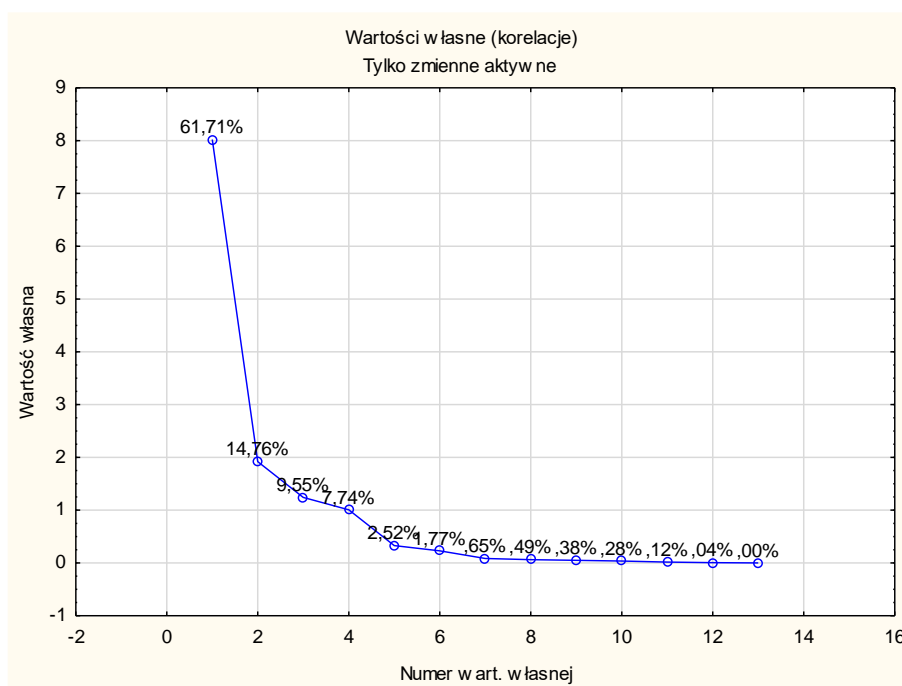


Rycina 40. Grupowanie analizowanych obiektów badawczych w sezonie wegetacyjnym 2019/2020 z uwzględnieniem wszystkich badanych wskaźników konkurencyjności. Legenda: K PZ – kontrola - pszenica ozima, S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, AB – biotyp z odpornością krzyżową, L – substrat gleby lekkiej, C – substrat gleby ciężkiej, a0 – brak nawożenia, a1 – nawożenie zgodnie z zaleceniami dla pszenicy ozimej odm. Arkadia

5.3.2.5. Analiza głównych składowych (PCA) – sezon wegetacyjny 2018/2019

Średnie wartości obliczone dla wskaźników konkurencyjnego oddziaływania miotły zbożowej na wybrane cechy pszenicy ozimej (przedstawione w tabelach 33 oraz 34 w rozdziale 5.3.2.1.) poddano analizie głównych składowych PCA i zaprezentowano graficznie w postaci

wykresu typu biplot. Wykonany na potrzeby analizy wykres osypiska (rycina 41) wykazał, że pomimo wyodrębnienia kilkunastu składowych, na uwagę zasługują jedynie składowa pierwsza i druga. Ładunki poszczególnych zmiennych w obrębie składowych zostały przedstawione w tabeli 37.



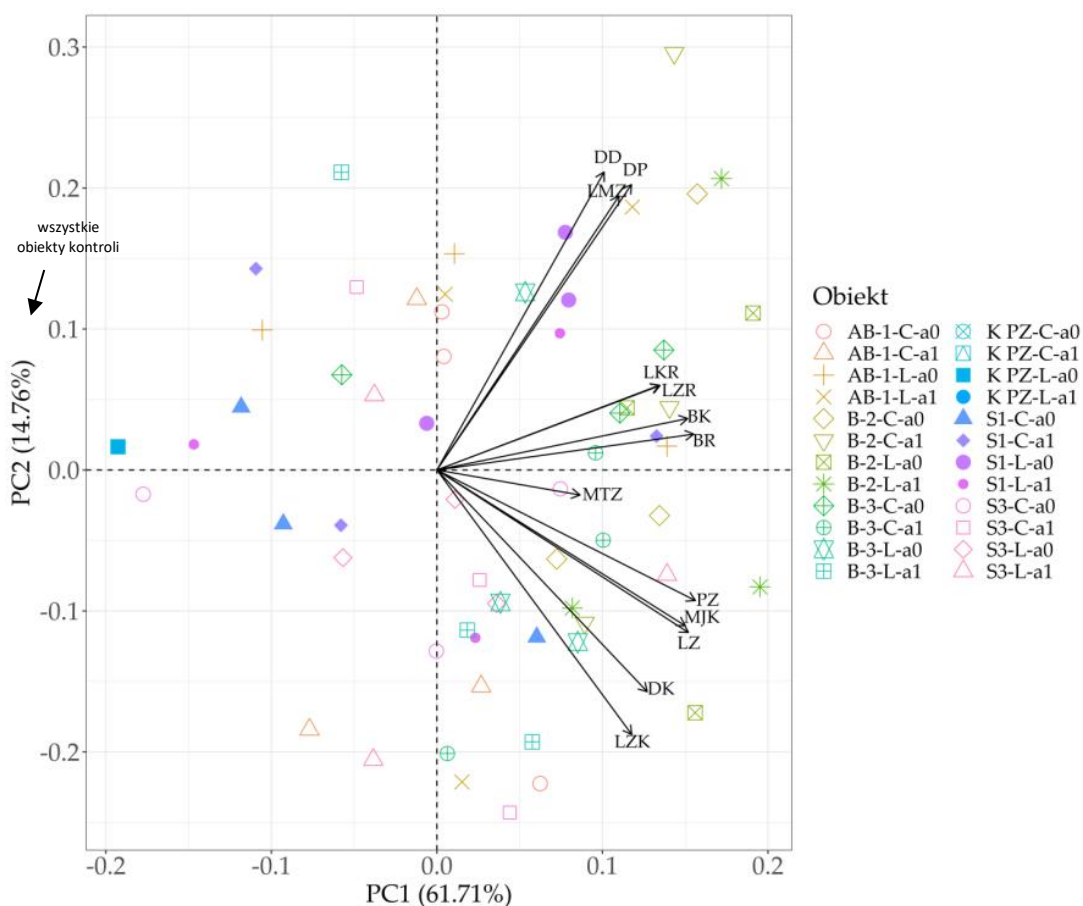
Rycina 41. Wykres osypiska dla składowych analizy PCA – sezon wegetacyjny 2018/2019

Tabela 37. Ładunki poszczególnych zmiennych w obrębie składowych analizy PCA – sezon wegetacyjny 2018/2019

| | PC1 | PC2 |
|------------|-----------|-------------|
| LZR | 0.2829877 | 0.12564499 |
| LKR | 0.2822744 | 0.12616772 |
| DP | 0.2467613 | 0.42500989 |
| LMZ | 0.2310134 | 0.40803546 |
| DD | 0.2120937 | 0.44365687 |
| DK | 0.2668214 | -0.33016328 |
| LZK | 0.2470797 | -0.39377751 |
| LZ | 0.3189926 | -0.24194549 |
| PZ | 0.3278572 | -0.19446573 |
| MTZ | 0.1815437 | -0.03728231 |
| MJK | 0.3150133 | -0.23195918 |
| BR | 0.3257225 | 0.05335015 |
| BK | 0.3181537 | 0.07663514 |

Legenda: PC1 – pierwsza składowa, PC2 – druga składowa, LZR – liczba źdźbeł na roślinę, LKR – liczba kłosów na roślinę, DP – długość pędu, LMZ – liczba międzywęźli źdźbła, DD – długość dokłosa, DK – długość kłosa, LZK – liczba ziaren w kłosie, LZ – liczba ziaren na roślinę, PZ – plon ziaren jednej rośliny, MTZ – masa tysiąca ziaren, MJK – masa jednego kłosa, BR – biomasa jednej rośliny, BK – biomasa korzeni.

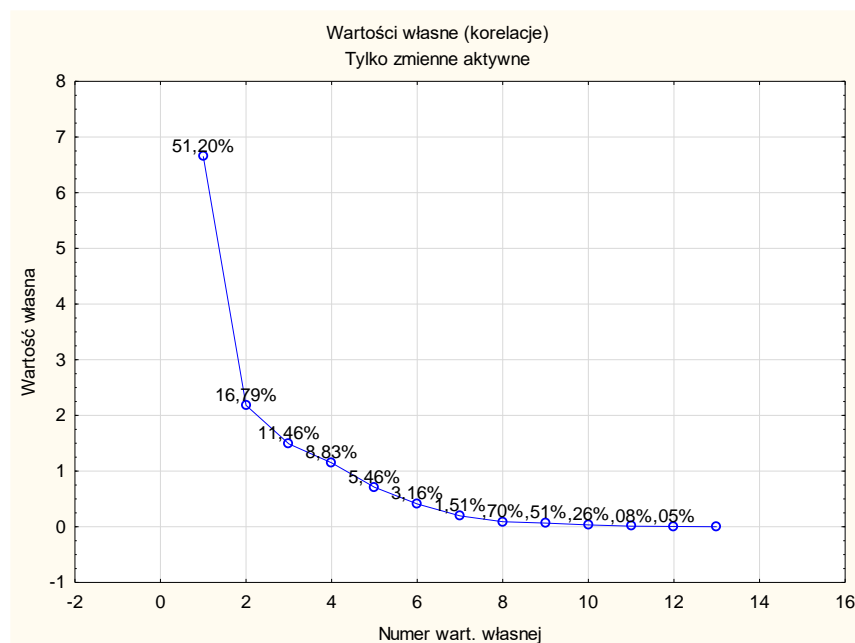
Pierwsza składowa (PC1) wyjaśniała blisko 62% zmienności (rycina 42). Zdecydowanie największy wpływ na tę składową wywierały liczba ziaren na roślinę, plon ziaren jednej rośliny, masa jednego kłosa, biomasa jednej rośliny i biomasa korzeni (tabela 37), a więc wskaźniki związane z liczbą i plonem ziarna, a także masą kłosa oraz biomasą rośliny. Druga składowa (PC2) wyjaśniała blisko 15% zmienności (rycina 42). Zmienne o największym wpływie na PC2 to przede wszystkim długość pędu, liczba międzywęźli źdźbła oraz długość dokłosa (tabela 37), które są związane z cechami morfologicznymi kłosa i źdźbła. Analiza wykresu biplot (rycina 42) wskazuje na istnienie istotnej pozytywnej korelacji (wektory równoległe) pomiędzy długością pędu i liczbą międzywęźli źdźbła, masą jednego kłosa i liczbą ziaren na roślinę oraz liczbą kłosów na roślinę i liczbą źdźbeł na roślinę. Położenie wektorów może sugerować istnienie słabszej korelacji (być może na granicy istotności) pomiędzy długością dokłosa a liczbą międzywęźli źdźbła i długością pędu oraz pomiędzy biomasą korzeni i biomasą jednej rośliny, a także pomiędzy plonem ziaren z jednej rośliny a masą jednego kłosa i liczbą ziaren na roślinę. Pomimo znacznego rozrzutu spowodowanego niejednorodnością obserwacji w obrębie obiektów, wykres biplot pokazuje związek pomiędzy kilkoma biotypami badanymi w różnych warunkach, a poszczególnymi zmiennymi. Związek ten wskazuje, że w przypadku danego obiektu zmiana wartości analizowanego wskaźnika była wyraźnie związana z konkretnym badanym wariantem doświadczenia (biotyp x substrat glebowy x poziom nawożenia). Ze wskaźnikami długości dokłosa, długości pędu oraz liczbą międzywęźli źdźbła większy związek wykazują obiekty AB-1-C-a0, AB-1-L-a1 oraz S1-L-a0. Z kolei liczba kłosów na roślinę, liczba źdźbeł na roślinę, biomasa korzeni i biomasa jednej rośliny były powiązane z wariantami B3-C-a0 oraz B-3-L-a1. Z masą tysiąca ziaren oraz plonem ziarna jednej rośliny, masą jednego kłosa oraz liczbą ziaren na roślinę związany był szczególnie obiekt S3-L-a0. Obiekt B-2-L-a1 wykazywał większy związek z plonem ziaren na roślinę, masą jednego kłosa i liczbą ziaren na roślinę. Wskaźniki długości kłosa i liczby ziaren w kłosie były głównie związane z obiektami B3-L-a0 i B3-L-a1 a także S3-L-a1.



Rycina 42. Biplot PCA pokazujący związek pomiędzy wskaźnikami konkurencyjności wyliczonymi dla badanych cech pszenicy ozimej a obiektami badawczymi, z uwzględnieniem biotypu miotły zbożowej, typu substratu glebowego oraz poziomu nawożenia – sezon wegetacyjny 2018/2019. Legenda: PC1 – pierwsza składowa, PC2 – druga składowa, LZR – liczba źdźbeł na roślinę, LKR – liczba kłosów na roślinę, DP – długość pędu, LMZ – liczba międzywęźli źdźbła, DD – długość dokłosa, DK – długość kłosa, LZK – liczba ziaren w kłosie, LZ – liczba ziaren na roślinę, PZ – plon ziaren z jednej rośliny, MTZ – masa tysiąca ziaren, MJK – masa jednego kłosa, BR – biomasa jednej roślin, BK – biomasa korzeni

5.3.2.6. Analiza głównych składowych (PCA) – sezon wegetacyjny 2019/2020

Średnie wartości obliczone dla wskaźników konkurencyjnego oddziaływania miotły zbożowej na wybrane cechy pszenicy ozimej (przedstawione w tabelach 35 oraz 36 w rozdziale 5.3.2.2.) poddano analizie głównych składowych PCA i zaprezentowano graficznie w postaci wykresu typu biplot. Wykonany na potrzeby analizy wykres osypiska (rycina 43) wskazał, że pomimo wyodrębnienia kilkunastu składowych, na uwagę zasługują jedynie składowa pierwsza i druga. Ładunki poszczególnych zmiennych w obrębie składowych zostały przedstawione w tabeli 38.



Rycina 43. Wykres osypiska dla składowych analizy PCA – sezon wegetacyjny 2019/2020

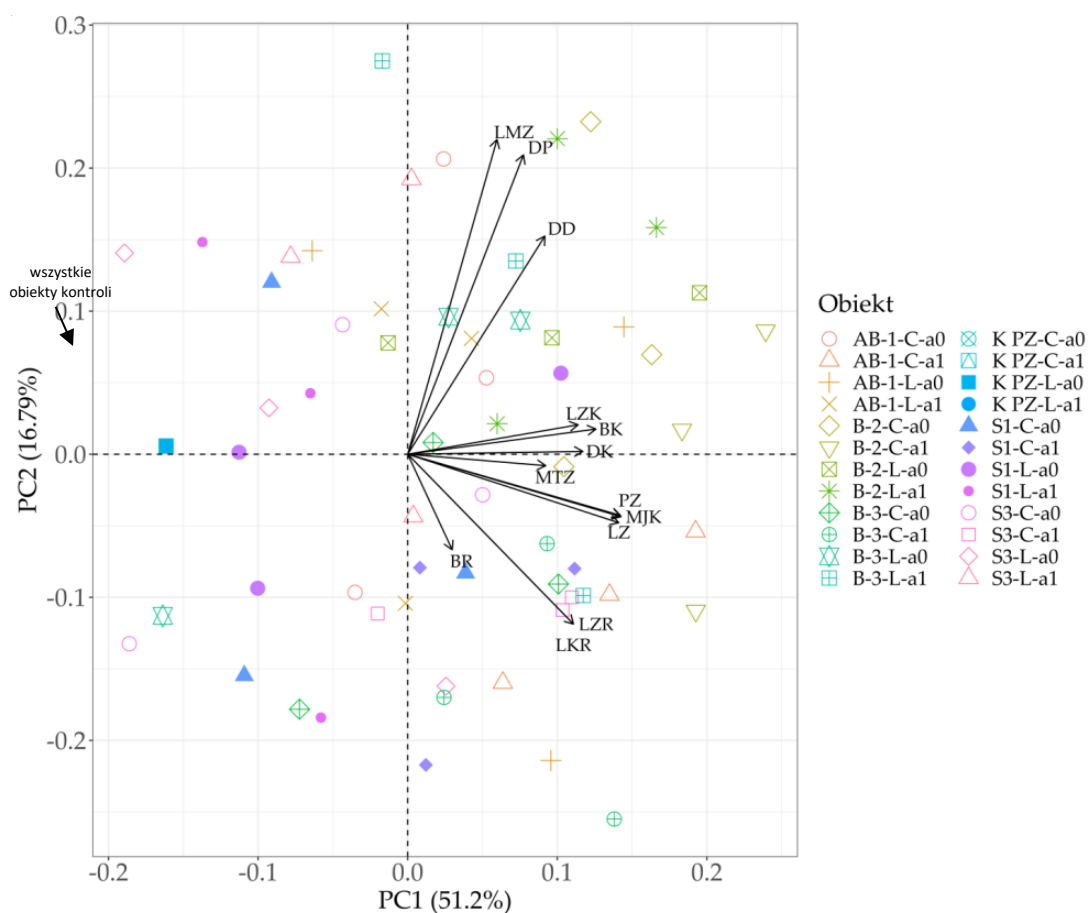
Tabela 38. Ładunki poszczególnych zmiennych w obrębie składowych analizy PCA – sezon wegetacyjny 2019/2020

| | PC1 | PC2 |
|------------|------------|-------------|
| LZR | 0.28149251 | -0.30160095 |
| LKR | 0.28149251 | -0.30160095 |
| DP | 0.19657944 | 0.53162045 |
| LMZ | 0.15165058 | 0.55897665 |
| DD | 0.23292468 | 0.38747495 |
| DK | 0.29757389 | 0.00503721 |
| LZK | 0.28948655 | 0.05228156 |
| LZ | 0.35850938 | -0.12164497 |
| PZ | 0.36126502 | -0.10863797 |
| MTZ | 0.23438975 | -0.02033167 |
| MJK | 0.36243976 | -0.11097775 |
| BR | 0.07552928 | -0.16963227 |
| BK | 0.31973234 | 0.04470692 |

Legenda: PC1 – pierwsza składowa, PC2 – druga składowa, LZR – liczba źdźbeł na roślinę, LKR – liczba kłosów na roślinę, DP – długość pędu, LMZ – liczba międzywęzli źdźbła, DD – długość dokłosa, DK – długość kłosa, LZK – liczba ziaren w kłosie, LZ – liczba ziaren na roślinę, PZ – plon ziaren jednej rośliny, MTZ – masa tysiąca ziaren, MJK – masa jednego kłosa, BR – biomasa jednej rośliny, BK – biomasa korzeni

Pierwsza składowa (PC1) wyjaśniała około 51% zmienności (rycina 44). Zdecydowanie największy wpływ na tę składową wywierały wskaźniki związane z długością kłosa, liczbą i plonem ziaren, a także masą jednego kłosa oraz biomasą korzeni (tabela 48). Druga składowa (PC2) wyjaśniała blisko 17% zmienności (rycina 44). Zmienne o największym wpływie na PC2 to przede wszystkim długość pędu, liczba międzywęzli źdźbła i długość dokłosa (tabela 48),

czyli związane z cechami morfologicznymi kłosa i źdźbła. Analiza wykresu biplot (rycina 44) wskazuje na istnienie istotnej pozytywnej korelacji (wektory równoległe) pomiędzy liczbą ziaren w kłosie i biomasa korzeni, pomiędzy plonem ziarna jednej rośliny, masą jednego kłosa i liczbą ziaren na roślinę oraz liczbą kłosów i liczbą źdźbeł na roślinę. Położenie wektorów może sugerować istnienie słabszej korelacji (być może na granicy istotności) pomiędzy długością kłosa i masą tysiąca ziaren. Pomimo znacznego rozrzutu spowodowanego niejednorodnością obserwacji w obrębie obiektów, podobnie jak w sezonie wegetacyjnym 2018/2019, wykres biplot ponownie pokazuje związek pomiędzy kilkoma biotypami badanymi w różnych warunkach, a poszczególnymi zmiennymi. Związek ten wskazuje, że w przypadku danego obiektu zmiana wartości analizowanego wskaźnika była wyraźnie związana z konkretnym badanym wariantem doświadczenia (biotyp x substrat glebowy x poziom nawożenia). Ze wskaźnikami długości dokłosa, długości pędu oraz liczbą międzywęźli źdźbła większy związek wykazują obiekty: B-3-L-a0, B2-L-a0, B2-L-a1 i AB-1-L-a1. Z kolei warianty S3-L-a1 oraz S3-C-a1 były związane ze wskaźnikami liczby kłosów i liczby źdźbeł. Trudno wskazać, które obiekty były w szczególny sposób związane ze wskaźnikami liczby ziaren w kłosie, biomasy korzeni, długości kłosa, masy tysiąca ziaren, plonu ziaren jednej rośliny, masy jednego kłosa i liczby ziaren na roślinę. Uzyskane dla sezonu wegetacyjnego 2019/2020 dane wskazują na większy związek odpornych biotypów miotły zbożowej, rosnących na substracie gleby lekkiej, z zastosowaniem i bez zastosowania nawożenia, z wskaźnikami związanymi z budową pędu. Natomiast testowane wrażliwe biotypy miotły zbożowej w większym stopniu kształtowały wskaźniki liczby kłosów i źdźbeł na roślinę, na obu typach substratu glebowego, przy zastosowaniu nawożenia na poziomie zalecanym dla pszenicy ozimej odm. Arkadia.



Rycina 44. Biplot PCA pokazujący związek pomiędzy wskaźnikami konkurencyjności wyliczonymi dla badanych cech pszenicy ozimej a obiektami badawczymi, z uwzględnieniem biotypu miotły zbożowej, typu substratu glebowego oraz poziomu nawożenia – sezon wegetacyjny 2019/2020. Legenda: PC1 – pierwsza składowa, PC2 – druga składowa, LZR – liczba źdźbeł na roślinę, LKR – liczba kłosów na roślinę, DP – długość pędu, LMZ – liczba międzywęźli źdźbła, DD – długość dokłosa, DK – długość kłosa, LZK – liczba ziaren w kłosie, LZ – liczba ziaren na roślinę, PZ – plon ziaren z jednej rośliny, MTZ – masa tysiąca ziaren

6. Dyskusja wyników

Chwasty są organizmami wysoce konkurencyjnymi względem roślin uprawnych, łatwo adaptującymi się do zróżnicowanych warunków środowiskowych [Atwater i in., 2018; Jabran i in., 2020; Kathiresan i Gualbert, 2016]. Są one zdolne do przetrwania w obecności różnych czynników stresogennych, takich jak: susza, stagnacja wody w glebie, podwyższona temperatura, zwiększone stężenie CO₂ czy, w końcu, stosowanie herbicydów [Kumar i in., 2019; Matzrafi i in., 2016; Varanasi i in., 2016]. Stąd rośliny uprawne, których poszczególne odmiany rolnicze są dostosowane do optymalnych warunków siedliskowych, są często mniej konkurencyjne wobec chwastów, w tym biotypów odpornych na herbicydy [Clements i Di Tommaso, 2022; Kathiresan i Gualbert, 2016; Korres i in., 2016]. Kluczowa jest zatem informacja, jak chwasty o zróżnicowanym poziomie odporności na herbicydy będą konkurować

z roślinami uprawnymi i czy biotypy odporne cechować będzie koszt nabycia odporności tzw. koszt fitnessu, w porównaniu do biotypów wrażliwych na herbicydy [Hatfield i Prueger, 2015; Schwartz-Lazaro i Copes, 2019].

Kiełkowanie nasion jest krytycznym etapem cyklu życiowego roślin, zwłaszcza chwastów jednorocznych [Ghazali i in., 2020; Gherekhloo i in., 2021]. Wczesne kiełkowanie chwastów jest głównym czynnikiem sprzyjającym ich zwiększonej konkurencji z rośliną uprawną [Chauhan, 2020; Loura i in., 2020; Talská i in., 2020]. Wiele abiotycznych czynników środowiskowych wpływa na proces kiełkowania, a temperatura to, obok wilgotności, dostępu do tlenu i światła, główny z nich [Hatfield i Prueger, 2015; Kaya-Altop i in., 2023; Khaeim, 2022; Saeed i in., 2022]. Proces kiełkowania jest kluczowym elementem w badaniu fitnessu chwastów [Ghazali i in., 2020; Gherekhloo i in., 2021], szczególnie wrażliwych (S) i odpornych (R) na herbicydy biotypów tego samego gatunku chwastu [Ghazali i in., 2020]. W badaniach własnych oceniano w warunkach laboratoryjnych przebieg kiełkowania ziarniaków *A. spicaventi*, wrażliwych i odpornych na herbicydy, przy zastosowaniu określonych reżimów temperaturowych i sezonowości (kiełkowanie w okresie wiosennym i jesiennym). Dobór reżimów temperaturowych pojawiających się w pracach badawczych innych Autorów [Anderson i Åkerblom Espeby, 2009; Chauhan, 2022; Desai i Chauhan, 2021] wskazuje celowość odniesienia ich do okresów fenologicznych kiełkowania danego gatunku chwastu, jakie panują w różnych porach roku. Badania oparte na sezonowości rozwoju chwastu prowadzone są jednak częściej na biotypach znajdujących się w bardziej zaawansowanych fazach rozwojowych i mają na celu ocenę skuteczności aplikacji zróżnicowanych dawek herbicydu na przeżywanie testowanych roślin [Dennis i in., 2016; Moretti i in., 2013]. Przeprowadzone badania własne nie wskazały jednoznacznie na różnice w sezonowości kiełkowania ziarniaków między odpornymi i wrażliwymi biotypami miotły zbożowej. Biotypy odporne, zarówno jesienią, jak i wiosną, osiągały najniższe i najwyższe średnie wartości wskaźników kiełkowania, niezależnie od temperatury i typu odporności. W przypadku biotypów wrażliwych, tylko jesienią biotyp S2 uzyskał najniższe średnie wartości takich parametrów jak: szybkość kiełkowania (GRI), indeks kiełkowania (GI), intensywności kiełkowania (CVG) oraz końcowy procent kiełkowania (FGP). Pozostałe biotypy wrażliwe osiągały średnie wartości badanych wskaźników. Ze względu na zróżnicowanie uzyskanych wyników nie można wyciągnąć jednoznacznych wniosków co do różnic w sezonowości kiełkowania odpornych i wrażliwych biotypów miotły zbożowej. Dodatkowo w badaniach własnych wykazano, że temperatura wpływa na intensywność kiełkowania (wskaźnik CVG) wrażliwych i odpornych na herbicydy biotypów miotły zbożowej. To może oddziaływać na ich

konkurencyjność względem roślin uprawnych oraz względem siebie. Jak podaje literatura, biotypy, które kiełkują wcześniej, mogą lepiej konkurować z rośliną uprawną oraz z pozostałymi chwastami [Owen i in., 2015]. Dodatkowo wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że biotypy miotły zbożowej charakteryzują się odmiennymi parametrami kiełkowania. W przypadku każdego wskaźnika kiełkowania odnotowano istotne różnice w średnich ich wartościach pomiędzy biotypami, zarówno o tym samym, jak i innym typie odporności. Finalny procent skiełkowanych ziarniaków (wskaźnik FGP) wahał się w przedziale od 50 – 97 %, przy czym wyższe wartości dla tego parametru osiągały częściej biotypy odporne niż biotypy wrażliwe. Podobne zależności obserwowano również w przypadku innych wskaźników kiełkowania, co może wskazywać na fakt, że nabycie odporności na herbicydy nie jest równoznaczne z poniesieniem kosztów fitnessu związanych z tym procesem. Analiza dynamiki kiełkowania pozwoliła wydzielić, niezależnie od temperatury i sezonowości kiełkowania, grupę biotypów o wyższych wartościach tego parametru, w której znalazły się zarówno biotyp wrażliwy (S1), jak i biotypy z odpornością pojedynczą (B-1), odpornością krzyżową (BB-2) oraz wielokrotną (AB-1). W grupie o niższej dynamice kiełkowania również znalazły się: biotyp wrażliwy (S2), z odpornością pojedynczą (B-4) oraz z odpornością wielokrotną (AB-3). W grupie tej nie występowały natomiast biotypy z odpornością krzyżową. Wyniki takie wskazują, że w badanej grupie biotypów miotły zbożowej cecha odporności na herbicydy (w tym typ odporności) nie różnicują procesu kiełkowania ziarniaków. Na brak różnic w kiełkowaniu odpornych i wrażliwych biotypów chwastów wskazuje wielu Autorów. Dotyczy to zarówno gatunków chwastów jednoliściennych [Karlsson i Milberg, 2007; Mutti i in., 2019; Sheng i in., 2019; Travlos i Chachalis, 2013; Travlos i in., 2009; Vila-Aiub i in., 2005a; Vila-Aiub i in., 2005b], jak i dwuliściennych [da Silva Amaral i in., 2020; Vercellino i in., 2021]. Soukup i in. [2006] testowali po cztery odporne i wrażliwe na chlorosulfuron biotypy *A. spica-venti*, których ziarniaki skolekcjonowali na terenie Czech. Obserwowali dynamikę ich kiełkowania w warunkach laboratoryjnych oraz dynamikę wschodów w warunkach szklarniowych, z zastosowaniem stałej temperatury na poziomie 20°C. Test kiełkowania przeprowadzili w miesiącach od sierpnia do października, czyli w czasie regularnych wschodów miotły zbożowej w warunkach polowych. Autorzy nie uzyskali jednak różnic w kiełkowaniu, jak i wschodach, między biotypami wrażliwymi i odpornymi *A. spica-venti*, zarówno w eksperymencie szalkowym, jak i szklarniowym. Zaobserwowali natomiast, że dynamika kiełkowania oraz wschodów nasion podczas kolejnych serii eksperymentu wzrastała liniowo, aż do połowy października, co potwierdza istnienie sezonowości kiełkowania u miotły i czego można było się spodziewać po chwaście ozimym. Takie wyniki

potwierdzili również w swoich badaniach Auškalnienė i in. [2020]. Z drugiej strony również liczne doniesienia naukowe wskazują na występowanie różnic pomiędzy kiełkowaniem biotypów R i S [Chen i in., 2020; Du i in., 2017; Ghazali i in., 2020; Wu i in., 2016; Zangeneh i in., 2018]. Gerhards i Massa [2011] przeprowadzili badania nad kiełkowaniem nasion biotypów *A. spica-venti*, u których stwierdzono odporność na herbicydy z grupy inhibitorów ALS, inhibitorów ACCazy oraz inhibitorów fotosystemu PS II. Wysiano 100 prób nasion, które pochodziły z różnych lokalizacji na terenie Niemiec, Czech oraz Polski, gdzie rolnicy zgłaszali problem ze zwalczaniem herbicydowym miotły zbożowej. Badania wykazały, że odsetek nasion które skiełkowały w przypadku biotypu odpornego (R) na inhibitory ALS był ponad trzykrotnie wyższy niż u biotypu wrażliwego (S). W przypadku biotypów R, odpornych na inhibitory ACCazy oraz fotosystemu PS II, różnic nie stwierdzono. Z kolei Stankiewicz-Kosyl i Ciępka [2014] oceniali różnice w dynamice oraz zdolności kiełkowania biotypów *A. spica-venti*, z odpornością lub wrażliwością na herbicydy z grupy inhibitorów ALS. Inkubacja nasion testowych odbywała się przy zastosowaniu dwóch reżimów temperaturowych: 15/12°C i 25/22°C. Badania wykazały, że niezależnie od zastosowanej temperatury biotyp wrażliwy cechował się wyższą zdolnością kiełkowania. Niższa temperatura obniżała zdolność kiełkowania obu testowanych biotypów. Autorzy zaobserwowali również, że dynamika kiełkowania była mniejsza w przypadku zastosowania niższego reżimu temperaturowego. Nie obserwowano istotnych różnic między porównywanymi biotypami. Z kolei na różnice pomiędzy biotypami miotły S i R wskazali Babineau i in. [2017b], którzy obserwowali kiełkowanie tych biotypów na substancje z grupy inhibitorów ALS (jodosulfuron metylosodowy) oraz inhibitorów ACCazy (fenoksaprop-P-etylu). Nasiona inkubowano przy trzech zakresach temperatur: 10/6°C, 16/10°C oraz 22/10°C. Ostateczny procent kiełkujących nasion był wyższy u biotypu S, niezależnie od zastosowanej temperatury. Jednak szybkość kiełkowania biotypu R była znacząco wyższa niż u biotypu S, również niezależnie od temperatury. Z kolei Chen i in. [2022] testowali nasiona *Polypogon fugax*, należącego podobnie jak *A. spica-venti* do rodziny wiechlinowatych. Analizie poddano kiełkowanie biotypów odpornych i wrażliwych na stosowanie chizalofopu-P-etylowego (grupa inhibitorów ACCazy). Nie stwierdzono jednak większych różnic w kiełkowaniu nasion R i S w różnych reżimach temperaturowych, zakresie pH i warunkach oświetlenia. Niezależnie od zastosowanej temperatury odnotowano u obu biotypów wysoki odsetek finalnie skiełkowanych nasion (ponad 90%), przy czym najbardziej optymalna do kiełkowania obu biotypów okazała się temperatura 15/20°C. Odmienne wyniki uzyskano w badaniach własnych. Niezależnie od biotypu oraz sezonu przeprowadzania badań, testowane ziarniki kiełkowały najsłabiej

w temperaturze 18°C. Lepsze parametry kiełkowania uzyskano w temperaturze 8°C lub 28°C. Co prawda, tempo kiełkowania ziarniaków w 18°C było wyraźnie szybsze i u licznych biotypów już drugiego – trzeciego dnia obserwowano odsetek skiełkowanych nasion na poziomie ponad 50%, to finalnie w tej temperaturze skiełkował najniższy procent ziarniaków, w porównaniu do dwóch pozostałych testowanych reżimów temperaturowych. Badania wielu Autorów wskazują, że parametry kiełkowania nasion chwastów zmieniają się w zależności od temperatury [Chauhan i Johnson, 2009; Ismail i in., 2007; Pedroso i in., 2019], a także w zależności od tego czy analizy są prowadzone w stałych czy zmiennych temperaturach kiełkowania. Przykładowo, Ismail i inni [2002] analizując kiełkowanie i wschody odpornych i wrażliwych na glifosat biotypów *Eleusine indica* w warunkach laboratoryjnych i szklarniowych stwierdzili, że biotyp odporny charakteryzował się wyższym procentem kiełkowania w porównaniu z biotypem wrażliwym w stałych temperaturach 20°C i 35°C, bez dostępu światła oraz w naprzemiennych temperaturach 30/25°C i 35/25°C podczas fotoperiodu 12/12h. U obu testowanych biotypów *E. indica* parametry kiełkowanie były optymalne przy naprzemiennych temperaturach 30/20°C i 35/20°C. W tych reżimach temperaturowych nie zaobserwowano jednak istotnej różnicy w kiełkowaniu biotypów R i S. Ponadto, nie stwierdzono istotnej różnicy w czasie potrzebnym do osiągnięcia skiełkowania 50% nasion u obu biotypów. Pedroso i in. [2019] donoszą również, że w temperaturach poniżej 19,3°C, trzy z testowanych biotypów chwastu z rodziny ciborowatych – *Cyperus difformis*, odpornych na herbicydy, kiełkowały wcześniej, niż biotypy S. Wyniki te potwierdzają badania prowadzone już w latach 90-tych XX wieku [Dyer i in., 1993; Eberlein i in., 1999; Purrington i Bergelson, 1999]. Znaczne różnice pomiędzy kiełkującymi nasionami naukowcy notowali również w obrębie samego biotypu wrażliwego. Zbieżne wyniki uzyskano w badaniach własnych, stwierdzono bowiem zróżnicowanie parametrów kiełkowania zarówno w obrębie biotypów wrażliwych, jak i odpornych. Park i in. [2004] analizowali kiełkowanie nasion chwastu z rodziny wiechlinowatych *Bromus tectorum*, odpornych i wrażliwych na herbicydy z grupy inhibitorów ALS. Kiełkowanie biotypu odpornego było porównywalne z biotypem wrażliwym, w stałych temperaturach inkubacji, wynoszących 5°C, 15°C oraz 25°C. Całkowity brak różnic między biotypami odnotowano w temperaturach stałych 15°C oraz 25°C. Z kolei w temperaturze 5°C biotyp odporny wykiełkował około 27 h wcześniej i osiągnął finalny procent kiełkowania na poziomie 60%. Zdaniem Autorów wraz ze spadkiem temperatury inkubacji nasion mogą uwidaczniać się różnice w procesach kiełkowania między biotypami wrażliwymi i odpornymi. Do podobnych wniosków doszli również w swoich badaniach Wang i in. [2022] oraz Ghazali i in. [2020].

Jak wykazały badania własne oraz szereg doniesień literaturowych, kiełkowanie biotypów chwastów odpornych i wrażliwych na stosowanie herbicydów charakteryzuje się dużą zmiennością i niejednorodnością. Biotypy odporne, które z założenia powinny ponosić koszt nabycia odporności (koszt fitnessu), niejednokrotnie radzą sobie w warunkach natężenia czynnika stresowego lepiej niż biotypy wrażliwe. Wykazują zdolność do kiełkowania w szerokim spektrum zakresu zarówno temperatur, jak i innych czynników środowiskowych, osiągając przy tym wysokie wartości parametrów kiełkowania. Niespójne wyniki badań co do występowania, bądź nie, kosztów fitnessu u biotypów odpornych mogą być spowodowane testowaniem materiału nasiennego o odmiennym genetycznie podłożu odporności [Dang i in., 2019; Keshtkar i in., 2019]. Różne mutacje genetyczne odpowiedzialne za nabycie zdolności uodpornienia się na herbicydy mogą wpływać na różnice w zdolnościach konkurencyjnych i kosztach fitnessu biotypów chwastów [Zangeneh i in., 2018]. Niejednokrotnie jest też ciężko uzyskać jednorodny genetycznie materiał nasienney chwastów, z uwagi na skomplikowany przebieg procesu nabywania genów odporności, na który dodatkowo wpływa szereg zróżnicowanych warunków środowiskowych [Ghazali i in., 2020].

Badania nad różnicami pomiędzy biotypami R i S, szczególnie w kluczowym okresie ich rozwoju jakim jest kiełkowanie, stanowią cenną informację pod względem poznania ekologii biotypów które nabyły odporność i posłużyć mogą do opracowywania praktyk i strategii walki z odpornymi biotypami chwastów. Ale zintegrowane podejście do badań nad rozwojem populacji chwastów odpornych na herbicydy powinno obejmować także analizę różnic morfologicznych, fizjologicznych i/lub fenologicznych pomiędzy biotypami S i R podczas całego cyklu rozwojowego chwastu [Butts i in., 2018; Wu i in., 2018]. Szczególnie ważne, z punktu widzenia zarządzania strategią regulacji zachwaszczenia, jest prowadzenie badań nad zachowaniem biotypów S i R w konkurencji międzygatunkowej z roślinami uprawnymi, szczególnie w warunkach polowych [Cousens i Fournier-Level, 2018; Travlos i in., 2020]. Konkurencyjność chwastów może się bowiem znacznie różnić w zależności od biotypu [Cousens i Fournier-Level, 2018], a chwasty są jednym z głównych ograniczeń plonowania w produkcji rolniczej [Latif i in., 2021]. Opracowanych jest kilka metod definiowania współzawodnictwa między różnymi biotypami chwastów a roślinami uprawnymi. Te metody biorą pod uwagę proporcje gatunkowe i układ przestrzenny. Wśród eksperymentalnych metod wyróżnia się metodę serii zastępczych (substytucyjnych) i addytywnych. Eksperymenty te mają na celu identyfikację najbardziej konkurencyjnych biotypów lub gatunków [Oliveira i in., 2014; Oliveira i in., 2018]. W badaniach własnych, w trakcie dwóch sezonów wegetacyjnych, oceniano konkurencyjny wpływ odpornych i wrażliwych na herbicydy biotypów *A. spica-venti*

na wzrost i rozwój oraz wybrane parametry biometryczne i struktury plonu pszenicy ozimej. W tym celu wykorzystano eksperymenty w układzie serii substytucyjnych i addytywnych. Miotła zbożowa jest jednym z kluczowych chwastów występujących w zbożach ozimych [Luneva i Budrevskaya, 2021], z kolei pszenica jest strategiczną rośliną uprawną na świecie, dostarczającą pokarm dla ludzi i paszę dla zwierząt [Saeed i in., 2022]. W Polsce również zboża stanowią podstawę w strukturze zasiewów. W 2019 roku stanowiły one 72,4%, a pszenicę uprawiano na powierzchni 2 472 tys. ha [KOWR, 2020]. Rośnie ona w zróżnicowanych warunkach agroklimatycznych oraz agrotechnicznych, przez co jest zagrożona występowaniem różnorodnej flory roślin towarzyszących – chwastów [Atnafu, 2019]. Zachwaszczenie jest jednym z głównych ograniczeń biotycznych w produkcji pszenicy, a każdy spadek jej plonowania spowodowany czynnikami biotycznymi lub abiotycznymi może niekorzystnie wpłynąć na globalne bezpieczeństwo żywnościowe [Atnafu, 2019; Jabran i in., 2020]. Ponadto liczba i częstość występowania chwastów odpornych na herbicydy jest większa w przypadku pszenicy, w porównaniu z innymi uprawami [Jabran i in., 2020].

Obserwacje własne przebiegu wzrostu i rozwoju roślin w obu testowanych sezonach wegetacyjnych, w przypadku substytucyjnego modelu konkurencyjności, nie wykazały różnic w czasie wschodów pomiędzy biotypami odpornymi i wrażliwymi *A. spica-venti*. Podobne wyniki otrzymali w swoich badaniach Soukup i in. [2006] oraz Sheng i in. [2019], którzy również nie zaobserwowali różnic między wschodami biotypów S i R miotły zbożowej i *Echinochloa colona*. Inni Autorzy z kolei wykazali, że w warunkach różnych stresów abiotycznych odporne biotypy *Echinochloa colona* wschodziły lepiej niż biotypy wrażliwe [Ghazali i in., 2020; Mutti i in., 2019; Wu i in., 2016]. Różnice we wschodach chwastów zależne są nie tylko od poziomu odporności biotypu na herbicydy, ale również od miejsca pochodzenia biotypu, co związane jest z plejotropią fenotypową, która powoduje powstawanie lokalnych biotypów, o konkretnych cechach odporności [Vila-Aiub, 2019]. Wcześniejszy termin wschodów zbóż ozimych względem miotły zbożowej ma kluczowe znaczenie dla zwiększenia konkurencyjności rośliny uprawnej, co wpływa na plon ziarna pszenicy [Borger i in., 2020; Fahad i in., 2015; Mathew i in., 2019]. Dodatkowo poznanie ekologii chwastów, w połączeniu z potencjalną ich szkodliwością wynikającą z poziomu zachwaszczenia, może być wykorzystane jako wskazówka przy określaniu najbardziej optymalnego terminu siewu zbóż [Korres, 2018]. W badaniach własnych, w sezonie wegetacyjnym 2018/2019, pszenica ozima wschodziła średnio o trzy dni wcześniej niż miotła zbożowa, niezależnie od testowanej proporcji gatunków w wazonie. W kolejnym sezonie wegetacyjnym nie odnotowano już jednak znaczących różnic we wschodach między rośliną uprawną a testowanymi biotypami chwastu,

co mogło wynikać z odmiennych warunków pogodowych. Podobne zróżnicowanie terminów wschodów chwastów R i S w konkurencji z pszenicą, w zależności od gatunku chwastu, sezonu wegetacyjnego i charakterystyki siedlisk na terenie Polski, obserwowali inni Autorzy. I tak, miotła zbożowa wschodziła średnio 1 – 4 dni później niż pszenica, choć zaobserwowano też równoczesne wschody obu gatunków [Synowiec i in., 2021]. Chaber bławatek (*Centaurea cyanus*) wschodził 3 – 11 dni później niż pszenica [Wacławowicz i in., 2022], zaś wyczyniec polny (*Alopecurus myosuroides*) wschodził do 15 dni później niż pszenica lub w tym samym terminie [Wenda-Piesik i in., 2022]. Duży wpływ na uzyskane wyniki mógł mieć przebieg pogody w czasie kielkowania. Wyczyniec wschodzi wcześniej niż pszenica, przy wysokiej wilgotności powietrza i gleby. Brak istotnych różnic między wschodami chwastów R i S a rośliną uprawną można określić jako brak poniesienia kosztów fitnessu przez biotyp R [Zangeneh i in., 2018].

W przypadku eksperymentu, w którym oceniano wpływ podłoża oraz nawożenia na konkurencyjność roślin (model addytywny), w sezonie wegetacyjnym 2018/2019 zaobserwowano, że średni czas wschodów pszenicy ozimej w obiektach kontrolnych był tożsamy i wynosił około 10 dni od siewu. W zależności od zastosowanego czynnika badawczego, w części obiektów z biotypami wrażliwymi (S1-L-a0, S1-C-a1, S2-L0-a0) oraz biotypami odpornymi (B-2-L-a1 oraz AB-1-C-a0), obserwowano wschody pszenicy ozimej opóźnione o średnio 3 dni względem chwastu. W pozostałych obiektach pszenica wschodziła wcześniej niż miotła zbożowa. Odnotowano późniejsze wschody biotypu odpornego B-2 (substrat gleby lekkiej i ciężkiej, bez nawożenia) oraz biotypów wrażliwych S1 (substrat gleby lekkiej, bez nawożenia oraz ciężkiej, nawożonej) i S2 (substrat gleby lekkiej, bez nawożenia) względem pozostałych testowanych biotypów. Sezon wegetacyjny 2019/2020 był bardziej zróżnicowany pod względem wschodów roślin testowych. Pszenica ponownie wschodziła wcześniej niż chwast, średnio o 3 – 9 dni. Jednocześnie, pszenica w konkurencji z biotypami chwastu S1, S2, B-2 i AB-1 rosnącymi na glebie lekkiej, bez nawożenia, wschodziła o 3 dni wcześniej w porównaniu do obiektu kontrolnego. Podobną sytuację obserwowano w przypadku konkurencji pszenicy z biotypami S1, B-2, B-3 i AB-1 na obiektach z substratem gleby ciężkiej, nawożonej. W przypadku *A. spica-venti* ponownie odnotowano późniejsze wschody u biotypów B-2 (substrat gleby lekkiej, nawożonej), S1 (substrat gleby lekkiej, bez nawożenia oraz ciężkiej, nawożonej) i S2 (substrat gleby lekkiej oraz ciężkiej, bez nawożenia). W badaniach własnych udowodniono, że czynnikami determinującymi termin wschodów pszenicy i chwastu był przede wszystkim rodzaj substratu glebowego i poziom nawożenia. W dostępnej literaturze naukowej nie znaleziono wielu przykładów odnoszących się do analizy

rodzaju podłoża jako czynnika modyfikującego konkurencję rośliny uprawnej z biotypami odpornymi i wrażliwymi chwastów. Podobne badania prowadzili Keshtkar i in. [2017b], którzy przebadali biotypy *Alopecurus myosuroides* odporne na stosowanie herbicydów z grupy inhibitorów ACCazy (fenoksaprop-P-etylu), inhibitorów tworzenia mikrotubuli (pendimetalina), inhibitorów syntezy lipidów (pro sulfokarb) oraz inhibitorów ALS (flupyrsulfuron metylowy). Do badań wykorzystali trzy rodzaje substratu glebowego. Autorzy wykazali, że wschody biotypu R były mniej liczne i przebiegały wolniej niż biotypu S, niezależnie od testowanego substratu glebowego. Natomiast Frenkel i in. [2017] oraz Haghghi i in. [2019] twierdzą, że cecha odporności na herbicydy powoduje zmniejszenie zdolności chwastu do konkurencji o składniki pokarmowe, szczególnie o azot.

Na podstawie analiz przebiegu faz rozwojowych w badaniach własnych wykazano, że zarówno zróżnicowana liczebność biotypów R i S (model substytucyjny) oraz rodzaj substratu glebowego i nawożenie (model addytywny) wpływały na zmienny rozwój pszenicy ozimej oraz biotypów miotły zbożowej. Wprowadzenie chwastu w pszenicę modyfikowało jej wzrost i rozwój, przy czym nie dało się wyraźnie określić, które biotypy są bardziej konkurencyjne. Jest to sprzeczne z wynikami innych autorów, którzy wskazali na zróżnicowaną odpowiedź biotypów R i S w konkurencji z roślinami uprawnymi. Panozzo i in. [2017] wykazali, że odporne na herbicydy biotypy *Echinochloa crus-galli* charakteryzuje mniejsza konkurencyjność i mniejsze tempo rozwoju niż biotypy wrażliwe. Z kolei Kaspari i in. [2017] otrzymali odwrotne wyniki dla biotypów *Conyza bonariensis* odpornych na glifosat. Stwierdzili oni, że biotyp R rozwijał się szybciej i był bardziej konkurencyjny niż biotyp S. Powyższe wyniki sugerują zatem, że oddziaływania konkurencyjne danego biotypu R lub S względem danej odmiany rośliny uprawnej, rozpatrywane indywidualnie, nie dają jednoznacznej odpowiedzi co do ogólnego charakteru tych relacji i być może wskazane byłoby szersze potraktowanie tego zagadnienia, przykładowo za pomocą metaanalizy.

W obu eksperymentach wazonowych zaobserwowano pewne trendy w rozwoju roślin testowych. Jesienią przebieg faz rozwojowych był bardziej równomierny. Niezależnie od zastosowanego wariantu badawczego, pszenica szybciej osiągała kolejne fazy rozwojowe, a osiągnięte przez nią fazy na koniec jesiennej wegetacji były wyższe, niż u testowanych biotypów chwastu. Termin pojawiania się osobników reprezentujących daną fazę rozwojową, jak również rozpiętość czasowa trwania poszczególnych faz, nie różniły się znacząco pomiędzy obiektami badawczymi. Natomiast w obrębie jednego obiektu i gatunku, procentowy udział osobników w danej fazie rozwojowej był zróżnicowany i to głównie on obrazował zróżnicowanie w rozwoju testowanych roślin. Oddziaływania konkurencyjne chwastów, które

mają największe znaczenie dla dalszego wzrostu, rozwoju, a także plonowania rośliny uprawnej, mają miejsce w ciągu pierwszych 30 – 40 dni po siewie [Akhter i in., 2021; Atnafu, 2019]. Potwierdzają to także wyniki Shrestha i in. [2018] dla *Conyza canadensis* oraz Henckes i in. [2019] dla *Lolium multiflorum*.

W badaniach własnych rozwój roślin w okresie wiosennym był bardziej zróżnicowany i zależny od typu eksperymentu oraz zastosowanych czynników badawczych. Wyniki badań wskazują, że w zależności od rodzaju substratu glebowego oraz poziomu nawożenia (model addytywny doświadczenia), pojawiają się różnice we wzroście i rozwoju pszenicy ozimej oraz miotły zbożowej nie tylko w fazie krzewienia, ale również w fazie rozwoju źdźbła. Badania Akhter i in. [2021] donoszą, że *A. spica-venti* jest mniej konkurencyjna we wczesnych stadiach wzrostu, jednak tempo jej rozwoju znacznie wzrasta wiosną i może ona nawet przerosnąć uprawę pszenicy przed fazą kłoszenia, a tym samym silniej konkurować z nią w późniejszych etapach rozwoju. W przeprowadzonych doświadczeniach, zarówno w przypadku eksperymentu substytucyjnego jak i addytywnego, wiosną w sezonie wegetacyjnym 2019/2020 zaobserwowano wydłużony czas trwania przechodzenia osobników obu testowanych gatunków z fazy krzewienia do fazy wzrostu źdźbła, spowodowany niskimi opadami atmosferycznymi oraz wysokimi średnimi dobowymi temperaturami powietrza, co zakwalifikowało niniejszy okres jako suchy (według kryterium Sieljaninowa). Ponadto, w badaniach własnych zaobserwowano, że nie zawsze efekt konkurencyjności zależy od zwiększonej proporcji chwastu w wazonie, co uwidoczniło się w substytucyjnym modelu doświadczenia. Niejednokrotnie za efekt konkurencyjności odpowiadało współzawodnictwo pomiędzy osobnikami rośliny uprawnej. Im w wazonie znajdowało się mniej roślin pszenicy, tym parametry jej wzrostu i rozwoju były korzystniejsze, pomimo dużego udziału chwastu w wazonie. Zgadza się to z teorią ekologiczną [Cousens i Fournier-Level, 2018], według której wraz ze wzrostem zagęszczenia rośliny w większym stopniu konkurują o zasoby siedliskowe, zarówno w obrębie własnego gatunku (konkurencja wewnątrzgatunkowa), jak i z innymi gatunkami (konkurencja międzygatunkowa). Co więcej, Oliveira i in. [2014] wykazali, że konkurencja wewnątrzgatunkowa jest bardziej szkodliwa dla roślin niż konkurencja międzygatunkowa, nawet pomimo zwiększenia ilościowego udziału chwastu w ogólnej liczbie testowanych roślin.

W badaniach własnych, na podstawie analizy parametrów biometrycznych roślin i struktury plonu, oceniano konkurencyjność zróżnicowanej liczby odpornych i wrażliwych biotypów miotły zbożowej względem pszenicy ozimej (model substytucyjny) oraz konkurencyjność wyżej wymienionych biotypów wobec rośliny uprawnej, w różnych

warunkach glebowo-nawozowych (model addytywny). Wyniki badań wskazują, że niezależnie od sezonu wegetacyjnego oraz testowanego biotypu chwastu niemal wszystkie otrzymane substytucyjne modele konkurencyjności przyporządkowano do typu I [Radosevich, 1987], co świadczy o braku istotnej konkurencji między testowanymi gatunkami. Jedynie w przypadku względnej wartości biomasy jednej rośliny zachodziła istotna różnica odnotowana u biotypu odpornego, co wskazuje na występowanie konkurencji biotypu R względem pszenicy ozimej. Analiza wskaźników konkurencyjności w doświadczeniach o zróżnicowanych warunkach glebowo-nawozowych wykazała zmienne poziomy konkurencyjności pomiędzy biotypami chwastu a rośliną uprawną, w trakcie trwania obu sezonów wegetacyjnych. W większości analizowanych wariantów doświadczalnych testowane biotypy *A. spica-venti* negatywnie oddziaływały na pszenicę ozimą. Wyjątkiem są obiekty, gdzie nie wystąpiła, lub była na znikomym poziomie, konkurencja między pszenicą a biotypami S, oraz obiekty, na których udział biotypu S miał stymulujący wpływ na analizowane parametry pszenicy. To może świadczyć o tym, że biotypy R (zwłaszcza biotyp B-2 o odporności pojedynczej) były bardziej konkurencyjne. W literaturze nie ma wielu wyników badań dotyczących konkurencyjności pomiędzy pszenicą ozimą a odpornymi i wrażliwymi biotypami *A. spica-venti*. Badania przeprowadzone przez Babineau i in. [2017b], w oparciu o model docelowego sąsiedztwa (ang. *a target-neighborhood design*), nie wskazały na występowanie istotnej konkurencji pomiędzy odpornymi na inhibitory ALS biotypami *A. spica-venti* a pszenicą ozimą. Z kolei da Costa i Rizzardi [2015] stwierdzili, że wrażliwe lub odporne na herbicydy z grupy inhibitorów ALS biotypy *Raphanus raphanistrum* istotnie konkurują z pszenicą ozimą. W badaniach tych biotypy R i S istotnie zmniejszały suchą masę pędów pszenicy, przy czym konkurencja międzygatunkowa była silniejsza dla biotypu wrażliwego. Ponadto, niezależnie od testowanego biotypu, sucha masa pszenicy malała wraz ze wzrostem udziału chwastu w wazonie. Powyższe wyniki są zgodne z doniesieniami Wandscheer i in. [2013], którzy zaobserwowali międzygatunkową konkurencję między kukurydzą a *Eleusine indica*, gdzie wraz ze wzrostem stosunku chwastu do rośliny uprawnej malała wartość suchej masy kukurydzy. Rigoli i in. [2008], którzy testowali konkurencję pomiędzy pszenicą ozimą oraz *Raphanus raphanistrum* zaobserwowali, że niezależnie od testowanego biotypu chwast był silniej konkurencyjny wobec rośliny uprawnej o te same zasoby środowiskowe. W testach konkurencji między roślinami soi oraz *Raphanus sativus* zaobserwowano, że testowane biotypy chwastu również mają wyższą zdolność konkurencyjną niż roślina uprawna [Bianchi i in., 2006; Bianchi i in., 2011; Fleck i in., 2006]. Galon i in. [2015] wykazali, że biotypy *Lolium multiflorum* istotnie konkurują o zasoby z jęczmieniem zwyczajnym. Odwrotne wyniki

uzyskali Agostinetto i in. [2009] oraz Yamauti i in. [2011], którzy stwierdzili dominację rośliny uprawnej. Z kolei wyniki eksperymentu przeprowadzonego przez Oliveirę i in. [2014] wskazują, że soja ma taką samą zdolność konkurencyjną jak biotypy *Lolium rigidum* wrażliwe na glifosat, jednak ulega presji konkurencyjnej biotypów wrażliwych. Synowiec i in. [2021] w serii eksperymentów substytucyjnych wykazali, że występowanie istotnej konkurencji pomiędzy biotypami odpornymi i wrażliwymi *A. spica-venti* a pszenicą ozimą, wyrażonej wpływem testowanych biotypów na kształtowanie się biomasy części nadziemnych oraz liczby nasion pszenicy, jest zależne od właściwości siedliska, głównie od zawartości frakcji piasku w glebie i przebiegu warunków pogodowych. Z kolei Wenda-Piesik i in. [2022], analizując konkurencję pszenicy z biotypami R i S *Alopecurus myosuroides* donoszą, że dla większości przeprowadzanych eksperymentów w układzie substytucyjnym to pszenica ozima jest bardziej konkurencyjna wobec biotypów wrażliwych i odpornych na herbicydy z grupy inhibitorów ALS oraz ACCazy, przy czym słabsze parametry mierzonych cech wykazywał biotyp R. Występowanie kosztu fitnessu u biotypu R w eksperymentach dotyczących konkurencyjności wykazali również w swoich badaniach Butts i in. [2018], Keshtkar i in. [2019], Vila-Aiub i in. [2009], Vila-Aiub i in. [2011]. Wenda-Piesik i in. [2022] donoszą również, że konkurencyjność *A. myosuroides* wobec pszenicy ozimej w dużej mierze zależy od warunków klimatycznych i rodzaju gleby, na której rosną rośliny testowe. Waclawowicz i in. [2022] również wysnuli takie spostrzeżenia, analizując konkurencyjność pomiędzy pszenicą ozimą a *Centaurea cyanus*.

Zgodnie z ogólnymi teoriami ekologicznymi przewiduje się, że biotypy chwastów odporne na herbicydy będą ponosiły koszt nabycia odporności (koszt fitnessu) przy braku stosowania herbicydu [Vila-Aiub i in., 2009]. W optymalnych warunkach wzrostu i przy braku presji herbicydu bądź innego czynnika stresowego, biotypy wrażliwe (S) powinny ostatecznie dominować nad biotypami odpornymi (R). Nabycie genu odporności na herbicydy nie zawsze jednak jest związane z poniesieniem kosztu fitnessu [Ghanizadeh i Harrington, 2019]. Liczne doniesienia, w tym badania własne wskazują na to, że pojawienie się czynnika stresowego (w badaniach własnych reżim temperaturowy, liczebność biotypów R i S oraz zmienne warunki glebowo-nawozowe) nie zawsze będzie się wiązało z poniesieniem kosztów fitnessu u biotypów R. To może wpływać na wzrost trwałości osobników odpornych w biocenozie i ich zwiększoną konkurencję wobec roślin uprawnych, na co wskazują badania Ashigh i Tardif [2011] oraz Ghanizadeh i Harrington [2019].

7. Wnioski

1. Sezonowość kiełkowania, związana z fenologicznymi porami roku (jesień/wiosna), nie charakteryzuje wszystkich wrażliwych i odpornych biotypów miotły zbożowej (*Apera spica-venti*).
2. Temperatura wpływa na intensywność kiełkowania wrażliwych i odpornych biotypów miotły, co może oddziaływać na ich konkurencyjność względem roślin uprawnych oraz względem siebie. Temperatura kiełkowania stanowi kryterium grupowania się testowanych biotypów, co świadczy o podobieństwach między biotypami odpornymi i wrażliwymi w odpowiedzi na ten czynnik.
3. Niezależnie od biotypu oraz sezonu (jesień/wiosna), testowane ziarniaki kiełkują najslabiej w temperaturze 18°C. Ziarniaki lepiej kiełkują w temperaturach 8°C i 28°C.
4. Biotypy odporne miotły zbożowej osiągają wyższe wartości wskaźników kiełkowania, niż biotypy wrażliwe.
5. Analiza spektrów fitofenologicznych wykazała, że nie ma różnic w przebiegu faz rozwojowych pomiędzy biotypami odpornymi i wrażliwymi miotły zbożowej.
6. Jesienny przebieg faz rozwojowych konkurujących ze sobą gatunków miotły zbożowej i pszenicy ozimej jest zbliżony, natomiast w okresie wiosennym notuje się większe zróżnicowanie faz rozwojowych miotły niż pszenicy, co może determinować ich oddziaływania konkurencyjne.
7. Liczebność odpornych lub wrażliwych na herbicydy roślin miotły zbożowej w stosunku do liczebności pszenicy ozimej nie różnicuje fitnessu chwastu, co udowodniono w substytucyjnym modelu doświadczenia. Nie wykazano różnic we wschodach oraz przebiegu faz rozwojowych roślin.
8. Statystycznie istotną konkurencję pomiędzy pszenicą ozimą a odpornymi biotypami miotły zbożowej udowodniono tylko w przypadku relatywnego plonu biomasy z jednej rośliny w substytucyjnym modelu doświadczenia.
9. Rodzaj substratu glebowego i poziom nawożenia różnicują terminy wschodów i przebieg faz rozwojowych pszenicy ozimej oraz biotypów miotły zbożowej, co potwierdza addytywny model doświadczenia. Na substracie gleby ciężkiej, nawożonej, rośliny wschodzą wcześniej i rosną intensywniej.
10. W modelu addytywnym, mniej konkurencyjne względem pszenicy są wrażliwe biotypy miotły zbożowej. Odporne biotypy miotły, szczególnie biotyp B-2 (o odporności pojedynczej), w większym stopniu powodują obniżenie wartości analizowanych cech biometrycznych pszenicy ozimej.

11. Badania własne wykazały, że nabycie przez miotłę zbożową cech odporności na herbicydy nie jest równoznaczne z poniesieniem kosztów fitnessu, zarówno na etapie kiełkowania jak i wzrostu oraz rozwoju roślin. W badaniach nie wykazano również znaczących różnic w konkurencyjności biotypów miotły zbożowej wobec pszenicy ozimej.

8. Bibliografia

1. **Adamczewski K.** 2009. Wpływ sześcioletniego stosowania herbicydów na uodpornienie się miotły zbożowej (*Apera spica-venti* (L.) P. B.) na preparaty sulfonilomocznikowe. *Fragm. Agron.*, 26(2); 7–15.
2. **Adamczewski K.** 2014. Odporność chwastów na herbicydy. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa, ss. 276.
3. **Adamczewski K., Dobrzański A. J.** 2012. Fitnes chwastów w badaniach odporności na herbicydy. *Prog. Plant Prot.*, 52(3); 549–555.
4. **Adamczewski K., Kierzek R.** 2007. Występowanie biotypów miotły zbożowej (*Apera spica-venti*) odpornych na herbicydy sulfonilomocznikowe. *Prog. Plant Prot.*, 47(3); 333–340.
5. **Adamczewski K., Kierzek R.** 2011. Problem odporności chwastów na herbicydy w Polsce. *Prog. Plant Prot.*, 51(4); 1665–1674.
6. **Adamczewski K., Matysiak K.** 2007. Zmienność biologiczna *Apera* species i jej wrażliwość na herbicydy. *Prog. Plant Prot.*, 47(3); 341–349.
7. **Adamczewski K., Matysiak K.** 2009. Niektóre aspekty biologii *Apera spica-venti* (L.) P. B. *Pam. Puł.*, 150; 285–290.
8. **Adamczewski K., Matysiak K.** 2010. Odporne biotypy miotły zbożowej (*Apera spica-venti* L.) na inhibitory karboksylazy acetylo-CoA (ACCCase). *Prog. Plant Prot.*, 50(1); 291–296
9. **Adamczewski K., Matysiak K., Kierzek R.** 2017. Występowanie biotypów miotły zbożowej (*Apera spica-venti* L.) odpornej na izoproturon. *Fragm. Agron.*, 34(3); 7–13.
10. **Adamczewski K., Matysiak K., Kierzek R., Kaczmarek S.** 2019. Significant increase of weed resistance to herbicides in Poland. *Journal of Plant Protection Research*, 59(2); 139–150.
11. **Adamczewski K., Wagner J., Kierzek R.** 2010. The quantification of the target-site resistance to mesosulfuron/iodosulfuron in a black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) biotype with a Pro197-to-His mutation from a winter wheat field in Poland using pot test and petri dish assay. *Proceedings of 15th Symposium EWRS, Kaposvar-Hungary, 12–15 June, 2010*; 24.
12. **Akhter M. J., Kudsk P., Mathiassen S. K., Melander B.** 2021. Rattail fescue (*Vulpia myuros*) interference and seed production as affected by sowing time and crop density in winter wheat. *Weed Sci.*, 69(1); 52–61.
13. **Altieri M. A., Farrell J. G., Hecht S. B., Liebman M., Magdoff F., Murphy B., Norgaard R. B., Sikor T. O.** 2018. *Agroecology. The Science of Sustainable Agriculture.* CRC Press, Taylor&Francis Group, Stany Zjednoczone, 2; ss. 432.
14. **Anderson L., Åkerblom Espeby L.** 2009. Variation in seed dormancy and light sensitivity in *Alopecurus myosuroides* and *Apera spica-venti*. *Weed Res.*, 49(3); 261–270.
15. **Asaduzzaman M., Koetz E., Wu H., Hopwood M., Shephard A.** 2021. Fate and adaptive plasticity of heterogeneous resistant population of *Echinochloa colona* in response to glyphosate. *Sci. Rep.*, 11: 14858; ss. 11.

16. **Ashigh J., Tardif F. J.** 2011. Water and Temperature Stress Impact Fitness of Acetohydroxyacid Synthase–Inhibiting Herbicide-Resistant Populations of Eastern Black Nightshade (*Solanum ptychanthum*). *Weed Sci.*, 59; 341–348.
17. **Ashworth M. B., Walsh M. J., Flower K. C., Vila-Aiub M. M., Powles S. B.** 2016. Directional selection for flowering time leads to adaptive evolution in *Raphanus raphanistrum* (wild radish). *EvolAppl*, 9; 619–629.
18. **Aslani S., Saeedipour S.** 2015. Competitive interaction of canola (*Brassica napus*) against wild mustard (*Sinapis arvensis*) using replacement series method. *Walia*, 31(S2); 111-116.
19. **Atnafu D.** 2019. Weed Management Methods on Yield and Yield Components of Bread Wheat (*Triticum Aestivum* L.). *International Journal of Research and Innovations in Earth Science*, 6(5); 63-78.
20. **Atwater D. Z., Ervine C., Barney J. N.** 2018. Climatic niche shifts are common in introduced plants. *Nature Ecology & Evolution*, 2; 34– 43.
21. **Auškalnienė O., Kadžienė G., Janušauskaitė D., Supronienė S.** 2018. Changes in weed seed bank and flora as affected by soil tillage systems. *Zemdirbyste-Agriculture*, 105(3); 221–226.
22. **Auškalnienė O., Kadžienė G., Stefanovičienė R., Jomantaitė B.** 2020. Development of herbicides resistance in *Apera spica-venti* in Lithuania. *Zemdirbyste-Agriculture*, 107(2); 99-104.
23. **Babineau M., Mahmood K., Mathiassen S. K., Kudsk P., Kristensen M.** 2017a. De novo transcriptome assembly analysis of weed *Apera spica-venti* from seven tissues and growth stages. *BMC Genomics*, 18; 128.
24. **Babineau M., Mathiassen K. S., Kristensen M., Kudsk P.** 2017b. Fitness of ALS-Inhibitors Herbicide Resistant Population of Loose Silky Bentgrass (*Apera spica-venti*). *Frontiers in Plant Science*, 8: 1660; ss. 13.
25. **Bagavathiannan M., Norsworthy J. K., Jha P., Smith K.** 2011. Does resistance to propanil or clomazone alter the growth and competitive abilities of barnyard grass (*Echinochloa crus-galli*)? *Weed Sci.*, 59; 353–358.
26. **Balgheim N., Wagner J., Gerhards R.** 2007. ALS-inhibitor resistant *Apera spica-venti* (L.) Beauv. due to target-site mutation. *Proceedings of the 14th European Weed Research Society (EWRS) Symposium*; 147.
27. **Banik P., Midya A., Sarkar B. K., Ghose S. S.** 2006. Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weeds mothering. *Europ. J. Agronomy*, 24(4); 325–332.
28. **Bantie Y. B., Abera F. A., Woldegiorgis T. D.** 2014. Competition Indices of Intercropped Lupine (Local) and Small Cereals in Additive Series in West Gojam, North Western Ethiopia. *American Journal of Plant Sciences*, 5(9); 1296-1305.
29. **Baucom R. S.** 2019. Evolutionary and ecological insights from herbicide-resistant weeds: what have we learned about plant adaptation, and what is left to uncover? *New Phytologist*, 223; 68–82.
30. **Baucom R. S., Mauricio R.** 2004. Fitness costs and benefits of novel herbicide tolerance in a noxious weed. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 101(36); 13386–13390.

31. **Beckie H. J.** 2020. Herbicide Resistance in Plants. *Plants*, 9: 435; ss. 4.
32. **Beckie H. J., Busi R., Lopez-Ruiz F., Umina P. A.** 2021. Herbicide resistance management strategies: how do they compare with those for insecticides, fungicides and antibiotics? *Pest Manag. Sci.*, 77(7); 3049-3056.
33. **Beckie H. J., Harker K. N.** 2017. Our top 10 herbicide-resistant weed management practices. *Pest Manag. Sci.*, 73(6); 1045–1052.
34. **Beffa R., Menne H., Köcher H.** 2019. Herbicide Resistance Action Committee (HRAC): Herbicide Classification, Resistance Evolution, Survey, and Resistance Mitigation Activities. [W:] *Modern Crop Protection Compounds*. Red. Jeschke P., Witschel M., Krämer W., Schirmer U. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA., Weinheim, 3(1); 5-32.
35. **Bianchi M. A., Fleck N. G., Agostinetto D., Rizzardi M. A.** 2011. Interference of *Raphanus sativus* in soybean cultivars' yield. *Planta Daninha*, 29(4); 783-792.
36. **Bianchi M. A., Fleck N. G., Lamego F. P.** 2006. Proportion among soybean and competitor plants and the relations of mutual interference. *Cienc. Rural*, 36(5); p.1380-1387.
37. **Bitarafan Z., Andreasen C.** 2020. Seed production and retention at maturity of blackgrass (*Alopecurus myosuroides*) and silky windgrass (*Apera spica-venti*) at wheat harvest. *Weed Sci.*, 68(2); 151-156.
38. **Bitew Y., Asargew F.** 2014. Rice (*Oryza sativa*) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) relay intercropping systems in an additive series experiment in rainfed lowland ecosystem of Fogera vertisols. *Sci. Res.*, 2(6); 179-184.
39. **Blackshaw R. E.** 1993. Downy brome (*Bromus tectorum*) density and relative time of emergence affects interference in winter wheat (*Triticum aestivum*). *Weed Sci.*, 41; 551–556.
40. **Bleiholder H., Feller C., Hess M., Meier U., van den Boom T., Lancashire P. D., Buhr L., Hack H., Klose R., Stauss R., Weber E., Munger P.** 1997. Compendium of Growth Stage Identification Keys for Mono- and Dicotyledonous Plants. Extended BBCH scale. 2nd Edition. ISBN 3-9520749-3-4. ss. 131.
41. **Bochenek A., Synowiec A., Kondrat B., Szymczak M., Lahuta L. B., Golaszewski J.** 2016. Do the seeds of *Solidago gigantea* Aiton have physiological determinants of invasiveness? *Acta Physiol Plant*, 38(159); 1-11.
42. **Bojňanský V., Fargašová A.** 2007. Atlas of Seeds and Fruits of Central and East-European Flora: The Carpathian Mountains Region. Springer, Dordrecht, ss. 1046.
43. **Borger C. P. D., Hashem A., Gill G. S.** 2020. Comparison of growth, survivorship, seed production and shedding of eight weed species in a wheat crop in Western Australia. *Weed Res.*, 60(6); 415-424.
44. **Bourdot G. W., Saville D. J., Hurrell G. A.** 1996. Ecological fitness and the decline of resistance to the herbicide MCPA in a population of *Ranunculus acris*. *J. of Appl. Ecol.*, 33 (1); 151–160.
45. **Burgos N. L.** 2015. Whole-Plant and Seed Bioassays for Resistance Confirmation. *Weed Sci.*, 63(sp1); 152–165.

46. **Butts T. R., Vieira B. C., Latorre D. O., Werle R., Kruger G. R.** 2018. Competitiveness of Herbicide-Resistant Waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*) with Soybean. *Weed Sci.*, 66(6): 729 – 737.
47. **Chauhan B. S.** 2020. Grand Challenges in Weed Management. *Front. Agron.*, 1(3); ss. 4.
48. **Chauhan B. S.** 2022. Germination biology of liverseed Grass (*Urochloa panicoides*) and its response to post emergence herbicides in Australian conditions. *Weed Sci.*, 70; 553–560.
49. **Chauhan B. S., Johnson D. E.** 2009. Ecological studies on *Cyperus difformis*, *Cyperus iria* and *Fimbristylis miliacea*: three troublesome annual sedge weeds of rice. *Annals of Applied Biology*, 155; 103-112.
50. **Chen J., Burns E., Fleming M., Patterson E.** 2020. Impact of Climate Change on Population Dynamics and Herbicide Resistance in Kochia (*Bassia scoparia* (L.) A. J. Scott). *Agronomy*, 10(1700); ss.10.
51. **Chen W., Peng Y., Lin Q., Zhang T., Yan B., Bai L., Pan L.** 2022. Germination Characteristics Associated With Glutathione S-Transferases Endowed Quizalofop-p-Ethyl Resistance in Polypogon fugax. *Front. Plant Sci.*, 13(861056); ss. 11.
52. **Cholajda K., Matysiak K., Kierzek R., Krzysińska J.** 2019. Biologiczne zwalczanie chwastów – perspektywy i ograniczenia. *Prog. Plant Prot.*, 61(2); 103-112.
53. **Clay S. A.** 2021. Near-term challenges for global agriculture: Herbicide-resistant weeds. *Agronomy Journal*, 113(2); 4463–4472.
54. **Clements D. R., Di Tommaso A.** 2022. Climate Change and the Persistence of Weeds. [W:] Persistence Strategies of Weeds. Red. Upadhyaya M. K., Clements D. R., Shrestha A., John Wiley & Sons Ltd.; 219-243.
55. **Cousens R. D.** 1985. A simple model relating yield loss to weed density. *Ann Appl Biol*, 107; 239–252.
56. **Cousens R. D.** 1991. Aspects of the design and interpretation of competition (interference) experiments. *Weed Technology*, 5; 664-673.
57. **Cousens R. D., Fournier-Level A.** 2018. Herbicide resistance costs: what are we actually measuring and why? *PestManag. Sci.*, 74(7); 1539–1546.
58. **Cousens R., O’Neill M.** 1993. Density dependence of replacement series experiments. *Oikos*, 66; 347–352.
59. **Dacko M., Zajac T., Synowiec A., Oleksy A., Klimek-Kopyra A., Kulig B.** 2016. New approach to determine biological and environmental factors influencing mass of a single pea (*Pisum sativum* L.) seed in Silesia region in Poland using a CART model. *Europ. J. Agronomy*, 74; 29–37
60. **da Costa L. O., Rizzardi M. A.** 2015. Competitiveability of wheat in association with biotypes of *Raphanus raphanistrum* L. resistant and susceptible to ALS-inhibitor herbicides. *Ciênc. Agrotec.*, 39(2); 121–130.
61. **Dang H. T., Long W., Malone J. M., Preston C., Gill G.** 2019. No apparent fitness costs associated with phytoene desaturase mutations conferred resistance to diflufenican and picolinafen in oriental mustard (*Sisymbrium orientale* L.). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 155; 51-57.

62. **da Silva Amaral G., Alcántara-de la Cruz R, da Costa F. G., Coelho C. M. M., De Prado R., de Carvalho L. B.** 2020. Stressful Conditions Affect Seed Quality in Glyphosate Resistant *Conyza bonariensis* (L.). *Agronomy*, 10 (1706); ss. 11.
63. **Dauer J., Hulting A., Carlson D., Mankin L., Hardenc J., Mallory-Smith C.** 2018. Gene flow from single and stacked herbicide-resistant rice (*Oryza sativa*): modeling occurrence of multiple herbicide-resistant weedy rice. *Pest Manag. Sci.*, 74(2); 348–355.
64. **Dayan F. E., Barker A., Bough R., Ortiz M., Takano H., Duke S. O.** 2019. Herbicide Mechanisms of Action and Resistance. *Comprehensive Biotechnology*, 3(4); 23-35.
65. **Delabays N., Mermillod G., Bohren C.** 2006. First case of resistance to sulfonylurea herbicides reported in Switzerland: a biotype of loose silky-bent (*Apera spica-venti* (L.) Beauv.). *Journal of Plant Diseases and Protection*, XX; 89–94.
66. **Délye C., Jasieniuk M., Le Corre V.** 2013. Deciphering the evolution of herbicide resistance in weeds. *Trends in Genetics*, 29(11); 649-658.
67. **Dennis M., Hembree K. J., Bushoven J. T., Shrestha A.** 2016. Growth stage, temperature, and time of year affects the control of glyphosate-resistant and glyphosate-paraquat resistant *Conyza bonariensis* with saflufenacil. *Crop Protection*, 81; 129-137.
68. **Desai H. S., Chauhan B. S.** 2021. Differential germination characteristics of glyphosate-resistant and glyphosate-susceptible *Chloris virga ta* populations under different temperature and moisture stress regimes. *PLoS ONE*, 16(6):e0253346; ss.14.
69. **Domański C.** 2009. Własność testów analizy wariancji. *Prace Naukowe/Akademia Ekonomiczna w Katowicach*, 73-91.
70. **Domaradzki K.**, 2006. Efektywność regulacji zachwaszczenia zbóż w aspekcie ograniczania dawek herbicydów oraz wybranych czynników agroekologicznych. *Red. Podleśny J., IUNG Puławy, Monografie i Rozprawy Naukowe*, 17; ss. 114.
71. **Du L., Bai S., Li Q., Qu M., Yuan G., Guo W., Wang J.** 2017. Effect of herbicide resistance endowing three ACCase mutations on seed germination and viability in American slough grass (*Beckmannia syzigachne* Steud. Fernald). *Chilean journal of agricultural research*, 77; 142-149.
72. **Du L., Qu M., Jiang X., Li X., Ju Q., Lu X., Wang J.** 2019. Fitness costs associated with acetyl-coenzyme A carboxylase mutation sendowing herbicide resistance in American sloughgrass (*Beckmannia syzigachne* Steud.). *Ecology and Evolution*, 9; 2220–2230.
73. **Dyer W. E., Chee P. W., Fay P. K.** 1993. Rapid Germination of Sulfonylurea-Resistant *Kochia Scoparia* L. Accessions Is Associated with Elevated Seed Levels of Branched Chain Amino Acids. *Weed Sci.*, 41; 18–22.
74. **Eberlein C. V., Guttieri M. J., Berger P. H.** 1999. Physiological consequences of mutation for ALS inhibitor resistance. *Weed Sci.*, 47; 383-392.
75. **Edwards R., Onkokesung N.** 2020. Resisting resistance: new applications for molecular diagnostics in crop protection. *Biochem (Lond)*, 42(4); 6–12.
76. **Fahad S., Hussain S., Chauhan B. S., Saud S., Wu C., Hassan S., Tanveer M., Jan A., Huang J.** 2015. Weed growth and crop yield loss in wheat as influenced by row spacing and weed emergence Times. *Crop Protection*, 71; 101-108.

77. **Feledyn-Szewczyk B., Smagacz J., Kwiatkowski C. A., Harasim E., Woźniak A.** 2020. Weed Flora and Soil Seed Bank Composition as Affected by Tillage System in Three-Year Crop Rotation. *Agriculture*, 10(186); ss. 20.
78. **Fernando N., Manalil S., Florentine S. K., Chauhan B. S., Seneweera S.** 2016. Glyphosate Resistance of C3 and C4 Weeds Under Rising Atmospheric CO₂. *Front. Plant Sci.*, 7: 910; ss. 11.
79. **Fleck N. G., Bianchi M. A., Rizzardi M. A., Agostinetti D.** 2006. *Raphanus sativus* interference on soybean cultivars during crop vegetative period. *Planta Daninha*, 24(3);425-434.
80. **Frenkel E., Matzrafi M., Rubin B., Peleg Z.** 2017. Effects of environmental conditions on the fitness penalty in herbicide resistant *Brachypodium hybridum*. *Front. Plant Sci.*, 8: e39759; 94-105.
81. **Gage K. L., Krausz R. F., Walters S. A.** 2019. Emerging Challenges for Weed Management in Herbicide-Resistant Crops. *Agriculture*, 9(180); ss. 11.
82. **Gaines T. A., Duke S. O., Morran S., Rigon C. A. G., Tranel P. J., Küpper A., Dayan F. E.** 2020. Mechanisms of evolved herbicide resistance. *J Biol Chem*, 295(30); 10307-10330.
83. **Gaines T. A., Patterson E. L., Neve P.** 2019. Molecular mechanisms of adaptive evolution revealed by global selection for glyphosate resistance. *New Phytol.*, 223; 1770–1775.
84. **Gaines T., Slavov G., Hughes D., Kuepper A., Sparks C., Oliva J., Vila-Aiub M., Garcia M., Merotto A. Jr., Neve P.** 2021. Investigating the origins and evolution of a glyphosate-resistant weed invasion in South America. *Molecular Ecology*, 30(21); 5360–5372.
85. **Galon L., Agazzi L. R., Vargas L., Nonemacher F., Basso F. J. M., Perrin G. F., Fernandes F. F., Forte C. T., Rocha A. A., Trevisol R., Winter F. L.** 2015. Competitive ability of Canola hybrids with weeds. *Planta Daninha*, 33(3); 413-423.
86. **Gerhards R., Massa D.** 2011. Two-year investigations on herbicide-resistant silky bentgrass (*Apera spica-venti* L. Beauv.) populations in winter wheat population dynamics, yield losses, control efficacy and introgression into sensitive population. *Gesunde Pflanzen*, 63(2); 75-82.
87. **Ghanizadeh H., Buddenhagen C. E., Harrington K. C., James T. K.** 2019. The Genetic Inheritance of Herbicide Resistance in Weeds. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 38(4); ss. 18.
88. **Ghanizadeh H., Harrington K. C.** 2017. Non-target Site Mechanisms of Resistance to Herbicides. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 36(1); 24-34.
89. **Ghanizadeh H., Harrington K. C.** 2019. Fitness costs associated with multiple resistance to dicamba and atrazine in *Chenopodium album*. *Planta*, 249; 787-797.
90. **Ghazali Z., Keshtkar E., Agha Alikhani M., Kudsk P.** 2020. Germinability and seed biochemical properties of susceptible and non-targetsite herbicide-resistant blackgrass (*Alopecurus myosuroides*) sub-populations exposed to abiotic stresses. *Weed Sci.*, 68(2), 157-167.
91. **Gherekhloo J., Hassanpour-bourkheili S., Hejazirad P., Golmohammadzadeh S., Vazquez-Garcia J. G., De Prado R.** 2021. Herbicide Resistance in Phalaris Species: A Review. *Plants*, 10(11): 2248; ss.16.
92. **Głowicka-Wołoszyn R., Kozera A., Stanisławska J.** 2020. The problem of weed resistance to herbicides and the economic efficiency of wheat protection on the example of a large-scale agricultural farm. *Annals PAAAE*, XXII(1); 85-94.

93. **Gradziuk P., Matyka M., Poczta W., Czerniak A., Czubak W., Jończyk K., Kopiński J., Kozyra J., Pawlak K., Sadowski A., Siebielec G., Stalenga J., Wawer R., Zawalińska K., Berbec A., Krupin V., Madej A., Skowron P., Jendrzewski B., Komisarek D., Łopatka A., Wojciechowska A., Klepacki B., Wrzaszcz W., Gradziuk K., Trocewicz A.** 2021. Wpływ Europejskiego Zielonego Ładu na polskie rolnictwo. Raporty Polityki Insight 2021. Polityka Insight Sp. z o.o. Warszawa, ss. 233.
94. **Gressel J., Segel L. A.** 1990. Modelling the effectiveness of herbicide rotations and mixtures as strategies to delay or preclude resistance. *Weed Technol.*, 4(1);186–198.
95. **Guglielmini A. C., Verdú A. M. C., Satorre E. H.** 2017. Competitive ability of five common weed species in competition with soybean. *International Journal of Pest Management*, 63(1); 30-36.
96. **Haghighi A., Chamanabad H. R. M., Zand E., Biabani A., Asghari A.** 2019. Ecological fitness of Tribenuron Methyl (ALS-inhibitor herbicide) susceptible and resistant biotypes of wild mustard in competition with wheat. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(3); 6227-6240.
97. **Hamouzová K., Košnarová P., Salava J., Soukup J., Hamouz P.** 2014. Mechanisms of resistance to acetolactatesynthase-inhibiting herbicides in populations of *Apera spica-venti* from the Czech Republic. *Pest Manag. Sci.*, 70(4); 541-548.
98. **Hamouzová K., Soukup J., Jursík M., Hamouz P., Venclová V., Tůmová P.** 2011. Investigations on herbicide resistance in European silky bentgrass (*Apera spica-venti*) populations. *J. Plant Dis. Protect*, 118(1); 31-39.
99. **Hatfield J., Prueger J.** 2015. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, 10; 4–10.
100. **Henckes J. R., Cechin J., Schmitz M. F., Piasecki C., Vargas L., Agostinetti D.** 2019. Fitness cost and competitive ability of *Ryegrass* susceptible and with multiple resistance to glyphosate, iodosulfuron-methyl, and pyroxulam. *Planta Daninha*, 37:e019197532; ss. 12.
101. **Hoffman M. L., Buhler D. D.** 2002. Utilizing Sorghum as a functional model of crop–weed competition. I. Establishing a competitive hierarchy. *Weed Sci.*, 50(4); 466–472.
102. **Holzner W., Hayashi I., Glauning J.** 1982. Reproductive strategy of annual agrestals. [W:] *Biology and ecology of weeds*. Dr W. Junk Publishers, Haga, 2; 111-121.
103. **Hulme P. E., Liu W.** 2022. Species prevalence and plant traits discriminate between herbicide resistant and susceptible weeds. *Pest Manag Sci*, 78(1); 313-320.
104. **Ismail B. S., Chuah T. S., Salmijah S., Teng Y. T., Schumacher R. W.** 2002. Germination and seedling emergence of glyphosate-resistant and susceptible biotypes of goosegrass (*Eleusine indica* [L.] Gaertn.). *Weed Biology and Management*, 2;177–185.
105. **Ismail B. S., Mansor N., Rahman M. M.** 2007. Factors affecting germination and emergence of *Cyperus difformis* L. seeds. *Malaysian Applied Biology*, 36; 41-45.
106. **Jabran K., Florentine S., Chauhan B. S.** 2020. Impacts of Climate Change on Weeds, Insect Pests, Plant Diseases and Crop Yields: Synthesis. [W:] *Crop Protection Under Changing Climate*. Red. Jabran K., Florentine S., Chauhan B. Springer, Cham., 189–195.
107. **Jensen P. K.** 2009. Longevity of seeds of four annual grass and two dicotyledon weed species as related to placement in the soil and straw disposal technique. *Weed Res.*, 49; 592–601.

108. **Jugulam M., Shyam C.** 2019. Non-Target-Site Resistance to Herbicides: Recent Developments. *Plants*, 8: 417; ss. 16.
109. **Kaczmarek S., Adamczewski K.** 2009. Efekt wzajemnych oddziaływań pszenicy jarej, jęczmienia jarego i owsa uprawianych w mieszankach na florę segetalną. *Pam. Puł.*, 150; 145-158.
110. **Kader M. A.** 2005. A Comparison of Seed Germination Calculation Formulae and the Associated Interpretation of Resulting Data. *Journal&Proceedings of the Royal Society of New South Wales*, 138; 65–75.
111. **Kadziene G., Suproniene S., Auskalniene O., Pranaitiene S., Svegzda P., Versulienė A., Ceseviciene J., Janauskaite D., Feiza V.** 2020. Tillage and covercrop influence on weed pressure and *Fusarium* infection in spring cereals. *Crop Protection*, 127: 104966; ss.7.
112. **Kahriman A., Şahin A., Sönmez T., Mehmet Y.** 2018. A novel approach to selecting a competition index: the effect of competition on individual-tree diameter growth of Calabrian pine. *Can. J. For. Res.*, 48; 1217–1226.
113. **Karlsson L. M., Milberg P.** 2007. Comparing after-ripening response and Germination requirements of *Conyza canadensis* and *C. bonariensis* (*Asteraceae*) through logistic functions. *Weed Res.*, 47; 433-441.
114. **Kaspary T. E., Lamego F. P., Cutti L., Aguiar A. C. M., Rigon C. A. G., Basso C. J.** 2017. Growth, phenology, and seed viability between glyphosate-resistant and glyphosate-susceptible hairy fleabane. *Bragantia*, 76; 92–101.
115. **Kathiresan R., Gualbert G.** 2016 Impact of Climate Change on the Invasive Traits of Weeds. *Weed Biol. Manag.*, 16; 59–66.
116. **Kaya-Altop E., Uysal M. S., Haghnama K., Mennan H.** 2023. Environmental factors on seasonal germination of different weedy rice (*Oryza sativa* L.) biotypes. *Ciência Rural*, 53(2); ss. 15.
117. **Keshtkar E., Abdolshahi R., Sasanfar H., Zand E., Beffa R., Dayan F. E., Kudsk P.** 2019. Assessing Fitness Costs from a Herbicide-Resistance Management Perspective: A Review and Insight. *Weed Sci.*, 67(2); 137-148.
118. **Keshtkar E., Mathiassen S. K., Beffa R., Kudsk P.** 2017a. Seed Germination and Seedling Emergence of Blackgrass (*Alopecurus myosuroides*) as Affected by Non-Target-Site Herbicide Resistance. *Weed Sci.*, 65(6); 732-742.
119. **Keshtkar E., Mathiassen S. K., Kudsk P.** 2017b. No Vegetative and Fecundity Fitness Cost Associated with Acetyl-Coenzyme A Carboxylase Non-target-site Resistance in a Black-Grass (*Alopecurus myosuroides* Huds) Population. *Front. Plant Sci.*, 8:2021; ss. 11.
120. **Khaeim H., Kende Z., Jolánkai M., Kovács G. P., Gyuricza C., Tarnawa A.** 2022. Impact of Temperature and Water on Seed Germination and Seedling Growth of Maize (*Zea mays* L.). *Agronomy* 12(2):397; ss. 23.
121. **Kierzek R., Matysiak K., Węgorzek P., Zamojska J., Dworżańska D., Korbas M., Piszczek J., Olejarski P., Danielewicz J.** 2015. Strategia przeciwdziałania odporności chabra bławatka i miotły zbożowej na herbicydy. Instytut Ochrony Roślin – Państwowy Instytut Badawczy, Poznań, ss. 12.

122. **Klaaßen H., Freitag J.** 2004. Miotła zbożowa. [W:] Profesjonalny atlas chwastów. Red. Klaaßen H., Freitag J. BASF The Chemical Company, Limburgerhof, 186-187.
123. **Knezevic S. Z., Datta A.** 2015. The critical period for weed control: revisiting data analysis. *Weed Sci.*, 63(1); 188–202.
124. **Knezevic S.Z., Jhala A., Gaines T.** 2017. Herbicide Resistance and Molecular Aspects. *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*, 2(3); 455-458.
125. **Koch W., Hurle K.** 1978. *Grundlagen der Unkrautbekämpfung*. UTB Verlag, Stuttgart; ss. 207.
126. **Kolářová M., Tyšer L., Soukup J.** 2014. Weed vegetation of arable land in the Czech Republic: environmental and management factors determining weed species composition. *Biologia*, 69(4); 443-448.
127. **Korres N. E.** 2018. *Agronomic Weed Control: A Trustworthy Approach for Sustainable Weed Management*. [W:] *Non-Chemical Weed Control*. Red. Jabran K., Chauhan B. S. Academic Press/Elsevier Inc., 97-114.
128. **Korres N. E., Norsworthy J. K., Tehranchian P., Gitsopoulos T. K., Loka D. A., Oosterhuis D. M., Gealy D. R., Moss S. R., Burgos N. R., Miller M. R., Palhano M.** 2016. Cultivars to Face Climate Change Effects on Crops and Weeds: A Review. *Agron. Sustain. Dev.*, 36(12); ss. 22.
129. **Košnarová P., Hamouz P., Hamouzová K., Linn A., Sen M. K., Mikulka J., Šuk J., Soukup J.** 2021. *Apera spica-venti* in the Czech Republic develops resistance to three herbicide modes of action. *Weed Res.*, 61(2); ss. 10.
130. **KOWR.** 2020. *Rynek zbóż w Polsce*. Bruszura Krajowego Ośrodka Doradztwa Rolniczego, Warszawa, ISBN 978-83-66255-50-0; ss. 28
131. **Krysiak M., Gawroński S. W., Adamczewski K., Kierzek R.** 2011. ALS Gene Mutations in *Apera Spica-Venti* Confer Broad-Range Resistance to Herbicides. *Journal of Plant Protection Research*, 51(3); 261-267.
132. **Kumar V., Jha P.** 2015. Growth and Reproduction of Glyphosate-Resistant and Susceptible Populations of *Kochia scoparia*. *PLoS ONE*, 10(11): e0142675; ss. 15.
133. **Kumar V., Jha P.** 2016. Differences in germination, growth, and fecundity characteristics of dicamba-fluroxypyr-resistant and susceptible *Kochia scoparia*. *PLoS ONE*, 11: e0161533; ss. 16.
134. **Kumar V., Jha P., Jugulam M., Yadav R., Stahlman P. W.** 2019. Herbicide-Resistant *Kochia (Bassia scoparia)* in North America: A Review. *Weed Sci.*, 67(1); 4–15.
135. **Latif A., Jilani M. S., Baloch M. S., Hashim M. M., Khakwani A. A., Khan Q. U., Saeed A., Mamoon-ur-Rashid M.** 2021. Evaluation of critical period for weed crop competition in growing broccoli crop. *Scientia Horticulturae*, 287(3):110270; ss. 7.
136. **Lazim S.K., Ramadhan M. N.** 2019. Mathematical expression study of some germination parameters and the growth by presowing wheat seeds treatment with a static magnetic field and ammonium molybdate. *Plant Archives*, 19(2); 2294-2300.

137. **Lejman A., Ogórek R., Parylak D.** 2022. The Influence of the Habitat on the Chemical Composition and Morphology of Silky Bent Grass (*Apera spica-venti* (L.) Beauv.) Occurring in Arable Fields (Lower Silesia, Poland). *Agronomy*, 12(8):1883; ss. 15.
138. **Lenormand T., Harmand N., Gallet R.** 2018. Cost of resistance: An unreasonably expensive concept. *Rethink. Ecol.*, 3; 51–70.
139. **Leon R. G., Dunne J. C., Gould F.** 2020. The role of population and quantitative genetics and modern sequencing technologies to understand evolved herbicide resistance and weed fitness. *Pest Manag. Sci.*, 77(1); 12–21.
140. **Leroux G. D.** 1993. Relative fitness of s-triazine susceptible and resistant biotypes of *Chenopodium album*. *Phytoprotection*, 74; 143–152.
141. **Liu C., Jackson L. V., Hutchings S-J., Tuesca D., Moreno R., Mcindoe1 E., Kaundun S. S.** 2020. A holistic approach in herbicide resistance research and management: from resistance detection to sustainable weed control. *Sci. Rep.*, 10: 20741; ss. 9.
142. **Loura D., Sahil, Florentine S., Chauhan B.** 2020. Germination ecology of hairy fleabane (*Conyza bonariensis*) and its implications for weed management. *Weed Sci.*, 68(4); 411-417.
143. **Mayor J. P., Maillard A.** 1997. A wind bent grass biotype resistant to the herbicide isoproturon found in Changins. *Rev Suisse Agrie*, 29, 39-44.
144. **Malecka-Jankowiak I., Blecharczyk A., Sawinska Z., Waniorek B.** 2015. Wpływ następstwa roślin i systemu uprawy roli na zachwaszczenie pszenicy ozimej. *Fragm. Agron.*, 32(3); 54–63.
145. **Marko G., Jaksa F.** 2019. The current status of the Loose silkybent [*Apera spica-venti* (L.) P. Beauv.]: a weed control review. *Növényvédelem*, 55(9); 392-403.
146. **Massa D., Kaiser Y. I., Andújar-Sánchez D., Carmona-Alfárez R., Mehrstens J., Gerhards R.** 2013. Development of a Geo-Referenced Database for Weed Mapping and Analysis of Agronomic Factors Affecting Herbicide Resistance in *Apera spica-venti* L. Beauv. (Silky Windgrass). *Agronomy*, 3(1); 13-27.
147. **Mathew I., Shimelis H., Shayanowako A. I. T., Laing M., Chaplo V.** 2019. Genome-wide association study of drought tolerance and biomass allocation in wheat. *PLoS ONE*, 14(12):e0225383; ss. 21.
148. **Matloob A., Chauhan B. S.** 2021. Utilization of the neighborhood design to evaluate suitable cover crops and their density for *Echinochloa colona* management. *PLoS ONE*, 16(7):e0254584; ss. 11.
149. **Matzrafi M.** 2019. Climate change exacerbates pest damage through reduced pesticide efficacy. *Pest Manag. Sci.*, 75(1); 9–13.
150. **Matzrafi M., Seiwert B., Reemtsma T., Rubin B., Peleg Z.** 2016. Climate Change Increases the Risk of Herbicide-Resistant Weeds Due to Enhanced Detoxification. *Planta*, 244; 1217–1227.
151. **Matzrafi M., Peleg Z., Lati R.** 2021. Herbicide Resistance in Weed Management. *Agronomy*, 11: 280; ss. 4.
152. **Maxwell B. D., Roush M. L., Radoservich S. R.** 1999. Predicting the evolution and dynamics of herbicide resistance in weed population. *Weed Technol.*, 4; 2–13.

153. **Mayor J. P., Maillard A.** 1997. A wind bentgrass biotype resistant to the herbicide isoproturon found in Changins. *Rev. Suisse Agric.*, 29; 39–44.
154. **Melander B., Holst N., Jensen P. K., Hansen E. M., Olesen J. E.** 2008. *Apera spica-venti* population dynamics and impact on crop yield as affected by tillage, crop station, location and herbicide programmes. *Weed Res.*, 48; 48–57.
155. **Mézière D., Petit S., Granger S., Biju-Duval L., Colbach N.** 2015. Developing a set of simulation-based indicators to assess harmfulness and contribution to biodiversity of weed communities in cropping systems. *Ecological Indicators*, 48; 157-170.
156. **Mikulka J., Chodova D.** 2000. Long-term study on the occurrence of weeds resistant to herbicides in the Czech Republic. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, XVII; 373-376.
157. **Mobli A., Sahil, Yadav R., Chauhan B. S.** 2020. Enhanced weed-crop competition effects on growth and seed production of herbicide-resistant and herbicide susceptible annual sow thistle (*Sonchus oleraceus*). *Weed Biol. Manag.*, 20(2); 38-46.
158. **Moretti M. L., Hanson B. D., Hembree K. J., Shrestha A.** 2013. Glyphosate resistance is more variable than paraquat resistance in a multiple-resistant hairy fleabane (*Conyza bonariensis*) population. *Weed Sci.*, 61; 396-402.
159. **Moretti M. L., Van Horn C. R., Robertson R., Segobye K., Weller S. C., Young B. G., Johnson W. G., Sammons R. D., Wang D., Ge X., d'Avignon A., Gaines T. A., Westra P., Green A. C., Jeffery T., Lespérance M. A., Tardif F. J., Sikkema P. H., Hall J. C., McLean M. D., Lawton M. B., Schulz B.** 2018. Glyphosate resistance in *Ambrosia trifida*: Part 2. Rapid response physiology and non-target-site resistance. *Pest Manag. Sci.*, 74(5); 1079–1088.
160. **Moss S., Ulber L., den Hoed I.** 2019. A herbicide resistance risk matrix. *Crop Protection*, 115; 13–19.
161. **Murphy B. P., Tranel P. J.** 2019. Target-Site Mutations Conferring Herbicide Resistance. *Plants*, 8: 382; ss. 16.
162. **Mutti N. K., Mahajan G., Chauhan B. S.** 2019. Seed-germination ecology of glyphosate-resistant and glyphosate-susceptible biotypes of *Echinochloa colona* in Australia. *Crop & Pasture Science*, 70; 367–372.
163. **Nakka S., Thompson C. R., Peterson D. E., Jugulam M.** 2017. Target Site–Based and Non–Target Site Based Resistance to ALS Inhibitors in Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*). *Weed Sci.*, 65; 681–689.
164. **Nazari S., Zand E., Asadi S., Golzardi F.** 2012. Effect of additive and replacement intercropping series of corn (*Zea mays* L.) and mungbean (*Vigna radiate* L.) on yield, yield components and weed biomass. *Weed Research Journal*, 4(2); 97-109.
165. **Nelder J. A.** 1962. New kinds of systematic designs for spacing experiments. *Biometrics*, 18(3); 283–307.
166. **Nordmeyer H.** 2009. Spatial and temporal dynamics of *Apera spica-venti* seedling populations. *Crop Protection*, 28(10); 831-837.

167. **Nováková K., Soukup J., Wagner J., Hamouz P., Namestek J.** 2006. Chlorsulfuron resistance in silky bent-grass (*Apera spica-venti* (L.) Beauv.) in the Czech Republic. *Journal of Plant Diseases and Protection*, XX: 139–146.
168. **Oliveira C., Agostinetto D., Vargas L., Ávila L. A., Tarouco C. P.** 2014. Does the resistance to glyphosate herbicide affect the competitive ability of ryegrass with soybean? *Planta daninha*, 32(1); 189-196.
169. **Oliveira M. C., Pereira G. A. M., Ferreira E. A., Santos J. B., Knezevic S. Z., Werle R.** 2018. Additive design: the concept and data analysis. *Weed Res.*, 58(5); 338-347.
170. **Onofri A., Mesgaran M. B., Ritz C.** 2022. A unified framework for the analysis of germination, emergence, and other time-to-event data in weed science. *Weed Sci.*, 70; 259–271.
171. **Osipitan M. A., Dille J. A.** 2017. Fitness Outcomes Related to Glyphosate Resistance in *Kochia* (*Kochia scoparia*): What Life History Stage to Examine? *Front. Plant Sci.*, 8:1090; ss. 13.
172. **Owen M. D. K., Beckie H. J., Leeson J. Y., Norsworthy J. K., Steckel L. E.** 2015. Integrated pest management and weed management in the United States and Canada. *Pest Manag. Sci.*, 71(3); 357-376.
173. **Panozzo S., Scarabel L., Rosan V., Sattin M.** 2017. A New Ala-122-Asn Amino Acid Change Confers Decreased Fitness to ALS-Resistant *Echinochloa crus-galli*. *Front. Plant Sci.*, 8:2042; ss.13.
174. **Papapanagiotou A. P., Damalas C. A., Bosmali I., Madesis P., Menexes G., Eleftherohorinos I.** 2022. Multiple resistance of silky windgrass to acetolactate synthase- and acetyl-CoA synthase-inhibiting herbicides. *Weed Technol.*, 36; 334–343.
175. **Park K. W., Mallory-Smith C. A., Ball D. A., Mueller-Warrant G. W.** 2004 Ecological fitness of acetolactate synthase inhibitor-resistant and -susceptible downy brome (*Bromus tectorum*) biotypes. *Weed Sci.* 52; 768-773.
176. **Pedroso R. M., van Kessel C., Neto D. D., Linqvist B. A., Boddy L. G., Al-Khatib K., Fischer A. J.** 2019. ALS Inhibitor-Resistant *Cyperus difformis* Seed Germination Requires Fewer Growing Degree-days and Lower Soil Moisture. *Weed Sci.*, 68(1); 1-37.
177. **Pedersen B. P., Neve P., Andreasen C., Powles S. B.** 2007. Ecological fitness of a glyphosate-resistant *Lolium rigidum* population: Growth and seed production a long a competition gradient. *Basic Appl Ecol*, 8; 258–268.
178. **Penny K.** 1996. Appropriate Critical Values When Testing for a Single Multivariate Outlier by Using the Mahalanobis Distance. *Appl. Statist.*, 45(1); 73-81.
179. **Perotti V. E., Larrana A. S., Palmieria V. E., Martinatto A.K., Permingeata H. R.** 2020. Herbicide resistant weeds: A call to integrate conventional agricultural practices, molecular biology knowledge and new technologies. *Plant Science* 290: 110255; ss. 15.
180. **Petersen J., Raffael H.** 2022. Evolution of herbicide resistance in *Alopecurus myosuroides* and *Apera spica-venti* in German cereal production during the last 15 years. Conference paper: *Julius-Kühn-Archiv*, 464; 326-332.
181. **Peterson M. A., Collavo A., Ovejero R., Shivraind V., Walshe M. J.** 2018. The challenge of herbicide resistance around the world: a current summary. *Pest Manag. Sci.*, 74(10); ss. 14.

182. **Piasecki C., Mazon A. S., Agostinetto D., Vargas L.** 2019. Glyphosate Resistance Affect the Physiological Quality of *Conyza bonariensis* seeds. *Planta Daninha*; 37: e019213902; ss.12.
183. **Piekarczyk M.** 2010. Wpływ poziomu nawożenia, ochrony roślin i gęstości siewu na zachwaszczenie pszenicy ozimej uprawianej w krótkotrwałej monokulturze. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska Lublin – Polonia*, vol. LXV(2); 48-57.
184. **PTG.** 2009. Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych – PTG 2008. *Polskie Towarzystwo Gleboznawcze. Rocznik Gleboznawcze, Warszawa*, t. LX (2); 5-16.
185. **Purrington C. B., Bergelson J.** 1999. Exploring the physiological basis of costs of herbicide resistance in *Arabidopsis thaliana*. *American Naturalist*, 154; 82-91.
186. **Pytlarz E., Andrzejak O.** 2022. Zagrożenie potencjalnie odpornymi na herbicydy biotypami stokłosa żytniej (*Bromus secalinus* L.) na Dolnym Śląsku. *Prog. Plant Prot.*, 62(1); 5–10.
187. **Qu R-Y., He B., Yang J-F., Lin H-Y., Yang W-C., Wu Q-Y., Lib Q. X., Yang G-F.** 2021. Where are the new herbicides? *Pest Manag. Sci.*, 77(6); 2620–2625.
188. **Radosevich S. R.** 1987. Methods to Study Interactions Among Crops and Weeds. *Weed Technol.*, 1; 190-198.
189. **Ranal M. A., Santana D. G.** 2006. How and why to measure the germination process? *Revista Brasileira de Botânica*, 29(1); 1-11.
190. **Ranal M. A., Santana D. G., Ferreira W.R., Mendes-Rodrigues C.** 2009. Calculating germination measurements and organizing spreadsheets. *Braz J. Bot.* 32; 849-55.
191. **Rigoli R. P., Agostinetto D., Schaedler C. E., Dal Magro T., Tironi S.** 2008. Relative competitive ability of wheat (*Triticum aestivum*) intercropped with Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) or wild radish (*Raphanus raphanistrum*). *Planta Daninha*, 26(1); 93-100.
192. **Rigon C. A. G., Ramesh K., Matloob A., Aslam F., Florentine S. K., Chauhan B. S.** 2017. Weeds in a changing climate: Vulnerabilities, consequences, and implications for future weed management. *Front. Plant Sci.*, 8(95): e30569; ss. 12.
193. **Rigon C. A. G., Gainess T. A., Küpper A., Dayan F. E.** 2020. Metabolism-Based Herbicide Resistance, the Major Threat Among the Non-Target Site Resistance Mechanisms. *Outlooks on Pest Management*, 31(4); 162-168.
194. **Rizzardi M. A., Wandscheer A. C. D., Hoffmann A. F.** 2014. Competitive analysis of soybean and sudan grass using replacement series design. *Rev. Ceres*, 63(5); 668-675.
195. **Rummland J., Kerlen D., Nordmeyer H., Beffa R., Richter O.** 2014. Modeling the development of a target site resistant *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv. population – A comparison of model output and field data. Conference paper: *Julius-Kühn-Archiv*, 443; 343-349.
196. **Rola H., Domaradzki K., Kaczmarek S., Kapeluszyński J.** 2013. Znaczenie progów szkodliwości w integrowanych metodach regulacji zachwaszczenia w zbożach. *Prog. Plant Prot.*, 53(1); 96-104.
197. **Rola H., Marczewska K.** 2002. Biotypy chwastów odporne na chlorosulfuron w rejonie Wrocławia. *Prog. Plant Prot.*, 42(2); 575-577.

198. **Romano A., Stevanato P.** 2020. Germination data analysis by time-to-event approaches. *Plants*, 9(5): 617; ss. 15.
199. **Rudnicki F., Jaskulski D.** 2006. Ocena wzajemnego oddziaływania konkurencyjnego pomiędzy roślinami uprawnymi a chwastami w łąkach. *Acta Sci. Pol., Agricultura*, 5(1); 45-52.
200. **Saeed S., Ullah A., Ullah S., Noor J., Ali B., Khan M. N., Hashem M., Mostafa Y. S., Alamri S.** 2022. Validating the Impact of Water Potential and Temperature on Seed Germination of Wheat (*Triticum aestivum* L.) via Hydrothermal Time Model. *Life*, 12(7): 983; ss. 17.
201. **Sanjani S., Bagher H. S. M., Chaeichi M. R., Rezvan-Bidokhti S. H.** 2009. Effect of additive intercropping sorghum: cowpea on weed biomass and density in limited irrigation system. *Iranian journal of field crops research*, 7(1); 85-95.
202. **Sardana V., Mahajan G., Jabran K., Chauhan B. S.** 2017. Role of competition in managing weeds: An introduction to the special issue. *Crop Protection*, 95; ss. 7.
203. **Scherner A., Melander B., Jensen P. K., Kudsk P., Avila L. A.** 2017. Reducing tillage intensity affects the cumulative emergence dynamics of annual grass weeds in winter cereals. *Weed Res.*, 57; 314–322.
204. **Scherner A., Melander B., Kudsk P.** 2016. Vertical distribution and composition of weed seeds within the plough layer after eleven years of contrasting crop rotation and tillage schemes. *Soil Tillage Res.*, 161; 135–142.
205. **Schiffers K., Tielbörger K., Tietjen B., Jeltsch F.** 2011. Root plasticity buffers competition among plants: theory meets experimental data. *Ecology*, 92(3); 610–620.
206. **Schwartz-Lazaro L. M., Copes J. T.** 2019. A Review of the Soil Seedbank from a Weed Scientists Perspective. *Agronomy*, 9:369; ss. 13.
207. **Sheng G. S., Vila-Aiu M., Busi R., Goggin D., Powles S.** 2019. Physiological Fitness Cost Associated with Glyphosate Resistance in *Echinochloa colona*: Seed Germination Ecology. *J. Trop. Plant Physiol.*, 11(2); 1-12.
208. **Shrestha A., de Souza L. L., Yang P., Sosnoskie L., Hanson B. D.** 2018. Differential Tolerance of Glyphosate-Susceptible and Glyphosate-Resistant Biotypes of Junglerice (*Echinochloa colona*) to Environments during Germination, Growth, and Intraspecific Competition. *Weed Sci.*, 66(3); ss. 7.
209. **Shrestha A., Hanson B. D., Fidelibus M. W., Alcorta M.** 2010. Growth, phenology, and intraspecific competition between glyphosate-resistant and glyphosate-susceptible horseweeds (*Conyza canadensis*) in the San Joaquin Valley of California. *Weed Sci.*, 58(2); 147–153.
210. **Singh M. K., Singh R. P., Singh N. P.** 2002. Methods to study crop weed competition experiments - A review. *Indian Journal of Weed Science*, 34(3&4); 264-268.
211. **Skowera B., Jędrzejczyk E., Kopcińska J., Ambroszczyk A.M., Kolton A.** 2014. The effects of hydrothermal conditions during vegetation period on fruit quality of processing tomatoes. *Pol. J. Environ. Stud.*, 23(1); 195-202.
212. **Snaydon R. W.** 1991. Replacement or Additive Designs for Competition Studies? *Journal of Applied Ecology*, 28; 930-946.

213. **Soukup J., Nováková K., Hamouz P., Náměstek J.** 2006. Ecology of silky bentgrass (*Apera spica-venti* (L.) Beauv.), its importance and control in the Czech Republic. *Journal of Plant Diseases and Protection*, Supplement 20; 73-80.
214. **Sparks T. C., Lorsbach B. A.** 2017. Perspectives on the agrochemical industry and agrochemical discovery. *Pest Manage Sci*, 73(4); 672– 677.
215. **Squires C. C., Coleman G. R., Broster J.C., Preston C., Boutsalis P., Owen M. J., Jalaludin A., Walsh M. J.** 2021. Increasing the value and efficiency of herbicide resistance surveys. *Pest Manag. Sci.*, 77(9); ss. 9.
216. **Stace C.** 2010. *New Flora of the British Isles* (3rd ed.). Cambridge University Press, Cambridge, ss. 1130.
217. **Stankiewicz-Kosyl M., Ciępka A.** 2014. Germination characteristics of *Apera spica-venti* biotypes susceptible and resistant to ALS inhibitors. *Landscape Management for Functional Biodiversity, IOBC-WPRS Bulletin*, 100; 127-130.
218. **Stankiewicz-Kosyl M., Haliniarz M., Wrochna M., Synowiec A., Wenda-Piesik A., Tendziagolska E., Sobolewska M., Domaradzki K., Skrzypczak G., Łykowski W., Krysiak M., Bednarczyk M., Marcinkowska K.** 2021. Herbicide Resistance of *Centaurea cyanus* L. in Poland in the Context of Its Management. *Agronomy* 11(10):1954; ss. 17.
219. **Swanton C. J., Nkoa R., Blackshaw R. E.** 2015. Experimental Methods for Crop–Weed Competition Studies. *Weed Sci.*, 63; ss. 11.
220. **Synowiec A., Jop B., Domaradzki K., Podsiadło C., Gawęda D., Waclawowicz R., Wenda-Piesik A., Nowakowski M. M., Bocianowski J., Marcinkowska K., Praczyk T.** 2021. Environmental factors effects on winter wheat competition with herbicide-resistant or susceptible silky bentgrass (*Apera spica-venti* L.) in Poland. *Agronomy*, 11(5):871; ss. 17.
221. **Talská R., Machalová J., Smýkal P., Hron K.** 2020. A comparison of seed germination coefficients using functional regression. *Applications in Plant Sciences*, 8(7): e11366; ss. 11.
222. **Tang Y., Horikoshi M., Li W.** 2016. Ggfortify: Unified interface to visualize statistical result of popular R packages. *R J.* 8, 474–485.
223. **Tétard-Jones C., Sabbadin F., Moss S., Hull R., Neve P., Edwards R.** 2018. Changes in the proteome of the problem weed blackgrass correlating with multiple-herbicide resistance. *The Plant Journal*, 94; 709–720.
224. **Tokarska-Guzik B., Dajdok Z., Zając M., Zając A., Urbisz A., Danielewicz W., Hołdyński C.** 2012. Rośliny obcego pochodzenia w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem gatunków inwazyjnych. Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska, Warszawa, ss. 196.
225. **Travlos I. S., Chachalis D.** 2013. Assessment of glyphosate-resistant horseweed (*Conyza canadensis* L. Cronq.) and fleabane (*Conyza albida* Willd. ex Spreng) populations from perennial crops in Greece. *International Journal of Plant Production*, 7 (4); 665-676.
226. **Travlos I. S., Chachalis D., Economou G.** 2009. Characters for the in situ recognition of some *Conyza* species and glyphosate resistant populations from Greece. *Proceedings of the 2nd International Conference on Novel and Sustainable Weed Management in Arid and Semi-arid Agro-ecosystems*. Santorini, Greece: European Weed Research Society, s. 63.

227. **Travlos I., de Prado R., Chachalis D., Bilalis D. J.** 2020. Editorial: Herbicide Resistance in Weeds: Early Detection, Mechanisms, Dispersal, New Insights and Management Issues. *Front. Ecol. Evol.*, 8:213; ss. 5.
228. **Tursun N., Datta A., Sakinmaz M. S., Kantarci Z., Knezevic S. Z., Chauhan B. S.** 2016. The critical period for weedcontrol in three corn (*Zea mays* L.) types. *Crop Protection* 90; 59-65.
229. **USDA.** 2016. Weed Risk Assessment for *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv. (*Poaceae*) – Common windgrass. United States Department of Agriculture, ver. 1; ss. 24.
230. **Van Etten M. L., Kuester A., Chang S.M., Baucom R.S.** 2016. Fitness costs of herbicide resistance across natural populations of the common morning glory, *Ipomoea purpurea*. *Evolution*, 70; 2199–2210.
231. **Varanasi A., Prasad P. V. V., Jugulam M.** 2016. Impact of Climate Change Factors on Weeds and Herbicide Efficacy. *Adv. Agron.*, 135; 107–146.
232. **Vercellino R. B., Hernández F., Pandolfo C. E., Cantamutto M., Presotto A.** Ecological fitness cost associated with the AHAS Trp574Leu mutation in feral *Raphanus dativus*. *Weed Res.*, 61(3); 210-220.
233. **Vikár D., Mazsu N., Ragályi P., Szalai Z., Lehoczky E.** 2015. Examinations of weedcover in the nyírlugoslong-term field experiment. *Növénytermelés*, 64(suppl); 135-138.
234. **Vila-Aiub M. M.** 2019. Fitness of Herbicide-Resistant Weeds: Current Knowledge and Implications for Management. *Plants*, 8: 469; ss. 11.
235. **Vila-Aiub M. M., Han H., Yu Q., García F., Powles S. B.** 2021. Contrasting plant ecological benefits endowed by naturally occurring EPSPS resistance mutations under glyphosate selection. *Evolutionary Applications*. 2021;00; ss. 11.
236. **Vila-Aiub M. M., Neve P., Powles S. B.** 2005a. Resistance cost of a cytochrome P450 herbicide metabolism mechanism but not an ACCase target site mutation in a multiple resistant *Lolium rigidum* population. *New Phytol.*, 167; 787–796.
237. **Vila-Aiub M. M., Neve P., Powles S. B.** 2009. Fitness costs associated with evolved herbicyd eresistance alleles in plants. *New Phytol.*, 184; 751–767.
238. **Vila-Aiub M. M., Neve P., Roux F.** 2011. A unified approach to the estimation and interpretation of resistance costs in plants. *Heredity*, 107; 386–394.
239. **Vila-Aiub M. M., Neve P., Steadman K. J., Powles S. B.** 2005b. Ecological fitness of a multiple herbicide-resistant *Lolium rigidum* population: Dynamics of seed germination and seedling emergence of resistant and susceptible phenotypes. *New Phytol.*, 184; 751–767.
240. **Waclawowicz R., Tendziagolska E., Synowiec A., Bocianowski J., Podsiadło C., Domaradzki K., Marcinkowska K., Kwiecińska-Poppe E., Piekarczyk M.** 2022. Competition between Winter Wheat and Cornflower (*Centaurea cyanus* L.) Resistant or Susceptible to Herbicides under Varying Environmental Conditions in Poland. *Agronomy*, 12(11): 2751; ss. 23.
241. **Wandscheer A. C. D., Rizzardì M. A., Reichert M.** 2013. Competitive ability of corn in coexistence with goosegrass. *Planta Daninha*, 31(2); 281-289.
242. **Wang R., Han Y., Sun Y., Huang H., Wei S., Huang Z.** 2022. Growth and Competitiveness of ALS-Inhibiting Herbicide-Resistant *Amaranthus retroflexus* L. *Plants*, 11(2639); ss. 7.

243. **Ward J. H. Jr.** 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J. Am. Stat. Assoc.* 58, 236–244.
244. **Warwick S. I., Black L. D., Zilkey B. F.** 1985. Biology of canadian weeds. 72. *Apera spica-venti*. *Plant Sci.*, 65; 711-721.
245. **Wasowicz P., Przedpelska-Wasowicz E. M., Kristinsson H.** 2013. Alien vascular plants in Iceland: Diversity, spatial patterns, temporal trends, and the impact of climate change. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 208(10–12); 648-673.
246. **Weakley A. S.** 2015. *Flora of the Southern and Mid-Atlantic States*. University of North Carolina Herbarium, North Carolina Botanical Garden, University of North Carolina at Chapel Hill, Chapel Hill, NC; ss. 1320.
247. **Weaver S. E., Ivany J. A.** 1998. Economic thresholds for wild radish, wild oat, hemp-nettle and corn spurry in spring barley. *Can J Plant Sci.*, 78; 357–361.
248. **Wenda-Piesik A., Synowiec A., Marcinkowska K., Wrzeńska B., Podsiadło C., Domaradzki K., Kuc P., Kwocińska-Poppe E.** 2022. Intra- and interspecies competition of blackgrass and wheat in the context of herbicidal resistance and environmental conditions in Poland. *Sci Rep.*, 12:8720; ss. 16.
249. **Westwood J. H., Charudattan R., Duke S. O., Fennimore S. A., Marrone P., Slaughter D. C., Swanton C., Zollinger R.** 2018. Weed management in 2050: perspectives on the future of weed science. *Weed Sci.*, 66; 275–288.
250. **Woźnica Z.** 2012. *Herbologia. Podstawy biologii, ekologii i zwalczania chwastów*. Powszechnie Wydawnictwo Rolnicze i Leśne Sp. z o.o., Poznań, ss. 440.
251. **Wrzeńska B., Kościelniak K., Frąckowiak P., Praczyk T., Obrepalska-Stęplowska A.** 2021. The analysis of reference genes expression stability in susceptible and resistant *Apera spica-venti* populations under herbicide treatment. *Sci. Rep.*, 11(1): 22145; ss. 14.
252. **Wu C., Davis A. S., Tranel P. J.** 2018. Limited fitness costs of herbicide resistance traits in *Amaranthus tuberculatus* facilitate resistance evolution. *Pest Manag. Sci.*, 74(2); 293–301.
253. **Wu X., Zhang T., Pan L., Wang L., Xu H., Dong L.** 2016. Germination Requirements Differ Between Fenoxaprop-Pethyl Resistant and Susceptible Japanese Foxtail (*Alopecurus japonicus*) Biotypes. *Weed Sci.*, 64; 653-663.
254. **Younginger B.S., Sirová D., Cruzan M.B., Ballhorn D. J.** 2017. Is biomass a reliable estimate of plant fitness? *Appl Plant Sci*, 5(2):1600094; ss. 8.
255. **Zangeneh H. S., Chamanabad H. R. M., Zand E., Alcántara-de la Cruz R., Travlos I. S., De Prado R., Alebrahim M. T.** 2018. Clodinafop-Propargyl Resistance Genes in *Lolium rigidum* Quad. Populations Are Associated with Fitness Costs. *Agronomy*, 8(106); ss. 18.
256. **Zeller A. K., Zeller Y. I., Gerhards R.** 2021. A long-term study of crop rotations, herbicide strategies and tillage practices: Effects on *Alopecurus myosuroides* Huds. Abundance and contribution margins of the cropping systems. *Crop Protection*, 145: 105613; ss. 8.
257. **Zemanek, J.** 1980. The control of silkybent and dicotyledonous weeds in cereal crops. [W]: *Wheat documenta*. Ciba-Geigy, Ltd. Basle; 46-49.

258. **Ziarnicka-Wojtaszek A.** 2012. Porównanie wybranych wskaźników oceny suszy atmosferycznej na obszarze województwa podkarpackiego (1901-2000). *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, t. 12, z. 2(38); 367-376.
259. **Ziska L. H., Blumenthal D. M., Franks S. J.** 2019. Understanding the nexus of rising CO₂, climate change, and evolution in weed biology. *Invasive Plant Sci Manag*, 12; 79–88.

Źródła internetowe:

1. **BIOHEROD IOR-PIB.** 2022. Projekt pt. „Strategia przeciwdziałania uodpornianiu się chwastów na herbicydy jako istotny czynnik zapewnienia zrównoważonego rozwoju agroekosystemu” akronim BioHerOd*, <http://bioherod.iorpib.poznan.pl/>, [wgląd: 02.02.2022].
2. **DANKO.** 2022. Danko – Krajowa Grupa Spożywcza, <https://danko.pl/odmiany/arkadia/>, [wgląd: 02.02.2022].
3. **GEOMAŁOPOLSKA.** 2023. Małopolska Infrastruktura Informacji Przestrzennej. Geoportal Małopolski. Mapa glebowo-rolnicza. <https://miip.geomalopolska.pl/>, [wgląd 23.03.2023].
4. **Heap I.** 2023. The International Herbicide-Resistant Weed Database. www.weedscience.org, [wgląd 06.02.2023].
5. **HRAC GLOBAL.** 2022. Herbicide Resistance Action Commite. <https://www.hracglobal.com/>, [wgląd: 02.02.2022].
6. **HRAC GLOBAL.** 2023. Herbicide Resistance Action Commite. <https://www.hracglobal.com/>, [wgląd: 06.02.2023].
7. **ITIS.** 2021. Integrated Taxonomic Information System – Report. https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=41399#null, [wgląd: 12.02.2021].
8. **Luneva N, Budrevskaya I. A.** 2021. *Apera spica-venti* (L). Beauv. Silky Bentgrass, Wind-Grass. Agro Atlas. http://www.agroatlas.ru/en/content/weeds/Apera_spica-venti/index.html, [wgląd: 12.02. 2021].
9. **MRiRW.** 2023. Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi. <https://www.gov.pl/web/rolnictwo>, [wgląd: 06.02.2023].
10. **R Core Team.** 2019. R: A Language and Environment for Statistical Computing (R Foundation for Statistical Computing). <https://www.R-project.org>, [wgląd: 02.11.2022].
11. **The Plant List.** 2021. A working list of all plant species. <http://www.theplantlist.org/tpl1.1/record/kew-394118?ref=tpl1>, [wgląd: 12.02.2021].
12. **WSSA.** 2022. Weed Science Society of America. <https://wssa.net/>, [wgląd: 07.08.2022].

Spis rycin

| | |
|--|----|
| Rycina 1. Miotła zbożowa (<i>Apera spica-venti</i> (L.) P. Beauv) | 13 |
| Rycina 2. Układ doświadczenia dla substytucyjnego modelu konkurencji między biotypami miotły zbożowej oraz między pszenicą ozimą a chwastem w jednakowych warunkach siedliskowych | 32 |
| Rycina 3. Schemat punktowego wysiewu ziarniaków roślin testowych w wazonach w przypadku substytucyjnego modelu konkurencji..... | 35 |
| Rycina 4. Układ doświadczenia dla addytywnego modelu konkurencji pomiędzy pszenicą ozimą a biotypami miotły zbożowej, w zależności od substratu glebowego oraz poziomu nawożenia | 36 |
| Rycina 5. Schemat punktowego wysiewu ziarniaków roślin testowych w wazonach w przypadku addytywnego modelu konkurencyjności | 38 |
| Rycina 6. Modele konkurencji dla eksperymentów serii substytucyjnej | 45 |
| Rycina 7. Dynamika kiełkowania biotypów miotły zbożowej w serii jesiennej w trzech zakresach stałych temperatur 8°C(A), 18°C(B), 28°C(C). | 56 |
| Rycina 8. Dynamika kiełkowania biotypów miotły zbożowej serii wiosennej w trzech zakresach stałych temperatur 8°C(A), 18°C(B), 28°C(C)..... | 59 |
| Rycina 9. Rozmieszczenie analizowanych biotypów miotły zbożowej w serii jesiennej w trzech różnych zakresach stałych temperatur 8-18-28°C w układzie dwóch pierwszych zmiennych kanonicznych na podstawie badanych wskaźników kiełkowania | 79 |
| Rycina 10. Rozmieszczenie analizowanych biotypów miotły zbożowej w serii jesiennej, niezależnie od zakresu temperatur, w układzie dwóch pierwszych zmiennych kanonicznych na podstawie badanych wskaźników kiełkowania | 80 |
| Rycina 11. Rozmieszczenie analizowanych biotypów miotły zbożowej w serii wiosennej w trzech różnych zakresach stałych temperatur 8-18-28°C w układzie dwóch pierwszych zmiennych kanonicznych na podstawie badanych wskaźników kiełkowania..... | 83 |
| Rycina 12. Rozmieszczenie analizowanych biotypów miotły zbożowej w serii wiosennej, niezależnie od zakresu temperatur w układzie dwóch pierwszych zmiennych kanonicznych na podstawie badanych wskaźników kiełkowania | 84 |
| Rycina 13. Przebieg faz rozwojowych pszenicy ozimej odm. Arkadia i miotły zbożowej odpornej na stosowanie herbicydów (R) w doświadczeniu wazonowym – model substytucyjny, w okresie wegetacji jesiennej, sezon 2018/2019 | 88 |
| Rycina 14. Przebieg faz rozwojowych pszenicy ozimej odm. Arkadia i miotły zbożowej wrażliwej na stosowanie herbicydów (S) w doświadczeniu wazonowym – model substytucyjny, w okresie wegetacji jesiennej, sezon 2018/2019 | 89 |
| Rycina 15. Przebieg faz rozwojowych pszenicy ozimej odm. Arkadia i miotły zbożowej odpornej na stosowanie herbicydów (R) w doświadczeniu wazonowym – model substytucyjny, w okresie wegetacji wiosennej, sezon 2018/2019 | 91 |
| Rycina 16. Przebieg faz rozwojowych pszenicy ozimej odm. Arkadia i miotły zbożowej wrażliwej na stosowanie herbicydów (S) w doświadczeniu wazonowym – model substytucyjny, w okresie wegetacji wiosennej, sezon 2018/2019 | 92 |

| | |
|--|-----|
| Rycina 17. Przebieg faz rozwojowych pszenicy ozimej odm. Arkadia i miotły zbożowej odpornej na stosowanie herbicydów (R) w doświadczeniu wazonowym – model substytucyjny, w okresie wegetacji jesiennej, sezon 2019/2020 | 95 |
| Rycina 18. Przebieg faz rozwojowych pszenicy ozimej odm. Arkadia i miotły zbożowej wrażliwej na stosowanie herbicydów (S) w doświadczeniu wazonowym – model substytucyjny, w okresie wegetacji jesiennej, sezon 2019/2020 | 96 |
| Rycina 19. Przebieg faz rozwojowych pszenicy ozimej odm. Arkadia i miotły zbożowej odpornej na stosowanie herbicydów (R) w doświadczeniu wazonowym – model substytucyjny, w okresie wegetacji wiosennej, sezon 2019/2020 | 98 |
| Rycina 20. Przebieg faz rozwojowych pszenicy ozimej odm. Arkadia i miotły zbożowej wrażliwej na stosowanie herbicydów (S) w doświadczeniu wazonowym – model substytucyjny, w okresie wegetacji wiosennej, sezon 2019/2020 | 99 |
| Rycina 21. Substytucyjny model konkurencji względnych wartościwybranych parametrów pszenicy ozimej i miotły zbożowej w sezonie wegetacyjnym 2018/2019..... | 101 |
| Rycina 22. Substytucyjny model konkurencji względnych wartości wybranych parametrów pszenicy ozimej i miotły zbożowej w sezonie wegetacyjnym 2019/2020..... | 103 |
| Rycina 23. Przebieg faz rozwojowych roślin w okresie wegetacji jesiennej (sezon 2018/2019) w doświadczeniu wazonowym – model addytywny. Kombinacja: gleba lekka, poziom nawożenia a0 (L-a0)..... | 109 |
| Rycina 24. Przebieg faz rozwojowych roślin w okresie wegetacji jesiennej (sezon 2018/2019) w doświadczeniu wazonowym – model addytywny. Kombinacja: gleba lekka, poziom nawożenia a1 (L-a1)..... | 110 |
| Rycina 25. Przebieg faz rozwojowych roślin w okresie wegetacji jesiennej (sezon 2018/2019) w doświadczeniu wazonowym – model addytywny. Kombinacja: gleba ciężka, poziom nawożenia a0 (C-a0) | 111 |
| Rycina 26. Przebieg faz rozwojowych roślin w okresie wegetacji jesiennej (sezon 2018/2019) w doświadczeniu wazonowym – model addytywny. Kombinacja: gleba ciężka, poziom nawożenia a1 (C-a1) | 112 |
| Rycina 27. Przebieg faz rozwojowych roślin w okresie wegetacji wiosennej (sezon 2018/2019) w doświadczeniu wazonowym – model addytywny. Kombinacja: gleba lekka, poziom nawożenia a0 (L-a0)..... | 114 |
| Rycina 28. Przebieg faz rozwojowych roślin w okresie wegetacji wiosennej (sezon 2018/2019) w doświadczeniu wazonowym – model addytywny. Kombinacja: gleba lekka, poziom nawożenia a1 (L-a1)..... | 115 |
| Rycina 29. Przebieg faz rozwojowych roślin w okresie wegetacji wiosennej (sezon 2018/2019) w doświadczeniu wazonowym – model addytywny. Kombinacja: gleba ciężka, poziom nawożenia a0 (C-a0) | 116 |
| Rycina 30. Przebieg faz rozwojowych roślin w okresie wegetacji wiosennej (sezon 2018/2019) w doświadczeniu wazonowym – model addytywny. Kombinacja: gleba ciężka, poziom nawożenia a1 (C-a1) | 117 |

| | |
|---|-----|
| Rycina 31. Przebieg faz rozwojowych roślin w okresie wegetacji jesiennej (sezon 2019/2020) w doświadczeniu wazonowym – model addytywny. Kombinacja: gleba lekka, poziom nawożenia a0 (L-a0)..... | 120 |
| Rycina 32. Przebieg faz rozwojowych roślin w okresie wegetacji jesiennej (sezon 2019/2020) w doświadczeniu wazonowym – model addytywny. Kombinacja: gleba lekka, poziom nawożenia a1 (L-a1)..... | 121 |
| Rycina 33. Przebieg faz rozwojowych roślin w okresie wegetacji jesiennej (sezon 2019/2020) w doświadczeniu wazonowym – model addytywny. Kombinacja: gleba ciężka, poziom nawożenia a0 (C-a0) | 122 |
| Rycina 34. Przebieg faz rozwojowych roślin w okresie wegetacji jesiennej (sezon 2019/2020) w doświadczeniu wazonowym – model addytywny. Kombinacja: gleba ciężka, poziom nawożenia a1 (C-a1) | 123 |
| Rycina 35. Przebieg faz rozwojowych roślin w okresie wegetacji wiosennej (sezon 2019/2020) w doświadczeniu wazonowym – model addytywny. Kombinacja: gleba lekka, poziom nawożenia a0 (L-a0)..... | 125 |
| Rycina 36. Przebieg faz rozwojowych roślin w okresie wegetacji wiosennej (sezon 2019/2020) w doświadczeniu wazonowym – model addytywny. Kombinacja: gleba lekka, poziom nawożenia a1 (L-a1)..... | 126 |
| Rycina 37. Przebieg faz rozwojowych roślin w okresie wegetacji wiosennej (sezon 2019/2020) w doświadczeniu wazonowym – model addytywny. Kombinacja: gleba ciężka, poziom nawożenia a0 (C-a0) | 127 |
| Rycina 38. Przebieg faz rozwojowych roślin w okresie wegetacji wiosennej (sezon 2019/2020) w doświadczeniu wazonowym – model addytywny. Kombinacja: gleba ciężka, poziom nawożenia a0 (C-a0) | 128 |
| Rycina 39. Grupowanie analizowanych obiektów badawczych w sezonie wegetacyjnym 2018/2019 z uwzględnieniem wszystkich badanych wskaźników konkurencyjności | 138 |
| Rycina 40. Grupowanie analizowanych obiektów badawczych w sezonie wegetacyjnym 2019/2020 z uwzględnieniem wszystkich badanych wskaźników konkurencyjności | 139 |
| Rycina 41. Wykres osypiska dla składowych analizy PCA – sezon wegetacyjny 2018/2019 | 140 |
| Rycina 42. Biplot PCA pokazujący związek pomiędzy wskaźnikami konkurencyjności wyliczonymi dla badanych cech pszenicy ozimej a obiektami badawczymi, z uwzględnieniem biotypu miotły zbożowej, typu substratu glebowego oraz poziomu nawożenia – sezon wegetacyjny 2018/2019 | 142 |
| Rycina 43. Wykres osypiska dla składowych analizy PCA – sezon wegetacyjny 2019/2020 | 143 |
| Rycina 44. Biplot PCA pokazujący związek pomiędzy wskaźnikami konkurencyjności wyliczonymi dla badanych cech pszenicy ozimej a obiektami badawczymi, z uwzględnieniem biotypu miotły zbożowej, typu substratu glebowego oraz poziomu nawożenia – sezon wegetacyjny 2019/2020 | 145 |

Spis tabel

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Substancje aktywne herbicydów zalecane do zwalczania chwastów jednoliściennych w uprawach zbóż i rzepaku..... | 17 |
| Tabela 2. Klasyfikacja stopnia odporności chwastów na herbicydy według wartości wskaźnika odporności RI..... | 19 |
| Tabela 3. Charakterystyka biotypów miotły zbożowej (<i>Apera spica-venti</i> (L.) P. Beauv.) wykorzystanych w eksperymentach..... | 29 |
| Tabela 4. Cechy rolniczo-użytkowe oraz odporność na choroby pszenicy ozimej odm. Arkadia stosowanej w doświadczeniach wazonowych..... | 30 |
| Tabela 5. Proporcja konkurujących gatunków, wyrażona stosunkiem liczby poszczególnych roślin testowych w wazonie | 33 |
| Tabela 6. Wykaz pomiarów biometrycznych oraz elementów struktury plonu wykonanych na roślinach pszenicy ozimej i miotły zbożowej (<i>Apera spica-venti</i> (L.) P. Beauv.) testowanych w obu doświadczeniach wazonowych | 41 |
| Tabela 7. Wybrane właściwości fizyko-chemiczne substratów glebowych, wykorzystywanych w doświadczeniach wazonowych | 49 |
| Tabela 8. Wartości temperatur powietrza [°C] i opadów atmosferycznych [mm] według danych pozyskanych w poszczególnych sezonach wegetacyjnych ze stacji meteorologicznych | 52 |
| Tabela 9. Wartości współczynnika hydrotermicznego <i>K</i> dla poszczególnych miesięcy w sezonach wegetacyjnych 2018/2019 i 2019/2020 | 53 |
| Tabela 10. Średnie kwadraty z dwuczynnikowej analizy wariancji w układzie zrandomizowanym dla czynników temperatura kiełkowania i biotyp miotły zbożowej, wyliczone dla sześciu wskaźników kiełkowania w serii jesiennej | 62 |
| Tabela 11. Wartości wskaźnika GRI (wskaźnik szybkości kiełkowania) biotypów miotły zbożowej o różnym poziomie odporności na herbicydy w zależności od temperatury kiełkowania w serii jesiennej (średnia ± odchylenie standardowe; w tabeli zaprezentowano średnią z dwóch serii, n = 6)..... | 63 |
| Tabela 12. Wartości wskaźnika GI (indeks kiełkowania) biotypów miotły zbożowej o różnym poziomie odporności na herbicydy w zależności od temperatury kiełkowania w serii jesiennej (średnia ± odchylenie standardowe; w tabeli zaprezentowano średnią z dwóch serii, n = 6)..... | 64 |
| Tabela 13. Wartości wskaźnika FGP (końcowy procent kiełkowania) biotypów miotły zbożowej o różnym poziomie odporności na herbicydy w zależności od temperatury kiełkowania w serii jesiennej (średnia ± odchylenie standardowe; w tabeli zaprezentowano średnią z dwóch serii, n = 6)..... | 65 |
| Tabela 14. Wartości wskaźnika MGT (średni czas kiełkowania) biotypów miotły zbożowej o różnym poziomie odporności na herbicydy w zależności od temperatury kiełkowania w serii jesiennej (średnia ± odchylenie standardowe; w tabeli zaprezentowano średnią z dwóch serii, n = 6)..... | 66 |
| Tabela 15. Wartości wskaźnika CVG (wskaźnik intensywności kiełkowania) biotypów miotły zbożowej o różnym poziomie odporności na herbicydy w zależności od temperatury kiełkowania w serii jesiennej (średnia ± odchylenie standardowe; w tabeli zaprezentowano średnią z dwóch serii, n = 6) | 67 |

| | |
|---|----|
| Tabela 16. Wartości wskaźnika FDG (pierwszy dzień kiełkowania) biotypów miotły zbożowej o różnym poziomie odporności na herbicydy w zależności od temperatury kiełkowania w serii jesiennej (średnia ± odchylenie standardowe; w tabeli zaprezentowano średnią z dwóch serii, n = 6)..... | 68 |
| Tabela 17. Średnie kwadraty z dwuczynnikowej analizy wariancji w układzie zrandomizowanym dla czynników temperatura kiełkowania i biotyp miotły zbożowej, wyliczone dla sześciu wskaźników kiełkowania w serii wiosennej | 71 |
| Tabela 18. Wartości wskaźnika GRI (wskaźnik szybkości kiełkowania) biotypów miotły zbożowej o różnym poziomie odporności na herbicydy w zależności od temperatury kiełkowania w serii wiosennej (średnia ± odchylenie standardowe; w tabeli zaprezentowano średnią z dwóch serii, n = 6)..... | 72 |
| Tabela 19. Wartości wskaźnika GI (indeks kiełkowania) biotypów miotły zbożowej o różnym poziomie odporności na herbicydy w zależności od temperatury kiełkowania w serii wiosennej (średnia ± odchylenie standardowe; w tabeli zaprezentowano średnią z dwóch serii, n = 6)..... | 73 |
| Tabela 20. Wartości wskaźnika FGP (końcowy procent kiełkowania) biotypów miotły zbożowej o różnym poziomie odporności na herbicydy w zależności od temperatury kiełkowania w serii wiosennej (średnia ± odchylenie standardowe; w tabeli zaprezentowano średnią z dwóch serii, n = 6) | 74 |
| Tabela 21. Wartości wskaźnika MGT (średni czas kiełkowania) biotypów miotły zbożowej o różnym poziomie odporności na herbicydy w zależności od temperatury kiełkowania w serii wiosennej (średnia ± odchylenie standardowe; w tabeli zaprezentowano średnią z dwóch serii, n = 6)..... | 75 |
| Tabela 22. Wartości wskaźnika CVG (wskaźnik intensywności kiełkowania) biotypów miotły zbożowej o różnym poziomie odporności na herbicydy w zależności od temperatury kiełkowania w serii wiosennej (średnia ± odchylenie standardowe; w tabeli zaprezentowano średnią z dwóch serii, n = 6) | 76 |
| Tabela 23. Wartości wskaźnika FDG (pierwszy dzień kiełkowania) biotypów miotły zbożowej o różnym poziomie odporności na herbicydy w zależności od temperatury kiełkowania w serii wiosennej (średnia ± odchylenie standardowe; w tabeli zaprezentowano średnią z dwóch serii, n = 6) | 77 |
| Tabela 24. Współczynniki korelacji między dwiema pierwszymi zmiennymi kanonicznymi, a wskaźnikami kiełkowania testowanych biotypów miotły zbożowej z uwzględnieniem trzech zastosowanych temperatur kiełkowania – seria jesienna | 78 |
| Tabela 25. Współczynniki korelacji między dwiema pierwszymi zmiennymi kanonicznymi a wskaźnikami kiełkowania testowanych biotypów miotły zbożowej bez względu na zastosowaną temperaturę podczas kiełkowania – seria jesienna..... | 80 |
| Tabela 26. Odległości Mahalanobisa (MD) dla testowanych biotypów miotły zbożowej (<i>A. spica-venti</i> (L.) P. Beauv.) wrażliwych i odpornych na herbicydy w serii jesiennej, niezależnie od zakresu temperatur | 81 |
| Tabela 27. Współczynniki korelacji między dwiema pierwszymi zmiennymi kanonicznymi, a wskaźnikami kiełkowania testowanych biotypów miotły zbożowej z uwzględnieniem trzech zastosowanych temperatur kiełkowania - seria wiosenna..... | 82 |
| Tabela 28. Współczynniki korelacji między dwiema pierwszymi zmiennymi kanonicznymi a wskaźnikami kiełkowania testowanych biotypów miotły zbożowej bez względu na zastosowaną temperaturę podczas kiełkowania – seria wiosenna..... | 84 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 29. Odległości Mahalanobisa (MD) dla testowanych biotypów miotły zbożowej (<i>A. spica-venti</i> (L.) P. Beauv.) wrażliwych i odpornych na herbicydy w serii jesiennej, niezależnie od zakresu temperatur | 85 |
| Tabela 30. Terminy siewu, wschodu oraz zbioru roślin testowanych w doświadczeniu wazonowym - model substytucyjny | 86 |
| Tabela 31. Terminy siewu, wschodów oraz zbioru pszenicy ozimej i miotły zbożowej w doświadczeniu wazonowym – sezon wegetacyjny 2018/2019, model addytywny | 104 |
| Tabela 32. Terminy siewu, wschodów oraz zbioru pszenicy ozimej i miotły zbożowej w doświadczeniu wazonowym – sezon wegetacyjny 2019/2020, model addytywny | 105 |
| Tabela 33. Średnie wartości wskaźnika konkurencyjnego oddziaływania miotły zbożowej na wybrane cechy pszenicy ozimej (K_{cu}) – sezon wegetacyjny 2018/2019 | 131 |
| Tabela 34. Średnie wartości wskaźnika wypierania pszenicy ozimej przez miotłę zbożową (K_{wu}) oraz wskaźnika ograniczania produktywności pszenicy ozimej przez miotłę zbożową (K_{ou}) – sezon wegetacyjny 2018/2019 | 132 |
| Tabela 35. Średnie wartości wskaźnika konkurencyjnego oddziaływania miotły zbożowej na wybrane cechy pszenicy ozimej (K_{cu}) – sezon wegetacyjny 2019/2020 | 135 |
| Tabela 36. Średnie wartości wskaźnika wypierania pszenicy ozimej przez miotłę zbożową (K_{wu}) oraz wskaźnika ograniczania produktywności pszenicy ozimej przez miotłę zbożową (K_{ou}) - sezon wegetacyjny 2019/2020 | 136 |
| Tabela 37. Ładunki poszczególnych zmiennych w obrębie składowych analizy PCA - sezon wegetacyjny 2018/2019 | 140 |
| Tabela 38. Ładunki poszczególnych zmiennych w obrębie składowych analizy PCA - sezon wegetacyjny 2019/2020 | 143 |
| Tabela 39. Średnia liczba ziarniaków analizowanych biotypów miotły zbożowej, jaka skielkowała w danym dniu obserwacji – temperatura 8°C, seria jesienna..... | 184 |
| Tabela 40. Średnia liczba ziarniaków analizowanych biotypów miotły zbożowej, jaka skielkowała w danym dniu obserwacji – temperatura 18°C, seria jesienna..... | 185 |
| Tabela 41. Średnia liczba ziarniaków analizowanych biotypów miotły zbożowej, jaka skielkowała w danym dniu obserwacji – temperatura 28°C, seria jesienna..... | 186 |
| Tabela 42. Średnia liczba ziarniaków analizowanych biotypów miotły zbożowej, jaka skielkowała w danym dniu obserwacji – temperatura 8°C, seria wiosenna..... | 187 |
| Tabela 43. Średnia liczba ziarniaków analizowanych biotypów miotły zbożowej, jaka skielkowała w danym dniu obserwacji – temperatura 18°C, seria wiosenna..... | 188 |
| Tabela 44. Średnia liczba ziarniaków analizowanych biotypów miotły zbożowej, jaka skielkowała w danym dniu obserwacji – temperatura 28°C, seria wiosenna..... | 189 |
| Tabela 45. Kod faz fitofenologicznych obserwowanych podczas rozwoju roślin testowych w doświadczeniach wazonowych, wyrażony w skali BBCH wraz z jego opisem. Tabelę opracowano na podstawie klucza identyfikacji stadium rozwojowych roślin jedno- i dwuliściennych | 190 |
| Tabela 46. Wyniki testu t-Studenta do porównania obserwowanych i rzeczywistych relatywnych cech miotły odpornej na stosowanie herbicydów (R) w konkurencji z pszenicą ozimą odm. Arkadia, w układzie substytucyjnym, w sezonie wegetacyjnym 2018/2019 | 191 |

Tabela 47. Wyniki testu t-Studenta do porównania obserwowanych i rzeczywistych relatywnych cech miotły wrażliwej na stosowanie herbicydów (S) w konkurencji z pszenicą ozimą odm. Arkadia, w układzie substytucyjnym, w sezonie wegetacyjnym 2018/2019.....191

Tabela 48. Wyniki testu t-Studenta do porównania obserwowanych i rzeczywistych relatywnych cech miotły odpornej na stosowanie herbicydów (R) w konkurencji z pszenicą ozimą odm. Arkadia, w układzie substytucyjnym, w sezonie wegetacyjnym 2019/2020.....192

Tabela 49. Wyniki testu t-Studenta do porównania obserwowanych i rzeczywistych relatywnych cech miotły wrażliwej na stosowanie herbicydów (S) w konkurencji z pszenicą ozimą odm. Arkadia, w układzie substytucyjnym, w sezonie wegetacyjnym 2019/2020.....192

Materialy dodatkowe

Tabela 39. Średnia liczba ziarniaków analizowanych biotypów miotły zbożowej, jaka skielkowała w danym dniu obserwacji – temperatura 8°C, seria jesienna

| 184 | A - 8°C | | Dzień kiełkowania | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------------|---------|-------------------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|
| | | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | | 8 | | 9 | |
| | Biotyp | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia |
| S1 | 0 | 0,000 | 0 | 0,516 | 3 | 1,871 | 7 | 1,414 | 7 | 2,538 | 5 | 1,637 | 2 | 2,099 | 2 | 1,227 | 1 | 1,892 | 1 | 0,607 |
| S2 | 0 | 0,000 | 0 | 0,718 | 2 | 1,536 | 5 | 0,753 | 6 | 1,211 | 3 | 0,816 | 4 | 0,753 | 3 | 1,265 | 3 | 0,000 | 1 | 0,837 |
| S3 | 0 | 0,000 | 1 | 0,778 | 3 | 1,087 | 4 | 1,467 | 5 | 1,030 | 5 | 0,793 | 4 | 1,337 | 3 | 1,586 | 2 | 1,485 | 0 | 0,515 |
| B-1 | 0 | 0,000 | 0 | 0,408 | 1 | 1,506 | 10 | 3,332 | 7 | 1,378 | 5 | 2,137 | 2 | 1,265 | 1 | 0,816 | 1 | 0,983 | 0 | 0,408 |
| B-2 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 | 2 | 0,816 | 5 | 1,472 | 11 | 1,169 | 6 | 1,033 | 2 | 0,516 | 1 | 0,408 | 1 | 0,548 | 0 | 0,408 |
| B-3 | 0 | 0,000 | 0 | 0,408 | 2 | 1,378 | 5 | 1,506 | 6 | 0,894 | 5 | 1,722 | 3 | 0,816 | 2 | 1,033 | 1 | 0,632 | 1 | 0,516 |
| B-4 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 | 1 | 0,894 | 3 | 1,643 | 5 | 1,975 | 4 | 0,408 | 5 | 1,966 | 3 | 0,548 | 1 | 0,894 | 1 | 0,837 |
| BB-1 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 | 1 | 0,816 | 5 | 1,366 | 5 | 0,548 | 6 | 2,658 | 3 | 1,378 | 1 | 0,753 | 0 | 0,516 |
| BB-2 | 0 | 0,000 | 2 | 1,517 | 3 | 1,633 | 5 | 1,506 | 5 | 2,875 | 5 | 1,472 | 2 | 0,894 | 1 | 0,000 | 0 | 2,954 | 1 | 0,548 |
| BB-3 | 0 | 0,000 | 1 | 0,816 | 3 | 1,414 | 10 | 2,658 | 6 | 1,789 | 5 | 1,033 | 2 | 2,338 | 1 | 0,816 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 |
| AB-1 | 0 | 0,000 | 1 | 0,894 | 4 | 2,345 | 12 | 3,502 | 7 | 2,168 | 3 | 0,753 | 1 | 0,753 | 0 | 0,516 | 0 | 0,000 | 0 | 0,516 |
| AB-2 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 | 1 | 0,816 | 3 | 0,548 | 8 | 2,168 | 6 | 0,894 | 3 | 0,816 | 2 | 1,211 | 1 | 0,816 | 0 | 0,516 |
| AB-3 | 0 | 0,000 | 0 | 0,516 | 2 | 1,897 | 4 | 2,098 | 6 | 1,549 | 5 | 1,049 | 4 | 2,639 | 2 | 0,837 | 1 | 0,548 | 0 | 0,408 |

Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, BB – biotypy z odpornością krzyżową, AB – biotypy z odpornością wielokrotną średnie wartości dla obu serii, s.d. – odchylenie standardowe

Tabela 40. Średnia liczba ziarniaków analizowanych biotypów miotły zbożowej, jaka skiełkowała w danym dniu obserwacji – temperatura 18°C, seria jesienna

| B - 18°C | | Dzień kiełkowania | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|---------|-------------------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|--|
| | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | | 8 | | 9 | | 10 | |
| Biotyp | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | |
| S1 | 0 | 0,000 | 8 | 1,871 | 7 | 1,169 | 4 | 1,366 | 2 | 1,962 | 2 | 1,081 | 1 | 1,106 | 0 | 0,634 | 0 | 0,811 | 0 | 0,463 | |
| S2 | 0 | 0,000 | 2 | 5,464 | 3 | 2,953 | 3 | 0,632 | 3 | 1,722 | 2 | 0,894 | 1 | 0,408 | 1 | 0,516 | 0 | 0,408 | 0 | 0,000 | |
| S3 | 0 | 0,000 | 2 | 1,311 | 3 | 1,303 | 3 | 0,622 | 4 | 2,050 | 2 | 1,084 | 2 | 0,718 | 1 | 0,515 | 0 | 0,522 | 0 | 0,577 | |
| B-1 | 0 | 0,000 | 12 | 2,074 | 7 | 1,673 | 3 | 1,506 | 2 | 0,516 | 1 | 0,000 | 1 | 0,516 | 0 | 0,408 | 0 | 0,408 | 0 | 0,000 | |
| B-2 | 0 | 0,000 | 11 | 3,141 | 6 | 2,074 | 5 | 2,639 | 2 | 1,329 | 1 | 0,632 | 0 | 0,816 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 | |
| B-3 | 0 | 0,000 | 4 | 3,141 | 3 | 1,265 | 4 | 1,897 | 2 | 0,816 | 1 | 0,408 | 1 | 0,000 | 0 | 0,516 | 0 | 0,408 | 0 | 0,000 | |
| B-4 | 0 | 0,000 | 4 | 2,898 | 4 | 1,871 | 4 | 1,414 | 4 | 1,265 | 2 | 1,265 | 1 | 0,632 | 1 | 0,816 | 0 | 0,408 | 0 | 0,000 | |
| BB-1 | 0 | 0,000 | 4 | 6,713 | 3 | 1,549 | 3 | 1,414 | 5 | 2,898 | 3 | 1,722 | 2 | 1,414 | 1 | 0,408 | 1 | 0,408 | 0 | 0,516 | |
| BB-2 | 0 | 0,000 | 15 | 2,483 | 8 | 1,871 | 3 | 1,633 | 3 | 0,548 | 0 | 0,408 | 0 | 0,408 | 0 | 0,000 | 0 | 1,318 | 0 | 0,000 | |
| BB-3 | 0 | 0,000 | 9 | 1,169 | 6 | 1,602 | 4 | 1,673 | 2 | 1,169 | 1 | 0,516 | 1 | 0,516 | 0 | 0,408 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 | |
| AB-1 | 0 | 0,000 | 12 | 4,680 | 7 | 3,601 | 4 | 1,378 | 2 | 1,049 | 1 | 0,983 | 0 | 0,516 | 0 | 0,408 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 | |
| AB-2 | 0 | 0,000 | 11 | 3,406 | 6 | 1,378 | 2 | 1,169 | 2 | 1,033 | 1 | 0,632 | 1 | 0,548 | 0 | 0,516 | 0 | 0,408 | 0 | 0,000 | |
| AB-3 | 0 | 0,000 | 7 | 2,665 | 6 | 2,608 | 2 | 1,506 | 2 | 0,983 | 2 | 0,816 | 1 | 0,408 | 0 | 0,516 | 0 | 0,408 | 0 | 0,000 | |

Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, BB – biotypy z odpornością krzyżową, AB – biotypy z odpornością wielokrotną średnie wartości dla obu serii, s.d. – odchylenie standardowe

Tabela 41. Średnia liczba ziarniaków analizowanych biotypów miotły zbożowej, jaka skiełkowała w danym dniu obserwacji – temperatura 28°C, seria jesienna

| Biotyp | C - 28°C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|-------------------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| | Dzień kiełkowania | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | | 8 | | 9 | | 10 | |
| | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. |
| S1 | 0 | 0,000 | 4 | 1,602 | 12 | 1,472 | 5 | 0,816 | 2 | 1,778 | 1 | 0,670 | 1 | 1,228 | 0 | 0,522 | 0 | 0,916 | 0 | 0,240 |
| S2 | 0 | 0,000 | 2 | 1,374 | 7 | 3,522 | 5 | 0,548 | 4 | 0,408 | 2 | 0,837 | 2 | 0,408 | 1 | 0,516 | 0 | 0,408 | 0 | 0,000 |
| S3 | 0 | 0,000 | 2 | 1,379 | 6 | 1,288 | 5 | 1,138 | 4 | 0,515 | 2 | 0,835 | 1 | 0,515 | 1 | 0,522 | 0 | 0,452 | 0 | 0,000 |
| B-1 | 0 | 0,000 | 4 | 0,408 | 13 | 2,714 | 6 | 1,225 | 4 | 1,033 | 2 | 0,548 | 2 | 0,548 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 |
| B-2 | 0 | 0,000 | 3 | 0,516 | 7 | 1,049 | 6 | 1,225 | 3 | 0,516 | 1 | 0,000 | 1 | 0,408 | 1 | 0,548 | 0 | 0,408 | 0 | 0,000 |
| B-3 | 0 | 0,000 | 3 | 0,548 | 8 | 0,632 | 6 | 0,548 | 2 | 0,516 | 2 | 0,408 | 2 | 0,516 | 1 | 0,548 | 0 | 0,408 | 0 | 0,000 |
| B-4 | 0 | 0,000 | 2 | 0,548 | 7 | 0,516 | 5 | 0,516 | 3 | 0,548 | 2 | 0,516 | 2 | 0,816 | 1 | 0,408 | 0 | 0,516 | 0 | 0,000 |
| BB-1 | 0 | 0,000 | 2 | 1,211 | 6 | 0,837 | 7 | 1,211 | 3 | 0,516 | 1 | 0,000 | 1 | 0,816 | 1 | 0,548 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 |
| BB-2 | 0 | 0,000 | 3 | 0,837 | 14 | 2,429 | 6 | 1,225 | 5 | 0,516 | 1 | 0,000 | 1 | 0,000 | 1 | 0,516 | 0 | 1,663 | 0 | 0,000 |
| BB-3 | 0 | 0,000 | 2 | 0,632 | 7 | 1,169 | 5 | 1,169 | 4 | 0,516 | 2 | 0,753 | 2 | 0,837 | 1 | 0,516 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 |
| AB-1 | 0 | 0,000 | 4 | 0,816 | 13 | 0,894 | 7 | 0,837 | 4 | 0,000 | 2 | 0,000 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 |
| AB-2 | 0 | 0,000 | 3 | 1,366 | 6 | 0,983 | 5 | 1,225 | 3 | 0,000 | 2 | 0,516 | 2 | 0,837 | 1 | 0,632 | 0 | 0,408 | 0 | 0,000 |
| AB-3 | 0 | 0,000 | 2 | 0,516 | 6 | 0,548 | 5 | 0,632 | 4 | 0,516 | 1 | 0,516 | 1 | 0,000 | 1 | 0,548 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 |

Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, BB – biotypy z odpornością krzyżową, AB – biotypy z odpornością wielokrotną średnie wartości dla obu serii, s.d. – odchylenie standardowe

Tabela 42. Średnia liczba ziarniaków analizowanych biotypów miotły zbożowej, jaka skiełkowała w danym dniu obserwacji – temperatura 8°C, seria wiosenna

| Biotyp | A - 8°C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|-------------------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| | Dzień kiełkowania | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | | 8 | | 9 | | 10 | |
| | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. |
| S1 | 0 | 0,000 | 0 | 0,516 | 3 | 0,816 | 6 | 0,753 | 7 | 2,287 | 4 | 1,735 | 2 | 1,565 | 2 | 1,021 | 1 | 1,700 | 0 | 0,481 |
| S2 | 0 | 0,000 | 0 | 0,665 | 3 | 1,577 | 5 | 1,329 | 6 | 0,753 | 4 | 0,837 | 3 | 1,549 | 2 | 1,506 | 2 | 0,816 | 0 | 0,408 |
| S3 | 0 | 0,000 | 1 | 0,888 | 3 | 0,905 | 4 | 0,937 | 5 | 1,403 | 5 | 1,044 | 4 | 1,193 | 3 | 1,288 | 1 | 0,888 | 0 | 0,452 |
| B-1 | 0 | 0,000 | 0 | 0,816 | 2 | 1,506 | 7 | 1,265 | 7 | 1,169 | 5 | 1,169 | 3 | 1,049 | 1 | 0,516 | 1 | 0,516 | 0 | 0,408 |
| B-2 | 0 | 0,000 | 0 | 0,408 | 2 | 1,033 | 5 | 0,753 | 9 | 1,506 | 6 | 1,602 | 3 | 0,816 | 1 | 0,408 | 1 | 0,408 | 0 | 0,000 |
| B-3 | 0 | 0,000 | 0 | 0,516 | 2 | 1,033 | 6 | 1,366 | 7 | 1,169 | 6 | 1,265 | 2 | 0,816 | 1 | 0,408 | 1 | 0,000 | 0 | 0,408 |
| B-4 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 | 1 | 0,894 | 3 | 0,753 | 5 | 1,049 | 5 | 0,516 | 4 | 1,169 | 2 | 0,632 | 1 | 0,516 | 0 | 0,516 |
| BB-1 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 | 0 | 0,516 | 2 | 1,033 | 4 | 1,941 | 5 | 0,816 | 6 | 1,378 | 3 | 0,816 | 1 | 0,753 | 0 | 0,516 |
| BB-2 | 0 | 0,000 | 1 | 0,983 | 5 | 0,816 | 6 | 1,169 | 5 | 1,633 | 4 | 0,816 | 2 | 0,408 | 1 | 0,408 | 1 | 2,803 | 0 | 0,000 |
| BB-3 | 0 | 0,000 | 0 | 0,516 | 3 | 0,753 | 10 | 2,828 | 7 | 1,517 | 5 | 1,378 | 2 | 0,816 | 1 | 0,000 | 1 | 0,548 | 0 | 0,000 |
| AB-1 | 0 | 0,000 | 1 | 1,265 | 4 | 1,673 | 12 | 1,366 | 6 | 3,464 | 2 | 1,329 | 1 | 0,408 | 1 | 0,548 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 |
| AB-2 | 0 | 0,000 | 0 | 0,408 | 1 | 1,366 | 3 | 0,632 | 8 | 1,378 | 6 | 1,633 | 3 | 0,753 | 2 | 0,837 | 1 | 0,548 | 0 | 0,000 |
| AB-3 | 0 | 0,000 | 0 | 0,516 | 2 | 1,049 | 4 | 1,941 | 6 | 1,633 | 4 | 1,095 | 3 | 1,673 | 2 | 0,816 | 1 | 0,516 | 0 | 0,000 |

Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, BB – biotypy z odpornością krzyżową, AB – biotypy z odpornością wielokrotną średnie wartości dla obu serii, s.d. – odchylenie standardowe

Tabela 43. Średnia liczba ziarniaków analizowanych biotypów miotły zbożowej, jaka skiełkowała w danym dniu obserwacji – temperatura 18°C, seria wiosenna

| B - 18°C | | Dzień kiełkowania | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|---------|-------------------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|--|
| | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | | 8 | | 9 | | 10 | |
| Biotyp | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | |
| S1 | 0 | 0,000 | 8 | 1,722 | 8 | 0,894 | 5 | 1,366 | 2 | 1,918 | 1 | 0,849 | 1 | 1,054 | 0 | 0,610 | 0 | 0,736 | 0 | 0,380 | |
| S2 | 0 | 0,000 | 2 | 4,924 | 4 | 2,640 | 3 | 0,408 | 3 | 0,816 | 2 | 0,548 | 1 | 0,548 | 1 | 0,516 | 0 | 0,516 | 0 | 0,000 | |
| S3 | 0 | 0,000 | 2 | 1,215 | 4 | 1,314 | 4 | 0,718 | 4 | 2,094 | 3 | 0,798 | 2 | 0,905 | 1 | 0,669 | 1 | 0,515 | 0 | 0,289 | |
| B-1 | 0 | 0,000 | 11 | 1,751 | 8 | 0,816 | 2 | 0,632 | 2 | 0,516 | 1 | 0,408 | 0 | 0,408 | 0 | 0,408 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 | |
| B-2 | 0 | 0,000 | 11 | 3,061 | 7 | 1,169 | 4 | 1,033 | 1 | 0,753 | 1 | 0,000 | 0 | 0,408 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 | |
| B-3 | 0 | 0,000 | 3 | 2,000 | 4 | 0,816 | 5 | 1,633 | 1 | 0,516 | 1 | 0,753 | 1 | 0,753 | 0 | 0,516 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 | |
| B-4 | 0 | 0,000 | 5 | 2,000 | 4 | 1,602 | 3 | 0,753 | 3 | 1,506 | 1 | 0,632 | 1 | 0,516 | 1 | 0,548 | 0 | 0,408 | 0 | 0,000 | |
| BB-1 | 0 | 0,000 | 1 | 0,632 | 3 | 0,753 | 4 | 1,506 | 6 | 1,049 | 3 | 0,548 | 1 | 0,753 | 1 | 0,753 | 1 | 0,408 | 0 | 0,408 | |
| BB-2 | 0 | 0,000 | 13 | 1,633 | 8 | 1,722 | 2 | 0,983 | 3 | 1,211 | 1 | 0,516 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 | 0 | 1,303 | 0 | 0,000 | |
| BB-3 | 0 | 0,000 | 10 | 1,472 | 8 | 1,225 | 3 | 0,816 | 2 | 0,816 | 1 | 0,548 | 1 | 0,408 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 | |
| AB-1 | 0 | 0,000 | 12 | 2,229 | 7 | 2,137 | 4 | 1,095 | 2 | 0,753 | 1 | 0,753 | 1 | 0,516 | 0 | 0,408 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 | |
| AB-2 | 0 | 0,000 | 10 | 1,633 | 6 | 0,837 | 3 | 1,049 | 2 | 0,408 | 1 | 0,408 | 1 | 0,548 | 0 | 0,516 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 | |
| AB-3 | 0 | 0,000 | 7 | 2,041 | 6 | 1,941 | 2 | 0,816 | 2 | 0,548 | 1 | 0,753 | 1 | 0,632 | 1 | 0,516 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 | |

Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, BB – biotypy z odpornością krzyżową, AB – biotypy z odpornością wielokrotną średnie wartości dla obu serii, s.d. – odchylenie standardowe

Tabela 44. Średnia liczba ziarniaków analizowanych biotypów miotły zbożowej, jaka skiełkowała w danym dniu obserwacji – temperatura 28°C, seria wiosenna

| Biotyp | C - 28°C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|-------------------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| | Dzień kiełkowania | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | | 8 | | 9 | | 10 | |
| | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. | Średnia | s.d. |
| S1 | 0 | 0,000 | 4 | 1,602 | 11 | 1,049 | 5 | 1,033 | 3 | 1,753 | 1 | 0,606 | 1 | 1,195 | 1 | 0,492 | 0 | 0,845 | 0 | 0,285 |
| S2 | 0 | 0,000 | 3 | 1,508 | 8 | 3,186 | 5 | 0,548 | 4 | 0,632 | 1 | 0,753 | 2 | 0,753 | 1 | 0,516 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 |
| S3 | 0 | 0,000 | 1 | 1,193 | 6 | 1,567 | 5 | 0,953 | 4 | 1,055 | 2 | 0,778 | 1 | 0,622 | 1 | 0,452 | 0 | 0,452 | 0 | 0,000 |
| B-1 | 0 | 0,000 | 3 | 0,894 | 12 | 1,169 | 5 | 0,816 | 4 | 1,049 | 1 | 0,516 | 1 | 0,894 | 1 | 0,408 | 0 | 0,408 | 0 | 0,000 |
| B-2 | 0 | 0,000 | 3 | 0,894 | 6 | 0,983 | 5 | 1,366 | 2 | 0,516 | 2 | 0,548 | 1 | 0,753 | 0 | 0,516 | 0 | 0,408 | 0 | 0,000 |
| B-3 | 0 | 0,000 | 2 | 0,632 | 7 | 0,632 | 6 | 1,049 | 2 | 0,894 | 2 | 0,000 | 1 | 0,408 | 1 | 0,516 | 1 | 0,548 | 0 | 0,000 |
| B-4 | 0 | 0,000 | 2 | 1,049 | 7 | 1,472 | 5 | 1,169 | 3 | 1,033 | 1 | 0,516 | 1 | 0,516 | 1 | 0,408 | 0 | 0,408 | 0 | 0,000 |
| BB-1 | 0 | 0,000 | 2 | 1,049 | 6 | 1,033 | 7 | 1,366 | 3 | 0,408 | 2 | 0,516 | 1 | 0,753 | 0 | 0,516 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 |
| BB-2 | 0 | 0,000 | 2 | 1,095 | 13 | 1,472 | 6 | 0,753 | 4 | 1,033 | 1 | 0,516 | 1 | 0,753 | 1 | 0,408 | 0 | 1,430 | 0 | 0,000 |
| BB-3 | 0 | 0,000 | 3 | 1,211 | 7 | 1,049 | 5 | 1,366 | 3 | 0,408 | 2 | 0,548 | 1 | 0,632 | 1 | 0,408 | 0 | 0,516 | 0 | 0,000 |
| AB-1 | 0 | 0,000 | 4 | 1,169 | 12 | 0,894 | 5 | 0,516 | 3 | 0,753 | 2 | 0,753 | 1 | 0,000 | 0 | 0,408 | 0 | 0,408 | 0 | 0,000 |
| AB-2 | 0 | 0,000 | 4 | 1,472 | 7 | 0,753 | 4 | 0,632 | 3 | 0,548 | 1 | 0,408 | 1 | 0,408 | 1 | 0,632 | 0 | 0,516 | 0 | 0,000 |
| AB-3 | 0 | 0,000 | 3 | 0,516 | 6 | 1,049 | 5 | 0,816 | 4 | 1,049 | 1 | 0,408 | 1 | 0,408 | 1 | 0,408 | 0 | 0,000 | 0 | 0,000 |

Legenda: S – biotypy wrażliwe, B – biotypy z odpornością pojedynczą, BB – biotypy z odpornością krzyżową, AB – biotypy z odpornością wielokrotną średnie wartości dla obu serii, s.d. – odchylenie standardowe

Tabela 45. Kod faz fitofenologicznych obserwowanych podczas rozwoju roślin testowych w doświadczeniach wazonowych, wyrażony w skali BBCH wraz z jego opisem. Tabelę opracowano na podstawie klucza identyfikacji stadium rozwojowych roślin jedno- i dwuliściennych [Bleinholder i in. 1997].

| Kod fazy rozwojowej wyrażony skalą BBCH | Opis fazy rozwojowej |
|--|--|
| 10 | początek wschodów/szpillkowanie |
| 11 | rozwinięty 1 liść |
| 12 | rozwinięty 2 liść |
| 13 | rozwinięty 3 liść |
| 14 | rozwinięty 4 liść |
| 21 | widoczne 1 rozkrzewienie |
| 22 | widoczne 2 rozkrzewienia |
| 23 | widoczne 3 rozkrzewienia |
| 24 | widoczne 4 rozkrzewienia |
| 25 | widoczne 5 rozkrzewień |
| 26 | widoczne 6 rozkrzewień |
| 27 | widoczne 7 rozkrzewień |
| 28 | widoczne 8 rozkrzewień |
| 29 | widoczne 9 rozkrzewień |
| 30 | początek wzrostu źdźbła |
| 31 | 1 kolanko co najmniej 1 cm nad węzłem krzewienia |
| 32 | 2 kolanko co najmniej 2 cm nad kolankiem 1 |
| 33 | 3 kolanko co najmniej 2 cm nad kolankiem 2 |
| 34 | 4 kolanko co najmniej 2 cm nad kolankiem 3 |
| 37 | widoczny liść flagowy, jeszcze nie rozwinięty, kłos zaczyna pęcznieć |
| 43 | widoczna nabrzmiąta pochwa liściowa liścia flagowego |
| 51 | początek kłoszenia |
| 53 | odslania się 30% kwiatostanu (kłos/wiecha) |
| 55 | odslania się 50% kwiatostanu, pełnia fazy kłoszenia |
| 57 | odslania się 70% kwiatostanu |

Tabela 46. Wyniki testu t-Studenta do porównania obserwowanych i rzeczywistych relatywnych cech miotły odpornej na stosowanie herbicydów (R) w konkurencji z pszenicą ozimą odm. Arkadia, w układzie substytucyjnym, w sezonie wegetacyjnym 2018/2019

| Cecha | Komponent | Statystyka t | Prawdopodobieństwo |
|---|-----------|--------------|--------------------|
| Relatywna liczba kłosów/wiech na jedną roślinę | RYr | -0.17 | 0.865 |
| | RYpz | -0.27 | 0.791 |
| Relatywna długość pędu | RYr | -0.01 | 0.992 |
| | RYpz | -0.09 | 0.931 |
| Relatywna liczna ziaren w kłosie/nasion na wiechę | RYr | -0.25 | 0.806 |
| | RYpz | -0.27 | 0.791 |
| Relatywny plon ziaren/nasion z jednej rośliny | RYr | -0.62 | 0.537 |
| | RYpz | -1.08 | 0.287 |
| Relatywny plon biomasy z jednej rośliny | RYr | 2.46 | 0.019 |
| | RYpz | 1.29 | 0.205 |

p < 0,05; liczba stopni swobody = 34

Legenda: RYr – relatywna cecha miotły R, RYpz – relatywna cecha pszenicy ozimej

Tabela 47. Wyniki testu t-Studenta do porównania obserwowanych i rzeczywistych relatywnych cech miotły wrażliwej na stosowanie herbicydów (S) w konkurencji z pszenicą ozimą odm. Arkadia, w układzie substytucyjnym, w sezonie wegetacyjnym 2018/2019

| Cecha | Komponent | Statystyka t | Prawdopodobieństwo |
|---|-----------|--------------|--------------------|
| Relatywna liczba kłosów/wiech na jedną roślinę | RYs | -0.19 | 0.854 |
| | RYpz | -0.36 | 0.718 |
| Relatywna długość pędu | RYs | 0.08 | 0.937 |
| | RYpz | -0.05 | 0.959 |
| Relatywna liczna ziaren w kłosie/nasion na wiechę | RYs | -0.06 | 0.955 |
| | RYpz | -0.36 | 0.718 |
| Relatywny plon ziaren/nasion z jednej rośliny | RYs | -0.71 | 0.482 |
| | RYpz | -0.63 | 0.533 |
| Relatywny plon biomasy z jednej rośliny | RYs | 2.21 | 0.034 |
| | RYpz | 1.46 | 0.153 |

p < 0,05; liczba stopni swobody = 34

Legenda: RYs – relatywna cecha miotły S, RYpz – relatywna cecha pszenicy ozimej

Tabela 48. Wyniki testu t-Studenta do porównania obserwowanych i rzeczywistych relatywnych cech miotły odpornej na stosowanie herbicydów (R) w konkurencji z pszenicą ozimą odm. Arkadia, w układzie substytucyjnym, w sezonie wegetacyjnym 2019/2020

| Cecha | Komponent | Statystyka t | Prawdopodobieństwo |
|---|-----------|--------------|--------------------|
| Relatywna liczba kłosów/wiech na jedną roślinę | RYr | -0.41 | 0.687 |
| | RYpz | -0.38 | 0.707 |
| Relatywna długość pędu | RYr | -0.06 | 0.950 |
| | RYpz | 0.10 | 0.922 |
| Relatywna liczna ziaren w kłosie/nasion na wiechę | RYr | -0.43 | 0.673 |
| | RYpz | -0.33 | 0.746 |
| Relatywny plon ziaren/nasion z jednej rośliny | RYr | -1.24 | 0.223 |
| | RYpz | -0.94 | 0.353 |
| Relatywny plon biomasy z jednej rośliny | RYr | 1.86 | 0.071 |
| | RYpz | 1.68 | 0.101 |

$p < 0,05$; liczba stopni swobody = 34

Legenda: RYr – relatywna cecha miotły R, RYpz – relatywna cecha pszenicy ozimej

Tabela 49. Wyniki testu t-Studenta do porównania obserwowanych i rzeczywistych relatywnych cech miotły wrażliwej na stosowanie herbicydów (S) w konkurencji z pszenicą ozimą odm. Arkadia, w układzie substytucyjnym, w sezonie wegetacyjnym 2019/2020

| Cecha | Komponent | Statystyka t | Prawdopodobieństwo |
|---|-----------|--------------|--------------------|
| Relatywna liczba kłosów/wiech na jedną roślinę | RYs | -0.51 | 0.611 |
| | RYpz | -0.32 | 0.753 |
| Relatywna długość pędu | RYs | 0.07 | 0.946 |
| | RYpz | -0.06 | 0.953 |
| Relatywna liczna ziaren w kłosie/nasion na wiechę | RYs | -0.48 | 0.631 |
| | RYpz | -0.32 | 0.753 |
| Relatywny plon ziaren/nasion z jednej rośliny | RYs | -0.90 | 0.376 |
| | RYpz | -1.10 | 0.278 |
| Relatywny plon biomasy z jednej rośliny | RYs | 1.34 | 0.189 |
| | RYpz | 1.11 | 0.276 |

$p < 0,05$; liczba stopni swobody = 34

Legenda: RYs – relatywna cecha miotły S, RYpz – relatywna cecha pszenicy ozimej