



**UNIWERSYTET ROLNICZY**  
**im. Hugona Kollątaja w Krakowie**  
**Wydział Rolniczo-Ekonomiczny**



**Anna Maria Ślizowska**

**Wpływ szczepionki bakteryjnej i rodzaju nawozu azotowego  
na plonowanie, architekturę łanu  
i wybrane wskaźniki wegetacyjne soi**

**Rozprawa doktorska wykonana  
w Katedrze Agroekologii i Produkcji Roślinnej  
pod kierunkiem naukowym  
prof. dr hab. inż. Bogdana Kuliga  
i dr hab. inż. Agnieszki Klimek-Kopyra, prof. URK**

**Kraków, 2023**



*Składam serdeczne podziękowania*

*prof. dr hab. inż. Bogdanowi Kuligowi*

*oraz dr hab. inż. Agnieszce Klimek-Kopyra, prof. URK*

*za wszelką pomoc, zaangażowanie oraz cenne uwagi i sugestie,  
które wpłynęły na ostateczny kształt niniejszej rozprawy doktorskiej,  
jak też za życzliwość okazaną podczas kilkuletniej opieki naukowej.*

*Dziękuję również **Pracownikom Katedry Agroekologii i Produkcji Roślinnej***

*za pomoc w pracach polowych i laboratoryjnych.*

*Pragnę także podziękować moim **Rodzicom**, dzięki którym  
miałam możliwość kształcić się i zdobywać wiedzę oraz którzy  
okazywali mi wsparcie podczas całego okresu trwania studiów.*

## Spis treści

1. Wstęp.....	5
2. Przegląd literatury.....	8
3. Cel pracy.....	18
4. Materiały i metody badań.....	19
4.1. Opis doświadczenia.....	19
4.2. Charakterystyka obiektów doświadczalnych i odmiany soi.....	20
4.3. Warunki siedliskowe.....	22
4.4. Agrotechnika.....	26
4.5. Zakres badań.....	27
4.6. Statystyka.....	30
5. Wyniki badań.....	31
5.1. Plon nasion.....	31
5.2. Zawartość i wydajność tłuszczu.....	32
5.2.1. Zawartość tłuszczu.....	32
5.2.2. Wydajność tłuszczu.....	34
5.3. Zawartość i wydajność białka.....	35
5.3.1. Zawartość białka.....	35
5.3.2. Wydajność białka.....	37
5.4. Składowe plonu.....	40
5.4.1. Liczba roślin przed zbiorem z 1 m <sup>2</sup> .....	40
5.4.2. Liczba strąków z rośliny.....	42
5.4.3. Liczba nasion z rośliny.....	43
5.4.4. Masa tysiąca nasion.....	45
5.5. Fizjologiczne cechy plonotwórcze.....	46
5.5.1. Wskaźnik powierzchni liści LAI.....	46
5.5.2. Wskaźnik zieloności liścia SPAD.....	47
5.6. Cechy morfologiczne roślin.....	50
5.6.1. Części nadziemne.....	50
5.6.2. Części podziemne.....	64
6. Dyskusja.....	82
7. Wnioski.....	98
8. Bibliografia.....	107
9. Spis tabel i rysunków.....	119

# 1. Wstęp

Ojczyzną soi (*Glycine max* (L.) Merrill) są Chiny. Udomowiona została w XI w. p.n.e. ze względu na unikalne właściwości składu chemicznego nasion. Do połowy XX w. n.e. Chiny były największym producentem i eksporterem soi przeznaczanej głównie na cele konsumpcyjne. W drugiej połowie XX w. rewolucja naukowo-techniczna w Stanach Zjednoczonych doprowadziła do wzrostu znaczenia wykorzystania soi do celów nie tylko konsumpcyjnych, ale też przemysłowych [de Majo i da Silva 2022]. W Europie białko sojowe przeznaczane jest do produkcji pasz treściwych dla zwierząt, m.in. drobiu (40,5%), trzody chlewnej (37,4%) i bydła (12,0%), a w mniejszym zakresie na cele konsumpcyjne [Willem Van Gelder i in. 2008]. Z uwagi na wzrastające zapotrzebowanie na pasze, obserwuje się potrzebę blisko trzykrotnego poszerzenia areału uprawy soi na kontynencie europejskim [Nendel i in. 2023]. Postępujące zmiany klimatu w ostatnich dziesięcioleciach, przejawiające się wzrostem średniej temperatury oraz zmianą dystrybucji opadów, spowodowały, że coraz częściej kraje Centralnej i Północnej Europy upatrują szansę uprawy soi jako alternatywy dla rodzimych roślin wysokobiałkowych. Prognozuje się, że w perspektywie do 2050 r. kraje położone powyżej równoleżnika 52°N staną się głównymi producentami soi w Europie. W Polsce wzrost zainteresowania uprawą soi jest obserwowany od 2015 r. Wynika on głównie z potrzeby uniezależnienia się od importowanego źródła białka. Obecnie Polska z rodzimej produkcji jest w stanie zaspokoić swoje zapotrzebowanie na białko w około 25-33%, głównie ze śruty rzepakowej (>70%) i rodzimych roślin bobowatych (15-20%). Corocznie Polska importuje ca. 2,7 mln ton śruty sojowej. Jest to wynikiem deficytu białkowego powstałego w ostatnich dziesięcioleciach, spowodowanego importem taniej śruty sojowej, zainicjowanym już w latach 60. XX w., a spotęgowanym na początku XXI w. wprowadzeniem zakazu stosowania mączek mięsno-kostnych, powodujących przypadki gąbczastej encefalopatii bydła, w żywieniu zwierząt. Importowany surowiec pochodzi z roślin genetycznie modyfikowanych (GMO). Jednakże, polskie prawo zabrania wykorzystywania produktów białkowych GMO do produkcji pasz (Dz. U. 2006 Nr 144 poz. 1045, Ustawa z dnia 22 lipca 2006 r. o paszach, Art. 15, ust. 4;). Na zakaz ten, do 1 stycznia 2024 r., obowiązuje moratorium, w związku z czym konieczne jest przyjęcie nowej strategii do zastąpienia roślin GMO rodzimym surowcem.

Rośliny bobowate są kluczowym elementem strategii dywersyfikacji produkcji roślin wysokobiałkowych. Dlatego dąży się do restytucji rynku rodzimych roślin białkowych oraz do upowszechnienia uprawy soi niemodyfikowanej genetycznie w Polsce na szeroką skalę.

Rolnicy traktują soję jako nowy, mało poznany gatunek, dlatego też rzadko uwzględniają ją w płodozmianie. Przyczyną tego stanu rzeczy jest ich brak wiedzy w zakresie biologii plonowania gatunku, jak też agrotechniki. Soja jest postrzegana przez nich jako gatunek o małej stabilności plonowania, która jest tak bardzo charakterystyczna dla krajowych roślin bobowatych.

W celu zwiększenia powierzchni uprawy bobowatych w Polsce oraz upowszechnienia wiedzy w zakresie uprawy soi, rząd wprowadził Uchwałą Rady Ministrów nr 222/2015 z dn. 15 grudnia 2015 wieloletni program na lata 2016-2020, pt.: „Zwiększenie wykorzystania krajowego białka paszowego dla produkcji wysokiej jakości produktów zwierzęcych w warunkach zrównoważonego rozwoju”, który obejmował cztery obszary badawcze: genetykę i hodowlę roślin, agrotechnikę, żywienie zwierząt oraz ekonomię i organizację rynku.

W ramach prowadzonych badań wpisano do Krajowego Rejestru Centralnego Ośrodka Badania Odmian Roślin Uprawnych odmiany soi przystosowane do rozwoju w poszczególnych regionach klimatycznych Polski. W ciągu ostatnich pięciu lat, tj. między 2018, a 2023 r., Rejestr wzbogacił się o 23 odmiany soi.

Potencjał plonowania soi w badaniach COBORU sięga 5.5 t ha<sup>-1</sup>. Jednak w praktyce rolniczej osiąga się znacznie mniejsze rezultaty, na poziomie 3 t ha<sup>-1</sup>. Spowodowane jest to m.in. błędami agrotechnicznymi, których wyeliminowanie przyczyniłoby się do osiągnięcia wysokich, stabilnych plonów, zwiększenia chęci rolników do uprawy soi, a w efekcie do zaspokojenia zapotrzebowania na białko w większym stopniu z krajowych zasobów. Niezbędnym czynnikiem w zapewnieniu wysokiej jakości białka nasion soi jest dostarczanie roślinom odpowiedniej ilości azotu.

Soja, dzięki aktywnej symbiozie z bakteriami brodawkowatymi z rodzaju *Bradyrhizobium japonicum*, wiąże wolny azot atmosferyczny. Efektywność wiązania azotu jest warunkowana obecnością bakterii symbiotycznych w glebie oraz właściwościami fizykochemicznymi gleby. Ze uwagi na fakt, że soja jest stosunkowo nowym gatunkiem w uprawie na terenie Polski, niezbędnym zabiegiem jest stosowanie szczepionek bakteryjnych przed wysiewem nasion. Obecnie na rynku dostępna jest szeroka gama produktów biologicznych przeznaczonych do samodzielnego szczepienia nasion soi bezpośrednio przed ich wysiewem, które dla rolników stanowi pewną trudność. Stąd wiele firm nasiennych oferuje do sprzedaży zaszczerpiony materiał siewny, przygotowany do bezpośredniego wysiewu. Brak w literaturze doniesień, które by jednoznacznie wskazały, która z w/w. form zaprawiania nasion jest skuteczniejsza. Było to przyczynkiem do podjęcia niniejszych badań.

W celu wspomżenia procesu biologicznego wiązania azotu przez rośliny w juvenilnym okresie ich rozwoju, stosuje się nawożenie tzw. dawką startową w ilości 25-30 kg N ha<sup>-1</sup>. Najpowszechniej stosowanym w tym celu nawozem jest azotan amonu, czyli saletra amonowa. Forma amonowa azotu zawarta w tym nawozie ulega procesowi nitryfikacji, co wywołuje znaczne straty tego składnika w efekcie wymywania azotanów w głąb profilu glebowego. W przeprowadzonych badaniach zweryfikowano skuteczność działania w uprawie soi azotu mineralnego w formie amonowo-amidowej i amonowo-azotanowej.

Brak w dostępnej w literaturze wiedzy w zakresie wpływu zintegrowanego nawożenia i szczepienia bakteriami z rodzaju *Bradyrhizobium japonicum* na plonowanie, architekturę łanu i wskaźniki wegetacyjne soi, co stanowiło asumpt do podjęcia badań.

## 2. Przegląd literatury

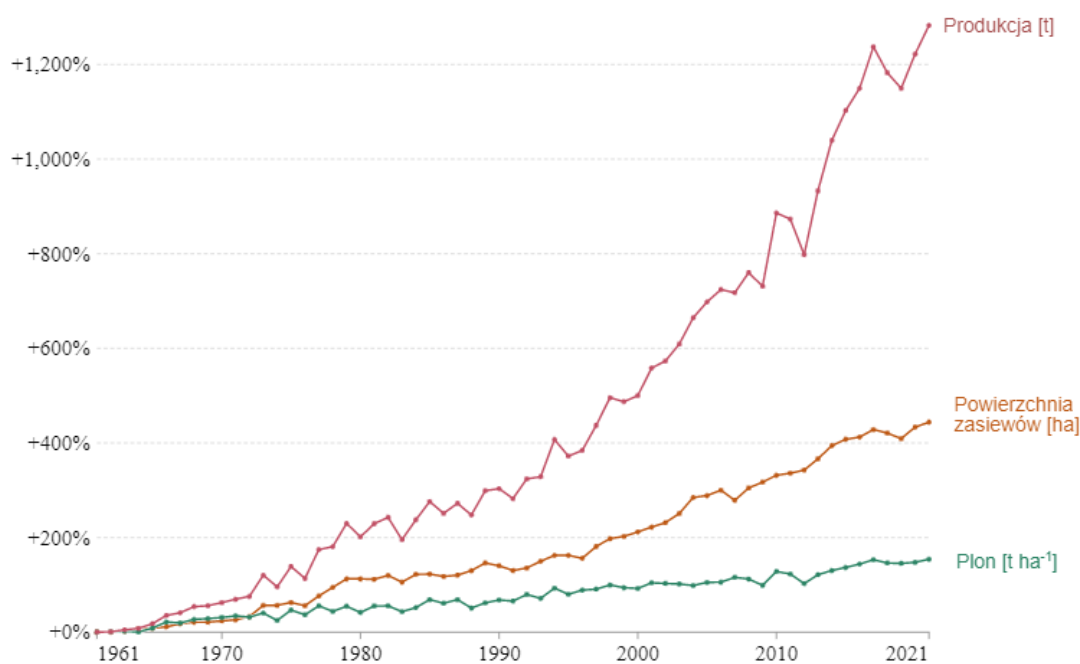
Soja jest rośliną bobowatą o wielokierunkowym wykorzystaniu. Posiada bogaty skład chemiczny nasion. Jest źródłem białka i tłuszczu dla ludzi oraz stanowi wysokiej jakości paszę dla zwierząt [FAO 2003; Sugiyama i in. 2015]. Zawartość tłuszczu w nasionach soi wynosi 18-22%, a białka 35-45% [Natarajan 2014]. Skład aminokwasów w białku soi jest zbliżony do białka zwierzęcego, w szczególności zawartość aminokwasów egzogennych, tj. fenyloalaniny, metioniny, treoniny, waliny, izoleucyny, leucyny, tryptofanu i lizyny [Kudelka i in. 2021]. Ponadto, soja jest drugim, po olejowcu gwinejskim (*Elaeis guineensis* Jacq.), czyli tzw. palmie olejowej, najbardziej popularnym surowcem wykorzystywanym do produkcji oleju roślinnego.

Powierzchnia uprawy soi zajmuje blisko 6% światowej powierzchni gruntów rolnych i nieustannie rośnie od 1961 r. (rys. 1A) [Barona i in. 2021; Soy - Our World in Data 2023]. Gatunek ten jest jednym z sześciu najważniejszych uprawianych na świecie. Masuda i Goldsmith [2009] przeanalizowali globalną produkcję, powierzchnię uprawy i plony soi na przestrzeni lat 1961-2007. Wyliczyli, że średni wzrost światowej produkcji soi w tych latach wynosił 4,8% na rok, osiągając produkcję rzędu 217,6 milionów ton w 2005-2007 r. Ponadto prognozują, że do 2030 r. wzrost globalnej produkcji soi będzie postępował ze średnim rocznym tempem 2,1% i osiągnie wielkość 359,7 mln ton. Na przestrzeni lat zaprezentowane przez autorów modele okazały się trafne, gdyż według danych FAO w 2020 r. światowa produkcja soi wyniosła 353,5 mln ton [Soy - Our World in Data 2023].

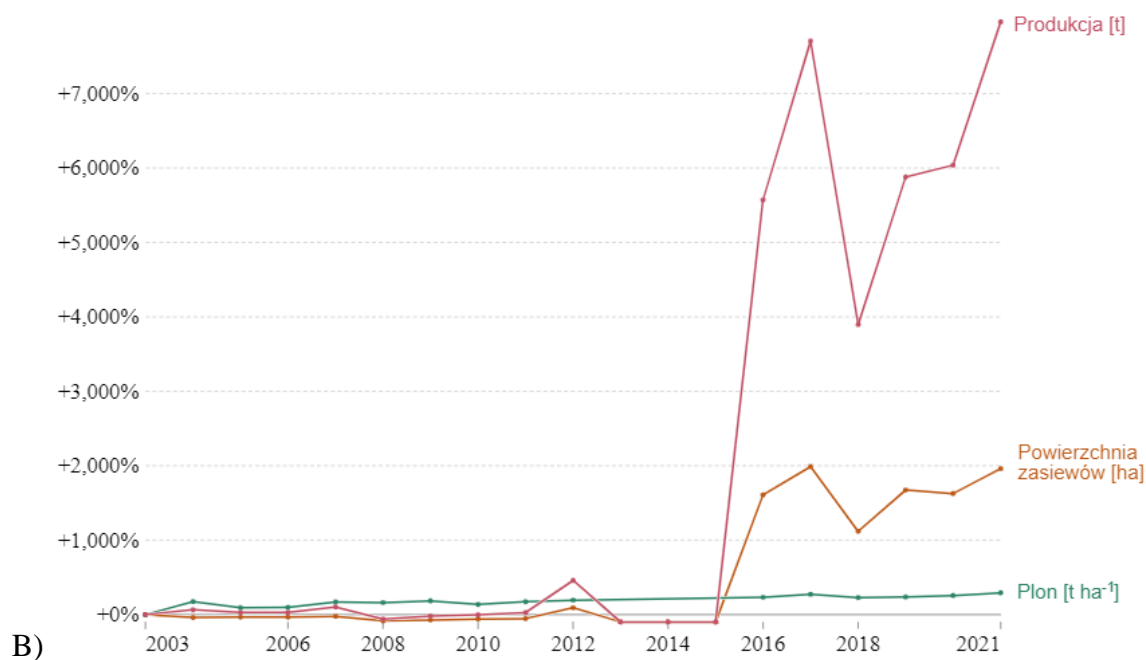
W Polsce pierwsze próby uprawy soi były przeprowadzone przez dr. Antoniego Sempołowskiego, w 1878 r. Okazały się one jednak nieudane, ponieważ 19 chińskich odmian, które próbowano uprawiać, ze względu na zbyt długi okres wegetacyjny nie dojrzywały w polskich warunkach klimatycznych. Kolejną próbę podjął hodowca Jan Owiński pod koniec XIX w. we wschodniej Polsce. Pierwszymi wyhodowanymi przez niego odmianami były Podolska Wczesna Czarna i Podolska Wczesna Brunatna, których plonowanie nie było na zadowalającym poziomie [Konecka 1991; Filoda i in. 2016]. Dalsze prace hodowlane (początek XX w.), prowadzone pod kierunkiem Dzikowskiego, doprowadziły do sprowadzenia odmian przystosowanych do warunków klimatycznych Polski. W ten sposób powstały odmiany Puławska Żółta, Złotka i Warszawska. W 1928 r. Strażewicz wyhodował w Wilnie odmianę Wileńska Brunatna. Następnie Machalica wyhodował plenną odmianę Kisielnicka Czarna, a Mackiewicz wiele innych, m. in. Bydgoska. Odmiany te nie zostały jednak wdrożone do szerszej produkcji ze względu na zbyt długi okres wegetacji. W 1933 r. uprawiano soję w Polsce zaledwie na 1503 ha. W okresie powojennym podjęto ponowne próby introdukcji soi do uprawy



na terenie Polski. W latach 70-tych kompleksowe badania na rzecz hodowli doprowadziły do wytworzenia odmian plennych, o odpowiedniej wczesności i przystosowanych do zmechanizowanej uprawy. W krajowym rejestrze było wtedy osiem krajowych odmian soi, z których pięć wyhodowano w IHAR (Aldana, Jutro, Progres, Poland i Mazowia), a trzy w Akademii Rolniczej w Poznaniu (Nawiko, Gaj i Augusta) [Konecka 1991; Filoda i in. 2016]. Jednak ze względu na słabo rozwiniętą strukturę organizacyjną i logistyczną rynku, postęp hodowlany nie przełożył się na rozpowszechnienie uprawy tego gatunku. W ostatnich dwóch dziesięcioleciach tendencja ta uległa zmianom. Zaobserwowano gwałtowny przyrost produkcji i powierzchni zasiewów soi po 2015 r. (rys. 1B). Obecnie w Krajowym Rejestrze Odmian Roślin Rolniczych znajduje się 40 odmian soi, przy czym większość z nich pochodzi z hodowli zagranicznych. Dodatkowo, producenci rolni mogą skorzystać z odmian wpisanych do Wspólnotowego Katalogu Odmian Roślin Rolniczych (CCA), w którym obecnie znajduje się 1429 odmian soi [CCA 2023]. Jednak mimo istotnego wzrostu areału uprawy soi w Polsce, w dalszym ciągu zapotrzebowanie na białko roślinne jest pokrywane z rodzimej produkcji zaledwie w 25-33%. Pozostałą część pokrywa się z importu.



A)



Rys. 1. Produkcja, plon i powierzchnia zasiewów soi na świecie (A) i w Polsce (B);  
 Fig. 1. Soy production, yield and area harvested in the World (A) and in Poland (B)

Tylko 2% produkowanego białka sojowego jest konsumowana bezpośrednio przez ludzi. Natomiast pozostała część przeznaczona jest na produkcję śruty sojowej, wykorzystywanej głównie w chowie drobiu i trzody chlewnej. W związku z powyższym zapotrzebowanie na produkcję soi jest silnie uzależnione od wzrastającego popytu na mięso [Goldsmith 2008]. Ilość konsumowanego mięsa wzrasta w ostatnich dekadach. Od 1961 r. do 2003 r. zaobserwowano blisko dwukrotny wzrost spożycia drobiu i wieprzowiny przypadający na jednego mieszkańca globu – z 8,0 kg do 15,6 kg [FAO 2005]. W Polsce na przestrzeni lat 1933-2011 roczne spożycie mięsa wieprzowego zwiększyło się z 12,1 kg do 42,8 kg [Michalska i in. 2013]. Według danych FAO w 2017 r. przeciętny Polak spożył 55 kg wieprzowiny.

Uzyskiwanie wysokich plonów soi związane jest z koniecznością użycia dużej ilości nawozów NPK. Zaletą tej rośliny bobowatej jest możliwość biologicznego wiązania azotu ( $N_2$ ) za pośrednictwem bakterii brodawkowych, głównie z rodzaju *Bradyrhizobium*. Wiele różnych czynników, zarówno agrotechnicznych, jak i środowiskowych, ma wpływ na efektywność biologicznego wiązania azotu [Rodríguez-Navarro i in. 2011].

Do lat 80. XX w. ponad 50% produkowanej soi pochodziło z USA. Obecnie 92% globalnej produkcji soi wytwarzane jest przez pięciu największych producentów, tj.: Stany Zjednoczone Ameryki, Brazylię, Argentynę, Chiny i Indie [Pagano i Miransari 2016], natomiast 63% obecnego areалу produkcji soi znajduje się na obszarze pięciu krajów Ameryki

Południowej [Wingeyer i in. 2015]. Około 40% światowego eksportu soi pokrywane jest przez Stany Zjednoczone. Głównymi importerami są: Chiny (59,0%), Argentyna (3,0%), Meksyk (2,8%) i Holandia (2,5%). Do krajów Unii Europejskiej w 2021 r. importowano w sumie 10,5% światowej produkcji soi, w tym 24% na potrzeby Holandii, 21% Hiszpanii, 21% Niemiec i 14% Włoch [FAO 2021].

W latach 2014-2019 kraje Unii Europejskiej importowały średnio 14 mln ton soi i 18 mln ton śruty sojowej rocznie [Eurostat 2021; Karges i in. 2022]. Zapotrzebowanie na śrutę sojową z unijnej produkcji soi jest pokrywane w wysokości poniżej 2,7 mln ton (13%). Pozostałe kraje europejskie, niebędące w strukturach unijnych, produkują ok 7,9 mln ton soi rocznie [FAO 2021].

Według danych FAO w 2020 r. światowa powierzchnia produkcji soi wyniosła prawie 127 mln ha, w tym na poszczególne kontynenty przypadało: ~60 mln ha – Ameryka Południowa (47,2%), ~35 mln ha – Ameryka Północna (27,8%), ~23,5 mln ha – Azja (18,6%), ~5 mln ha – Europa (4,2%) (w tym EU27: 0,95 mln ha), ~2,5 mln ha – Afryka (2%), ~10 tys. ha – Oceania (<0.01%) [FAO 2021].

Produkcja nasion wynosiła odpowiednio: ~353,5 mln ton – świat, ~186,5 mln ton – Ameryka Południowa, ~119 mln ton – Ameryka Północna, ~33,5 mln ton – Azja, ~10,5 mln ton – Europa (w tym EU27: ~2,7 mln ton), ~3,5 mln ton – Afryka, ~17 tys. ton – Oceania. Z powyższych danych wynika, że największe plony odnotowuje się w Ameryce Północnej i Południowej, odpowiednio 3,36 i 3,12 t ha<sup>-1</sup>. Jest to spowodowane uprawą w nich soi GMO, odpornej na stosowanie herbicydów i żerowanie szkodników. W krajach Unii Europejskiej można uprawiać jedynie odmiany niemodyfikowane genetycznie, a mimo to, dzięki postępowi biologicznemu, odpowiedniemu doborowi odmian i udoskonalanej agrotechnice, plony są porównywalne do amerykańskich i wynoszą średnio 2,84 t ha<sup>-1</sup> [FAO 2021]. W świecie wykorzystuje się inżynierię genetyczną mającą na celu poprawę zdrowotności roślin oraz cech jakościowych i ilościowych soi. Ponad 95% światowej powierzchni zasiewów soi oparta jest o wykorzystanie odmian GMO, podczas gdy w Polsce wysiew takich odmian jest niedozwolony [Dzwonkowski i in. 2015]. Głównym kierunkiem modyfikacji genetycznych tego gatunku jest wzrost tolerancji roślin na działanie herbicydu (glifosat, glufosynat amonowy). Modyfikacje obejmują ponadto poprawę cech jakościowych plonu (zmianę profilu kwasów tłuszczowych) oraz zwiększenie odporności na patogeny [Dzwonkowski i in. 2015]. Z każdym rokiem areał uprawy soi GMO rośnie, przekraczając 190 mln ha w 2019 r. Efektem tego jest wzrost podaży soi GMO w obrocie międzynarodowym [Świtoński i Malepszy 2012; Biotech/GM Crops 2019].

Mimo, że soja jest zakwalifikowana jako roślina ciepłolubna, jej uprawa rozciąga się obecnie od obszarów tropikalnych do 59°N [Toleikiene i in. 2021], a przeważająca produkcja mieści się między 25°N i 45°N szerokości geograficznej północnej i poniżej 1000 m n.p.m. [Subba Rao i Sammi Reddy 2010].

Warunki klimatyczne uprawy soi w środkowej i północnej Europie są podobne do tych w innych „północnych” krajach produkujących tę roślinę, takich jak południowe części prerii kanadyjskich, tj. prowincje Alberta, Manitoba i Saskatchewan. Czynniki ograniczającymi są specyficzne dla odmiany wymagania dotyczące długości dnia do kwitnienia, a także temperatura i opady deszczu, głównie w okresie kiełkowania i kwitnienia [Mandic i in. 2017; Gawęda i in. 2020]. Soja wymaga do dojrzewania odpowiedniej liczby ciepłych dni, określanych ilościowo na podstawie stopniodni wzrostu (1900 GDD) [Karges i in. 2022].

Korzystne warunki do uprawy tego gatunku są ściśle uzależnione od zmian klimatycznych, których jesteśmy świadkami w ostatnich dekadach [Pörtner i in. 2022]. Obserwowany wzrost średniej globalnej temperatury stwarza możliwość poszerzenia areału uprawy soi w Europie [Nendel i in. 2023], a tym samym uniezależnienia się od importu soi GMO. W Polsce podjęto tzw. „Inicjatywę Białkową COBORU”, która ma na celu rozszerzenie zakresu doświadczalnictwa odmianowego w grupie roślin białkowych w kierunku wyznaczenia optymalnych warunków środowiskowych do uprawy soi. Dzięki Inicjatywie utworzono na 2022 r. dla wszystkich 16 województw tzw. „Listy odmian zalecanych (LOZ) do uprawy w poszczególnych województwach” [Inicjatywa Białkowa COBORU 2022]. Trend wzrostowy znaczenia uprawy soi można zauważyć na podstawie prowadzonych prac hodowlanych. W Krajowym Rejestrze Odmian Centralnego Ośrodka Badania Odmian Roślin Uprawnych w roku 2018 znajdowało się 17 odmian. Liczba odmian soi dostępnych w obrocie nasiennym wzrastała każdego roku. W 2019 r. zarejestrowanych odmian było już 22, w 2020 r. – 25, w 2021 r. – 32 [Bujak 2022].

Ważnym czynnikiem mającym na celu upowszechnienie uprawy soi jest możliwość uzyskania subsydiów w ramach systemów wsparcia bezpośredniego Unii Europejskiej. Według danych ekonomicznych prezentowanych przez portal Polska Soja, uprawa soi jest opłacalna nawet bez dopłat, a próg rentowności uprawy soi bez dopłat, przy plonie 2,5 t ha<sup>-1</sup> wynosił w 2017 roku 1,82 t ha<sup>-1</sup>, przy cenie skupu 1500 zł t<sup>-1</sup>. Biorąc pod uwagę płatności bezpośrednie, próg rentowności był na poziomie 1,34 t ha<sup>-1</sup> [Polska Soja 2017]. Bazując na danych z 2021 r. pozyskanych od producenta soi [Opłacalność Uprawy Soi 2021], przy cenie skupu 2100 zł t<sup>-1</sup> i plonie 3,2 t ha<sup>-1</sup>, próg rentowności uprawy bez dopłat wyniósł 2,5 t ha<sup>-1</sup>, a doliczając dopłaty: 2,09 t ha<sup>-1</sup>. W ramach unijnego systemu płatności bezpośrednich, rolnicy mogą

otrzymać dodatkowe ok. 1300 zł do hektara uprawy soi (dopłaty w 2021 r.: Jednolita Płatność Obszarowa – 487,62 zł ha<sup>-1</sup>, dopłata do kwalifikowanego materiału siewnego – 108,77 zł ha<sup>-1</sup>, dopłata do roślin strączkowych na ziarno – 685,70 zł ha<sup>-1</sup>) [Święcicki i in. 2011; Czopek i Staniak 2020; ARiMR 2021].

Biorąc pod uwagę opłacalność uprawy soi nadal stosunkowo niewielu polskich rolników decyduje się uwzględnić ją w płodozmianie. W skali kraju w 2020 r. na 1,3 mln gospodarstw rolnych o łącznej powierzchni 14,7 mln ha użytków rolnych przypadało 18,5 tys. ha upraw soi, co stanowi 0,13 % wszystkich użytków rolnych, w tym 490 ha w systemie uprawy ekologicznej [Maczek 2019; FiBL Statistics 2020; Główny Urząd Statystyczny 2021]. W 2022 r. soję uprawiano już na powierzchni 48 tys. ha, a celem hodowców jest, aby areał ten podwoić w ciągu najbliższych dwóch lat. Rezerwa w podjęciu uprawy soi może wiązać się z czynnikami limitującymi wysokość plonów. Do tych czynników możemy zaliczyć stresy abiotyczne, spowodowane czynnikami środowiskowymi, m.in. brak lub nadmiar wody, brak wystarczających składników pokarmowych, błędy agrotechniczne, tj. stosowanie odmian nieprzystosowanych do warunków agroklimatycznych danego terenu, brak stosowania kwalifikowanego materiału siewnego, niedostateczne zaopatrzenie roślin w azot, jak również brak stosowania szczepionek bakteryjnych, umożliwiających efektywne wiązanie wolnego azotu atmosferycznego przez rośliny za pomocą korzeniowych bakterii brodawkowych *Bradyrhizobium japonicum* i przekształcanie go w związki przyswajalne dla roślin.

W celu zaspokojenia podstawowego zapotrzebowania populacji na białko roślinne, konieczne staje się maksymalne wykorzystanie potencjału plonowania roślin bobowatych, a ten warunkowany jest zaspokojeniem potrzeb wodnych i pokarmowych w roślinie i minimalizowaniem stresów biotycznych [Evans i Fisher 1999].

Wymagania wodne soi są uzależnione od odmiany, ilości opadów czy warunków hydrotermicznych występujących w danym sezonie wegetacyjnym. Warunki wodne wpływają bezpośrednio na biologię plonowania, m.in. proces symbiozy z bakteriami brodawkowymi oraz wzrost i rozwój roślin. Brak wody w tzw. fazach krytycznych wzrostu roślin (wschody, kwitnienie, zawiązywanie strąków) skutkuje drastycznym obniżeniem plonów. Literatura wskazuje przypadki stresu wodnego spowodowanego nadmierną ilością wody, jednak znacznie częściej rolnicy mają do czynienia i zmagają się ze zjawiskiem suszy fizjologicznej [Kunert i in. 2016; Dong i in. 2019; Dubey i in. 2019; Arya i in. 2021].

Poszczególne odmiany soi różnią się współczynnikiem wykorzystania wody (WUE – water use efficiency; ilość wyprodukowanej biomasy na jednostkę zużytej wody). Anda i in. [2018] oraz Fried i in. [2019] wykazali, iż zakres zmienności WUE jest kształtowany

w szerokich granicach (1,82-2,45 g kg<sup>-1</sup>) poprzez czynnik genetyczny, tj. dobór odmian. Mechanizmy fizjologiczne, które leżą u podstaw efektywnego wykorzystania wody przez soję w warunkach jej nadmiaru lub niedoboru są dobrze poznane [Fenta i in. 2014]. Rozmieszczenie korzeni i ich architektura mają kluczowe znaczenie dla optymalizacji pobierania wody przez rośliny [Fenta i in. 2014; Fried i in. 2019]. Odmiany wykształcające system korzeniowy głęboko penetrujący profil glebowy, efektywniej wykorzystują wodę znajdującą się w głębszych warstwach gleby. Tym samym, odmiany o głębiej rozwiniętym systemie korzeniowym odznaczają się większą tolerancją na stres wodny niż te o płytszym systemie korzeniowym.

W sytuacji niedostatecznej ilości wody dostępnej dla roślin obserwuje się obniżenie ilości produkowanej biomasy [Smith i in. 2019; Cui i in. 2020] i plonów [Tovjanin i in. 2019]. Występuje ponadto zaburzenie prawidłowego rozwoju systemu korzeniowego [Xiong i in. 2021], pędów nadziemnych, w tym powierzchni liści [Anda i in. 2020], suchej masy roślin, ilości rozgałęzień, kwiatów, strąków i nasion [He i in. 2017]. Zaburzenia te są tym bardziej widoczne, im większy deficyt wodny występuje [Singh 2010]. Susza wpływa również na proces wymiany gazowej [Silvius i in. 1977; Ergo i in. 2018; Anapalli i in. 2019], co skutkuje szybszym dojrzewaniem roślin i uzyskiwaniem mniejszych nasion i plonów. Stres wodny może również prowadzić do osłabionego lub braku wykształcania się kwiatów i strąków [Gao i in. 2020]. Deficyt wody wpływa też na efektywność wiązania azotu przez rośliny [Santachiara i in. 2019; Freitas i in. 2022].

Podobnie jak stres wywołany brakiem wody, jej nadmiar może również negatywnie wpływać na wzrost i rozwój roślin soi. Najczęściej wywołany jest on przez obfite opady i negatywnie wpływa na rośliny rosnące na stanowiskach o glebach zwięzłych. Przy stosowaniu klasycznej orki może dochodzić do powstawania tzw. podeszwy płużnej, która uniemożliwia sprawne przedostawanie się wody w głąb profilu glebowego, co naraża rośliny na zastoinowe bytowanie w nadmiarze wody. Jak donoszą Nakayama i in. [2005], w przypadku wystąpienia zastoisk wodnych zaraz po wysiewie nasion, nadmiar wody ogranicza wschody i wzrost siewek. Seong i in. [1999] natomiast zaobserwowali, że przy nadmiernym nawodnieniu spada dostępność składników pokarmowych dla roślin (azot, fosfor, potas, wapnia, magnez i miedź). Korzenie rosnące w warunkach niedotlenienia są grubsze, krótsze, mniej rozgałęzione i jaśniejsze w porównaniu do korzeni rosnących w optymalnych warunkach [Gliński i Stępniewski 1990; Nowak 2005]. Intensywne opady deszczu, prócz stwarzania zagrożenia tworzenia się miejsc wód zastoinowych, mogą też powodować erozję wodną. Stosowanie prawidłowej agrotechniki pozwala na zminimalizowanie ryzyka jej wystąpienia.

Soja do prawidłowego wzrostu i rozwoju musi być uprawiana na glebach przewiewnych, szybko ogrzewających się, o dobrej kulturze rolnej i ze sprawnym podsiękiem wody, jak też zasobnych w składniki pokarmowe. Gleby zbyt zwarte, zimne, zakwaszone i silnie zaskorupiające się nie są odpowiednie do uprawy tej rośliny. Soja jest określana jako gatunek umiarkowanie tolerujący zasolenie gleby, a próg zasolenia oszacowany został na  $5 \text{ dS m}^{-1}$  [Subba Rao i Sammi Reddy 2010]. Inni autorzy sugerowali niższe wartości progowe, około  $2 \text{ dS m}^{-1}$  [Katerji i in. 2000]. Jednak reakcja soi na zasolenie jest zmienna na poszczególnych etapach jej rozwoju fenologicznego [Hosseini i in. 2002; Bustingorri i Lavado 2011]. Optymalny odczyn gleby sprzyjający rozwojowi rośliny i brodawek to odczyn lekko kwaśny o pH 6,0-6,5 [McLean i Brown 2015]. Rośnie też dobrze na glebach gliniastych wapiennych (do pH 7,5). W glebach o pH poniżej 6,0 dostępność niezbędnych składników pokarmowych się zmniejsza podczas gdy dostępność innych pierwiastków wzrasta, aż do progów toksyczności dla roślin. Soja nie toleruje gleb o odczynie kwaśnym, gdyż ogranicza on aktywność bakterii symbiotycznych potrzebnych do wiązania azotu atmosferycznego.

*Glycine max* żyje w symbiozie z bakteriami brodawkowymi z rodzaju *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium* i *Sinorhizobium* [Albareda i in. 2009]. Inokulacja roślin bobowatych bakteriami brodawkowymi jest zalecaną praktyką rolniczą w Polsce. Z uwagi na niewielką powierzchnię uprawy tego gatunku w naszym kraju jest to zabieg powszechnie stosowany. Celem inokulacji roślin strączkowych jest umożliwienie szybkiej kolonizacji ryzosfery, co zapewnia efektywne brodawkowanie, a tym samym usprawnia wiązanie azotu atmosferycznego i maksymalizuje plon [Catroux i in. 2001, Deaker i in. 2004]. Wykazano występowanie krytycznych okresów zapotrzebowania roślin na azot [Gan i in. 2003]. Pierwszym z nich jest juvenilny wzrost roślin, w którym z uwagi na wchodzenie roślin w symbiozę z bakteriami brodawkowymi i niewielki pobór azotu biologicznego, obserwuje się zapotrzebowanie rośliny na azot mineralny. Drugim okresem krytycznym jest faza wypełniania strąków (BBCH 79) [Gan i in. 2003; Albareda i in. 2009]. Zwiększenie efektywności nawożenia azotem jest zatem priorytetem w produkcji roślinnej. Powoduje ono ograniczenie wymywania azotanów do wód gruntowych i zmniejsza emisję tlenków azotu do atmosfery, dzięki lepszemu wykorzystaniu nawozów podawanych roślinom w odpowiedniej dawce.

Do precyzyjnego określenia stanu odżywienia azotem w praktyce rolniczej coraz częściej stosuje się niedestrukcyjne metody optyczne, określające tzw. wskaźnik zieloności liścia, oparte na absorpcji i/lub odbiciu światła przez nienaruszony liść. Metody optyczne odczytują wartość „wskaźnika chlorofilu”, który wyraża względną zawartość chlorofilu.

Nie jest to bezwzględna zawartość chlorofilu na jednostkę powierzchni liścia lub stężenie na gram tkanki liścia, jakie można uzyskać w metodach destrukcyjnych. Metody optyczne nie niszczą materiału roślinnego, są bardzo szybkie i możliwe do zastosowania bezpośrednio w terenie [Markwell i in. 1995; Gamon i Surfus 1999]. Do pomiarów bezpośrednich wykorzystuje się różnorodne urządzenia działające na podobnej do siebie zasadzie SPAD-502 czy Hydro N-Tester (HNT) firmy Yara International ASA, Oslo, Norway. Według Huete i Justice [1999] wskaźnik wegetacyjny powinien odznaczać się wysoką korelacją z parametrami biofizycznymi roślin, wśród których najczęściej wymienione są: wskaźnik powierzchni liści (LAI) oraz wskaźnik zieloności liści (SPAD). Najpowszechniej stosowanym wskaźnikiem wegetacyjnym charakteryzującym fotosyntezę jest LAI (Leaf Area Index) zwany potocznie wskaźnikiem powierzchni liści, definiowany jako powierzchnia projekcyjna liści odniesiona do powierzchni zajmowanej przez określoną roślinność ( $m^2$  liści  $m^{-2}$  gruntu) [Zawiła-Niedźwiecki i in. 1993]. Kształtowanie się plonu zależy od tempa gromadzenia suchej masy oraz powierzchni asymilacyjnej rośliny. W badaniach Klimek-Kopyry i in. [2015] dowiedziono związku między plonem nasion, a wskaźnikiem LAI. W innych publikacjach [Czerednik i Nalborczyk 2000; Biskupski i in. 2004] wykazano, że na powierzchnię liściową oraz na wielkość współczynnika LAI wpływa nawożenie azotem, użycie chemicznych środków ochrony roślin, gęstość siewu [Szmigiel i Oleksy 1997; Klimek-Kopyra i in. 2015]. Dla większości roślin uprawnych wskaźnik LAI wynosi od 4 do 5, lecz dla wysoko produktywnych odmian może być większy [Woźniak i in. 2005]. Dowodzą tego także badania Gregorczyka i Piecha [2000].

Innym typem pomiaru pośredniego stanu odżywienia roślin jest tzw. wskaźnik zieloności liści wyrażony w jednostkach SPAD, które wykazują dużą korelację z zawartością chlorofilu i azotu w liściach. Fotyma i Bezdusznik [2000] dla zbóż ozimych określili zależność między indeksem odżywienia azotem (NNI) a odczytami SPAD, co wymagało kalibracji testu dla każdej odmiany. Stąd propozycja nawożenia w oparciu o stosunek odczytów wskaźnika zieloności liścia na poletku nawożonym i nienawożonym, nie wymagająca tak żmudnych procedur. Badania prowadzone nad rzepakiem wykazały, że pomiędzy wielkością SPAD, a tempem asymilacji  $CO_2$ , występuje dodatnia korelacja. Wskaźniki fluorescencji chlorofilu a są natomiast szybką metodą określenia warunków stresowych [Kalaji i in. 2004]. W dotychczasowych badaniach z zakresu nawożenia skupiano się przeważnie na określeniu wpływu nawożenia na kształtowanie się cech ilościowych i jakościowych, a z uwagi na brak aparatury nie badano w wystarczającym zakresie współzależności pomiędzy nawożeniem a wielkością wskaźników wegetacyjnych i fizjologicznych określanych w sposób



niedestrukcyjny, które mogą być przydatne w aspekcie ustalania stanu fizjologicznego roślin, zasad precyzyjnego nawożenia i prognozowania plonu.

### 3. Cel pracy

Celem badań była ocena wpływu szczepionek bakteryjnych i rodzaju nawozu azotowego (form: amonowo-amidowej i amonowo-azotanowej) na plonowanie, architekturę łanu, wybrane wskaźniki wegetacyjne, brodawkowanie oraz parametry systemu korzeniowego soi.

Cele szczegółowe obejmowały ocenę wpływu zmiennych warunków pogodowych i badanych czynników na:

- plonowanie i analizę zawartości tłuszczu i białka w nasionach soi,
- kształtowanie się elementów struktury plonu i wybranych cech biometrycznych,
- wielkość wskaźników LAI i SPAD,
- parametry systemu korzeniowego oraz liczebność i wielkość brodawek korzeniowych.

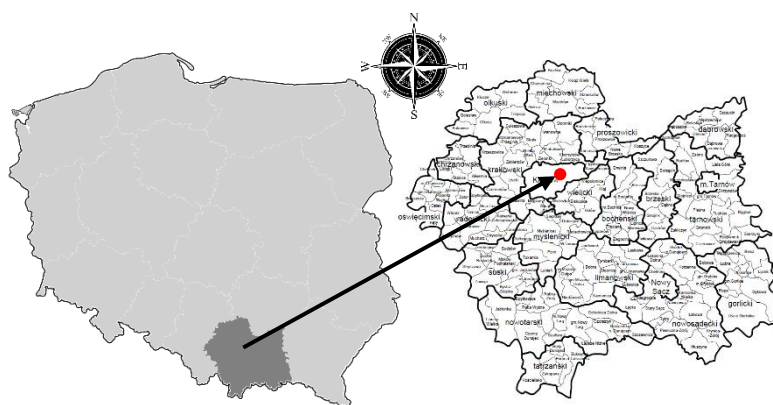
Hipotezy robocze zakładały:

- Nawożenie azotem, niezależnie od formy, wpływa pozytywnie na wielkość i jakość plonu nasion soi,
- Szczepienie bakteryjne wpływa korzystnie na plonowanie i wybrane cechy morfologiczne oraz wskaźniki fizjologiczne łanu i roślin,
- Istnieje interakcja pomiędzy formą chemiczną nawozu i szczepionkami, a badanymi cechami w kształtowaniu plonu i wybranych cech morfologicznych oraz wskaźników fizjologicznych łanu i roślin,
- Przebieg pogody modyfikuje wielkość wpływu czynników badawczych na plonowanie i cechy roślin soi.

## 4. Materiały i metody badań

### 4.1. Opis doświadczenia

Dwuczynnikowe doświadczenie polowe przeprowadzono w latach 2016-2019 w układzie losowanych podbloków (split-plot) w trzech powtórzeniach. Pole doświadczalne zlokalizowane było w Stacji Doświadczalnej Katedry Agroekologii i Produkcji Roślinnej Uniwersytetu Rolniczego w Prusach koło Krakowa (N 50°11' E 20°08') (rys. 2).



Rys. 2. Położenie SD Prusy na obszarze województwa małopolskiego;  
Fig. 2. Location of SD Prusy in the Lesser Poland voivodeship

W doświadczeniu przyjęto następujące oznaczenia obiektów, które charakteryzowały czynniki doświadczenia oraz posłużyły do opisu tabel i wykresów w części wynikowej:

1. Pierwszy czynnik stanowiły obiekty doświadczalne obejmujące kontrolę i dwa obiekty nawozowe:

- Kontrola<sub>N</sub> – brak nawożenia,
- SA – nawożenie formą amonowo-azotanową (saletrą amonową 32%)  
w dawce 60 kg N ha<sup>-1</sup>,
- SFM23 – nawożenie formą amonowo-amidową (Sulfammo 23 N-Process)  
w dawce 60 kg N ha<sup>-1</sup>.

Dawki 60 kg N ha<sup>-1</sup> zostały podzielone na 2 części po 30 kg N ha<sup>-1</sup> – pierwszą część jako pierwszą dawkę stosowano przed siewem, a drugą – pod koniec kwitnienia roślin (BBCH 69).

2. Drugi czynnik stanowiły obiekty doświadczalne obejmujące szczepionki bakteryjne:

- Kontrolas – brak szczepienia,
- FF – szczepienie nasion szczepionką bakteryjną zawierającą bakterie z rodzaju *Bradyrhizobium japonicum* za pomocą preparatu Saatbau Fix-Fertig – szczepienie przez producenta,
- NI – szczepienie nasion szczepionką bakteryjną zawierającą bakterie z rodzaju *Bradyrhizobium japonicum* za pomocą preparatu Nitragina – szczepienie bezpośrednio przed siewem.

## 4.2. Charakterystyka obiektów doświadczalnych i odmiany soi

**Składowe I obiektu doświadczalnego:**

- **Saletra amonowa** (azotan amonu, azot amonowy) – sól kwasu azotowego oraz amoniaku ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) – azot zawarty w nawozie występuje w dwóch formach: amonowej i azotanowej (tzw. saletrzaney) w proporcji 50:50. Jest najbardziej popularnym i uniwersalnym nawozem azotowym. Forma saletrzana ulega stratom w niskich temperaturach. Obserwuje się też straty azotu z saletry amonowej podczas niedoborów wody. Jest nawozem silnie zakwaszającym środowisko glebowe i przy intensywnym nawożeniu wymaga stosowania wapnowania. Na zneutralizowanie zakwaszającego działania 100 kg saletry amonowej należy użyć 68 kg nawozu wapniowego węglanowego o zawartości 50% CaO. Skład chemiczny: 32% azotu (N), w tym w formie amonowej 16% i 16% w formie azotanowej oraz wapń i magnez.

- **Sulfammo 23 N-Process** – granulowany nawóz azotowy zawierający azot w formie amonowej i amidowej. Jak wskazuje producent Timac AGRO "kompleks N-Process poprzez działanie siatki organiczno-wapniowej znacznie ogranicza straty azotu nawozowego wynikające z ulatniania się amoniaku, przyspiesza uwalnianie azotu glebowego oraz stymuluje metabolizm azotu w roślinie". Skład chemiczny: 23% azotu (N), w tym w formie amonowej 11% i 12% w formie amidowej oraz magnez (3%), siarka (31%), mezocalc (12.5%).

**Składowe II obiektu doświadczalnego:**

- **Nitragina** – szczepionka zawierająca bakterie brodawkowe z rodzaju *Bradyrhizobium japonicum* produkowana przez Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa (IUNG) Państwowy Instytut Badawczy. Wymaga aplikacji szczepionki na nasiona przed wysiewem.

- **Hi Stick Soybean<sup>TM</sup> Fix-Fertig** – szczepionka bakteryjna zawierająca bakterie brodawkowe z rodzaju *Bradyrhizobium japonicum* produkowana przez firmę Saatbau®. Materiał siewny jest już inokulowany przez producenta, nie wymaga dodatkowych zabiegów przed wysiewem.

#### **Odmiana:**

- **Merlin** – odmiana z grupy wczesności 000++ - wczesna, o dużym potencjale plonowania. Średnia zawartość białka to 40%, a tłuszczu 21%. Odmiana ta nie widnieje na liście odmian krajowych COBORU, tj. na „Liście odmian roślin rolniczych wpisanych do krajowego rejestru w Polsce 2020”. Zarejestrowana jest ona we wspólnym katalogu odmian gatunków roślin rolniczych (CCA - Common catalogue of varieties of agricultural plant species) [CCA 2023]. Producentem nasion jest Saatbau Linz z Austrii.

#### **Zakres badań obejmował:**

- określenie plonu nasion i elementów struktury plonu, tj: liczby roślin przed zbiorem z 1 m<sup>2</sup> [szt.], liczby strąków z rośliny [szt.], liczby nasion z rośliny [szt.], masy tysiąca nasion [g],
- określenie wielkości cech morfologicznych: wysokość rośliny [cm], wysokość osadzenia najniższego strąka [cm], sucha masa rośliny [g], masa nasion z rośliny [g], masa strąków z rośliny [g], masa łodyg [g], liczba pędów z rośliny [szt.], liczba węzłów na roślinie [szt.],
- określenie zawartości podstawowych składników pokarmowych: zawartość tłuszczu i białka w nasionach soi [g kg<sup>-1</sup> s.m.] oraz ich wydajność z jednostki powierzchni [kg ha<sup>-1</sup>],
- określenie wskaźnika zieloności liścia (SPAD),
- określenie wskaźnika powierzchni liści (LAI),
- określenie parametrów systemu korzeniowego: średnicy korzeni [cm], powierzchni korzeni [cm<sup>2</sup>], gęstości długości korzeni [cm cm<sup>-3</sup>], powierzchni objętościowej korzeni [cm<sup>2</sup> cm<sup>-3</sup>], gęstości suchej masy korzeni [g cm<sup>-3</sup>], suchej masy korzeni [g] oraz liczebności, średnicy i masy brodawek korzeniowych.

#### **Badane wskaźniki wegetacyjne:**

- **SPAD** (Soil Plant Analysis Development) – wskaźnik zieloności liścia wyrażony jednostkami SPAD badano poprzez ręczny pomiar zieloności liścia za pomocą chlorofilomierza

Minolta SPAD 502 DL w różnych częściach poletka. Pomiar wykonano w każdym roku doświadczenia w następujących terminach: 04.07.2016 r., 01.07.2017 r., 08.08.2018 r. i 23.07.2019 r., dziesięciokrotnie na każdym poletku, po czym wyniki uśredniano.

- LAI (Leaf Area Index) – wskaźnik powierzchni liści był mierzony sondą SunScan System – Delta T służącą do pomiaru i analizy promieniowania PAR (aktywnego w procesie fotosyntezy) przechodzącego przez korony roślin za pomocą 64 czujników PAR wbudowanych w listwę sondy o długości 1 m. Wyniki uzyskane przez czujniki PAR w czasie pomiaru były uśredniane i podawane m.in. w jednostkach LAI [ $m^2_{\text{liści}} m^{-2}_{\text{gleby}}$ ] [SunScan 2000]. Pomiar wykonano w terminach: 04.07.2016 r., 01.07.2017 r., 08.08.2018 r. i 23.07.2019 r., w trzech miejscach na poletku, po czym wyniki uśredniano.

### 4.3. Warunki siedliskowe

#### Warunki glebowe

Czteroletnie doświadczenie polowe przeprowadzono w Stacji Doświadczalnej Katedry Agroekologii i Produkcji Roślinnej w Prusach. We wszystkich latach badań eksperyment prowadzono na czarnoziemie zdegradowanym wytworzonym z lessu, należącym do kompleksu pszennego bardzo dobrego, I klasy bonitacyjnej. Przed założeniem doświadczenia określono pH i zasobność gleby w przyswajalne formy składników pokarmowych (oznaczenia w Stacji Chemiczno-Rolniczej wg metod standardowych). Odczyn gleby był lekko kwaśny, a zawartość makroskładników: magnezu i fosforu - średnia do wysokiej, potasu – niska do średniej (tab.1).

*Tabela 1. Zasobność gleby w składniki pokarmowe;*  
*Table 1. Soil nutrients abundance*

Rok / Year	%	mg / 100 g	%	%	pH w/in KCl	Zawartość przyswajalnych makroelementów / <i>Content of available macroelements</i>		
	S-og.	S-SO4	N-og.	C-org		mg / 100 g gleby / soil		
						P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mg
2016	0,016	0,20	0,126	0,96	5,61	13,6	18,0	9,7
2017	0,016	0,20	0,112	1,65	6,25	15,4	14,5	10,7
2018	0,018	0,60	0,119	0,76	6,42	14,6	12,0	10,0
2019	0,016	0,42	0,140	0,70	5,62	10,3	11,0	10,0

## Warunki pogodowe

Doświadczenie polowe zostało założone na terenie powiatu krakowskiego, który, według opracowania Koźmińskiego i in. [1990], w skali kraju charakteryzuje się niskim współczynnikiem bonitacji agroklimatu: 8,4. Dane pogodowe podano wg notowań stacji meteorologicznej zlokalizowanej w Stacji Doświadczalnej Katedry Agroekologii i Produkcji Roślinnej w Prusach, koło Krakowa.

Miesięczne zestawienie sumy opadów i średniej temperatury powietrza przedstawiono w tabeli 2. Roczne sumy opadów z okresu 2016-2019 kształtowały się w zakresie od 557,0 mm do 810,4 mm i różniły się od przeciętnych opadów o -48,0 mm w 2016 r., +127,6 mm w 2017 r., -125,8 mm w 2018 r. i +46,0 mm w 2019 r.

*Tabela 2. Przebieg pogody w latach 2016-2019 w Stacji Doświadczalnej w Prusach;*  
*Table 2. Weather conditions in the years 2016 to 2019 in the Experimental Station in Prusy*

Lata/Years	Miesiąc / Month												Okres / period	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I-XII	IV-VIII
Opady / Precipitation [mm]													Suma / Sum	
2016	21,2	80,6	34,6	58,6	41,4	59,8	92,8	62,0	24,0	104,4	36,2	19,2	634,8	314,6
2017	9,6	22,4	43,8	111,4	83,8	45,2	84,4	83,8	164,4	83,0	48,4	30,2	810,4	408,6
2018	23,2	11,0	29,0	7,4	62,4	85,6	119,8	56,2	70,8	41,6	9,8	40,2	557,0	331,4
2019	44,2	12,8	21,4	76,2	205,2	22,4	53,2	88,2	88,6	36,0	43,0	37,6	728,8	445,2
<b>Średnio / Mean</b>	<b>24,6</b>	<b>31,7</b>	<b>32,2</b>	<b>63,4</b>	<b>98,2</b>	<b>53,3</b>	<b>87,6</b>	<b>72,6</b>	<b>87,0</b>	<b>66,3</b>	<b>34,4</b>	<b>31,8</b>	<b>682,8</b>	<b>375,0</b>
<b>Średnio / Mean 1985-2014</b>	<b>32,1</b>	<b>23,6</b>	<b>33,5</b>	<b>49,1</b>	<b>70,2</b>	<b>79,2</b>	<b>89,3</b>	<b>81,5</b>	<b>73,5</b>	<b>43,6</b>	<b>33,6</b>	<b>30,9</b>	<b>640,1</b>	<b>369,3</b>
Temperatura powietrza / Air temperature [°C]													Średnio / Mean	
2016	-2,1	3,9	4,7	9,5	14,5	18,8	19,6	18,5	16,3	7,7	3,8	0,3	9,6	16,2
2017	-4,9	0,2	6,4	7,6	14,0	18,8	19,2	20,3	13,5	9,9	4,4	1,9	9,3	16,0
2018	1,0	-3,3	0,9	14,7	17,5	18,5	19,9	20,8	16,1	10,9	4,6	1,0	10,2	18,3
2019	-2,1	3,1	6,2	10,3	12,4	22,2	19,2	20,5	14,7	11,3	6,1	3,2	10,6	16,9
<b>Średnio / Mean</b>	<b>-2,0</b>	<b>1,0</b>	<b>4,6</b>	<b>10,5</b>	<b>14,6</b>	<b>19,6</b>	<b>19,5</b>	<b>20,0</b>	<b>15,2</b>	<b>10,0</b>	<b>4,7</b>	<b>1,6</b>	<b>9,9</b>	<b>16,9</b>
<b>Średnio / Mean 1985-2014</b>	<b>-2,1</b>	<b>-1,0</b>	<b>3,1</b>	<b>8,8</b>	<b>13,4</b>	<b>15,2</b>	<b>17,5</b>	<b>18,5</b>	<b>16,8</b>	<b>8,7</b>	<b>3,3</b>	<b>-0,6</b>	<b>8,5</b>	<b>14,7</b>

Rok 2018 charakteryzował się mniejszą o 13% sumą opadów w porównaniu do wielolecia, natomiast lata 2017 i 2019 obfitowały w opady, a wartości sumy opadów były większe od przeciętnych odpowiednio o 26,5% i 13,9%. Szczególnie obfite opady wystąpiły w: 3. dek. sierpnia i września 2017 r. (74,0 mm i 60,4 mm), 2. dek. lipca 2018 r. (81,2 mm) oraz w 3. dek. kwietnia (60,6 mm), 2. dek. i 3. dek. maja (87,4 mm i 112,4 mm) i 1. dek. września (81,0 mm) 2019 r. (tab. 3). W okresie od kwietnia do sierpnia suma opadów w 2016 r. była średnio o 64,2 mm mniejsza od normy. W 2017 r. suma opadów była średnio o 23,0 mm

mniejsza niż w wieloleciu, a rok 2018 r. charakteryzował się zbliżoną do wielolecia sumą opadów. Rok 2019 obfitował w opady. Odnotowano średnio o 48,8 mm wody więcej niż w analogicznym okresie z lat 1985-2014. Szczególnie w maju, kiedy to suma opadów była o 135 mm większa niż w wieloleciu. Według Lamm i in. [2007] potrzeby wodne soi w okresie wegetacji wynoszą średnio 367 mm. W latach 2017 i 2019 suma opadów w okresie wegetacji była większa od wartości wskazanej przez Lamma, a w latach 2016 i 2019, mniejsza (tab. 2).

*Tabela 3. Suma opadów [mm] w latach 2016-2019 w miesiącach wegetacji soi odnotowane w Stacji Doświadczalnej w Prusach – ujęcie dekadowe;*

*Table 3. Precipitation sum [mm] in the years 2016-2019 in the months of soybean vegetation in Experimental Station in Prusy – decadal view*

Miesiąc / Month Dekada / Decade	Kwiecień / April			Maj / May			Czerwiec / June			Lipiec / July			Sierpień / August			Wrzesień / September			
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	
Rok / Year	2016	13,4	19,6	25,6	5,8	31,6	4,0	14,8	10,4	34,6	19,8	46,8	26,2	50,6	3,2	8,2	11,0	11,0	2,0
	2017	24,6	15,4	43,6	53,6	10,8	16,4	43,2	9,6	20,0	5,6	49,2	32,6	0,2	3,6	74,0	6,2	39,8	60,4
	2018	2,6	2,0	2,8	10,6	51,8	0,0	33,6	10,0	42,0	4,0	81,2	34,6	9,4	22,4	24,4	30,4	17,6	22,8
	2019	9,2	6,4	60,6	5,4	87,4	112,4	0,0	4,4	18,0	1,2	18,0	34,0	49,4	38,2	0,6	81,0	4,2	3,4

W porównaniu do średniej temperatury powietrza z wielolecia okres prowadzenia badań, tj. lata 2016-2019, odznaczał się większą średnią roczną temperaturą powietrza, odpowiednio o 1,1 °C w 2016 r., o 0,8 °C w 2017 r., o 1,7 °C w 2018 r. i o 2,1 °C w 2019 r. (tab. 2). W analizowanym okresie największą średnią temperaturę powietrza (23,4 °C) odnotowano w 1. dek. sierpnia 2018 r., o 4,9 °C większą w porównaniu do wielolecia (tab. 4).

*Tabela 4. Temperatury powietrza [°C] w latach 2016-2019 w miesiącach wegetacji soi odnotowane w Stacji Doświadczalnej w Prusach – ujęcie dekadowe;*

*Table 4. Air temperatures [°C] in the years 2016-2019 in the months of soybean vegetation in Experimental Station in Prusy – decadal view*

Miesiąc / Month Dekada / Decade	Kwiecień / April			Maj / May			Czerwiec / June			Lipiec / July			Sierpień / August			Wrzesień / September			
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	
Rok / Year	2016	10,5	10,4	7,5	12,8	11,7	18,4	16,5	18,0	22,0	18,6	18,0	21,4	19,2	17,1	19,1	19,3	17,1	12,4
	2017	11,3	5,4	6,2	9,9	15,2	16,6	17,6	17,5	21,2	18,0	19,0	20,4	23,2	20,2	17,7	15,4	14,0	11,1
	2018	11,5	15,7	16,8	17,7	14,7	19,7	20,1	19,6	15,7	18,8	18,6	21,9	23,4	21,1	18,3	18,2	18,3	11,7
	2019	9,8	7,9	13,1	9,8	12,5	14,6	21,1	23,3	22,2	18,5	17,4	21,6	20,3	19,9	21,2	17,1	13,3	13,8

W czasie prowadzonych badań średnia temperatura wyniosła 9,9 °C i była większa o 1,4 °C od wartości uzyskanej w ciągu 30-lecia. Natomiast średnia temperatura w miesiącach wegetacji wyniosła 16,9 °C i była większa o 2,2 °C w stosunku do temperatury z analogicznych miesięcy z okresu 1985-2014 (tab. 2). Najbardziej zbliżony do średniej wieloletniej temperatury



powietrza w okresie wegetacji był rok 2017 (16,0 °C), natomiast 2018 r. charakteryzował się największymi temperaturami; w okresie wegetacji średnia temperatura wyniosła 18,3 °C.

W celu kompleksowego scharakteryzowania warunków termicznych i wodnych panujących w okresie wegetacji roślin wykorzystano hydrotermiczny rolniczo-klimatyczny wskaźnik  $k$  zaproponowany przez Sielianinowa [Molga 1972] (tab. 5), wg wzoru:

$$k = \frac{P}{\sum T_p} \times 0,1$$

gdzie:

$P$  – suma opadów atmosferycznych dla danej dekady [mm],

$\sum T_p$  – suma średnich dobowych temperatur powietrza dla danej dekady [ $^{\circ}\text{C}$ ]  $> 0^{\circ}\text{C}$

Wskaźnik Sielianinowa wykorzystuje się do wyznaczania optymalnego uwilgotnienia i okresów suszy [Kozłowski i Michalska 2004]. W Prusach zmienność wskaźnika Sielianinowa w okresach wegetacyjnych poszczególnych lat, miesięcy i dekad była duża (tab. 5A, 5B).

Na podstawie przedziałów wartości podanych przez Skowerę i Pułę [2004] scharakteryzowano warunki termiczno-opadowe w okresie wegetacji soi:

$k \leq 0,4$  – skrajnie suchy (ss) / *extremely dry*

$0,4 < k \leq 0,7$  – bardzo suchy (bs) / *very dry*

$0,7 < k \leq 1,0$  – suchy (s) / *dry*

$1,0 < k \leq 1,3$  – dość suchy (ds) / *quite dry*

$1,3 < k \leq 1,6$  – optymalny (o) / *optimal*

$1,6 < k \leq 2,0$  – dość wilgotny (dw) / *quite wet*

$2,0 < k \leq 2,5$  – wilgotny (w) / *wet*

$2,5 < k \leq 3,0$  – bardzo wilgotny (bw) / *very wet*

$k > 3,0$  – skrajnie wilgotny (sw) / *extremely wet*

Skrajnie suchymi warunkami hydrotermicznymi odznaczał się początek wegetacji, tj. kwiecień 2018 r. i czerwiec 2019 r. Jako bardzo suche, suche i dość suche określono następujące miesiące: w 2016 r.: maj, czerwiec, sierpień, wrzesień, w 2017 r.: czerwiec i sierpień, w 2018 r: kwiecień, maj i sierpień oraz w 2019 r.: czerwiec i lipiec. Optymalne

warunki hydrotermiczne odnotowano w miesiącach lipcu 2017 r., czerwcu i wrześniu 2018 r. oraz sierpniu 2019 r.

W 2016 r. oraz 2018 r. warunki hydrotermiczne od kwietnia do września były dość suche, natomiast sezony wegetacyjne w latach 2017 i 2019 zostały scharakteryzowane jako wilgotne (tab. 5B).

Tabela 5. Współczynnik hydrotermiczny Sielianinowa w okresie wegetacji soi A) w dekadach poszczególnych miesięcy, B) w poszczególnych miesiącach;

Table 5. Sielianin hydrothermal coefficient in growing season of soybean A) in decades, B) in months

A)

Miesiąc / Month Dekada / Decade	Kwiecień / April			Maj / May			Czerwiec / June			Lipiec / July			Sierpień / August			Wrzesień / September			
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	
Rok / Year	2016	1,27	1,88	3,42	0,45	2,70	0,20	0,90	0,58	1,57	1,31	2,60	1,11	2,64	0,19	0,39	0,57	0,64	0,16
	2017	2,17	2,83	7,06	5,41	0,71	0,90	2,45	0,55	0,94	0,31	2,59	1,46	0,01	0,18	3,81	0,40	2,84	5,45
	2018	0,23	0,13	0,17	0,60	3,52	0,00	1,67	0,51	2,67	0,21	4,36	1,43	0,40	1,06	1,21	1,67	0,88	1,95
	2019	0,93	0,81	4,62	0,55	6,99	7,01	0,00	0,19	0,81	0,06	1,04	1,43	2,43	1,92	0,03	4,72	0,28	0,25

B)

Rok / Year	Kwiecień / April	Maj / May	Czerwiec / June	Lipiec / July	Sierpień / August	Wrzesień / September	Okres / Period IV-VIII
	2016	2,06 (w)	0,92 (s)	1,06 (ds)	1,64 (dw)	1,08 (ds)	0,49 (bs)
2017	3,65 (sw)	1,87 (dw)	1,29 (ds)	1,47 (o)	1,29 (ds)	2,62 (bw)	2,03 (w)
2018	0,17 (ss)	1,15 (ds)	1,54 (o)	1,95 (dw)	0,87 (s)	1,42 (o)	1,18 (ds)
2019	2,47 (w)	5,35 (sw)	0,34 (ss)	0,89 (s)	1,39 (o)	1,94 (dw)	2,06 (w)
Średnio / Mean 1985-2014	Brak średnich dobowych temperatur powietrza by obliczyć współczynnik hydrotermiczny Sielianinowa Lack of mean air temperatures to calculate Sielianin hydrothermal coefficient						

#### 4.4. Agrotechnika

Powierzchnia poletek doświadczalnych wynosiła 11,2 m<sup>2</sup> (8,00 m x 1,40 m). Przedplonem we wszystkich latach prowadzenia badań była pszenica ozima. Przed siewem nasion soi pola przeznaczone do zasiewu były uprawiane zgodnie z zaleceniami agrotechnicznymi dla tego gatunku. Przed siewem zastosowano dawkę startową azotu na odpowiednich obiektach w formie saletry amonowej (32% N) i Sulfammo 23 N-Process (23% N) w ilości 30 kg N ha<sup>-1</sup>. Dla wszystkich obiektów zastosowano nawożenie fosforem w formie superfosfatu potrójnego (40% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) i potasem w formie skoncentrowanej soli potasowej (60% K<sub>2</sub>O) w dawkach 70 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> i 100 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>. W drugiej dekadzie czerwca pogłównie

zastosowano 30 kg ha<sup>-1</sup> azotu w analogicznej formie jak w przypadku pierwszej, przewidzianej dawki. Tym samym, łączna dawka azotu aplikowana dla roślin wynosiła 60 kg ha<sup>-1</sup>.

Siewu nasion dokonywano w terminach optymalnych (trzeciej dekadzie kwietnia / pierwszej dekadzie maja: 22.04.2016 r., 24.04.2017 r., 26.04.2018 r., 08.05.2019 r.) siewnikiem poletkowym (Bratek). Rozstaw rzędów wynosił 28 cm, głębokość siewu nasion soi 3-4 cm.

W czasie wegetacji wykonano następujące zabiegi przy użyciu środków ochrony roślin (tab. 6):

*Tabela 6. Zabiegi ochrony roślin soi wykonane w latach 2016-2019;*  
*Table 6. Soybean plant protection treatments performed in 2016-2019*

Termin wykonania zabiegu / <i>The date of the procedure</i>	Nazwa środka ochrony roślin / <i>Name of the plant protection product</i>	Dawka / <i>Dose</i>	Rodzaj środka ochrony roślin / <i>Type of plant protection product</i>
22.04.2016	Sencor Liquid 600SC	0,55 l ha <sup>-1</sup>	Herbicyd / <i>Herbicide</i>
25.05.2016	Fusilade Forte 150EC	1,00 l ha <sup>-1</sup>	Herbicyd / <i>Herbicide</i>
22.07.2016	Dithane Neotec 75WG	2,00 kg ha <sup>-1</sup>	Fungicyd / <i>Fungicide</i>
25.04.2017	Sencor Liquid 600SC	0,55 l ha <sup>-1</sup>	Herbicyd / <i>Herbicide</i>
01.06.2017	Basagran 480SL	1,40 l ha <sup>-1</sup>	Herbicyd / <i>Herbicide</i>
02.06.2017	Fusilade Forte 150EC	1,00 l ha <sup>-1</sup>	Herbicyd / <i>Herbicide</i>
14.06.2017	Amistar 250SC	0,70 l ha <sup>-1</sup>	Fungicyd / <i>Fungicide</i>
27.04.2018	Platen	2,00 kg ha <sup>-1</sup>	Herbicyd / <i>Herbicide</i>
19.05.2018	Basagran 480SL	1,40 l ha <sup>-1</sup>	Herbicyd / <i>Herbicide</i>
29.05.2018	Amistar 250SC	0,80 l ha <sup>-1</sup>	Fungicyd / <i>Fungicide</i>
14.06.2019	Fusilade Forte 150EC	1,50 l ha <sup>-1</sup>	Herbicyd / <i>Herbicide</i>
19.06.2019	Corum 502,4SL	1,25 l ha <sup>-1</sup>	Herbicyd / <i>Herbicide</i>

#### 4.5. Zakres badań

W fazie pełni kwitnienia roślin oznaczano wskaźnik powierzchni liści (LAI) oraz wskaźnik zieloności liścia (SPAD). Pomiar parametrów systemu korzeniowego roślin wykonano pod koniec fazy kwitnienia (BBCH 69), ponieważ jest to faza maksymalnego

przyrostu masy korzeniowej oraz brodawek korzeniowych. Dla każdego obiektu pobrano trzy monolity glebowe z warstwy 0-15 cm korzystając z próbnika do pobierania korzeni produkcji Ejikelkamp. Średnica wycinanego walca wynosiła 7 cm. Pojedyncze próbki płukano w automatycznej, hydrauliczno-pneumatycznej płuczce korzeniowej RWB/RWC-Delta-T. Płuczka korzeniowa zasilana była wodą wodociągową ze średnią wydajnością ok.  $2 \text{ dm}^3 \text{ min}^{-1}$ . Do płuczki doprowadzano sprężone powietrze pod ciśnieniem w zakresie 100-300 kPa. Pierwszy etap trwał ok. 2 minut przy ciśnieniu powietrza ok. 100 kPa, następnie w drugim etapie ciśnienie zwiększano do ok. 300 kPa na czas 1 minuty. Powyższy zakres ciśnień i czas płukania pozwalał na dokładne, pozbawione strat przeniesienie korzeni i brodawek na sito. Wypłukane korzenie oraz brodawki korzeniowe przenoszono na bibułę w celu usunięcia nadmiaru wody. Materiał badawczy z każdej pobranej próbki izolowano za pomocą pęsety, a następnie skanowano (Epson Perfection 4870 Photo) w świetle przechodzącym w rozdzielczości 600 dpi. Otrzymane obrazy zostały zapisane w formacie „\*.tiff”. Korzenie oraz brodawki po skanowaniu zostały poddane procesowi suszenia w temperaturze  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  w celu oznaczenia zawartości suchej masy. Następnie oszacowano wielkość suchej masy korzeni (RDM – *Root Dry Mass*), a wartości podano w gramach z rośliny. Obrazy poddano analizie przy wykorzystaniu programów WinRHIZO™ i ImageJ 1.53c – do analizy korzeni i brodawek korzeniowych.

Na podstawie przeprowadzonej analizy obrazu obliczono wskaźniki, które posłużyły do zweryfikowania rozwoju systemu korzeniowego [Venzke Filho i in. 2004; Klimek-Kopyra i in. 2019; Zhou i in. 2022]:

- gęstość długości korzeni [ $\text{cm cm}^{-3}$ ] (RLD - *Root Length Density*)

$$RLD = \frac{L}{V}$$

gdzie: L – długość korzeni [cm], V – objętość gleby [ $\text{cm}^3$ ];

$$V = \pi r^2 h$$

gdzie: r = 3,5 cm, h = 15 cm, 15-centymetrowa bryła ziemi ma objętość  $576,98 \text{ cm}^3$ ;

- sucha masa korzeni w przeliczeniu na jednostkę objętości gleby [ $\text{g cm}^{-3}$ ] (RDMD - *Root Dry Mass Density*)

$$RDMD = \frac{RDM}{V}$$

gdzie: RDM – sucha masa korzenia [g], V – objętość gleby [ $\text{cm}^3$ ];

- gęstość powierzchni korzeni [ $\text{cm}^2 \text{cm}^{-3}$ ] (RSAD - *Root Surface Area Density*)

$$RSAD = \frac{r_a}{V}$$

gdzie:  $r_a$  – powierzchnia korzeni [ $\text{cm}^2$ ], V – objętość gleby [ $\text{cm}^3$ ].

Ponadto, oznaczono średnią średnicę korzeni (MRD - *Mean Root Diameter*) [mm].

W fazie dojrzałości pełnej oceniono obsadę przed zbiorem na każdym poletku doświadczalnym metodą ramkową na powierzchni  $1 \text{ m}^2$  [szt.], oceniono liczbę strąków na roślinie [szt.], liczbę nasion z rośliny [szt.]. Przed zbiorem pobrano z każdego obiektu doświadczalnego 10 losowo wybranych roślin soi i wykonano szczegółowe pomiary biometryczne, uwzględniając: wysokość rośliny [cm], wysokość osadzenia najniższego strąka [cm], suchą masę rośliny [g], masę nasion z rośliny [g], masę strąków [g], masę łodyg [g], liczbę pędów z rośliny [szt.] oraz liczbę węzłów na roślinie [szt.]. Zbiór soi wykonano w następujących terminach: 09.09.2016 r., 14.09.2017 r., 19.09.2018 r., 24.09.2019 r. Bezpośrednio po zbiorze roślin oznaczono plon nasion przy wilgotności 15%, a następnie masę tysiąca nasion [g].

Oceny jakościowej nasion soi dokonano w oparciu o wyniki przeprowadzonych oznaczeń zawartości białka i tłuszczu przy wykorzystaniu techniki spektroskopowej przy użyciu promieniowania w bliskiej podczerwieni (NIRS). Badanie składu chemicznego nasion polegało na umieszczeniu ujednoliconej próbki w kuwecie pomiarowej analizatora opartego na monochromatorze współczynnika odbicia i transflektancji FOSS A/S - InfraXact wykorzystującego transmisję bliskiej podczerwieni w dolnym zakresie długości fal 570-1850 nm.

## 4.6. Statystyka

W obliczeniach statystycznych wykorzystano następujące programy:

- Microsoft Office Excel,
- TIBCO® Statistica™, Version 13.3,
- FR-ANALWAR na bazie Microsoft Excel, F. Rudnicki,
- WinRHIZO™ Analysis of Washed Roots and Arabidopsis Seedlings,
- ImageJ 1.53c.

W analizie wariancji jako pierwszy czynnik losowy statystyczny wykorzystano lata badań, jako drugi czynnik statystyczny rodzaj nawozu azotowego (forma chemiczna), a jako trzeci czynnik rodzaj szczepionki bakteryjnej. Doświadczenie założono w trzech powtórzeniach.

Do określenia korelacji między badanymi cechami wykorzystano program Microsoft Office Excel oraz program FR-ANALWAR. Do analizy wariancji (ANOVA) wykorzystano program FR-ANALWAR i TIBCO® Statistica™, Version 13.3. Wykresy przygotowano przy pomocy programu TIBCO® Statistica™, Version 13.3.

Do określenia długości i średnicy systemu korzeniowego wykorzystano program ImageJ 1.53c z automatyczną procedurą RIA – Root Image Analysis in ImageJ i program WinRHIZO™.

## 5. Wyniki badań

### 5.1. Plon nasion

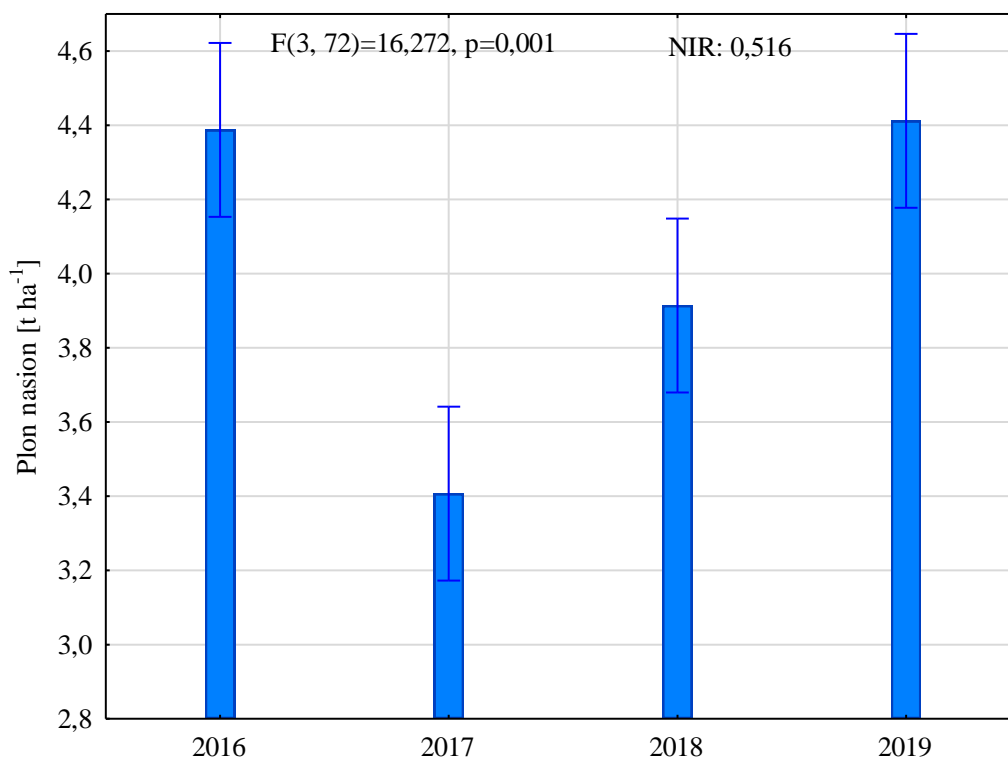
Średni plon nasion z lat 2016-2019 wyniósł 4,03 t ha<sup>-1</sup>, a jego zakres mieścił się w przedziale 3,34-4,82 t ha<sup>-1</sup> i był zależny od przebiegu pogody w poszczególnych latach i czynników badań. Stosowanie saletry amonowej nie wpłynęło istotnie na poziom plonowania soi, natomiast największy plon uzyskano pod wpływem nawożenia nawozem Sulfammo 23 N-Process - 4,26 t ha<sup>-1</sup>. Między poziomem plonowania na obiektach SA i SFM23 stwierdzono statystycznie istotną różnicę. Przyrost plonu na obiekcie SFM23 w stosunku do obiektu kontrolnego wyniósł średnio 0,28 t ha<sup>-1</sup> (6,9%).

Tabela 7. Plon nasion soi [t ha<sup>-1</sup>];  
Table 7. Soybean seed yield [t ha<sup>-1</sup>]

	Kontrola <sub>N</sub>	SA	SFM23	$\bar{x}$	NIR <sub>II</sub>
Kontrola <sub>S</sub>	3,87	3,34	3,82	3,68	0,378
FF	4,06	3,77	4,13	3,99	
NI	4,02	4,43	4,82	4,43	
$\bar{x}$	3,98	3,85	4,26	4,03	
NIR <sub>I</sub>	0,300				
NIR <sub>I/II</sub>	n.i.				
NIR <sub>II/I</sub>	n.i.				

SA – nawóz azotowy - saletra amonowa / nitrogen fertilizer - ammonium nitrate; SFM23 – nawóz azotowy - Sulfammo 23 N-Process / nitrogen fertilizer - Sulfammo 23 N-Process, FF – szczepionka bakteryjna Timac Agro Fix-Fertig / Timac Agro Fix-Fertig bacterial vaccine, NI – szczepionka bakteryjna Nitragina / Nitragina bacterial vaccine

Zastosowanie szczepionki bakteryjnej NI skutkowało znaczącym wzrostem plonu nasion o 20,4%, a szczepionki FF o 8,5% w stosunku do kontroli (tab. 7). Przebieg pogody determinował znacząco plonowanie soi w latach. Znacząco większe plony (około 4,4 t ha<sup>-1</sup>) uzyskano w latach 2016 i 2019, które charakteryzowały się lepszym rozkładem opadów i temperatury od pozostałych lat badań. Najmniej korzystnym dla plonowania soi był rok 2017 (3,4 t ha<sup>-1</sup>). Charakteryzował się on mało korzystnym układem pogody, gdzie średnia temperatura na początku wegetacji, w 3. dek. kwietnia, była poniżej średnich wartości z wielolecia, co negatywnie wpłynęło na początkowy rozwój siewek. Dodatkowo odnotowano nadmiar opadów – powyżej 40 mm – w ujęciu dekadowym, w 3. dek. kwietnia i 1. dek. maja, przypadający na fazy kiełkowania i wschodów (tab. 2 i 3, rys. 3).



Rys. 3. Plon nasion soi w latach 2016-2019;  
Fig. 3. Soybean seeds yield in 2016-2019 years

I – błąd standardowy (b.s.)  
I – standard error (s.e.)

## 5.2. Zawartość i wydajność tłuszczu

### 5.2.1. Zawartość tłuszczu

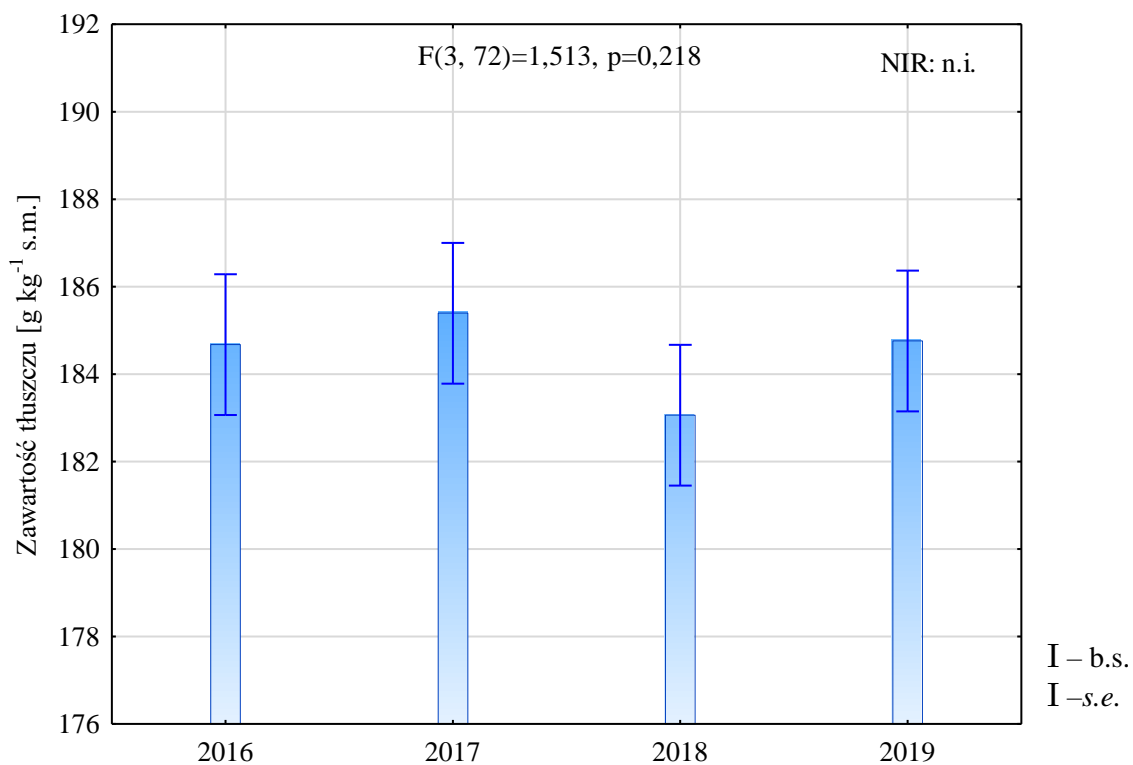
Zawartość tłuszczu w nasionach była istotnie uwarunkowana rodzajem zastosowanego szczepienia, a nieznacznie rodzajem nawożenia azotowego (tab. 8). Średnia zawartość tłuszczu kształtowała się w zakresie od 182,5 do 187,1 g kg<sup>-1</sup> s.m. Statystycznie istotne różnice stwierdzono w przypadku stosowania NI w stosunku do kontroli. W obiekcie, gdzie stosowano NI, stwierdzono zmniejszenie zawartości tłuszczu w nasionach o 2,1 g kg<sup>-1</sup> s.m. w stosunku do kontroli (tab. 8).

Tabela 8. Zawartość tłuszczu w nasionach soi [g kg<sup>-1</sup> s.m.];  
Table 8. Fat content in soybean seeds [g kg<sup>-1</sup> d.m.]

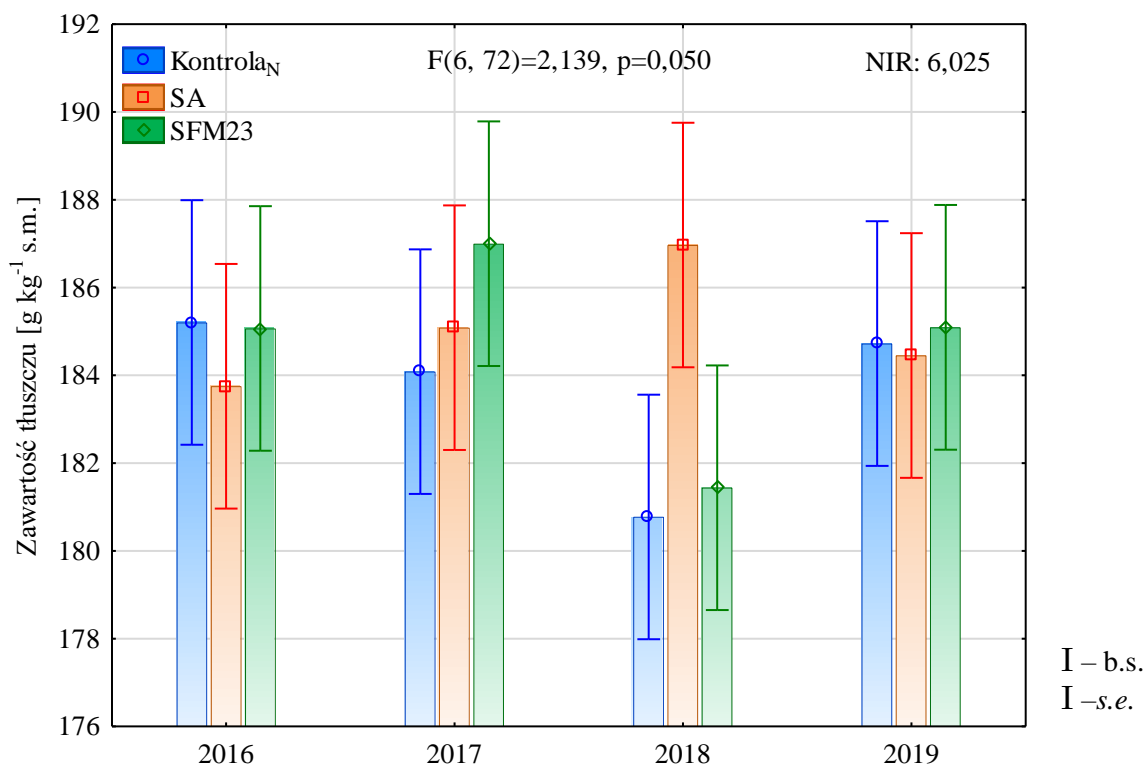
	Kontrola <sub>N</sub>	SA	SFM23	$\bar{x}$	NIR <sub>II</sub>
<b>Kontrola<sub>S</sub></b>	184,3	185,5	186,0	185,3	2,13
<b>FF</b>	182,5	187,1	185,4	185,0	
<b>NI</b>	184,2	182,6	182,6	183,1	
$\bar{x}$	183,7	185,1	184,7	184,5	
<b>NIR<sub>I</sub></b>	n.i.				
<b>NIR<sub>I/II</sub></b>	n.i.				
<b>NIR<sub>II/I</sub></b>	n.i.				

(jak w tab. 7, as in Tab. 7)





Rys. 4. Zawartość tłuszczu w nasionach soi w latach;  
 Fig. 4. Fat content in soybean seeds in years



Rys. 5. Zawartość tłuszczu w nasionach soi w latach po zastosowaniu nawożenia N;  
 Fig. 5. Fat content in soybean seeds in years after N fertilization

Nie odnotowano statystycznie istotnego zróżnicowania cechy pod wpływem przebiegu pogody w latach (rys. 4). Wykazano jednak istotne współdziałanie lat i nawożenia. Zastosowanie SA przełożyło się na znaczący wzrost zawartości tłuszczu w nasionach w 2018 r. w stosunku do kontroli, o 6,2 g kg<sup>-1</sup> s.m. Odnotowano również tendencję wzrostu zawartości tłuszczu pod wpływem nawożenia SFM23 w stosunku do kontroli w 2017 r., jednak była to różnica nieistotna statystycznie (rys. 5).

### 5.2.2. Wydajność tłuszczu

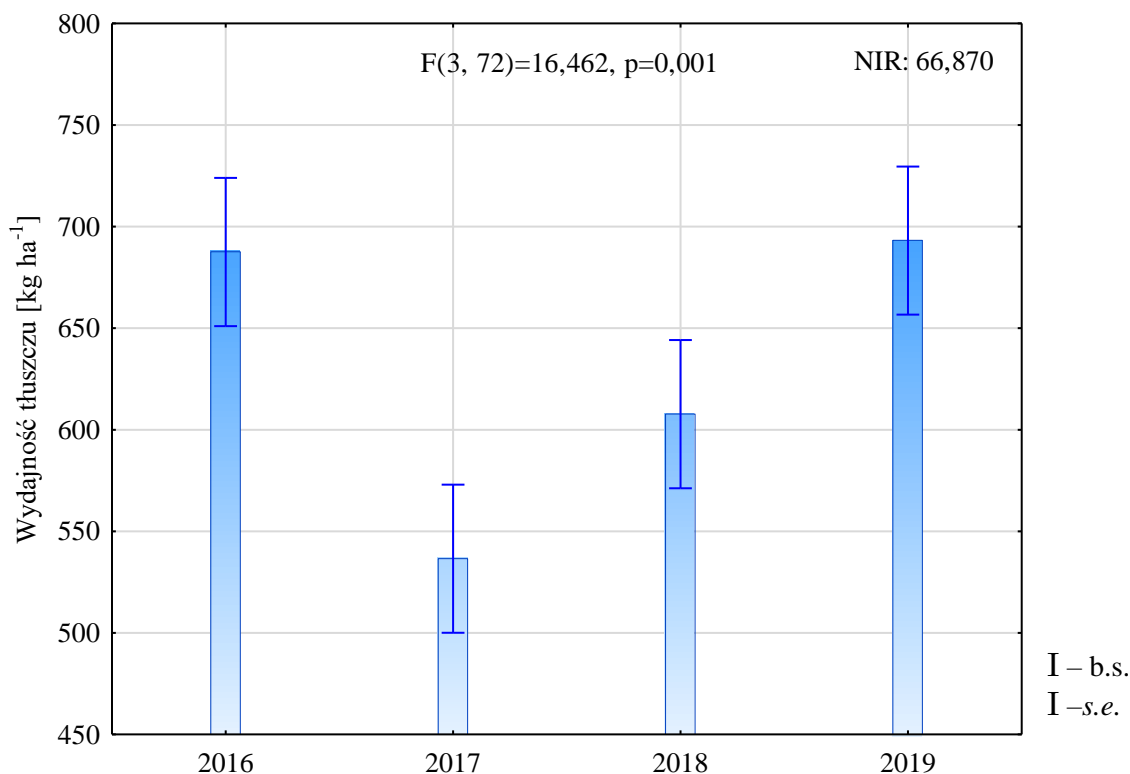
Wydajność tłuszczu, jako wypadkowa plonowania roślin i akumulacji składników pokarmowych, była zależna od czynników badań i kształtowała się w przedziale od 527,2 kg ha<sup>-1</sup> do 747,2 kg ha<sup>-1</sup>. Najbardziej skutecznym rodzajem nawożenia było SFM23. Aplikacja azotu w formie amonowo-amidowej spowodowała istotne zwiększenie zawartości tłuszczu w nasionach, średnio o 62,2 kg ha<sup>-1</sup>, tj. 10,29% w porównaniu do nawożenia SA oraz zaobserwowano znaczny wzrost, o 44,9 kg ha<sup>-1</sup>, na progu istotności, w stosunku do kontroli. Zastosowanie szczepionki bakteryjnej NI istotnie zwiększyło wydajność tłuszczu, średnio o 18,9% w stosunku do kontroli (tab. 9).

Tabela 9. Wydajność tłuszczu nasion soi [kg ha<sup>-1</sup>];  
Table 9. Fat yield of soybean seeds [kg ha<sup>-1</sup>]

	Kontrola <sub>N</sub>	SA	SFM23	$\bar{x}$	NIR <sub>II</sub>
<b>Kontrolas</b>	605,1	527,2	603,6	578,6	59,824
<b>FF</b>	629,6	600,1	650,1	626,6	
<b>NI</b>	631,3	686,6	747,2	688,4	
$\bar{x}$	622,0	604,7	666,9	631,2	
<b>NIR<sub>I</sub></b>	45,609				
<b>NIR<sub>I/II</sub></b>	n.i.				
<b>NIR<sub>II/I</sub></b>	n.i.				

(jak w tab. 7, as in Tab. 7)

Nie wykazano istotnego współdziałania czynników badań. Jednakże odnotowano wpływ przebiegu pogody na wydajność tłuszczu. Istotnie większą wydajność uzyskano w latach 2016 i 2019, odpowiednio 687,50 kg ha<sup>-1</sup> i 693,11 kg ha<sup>-1</sup>, a najniższą w roku 2017, 536,51 kg ha<sup>-1</sup> (rys. 6).



Rys. 6. Wydajność tłuszczu nasion soi w latach;  
Fig. 6. Fat yield of soybean seeds in years

Nie stwierdzono statystycznego zróżnicowania cechy pod wpływem przebiegu pogody w latach w interakcji z poszczególnymi czynnikami badań.

### 5.3. Zawartość i wydajność białka

#### 5.3.1. Zawartość białka

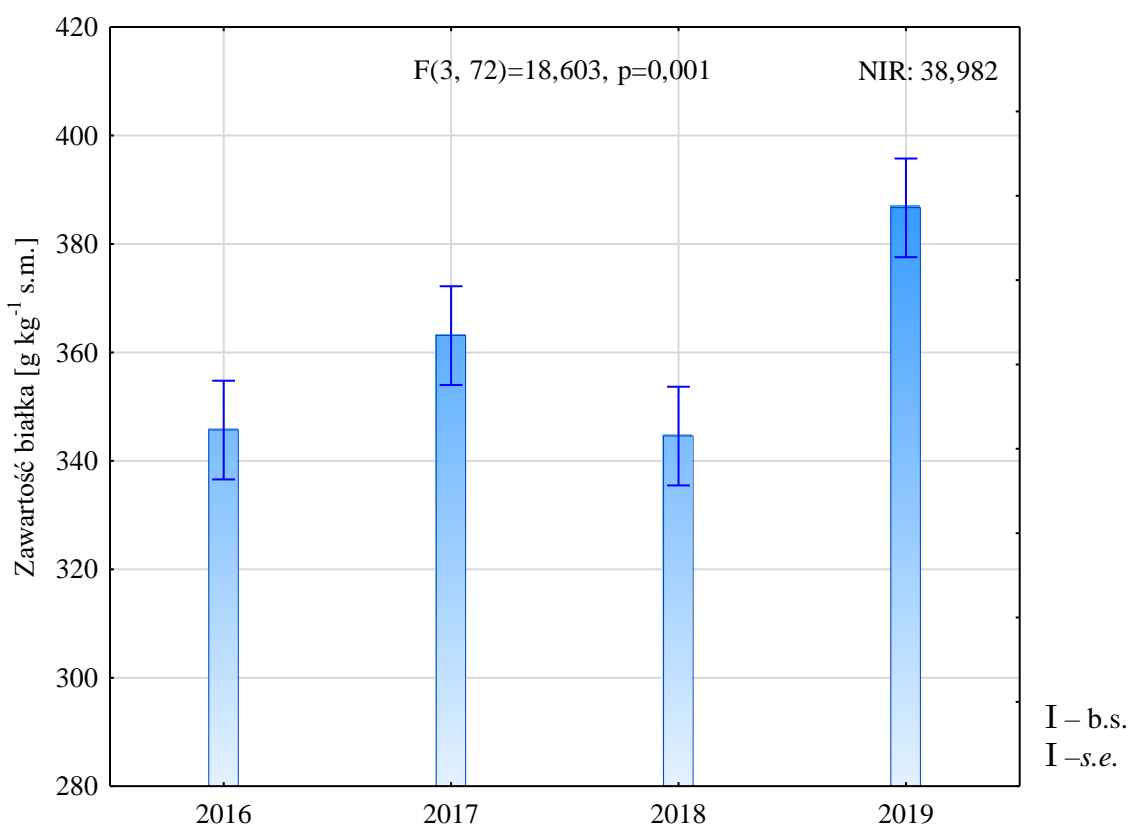
Zawartość białka była zależna od zastosowanych czynników badań (tab. 10). Średnia zawartość białka w nasionach soi wynosiła 360,0 g kg<sup>-1</sup> s.m., a wartości kształtowały się w granicach od 342,0 g kg<sup>-1</sup> s.m. do 379,1 g kg<sup>-1</sup> s.m. Badając wpływ nawożenia azotu na cechę, stwierdzono największą zawartość białka w obiektach kontrolnych (367,1 g kg<sup>-1</sup> s.m.), natomiast istotnie mniejszą zawartością białka (351,3 g kg<sup>-1</sup> s.m.) charakteryzowały się nasiona z obiektów, w których stosowano saletrę amonową. Z porównywanych szczepionek bakteryjnych najbardziej efektywną była NI, która warunkowała statystycznie istotnie większą akumulację białka w nasionach soi (374,7 g kg<sup>-1</sup> s.m.) w stosunku do kontroli (349,6 g kg<sup>-1</sup> s.m.), jak i do obiektów, w których stosowano szczepienie FF (355,6 g kg<sup>-1</sup> s.m.).

Tabela 10. Zawartość białka w nasionach soi [ $\text{g kg}^{-1}$  s.m.];  
 Table 10. Protein content in soybean seeds [ $\text{g kg}^{-1}$  d.m.]

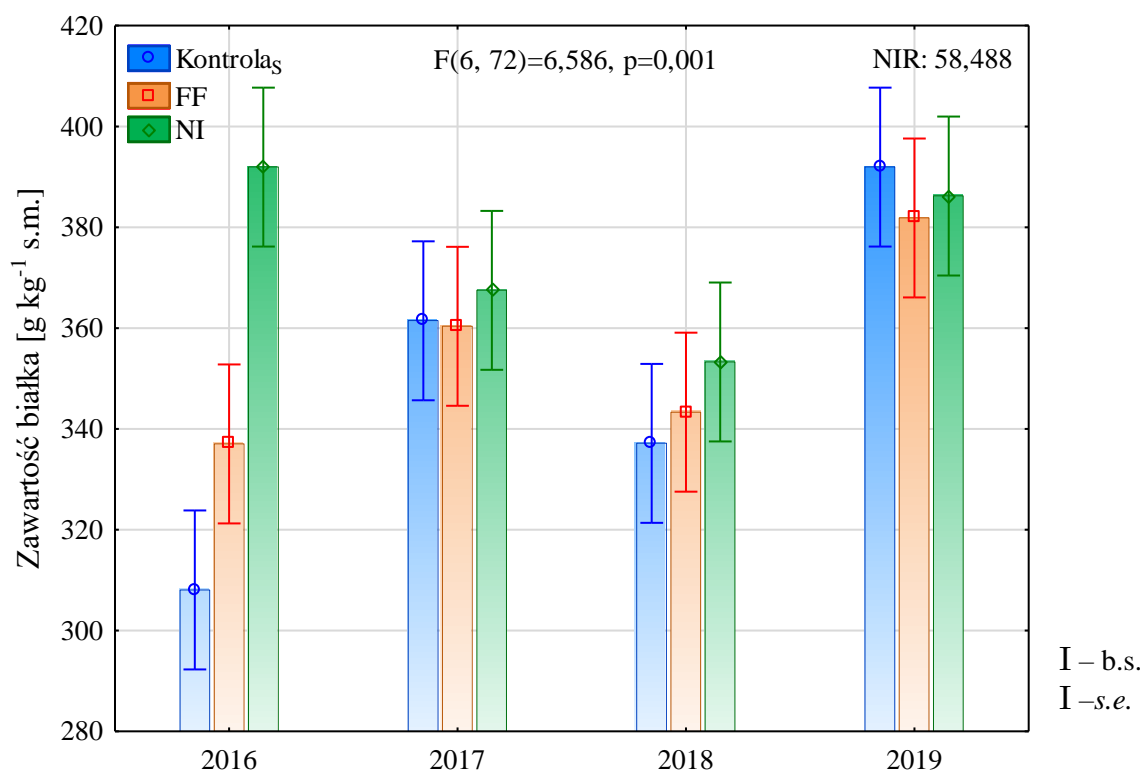
	Kontrola <sub>N</sub>	SA	SFM23	$\bar{x}$	NIR <sub>II</sub>
<b>Kontrolas</b>	357,0	342,0	349,9	349,6	8,989
<b>FF</b>	366,5	344,7	355,7	355,6	
<b>NI</b>	377,8	367,3	379,1	374,7	
$\bar{x}$	367,1	351,3	361,6	360,0	
<b>NIR<sub>I</sub></b>	12,193				
<b>NIR<sub>I/II</sub></b>	n.i.				
<b>NIR<sub>II/I</sub></b>	n.i.				

(jak w tab. 7, as in Tab. 7)

Przebieg pogody w latach miał znaczący wpływ na kształtowanie się zawartości białka w nasionach soi (rys. 7). Istotnie większą wartość cechy miały nasiona z roślin w 2019 r. ( $386,4 \text{ g kg}^{-1}$  s.m.) od nasion zebranych w latach 2016 ( $345,6 \text{ g kg}^{-1}$  s.m.) i 2018 ( $344,5 \text{ g kg}^{-1}$  s.m.).



Rys. 7. Zawartość białka w nasionach soi w latach;  
 Fig. 7. Protein content in soybean seeds in years



Rys. 8. Zawartość białka w nasionach soi w latach po zastosowaniu szczepienia bakteryjnego;  
Fig. 8. Protein content in soybean seeds in years after inoculation

Wykazano istotny wpływ współdziałania przebiegu pogody w latach i szczepionki bakteryjnej. W 2016 r. zaobserwowano istotnie większą akumulację białka w nasionach soi po zastosowaniu szczepionki NI w stosunku do kontroli. Różnica wynosiła 84,4 g kg<sup>-1</sup> s.m. W pozostałych latach doświadczenia – 2017, 2018 i 2019 – stosowanie szczepionek bakteryjnych nie wpływało na istotny wzrost akumulacji białka w nasionach (rys. 8).

### 5.3.2. Wydajność białka

Wydajność białka była zależna od działania czynników badań i ich współdziałania. Średnio plon białka ogólnego zebrany w nasionach soi wynosił 1239 kg ha<sup>-1</sup>, a jego zakres mieścił się w granicach 956-1535 kg ha<sup>-1</sup>. Spośród badanych nawozów istotnie większą wydajność białka uzyskano w obiektach, w których stosowano nawóz SFM23. Zwiększenie plonu białka na tym obiekcie w stosunku do SA wynosiło 159 kg ha<sup>-1</sup>, tj. 13,8%, natomiast w stosunku do kontroli 65 kg ha<sup>-1</sup>. Spośród porównywanych szczepionek bakteryjnych stwierdzono istotnie większą wydajność białka w obiektach szczepionych Nitraginą w stosunku do obiektu kontrolnego i obiektu, w którym stosowano szczepionkę FF. Najmniejszą wartość cechy otrzymano w obiektach nieszczepionych (1094 kg ha<sup>-1</sup>). Zwiększenie wydajności białka

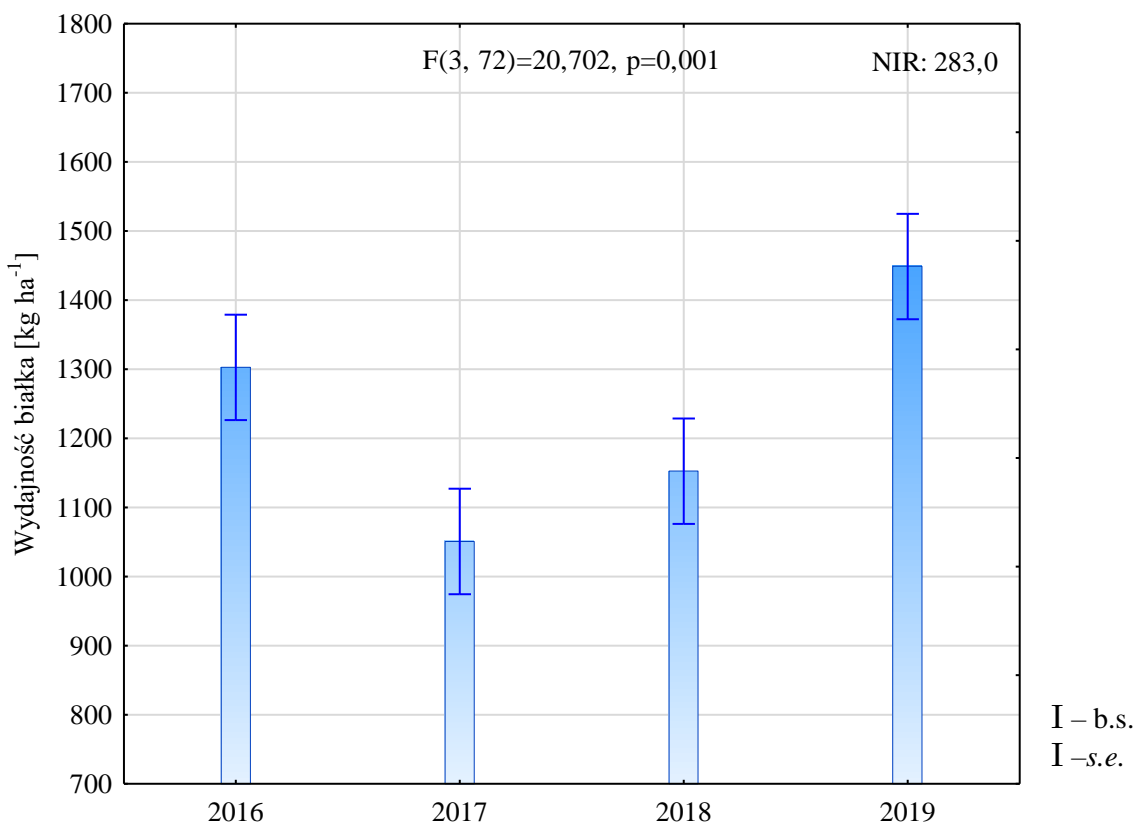
pod wpływem zastosowanych szczepionek (FF i NI) wyniosło, odpowiednio: 10,8% i 28,9% (tab. 11).

Tabela 11. Wydajność białka nasion soi [kg ha<sup>-1</sup>];  
Table 11. Protein yield of soybean seeds [kg ha<sup>-1</sup>]

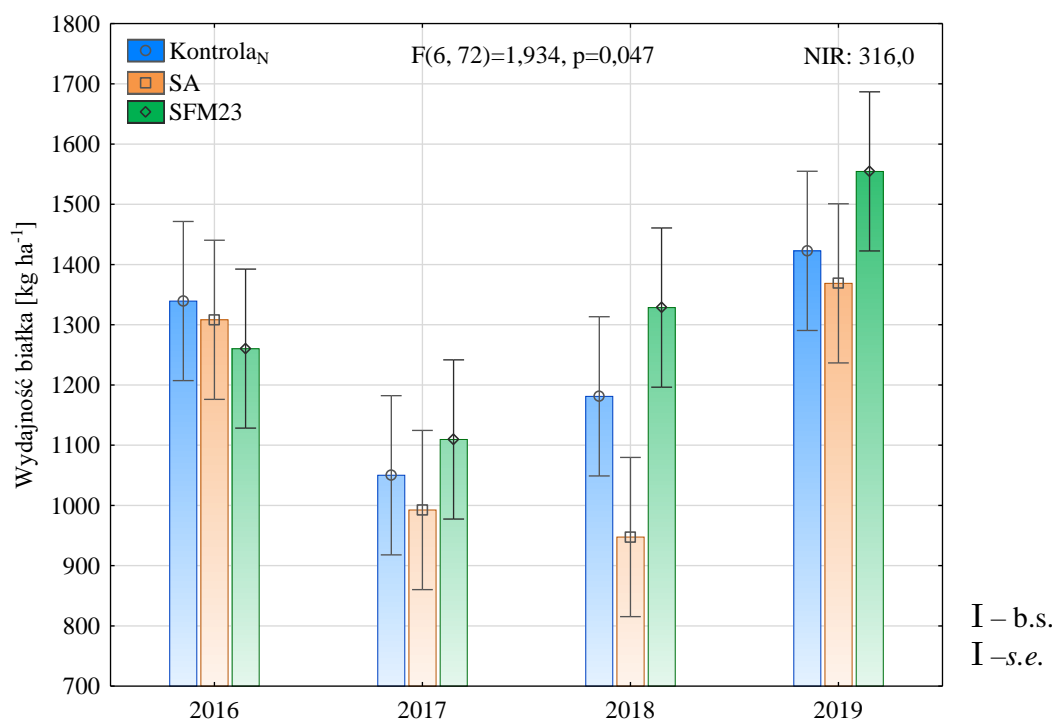
	Kontrola <sub>N</sub>	SA	SFM23	$\bar{x}$	NIR <sub>II</sub>
Kontrola	1180	956	1145	1094	115,0
FF	1269	1108	1260	1212	
NI	1296	1398	1535	1410	
$\bar{x}$	1248	1154	1313	1239	
NIR <sub>I</sub>	89,7				
NIR <sub>I/II</sub>	185,7				
NIR <sub>II/I</sub>	199,2				

(jak w tab. 7, as in Tab. 7)

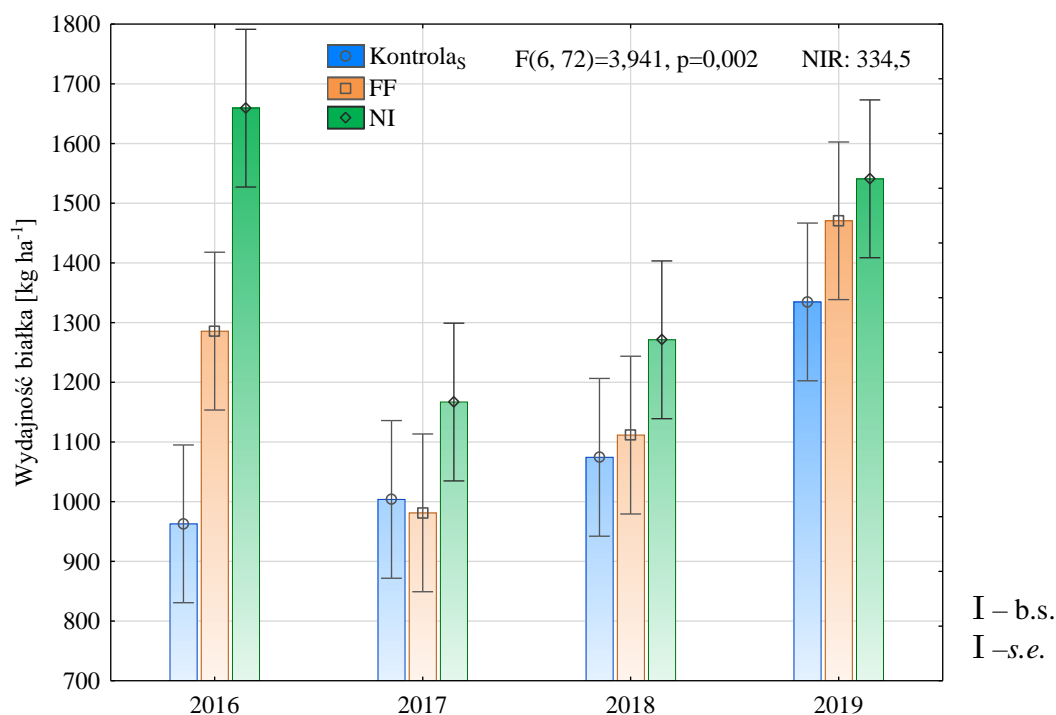
Wydajność białka była istotnie warunkowana przebiegiem pogody w poszczególnych sezonach wegetacyjnych. W 2019 r. uzyskano największy plon białka (1449 kg ha<sup>-1</sup>), a w 2017 r. najmniejszy (1051 kg ha<sup>-1</sup>) (rys. 9).



Rys. 9. Wydajność białka nasion soi w latach;  
Fig. 9. Protein yield of soybean seeds in years



Rys. 10. Wydajność białka nasion soi w latach po zastosowaniu nawożenia N;  
 Fig. 10. Protein yield of soybean seeds in years after N fertilization



Rys. 11. Wydajność białka nasion soi w latach po zastosowaniu szczepienia bakteryjnego;  
 Fig. 11. Protein yield of soybean seeds in years after inoculation

Stwierdzono statystycznie istotne współdziałanie czynników badań z latami. W roku 2019 uzyskano istotnie większą ( $1557 \text{ kg ha}^{-1}$ ) wydajność białka w obiekcie nawożonym SFM23, w porównaniu z wydajnością białka w nasionach z analogicznego obiektu w 2017 r.

(1110 kg ha<sup>-1</sup>). Nawożenie saletrą amonową skutkowało we wszystkich latach badań uzyskiwaniem mniejszej wydajności białka w stosunku do kontroli (średnio o 7,67%), były to jednak różnice nieistotne statystycznie (rys. 10).

W 2016 r., w przypadku zastosowania szczepionki FF, stwierdzono istotnie większą wydajność białka, w stosunku do kontroli, o 31,9% (z 968 kg ha<sup>-1</sup> do 1277 kg ha<sup>-1</sup>). Jednak jeszcze większy wzrost wartości cechy zaobserwowano w przypadku użycia szczepionki NI. Wyniósł on 70,7% w stosunku do kontroli i 29,5% w stosunku do FF (rys. 11).

## 5.4. Składowe plonu

### 5.4.1. Liczba roślin przed zbiorem z 1 m<sup>2</sup>

Przy założeniu obsady na poziomie 70 szt. m<sup>-2</sup>, średnio liczba roślin soi na 1 m<sup>2</sup> przed zbiorem wynosiła 45 szt., a jej zakres kształtował się w przedziale od 42,3 szt. do 51,5 szt. Analizowane czynniki badań nie miały istotnego wpływu na wartości cechy, które były zbliżone w obiektach nawozowych i obiektach szczepionych w odniesieniu do kontroli (tab. 12).

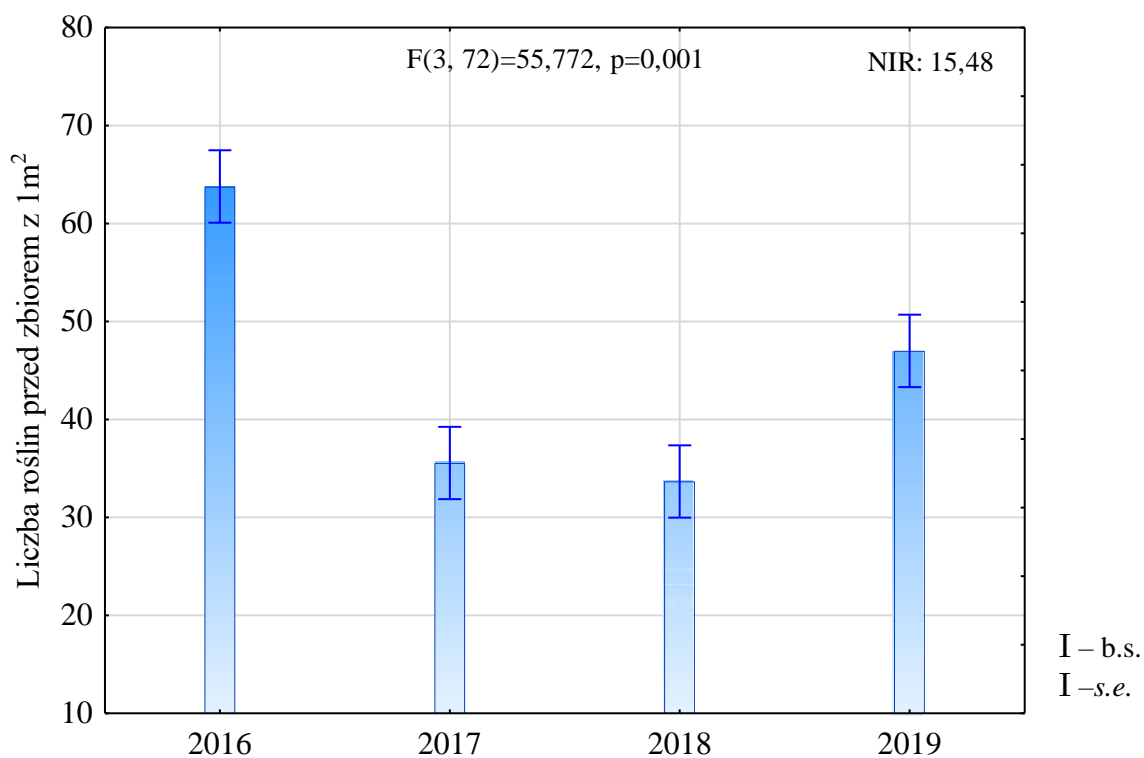
Tabela 12. Liczba roślin przed zbiorem z 1 m<sup>2</sup> [szt.];  
Table 12. Number of plants per 1 m<sup>2</sup> before harvest [pcs.]

	<b>Kontrola<sub>N</sub></b>	<b>SA</b>	<b>SFM23</b>	$\bar{x}$	<b>NIR<sub>II</sub></b>
<b>Kontrola<sub>S</sub></b>	51,5	44,0	44,0	46,5	n.i.
<b>FF</b>	44,3	43,3	42,3	43,3	
<b>NI</b>	43,3	47,3	45,3	45,3	
$\bar{x}$	46,4	44,9	43,9	45,0	
<b>NIR<sub>I</sub></b>	n.i.				
<b>NIR<sub>I/II</sub></b>	n.i.				
<b>NIR<sub>II/I</sub></b>	n.i.				

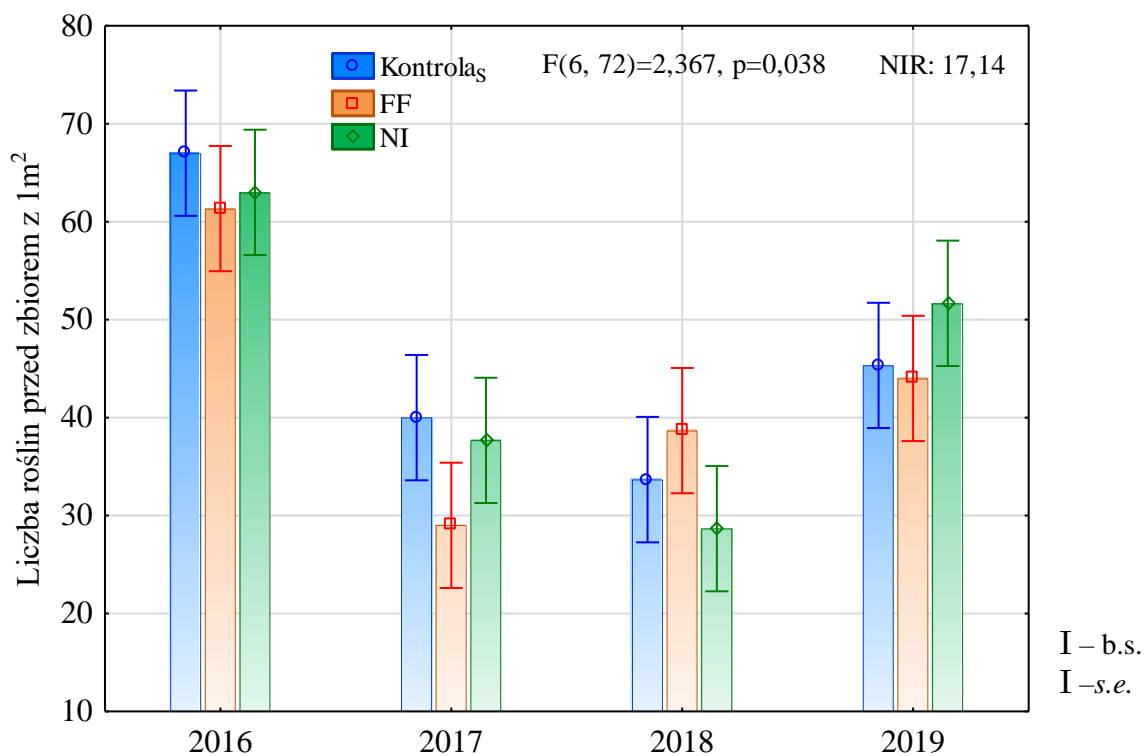
(jak w tab. 7, as in Tab. 7)

Odnotowano jednak statystycznie istotny wpływ przebiegu pogody w latach na kształtowanie się obsady roślin przed zbiorem. Największe zagęszczenie roślin – 64 szt. – odnotowano w 2016 r., natomiast najmniejsze w 2018 r., 34 szt. Średnia liczba roślin z 1 m<sup>2</sup>, którą uzyskano w 2016 r., w stosunku do liczby uzyskanej w pozostałych latach doświadczenia, była istotnie statystycznie większa. Różnice między rokiem 2016, a pozostałymi latami, wyniosły odpowiednio: 28 szt. (2016 vs. 2017), 30 szt. (2016 vs. 2018) i 17 szt. (2016 vs. 2019) (rys. 12).





Rys. 12. Liczba roślin przed zbiorem z 1 m<sup>2</sup> w latach;  
 Fig. 12. Number of plants per 1 m<sup>2</sup> before harvest in years



Rys. 13. Liczba roślin przed zbiorem z 1 m<sup>2</sup> w latach po zastosowaniu szczepienia bakteryjnego;  
 Fig. 13. Number of plants per 1 m<sup>2</sup> before harvest in years after inoculation

Zaobserwowano współdziałanie przebiegu pogody w latach i szczepienia bakteryjnego nasion w kształtowaniu się wartości cechy. W latach 2016 i 2017 zaobserwowano tendencję do wykształcania większej liczby roślin przed zbiorem z 1 m<sup>2</sup> w obiekcie kontrolnym w stosunku do obiektu, gdzie stosowano szczepienie FF. W 2018 r. większą, choć nieistotną statystycznie, liczbę roślin wykształcił obiekt, w którym szczepiono nasiona FF w stosunku do kontroli i NI, natomiast w 2019 r. największą obsadą przed zbiorem charakteryzował się obiekt, którego nasiona szczepiono NI (rys. 13).

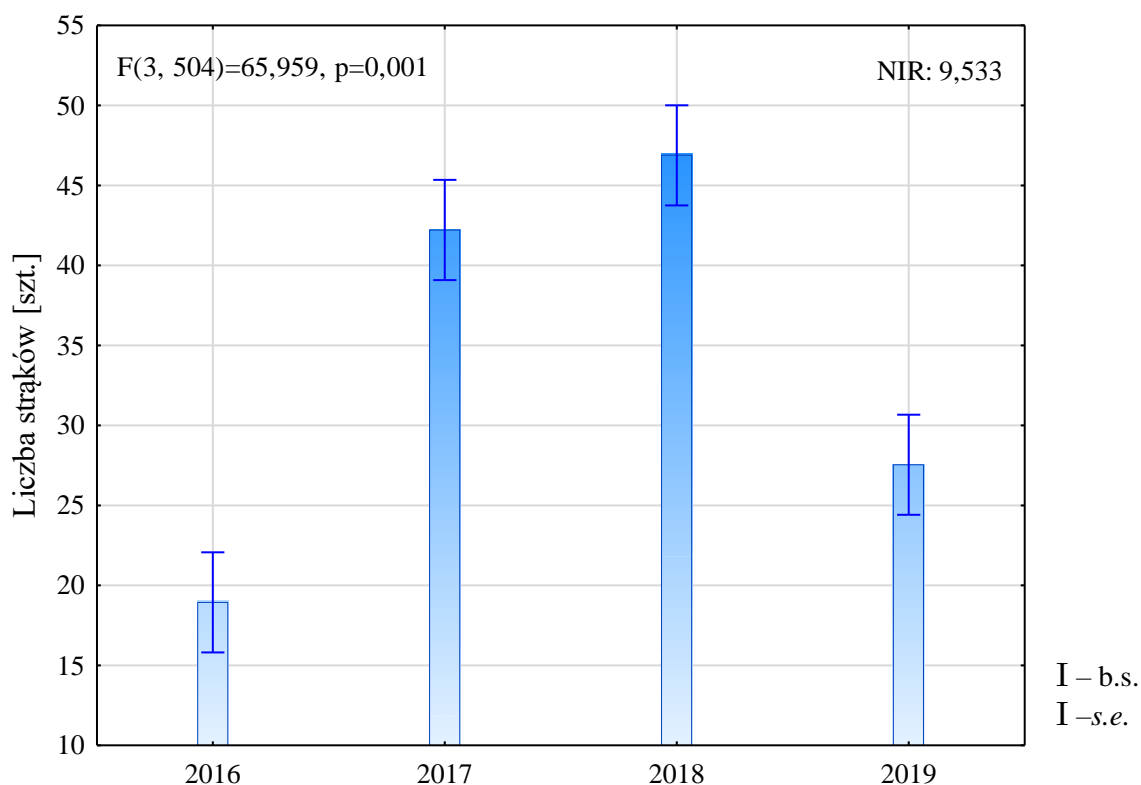
#### 5.4.2. Liczba strąków z rośliny

Liczba strąków na roślinie mieściła się w przedziale 29-39 szt., a średnia wartość wynosiła 34 szt. Na wielkość cechy istotnie oddziaływał rodzaj stosowanego nawozu azotowego. Wykazano istotny wzrost liczby strąków (o 6,7 szt., tj. 21,8%) pod wpływem nawożenia SFM23 w stosunku do kontroli. W wyniku stosowania saletry amonowej przyrost liczby strąków w stosunku do obiektu kontrolnego był mniejszy i wyniósł 9,4%. W wyniku stosowania szczepionek bakteryjnych zauważono nieistotną statystycznie tendencję do zwiększania liczby strąków na roślinie, odpowiednio o: 0,74 i 2,68 szt., tj. 2,3% i 8,1% pod wpływem FF i NI w stosunku do obiektu nieszczepionego (tab. 13).

Tabela 13. Liczba strąków z rośliny [szt.];  
Table 13. Number of pods per plant [pcs.]

	<b>Kontrola<sub>N</sub></b>	<b>SA</b>	<b>SFM23</b>	$\bar{x}$	<b>NIR<sub>II</sub></b>
<b>Kontrola<sub>S</sub></b>	29,9	34,6	34,2	32,9	n.i.
<b>FF</b>	31,7	30,1	39,1	33,6	
<b>NI</b>	30,9	36,5	39,4	35,6	
$\bar{x}$	30,8	33,7	37,6	34,0	
<b>NIR<sub>I</sub></b>	5,270				
<b>NIR<sub>I/II</sub></b>	n.i.				
<b>NIR<sub>II/I</sub></b>	n.i.				

(jak w tab. 7, as in Tab. 7)



Rys. 14. Liczba strąków z rośliny w latach;  
 Fig. 14. Number of pods per plant in years

Warunki wzrostu roślin, w tym zróżnicowana obsada spowodowały, że w poszczególnych latach rośliny zawiązywały zróżnicowaną liczbę strąków. Największą liczbę (46,9 szt.) odnotowano w 2018 r., nieznacznie mniejszą, o 4,7 szt., w 2017 r., zaś najmniejsza (18,8 szt.) w 2016 r. Średnie wartości uzyskane w latach 2016 i 2019 były statystycznie istotnie mniejsze od tych uzyskanych w latach 2017 i 2018 (rys. 14).

### 5.4.3. Liczba nasion z rośliny

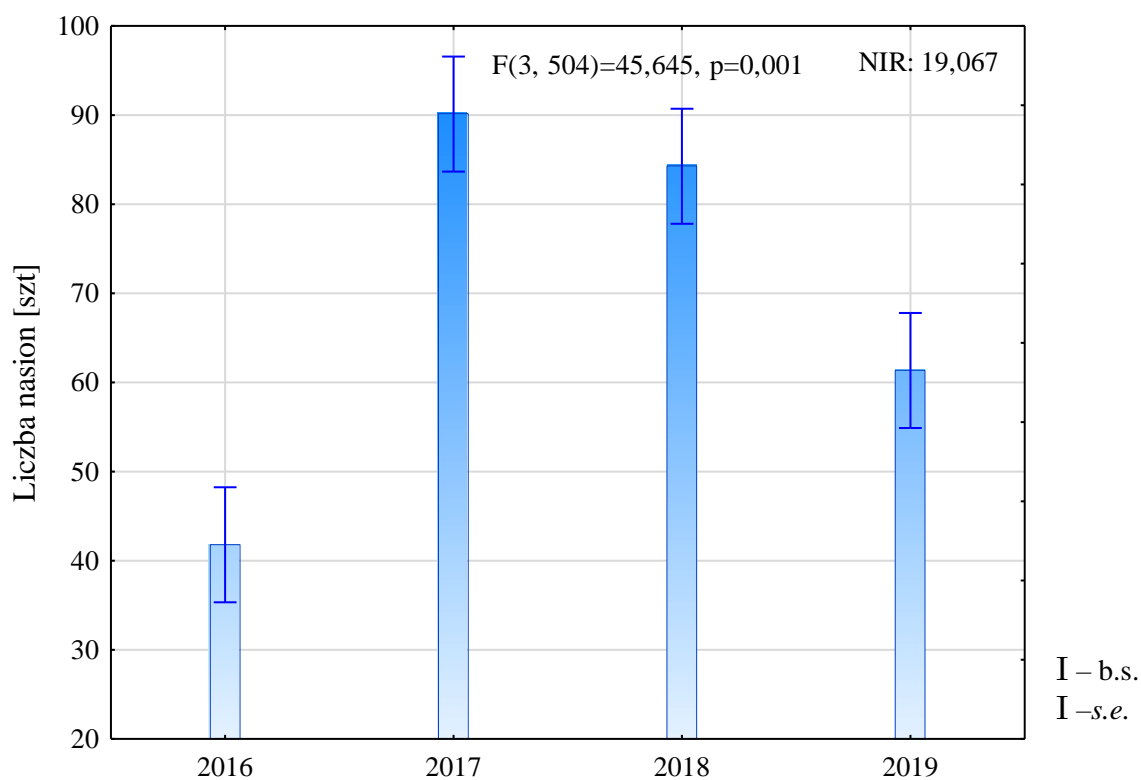
Pojedyncza roślina wykształcała średnio 69,8 nasion co, przy omawianej wcześniej liczbie strąków na roślinie wynoszącej średnio 34 strąki, daje dwa nasiona na strąk. Średnia liczba nasion z rośliny wahała się w zakresie 60,8-78,6 szt. Liczba nasion była zależna od stosowanej formy azotu mineralnego w nawozie. Zastosowanie SFM23 przyczyniło się do istotnego zwiększenia liczby nasion z rośliny o 20,3% (12,8 szt.) w stosunku do kontroli. Stosowanie saletry amonowej zwiększyło liczbę nasion o 10,2% (6,4 szt.) – różnica nieistotna statystycznie. Nie stwierdzono istotnego wpływu rodzaju szczepionki bakteryjnej na analizowaną cechę, jednakże obserwowano tendencję do zwiększania liczby nasion na roślinie pod wpływem

szczepionek FF i NI, odpowiednio o 3,5 i 4,7 szt. (tj. 5,2% i 7,0%) w stosunku do obiektu kontrolnego (tab. 14).

Tabela 14. Liczba nasion z rośliny [szt.];  
Table 14. Number of seeds per plant [pcs.]

	Kontrola <sub>N</sub>	SA	SFM23	$\bar{x}$	NIR <sub>II</sub>
<b>Kontrola</b>	60,8	70,9	69,5	67,1	n.i.
<b>FF</b>	65,6	65,6	80,5	70,6	
<b>NI</b>	63,7	72,8	78,6	71,7	
$\bar{x}$	63,4	69,8	76,2	69,8	
<b>NIR<sub>I</sub></b>	10,67				
<b>NIR<sub>I/II</sub></b>	n.i.				
<b>NIR<sub>II/I</sub></b>	n.i.				

(jak w tab. 7, as in Tab. 7)



Rys. 15. Liczba nasion z rośliny w latach;  
Fig. 15. Number of seeds per plant in years

Przebieg pogody w latach miał istotny wpływ na kształtowanie liczby nasion. Wykształcenie istotnie większej wartości cechy stwierdzono w latach 2017 i 2018 (90,1 szt., 84,3 szt.), w porównaniu do 2016 r. (41,8 szt.) oraz 2019 r. (61,4 szt.) (rys. 15). Jest to tendencja podobna do tej, którą zaobserwowano w przypadku liczby strąków (por. rys. 14).

#### 5.4.4. Masa tysiąca nasion

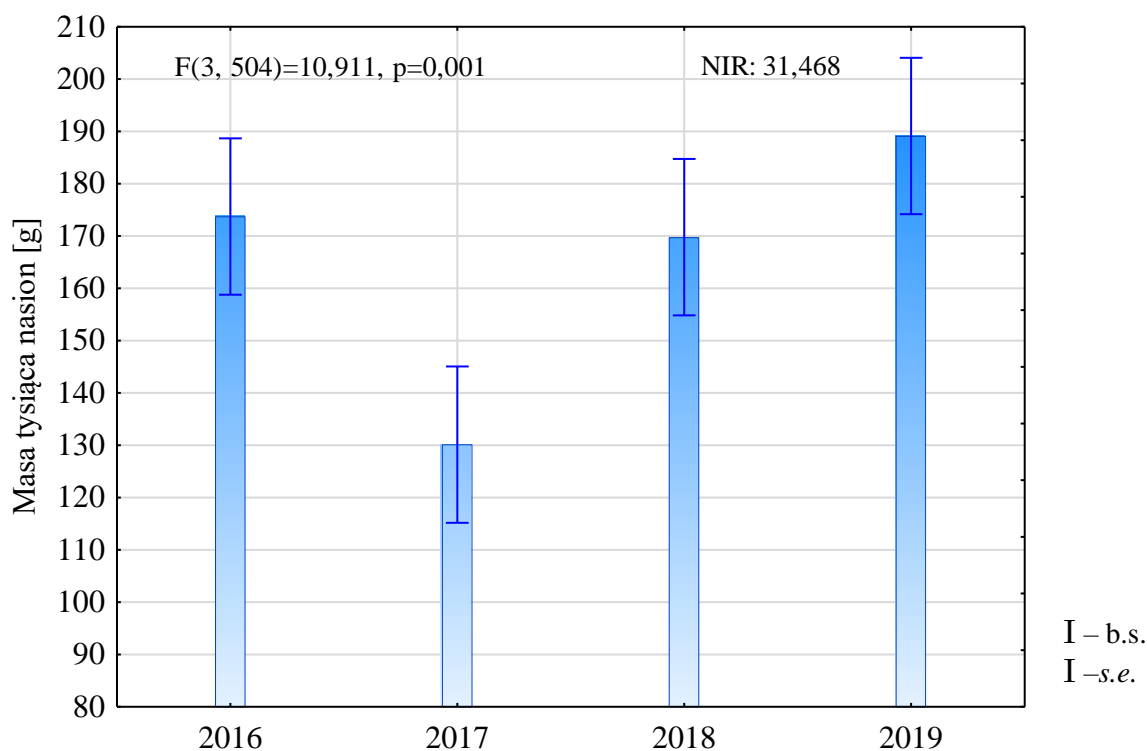
Masa tysiąca nasion soi w omawianym doświadczeniu kształtowała się na poziomie 165,9 g i była istotnie zależna od rodzaju szczepionki i sposobu szczepienia. Pod wpływem szczepienia Nitraginą masa tysiąca nasion zwiększyła się o 28,7 g (tj. 18,6 %) w stosunku do kontroli, co było różnicą istotną statystycznie. Stosowanie szczepionki FF zwiększyło masę tysiąca nasion o 5,6 g. Wzrost ten nie miał jednak istotnego znaczenia pod względem statystycznym.

Tabela 15. Masa tysiąca nasion [g];

Table 15. Thousand seed weight [g]

	Kontrola <sub>N</sub>	SA	SFM23	$\bar{x}$	NIR <sub>II</sub>
<b>Kontrola<sub>S</sub></b>	154,5	151,9	157,0	154,5	22,607
<b>FF</b>	166,4	152,1	161,8	160,1	
<b>NI</b>	185,9	160,0	203,8	183,2	
$\bar{x}$	169,0	154,6	174,2	165,9	
<b>NIR<sub>I</sub></b>	n.i.				
<b>NIR<sub>I/II</sub></b>	n.i.				
<b>NIR<sub>II/I</sub></b>	n.i.				

(jak w tab. 7, as in Tab. 7)



Rys. 16. Masa tysiąca nasion w latach;

Fig. 16. Thousand seed weight in years

Pod wpływem zastosowania SFM23 zaobserwowano tendencję (nieistotną) do tworzenia nasion o większej masie, o 5,2 g w stosunku do kontroli i 19,6 g w stosunku do obiektu nawożonego saletrą amonową (tab. 15).

Przebieg pogody w latach istotnie wpłynął na wielkość masy tysiąca nasion soi. Największą MTN odnotowano w 2019 roku (189,1 g), a najmniejszą w 2017 r. (130,1 g). Zbliżoną MTN miały nasiona soi ze zbioru w latach 2016 i 2018, odpowiednio 173,7 g i 169,8 g (rys. 16).

## 5.5. Fizjologiczne cechy plonotwórcze

### 5.5.1. Wskaźnik powierzchni liści LAI

Wskaźnik powierzchni liści LAI kształtował się w zakresie od 3,8 do 4,9  $m^2 m^{-2}$ , a jego średnia wartość była na poziomie 4,3  $m^2 m^{-2}$ . Spośród zastosowanych czynników jedynie szczepienie bakteryjne przełożyło się na istotne statystycznie zróżnicowanie cechy. Zastosowanie szczepionki bakteryjnej Fix-Fertig spowodowało nieistotne zwiększenie się wskaźnika LAI w stosunku do kontroli, o 0,1  $m^2 m^{-2}$ . Jednak największe wartości parametru uzyskano w obiekcie, w którym stosowano szczepionkę bakteryjną Nitraginę. Jej użycie przyczyniło się do uzyskania wskaźnika LAI większego niż w obiekcie kontrolnym o 0,5  $m^2 m^{-2}$  oraz większej niż powierzchnia liści z obiektu traktowanego szczepionką FF, o 0,4  $m^2 m^{-2}$ .

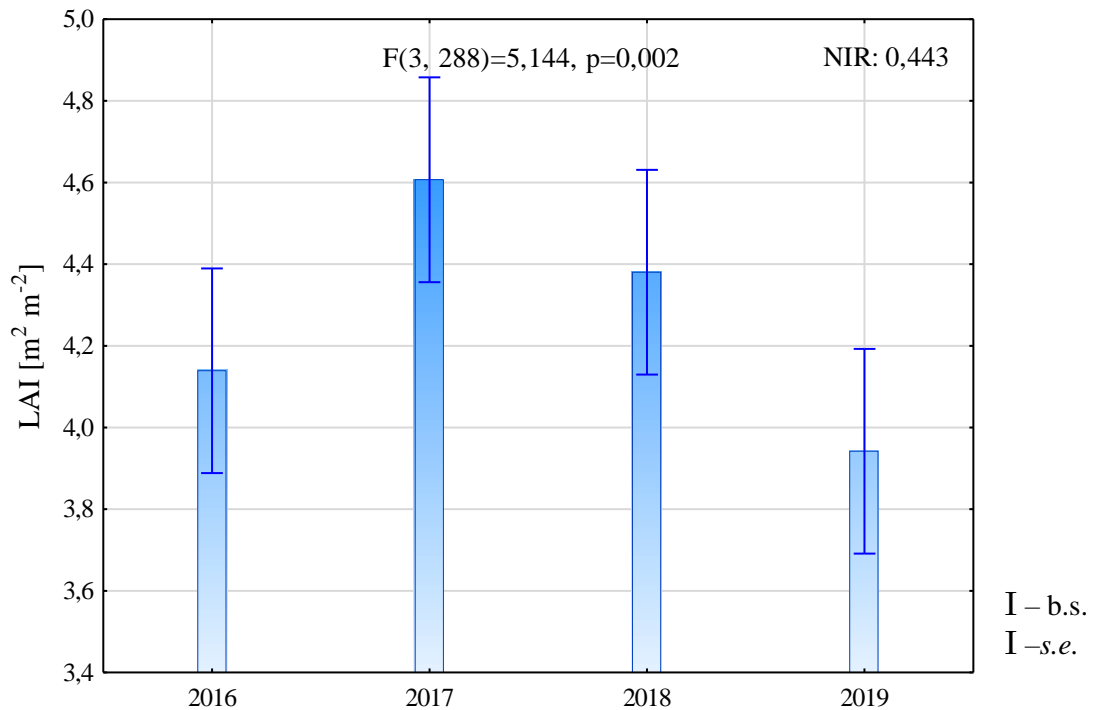
Rodzaj zastosowanego nawożenia azotowego nie miał istotnego wpływu na kształtowanie się wielkości cechy. Nie stwierdzono również istotnych interakcji między czynnikami (tab. 16).

Tabela 16. LAI [ $m^2 m^{-2}$ ] łanu soi;

Table 16. LAI [ $m^2 m^{-2}$ ] of a soybean crop

	Kontrola <sub>N</sub>	SA	SFM23	$\bar{x}$	NIR <sub>II</sub>
<b>Kontrola</b>	3,8	4,2	4,2	4,1	0,488
<b>FF</b>	4,1	3,9	4,4	4,2	
<b>NI</b>	4,5	4,4	4,9	4,6	
$\bar{x}$	4,1	4,2	4,5	4,3	
<b>NIR<sub>I</sub></b>	n.i.				
<b>NIR<sub>I/II</sub></b>	n.i.				
<b>NIR<sub>II/I</sub></b>	n.i.				

(jak w tab. 7, as in Tab. 7)



Rys. 17. LAI łanu soi w fazie kwitnienia w latach;

Fig. 17. LAI of a soybean crop in the flowering stage of growth in years

Istotnie różnicowanie odnotowano jednak pod wpływem przebiegu pogody w latach badań. Średnio największe wartości LAI uzyskano w drugim roku badań (4,607 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>). Były one istotnie większe od tych uzyskanych w pierwszym i ostatnim roku prowadzonego doświadczenia, odpowiednio 4,139 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup> i 3,942 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup> (rys. 17).

Nie odnotowano istotnych statystycznie interakcji między przebiegiem pogody w latach, a nawożeniem lub zastosowanym szczepieniem bakteryjnym.

### 5.5.2. Wskaźnik zieloności liścia SPAD

Średnia wartość wskaźnika zieloności liścia (SPAD) wynosiła 35,3 i kształtowała się w zakresie od 33,3-37,2. Był on zależny od czynników głównych i ich współdziałania (tab. 17). Zastosowanie nawozu SFM23 spowodowało istotne zwiększenie wielkości cechy w stosunku do nawozu SA, a różnica wyniosła 1,5. Natomiast stosowanie szczepionki NI istotnie zwiększyło wielkość parametru średnio o 2,4 w stosunku do kontroli.

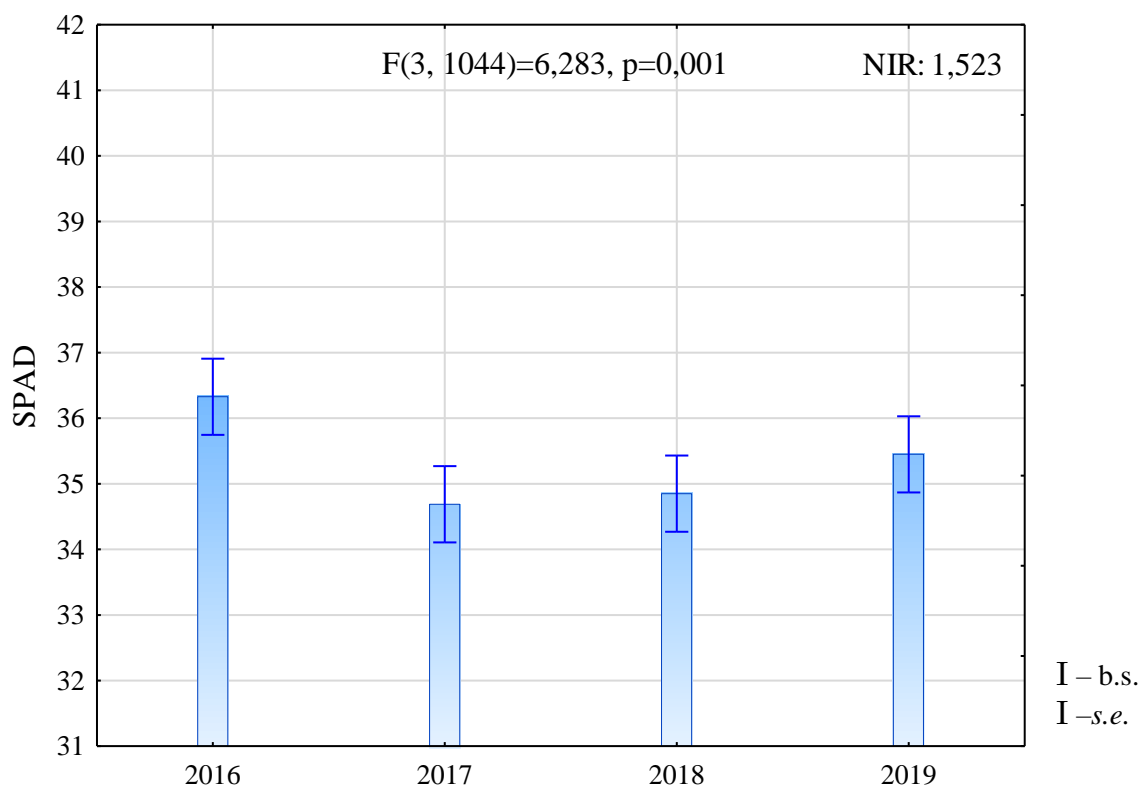
Tabela 17. SPAD łanu soi w fazie kwitnienia (BBCH 65);

Table 17. SPAD of a soybean crop in the flowering stage of growth (BBCH 65)

	Kontrola <sub>N</sub>	SA	SFM23	$\bar{x}$	NIR <sub>II</sub>
<b>Kontrolas</b>	34,2	33,4	35,7	34,4	0,858
<b>FF</b>	35,6	33,3	35,4	34,8	
<b>NI</b>	36,1	37,1	37,2	36,8	
$\bar{x}$	35,3	34,6	36,1	35,3	
<b>NIR<sub>I</sub></b>	1,002				
<b>NIR<sub>I/II</sub></b>					1,574
<b>NIR<sub>II/I</sub></b>					1,487

(jak w tab. 7, as in Tab. 7)

Przebieg warunków pogodowych w latach miał nieistotny statystycznie wpływ na wielkość SPAD (rys. 18), jednakże uzyskano istotne współdziałanie czynników badań z latami.

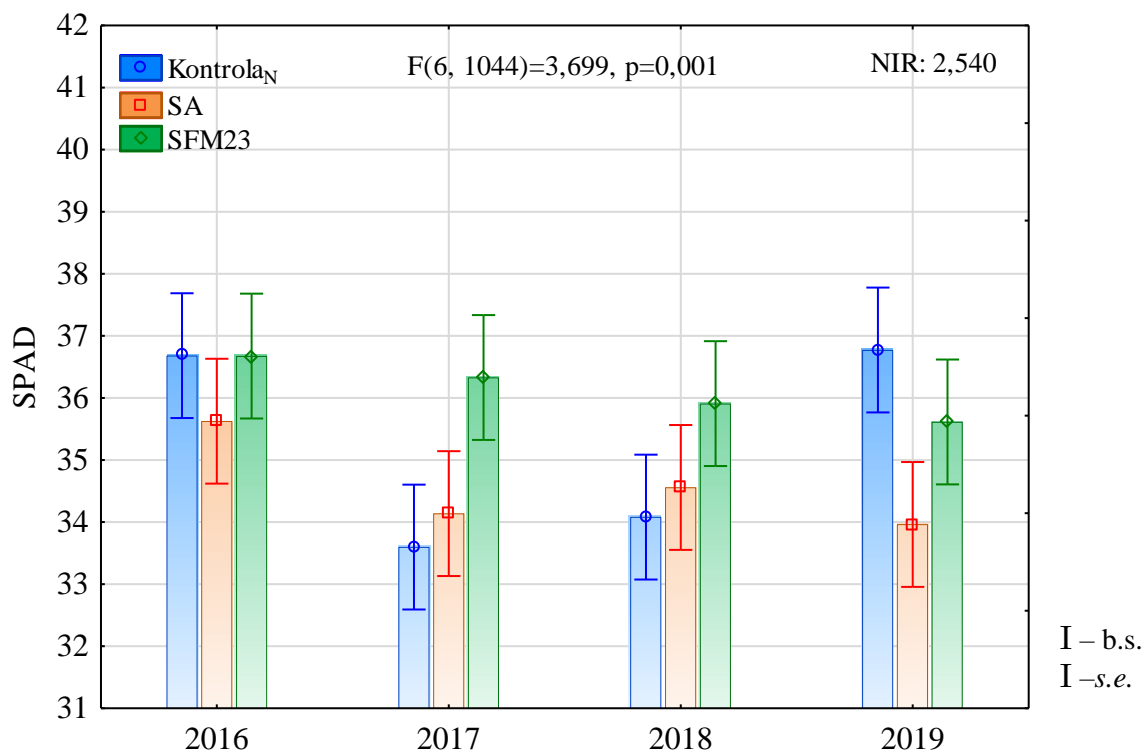


Rys. 18. SPAD łanu soi w fazie kwitnienia w latach;

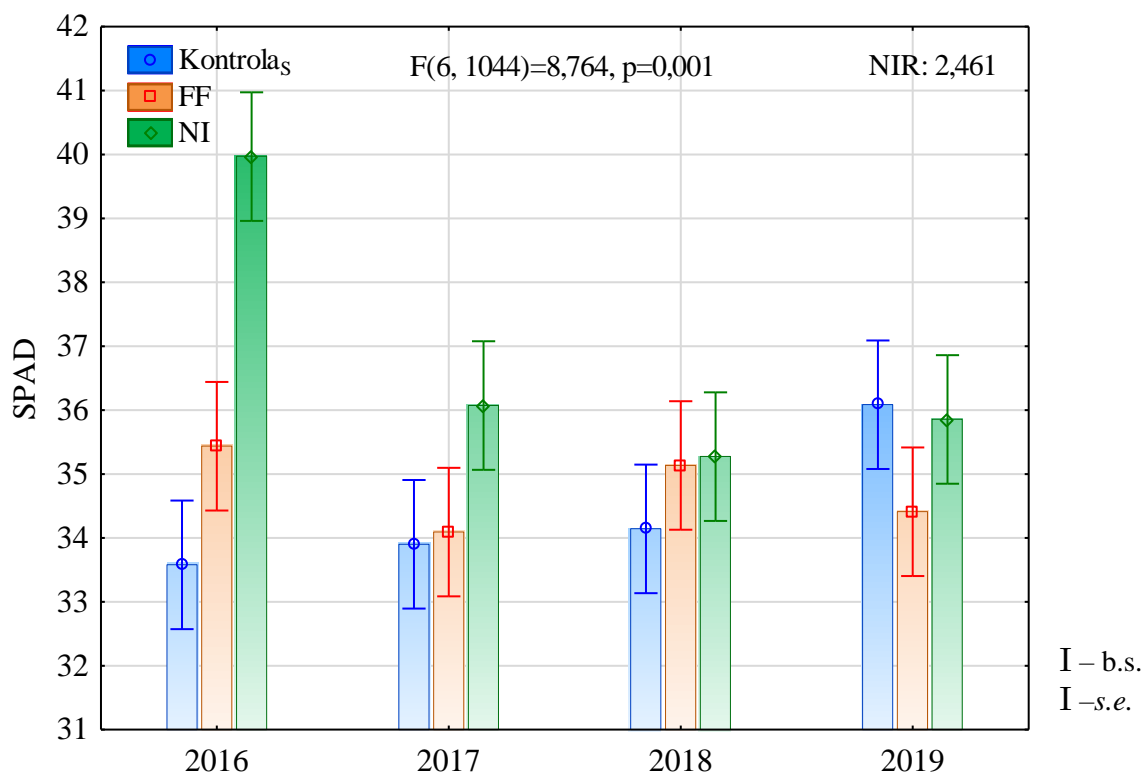
Fig. 18. SPAD of a soybean crop in the flowering stage of growth in years

W 2017 r. istotnie większą wartość SPAD, o 2,76, uzyskano po zastosowaniu nawożenia SFM23, w stosunku do kontroli. Natomiast w 2019 r. odnotowano o 2,77 mniejsze wartości SPAD w obiekcie nawożonym SA, w stosunku do obiektu kontrolnego (rys. 19).





Rys. 19. SPAD łanu soi w fazie kwitnienia w latach po zastosowaniu nawożenia N;  
 Fig. 19. SPAD of a soybean crop in the flowering stage of growth in years after N fertilization



Rys. 20. SPAD łanu soi w fazie kwitnienia w latach po zastosowaniu szczepienia bakteriynego;  
 Fig. 20. SPAD of a soybean crop in the flowering stage of growth in years after inoculation

Stwierdzono również istotne współdziałanie lat i szczepionek bakteryjnych. W 2016 r. istotnie większą wartość SPAD, o 6,39, uzyskano po zastosowaniu NI (39,97) w stosunku do kontroli (33,58). Podobną tendencję, jednak nieistotną statystycznie, odnotowano w 2017 r., gdzie wzrost wartości SPAD pod wpływem zastosowania NI wyniósł 2,21 w stosunku do kontroli (rys. 20).

## 5.6. Cechy morfologiczne roślin

### 5.6.1. Części nadziemne

#### 5.6.1.1. Wysokość rośliny

Wysokość roślin w doświadczeniu wynosiła średnio 80,5 cm. Cecha była zależna od rodzaju stosowanego nawożenia i kształtowała się w zakresie od 75,8-83,6 cm. Rośliny były istotnie większe, o 5,9%, w obiekcie nawożonym saletrą amonową w stosunku do obiektu kontroli, gdzie wysokość roślin wynosiła 77,9 cm (tab. 18). Stosowanie szczepionek bakteryjnych nie powodowało różnicowania wysokości roślin.

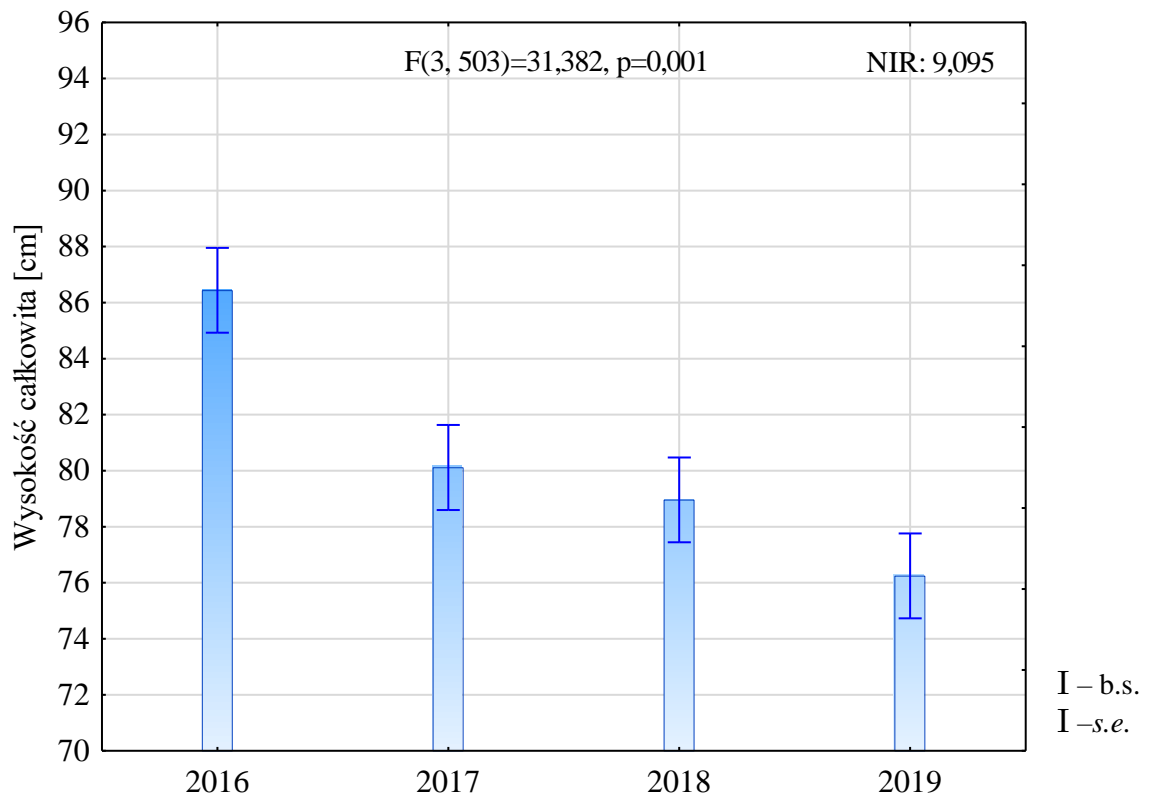
Tabela 18. Wysokość rośliny [cm];

Table 18. Height of plant [cm]

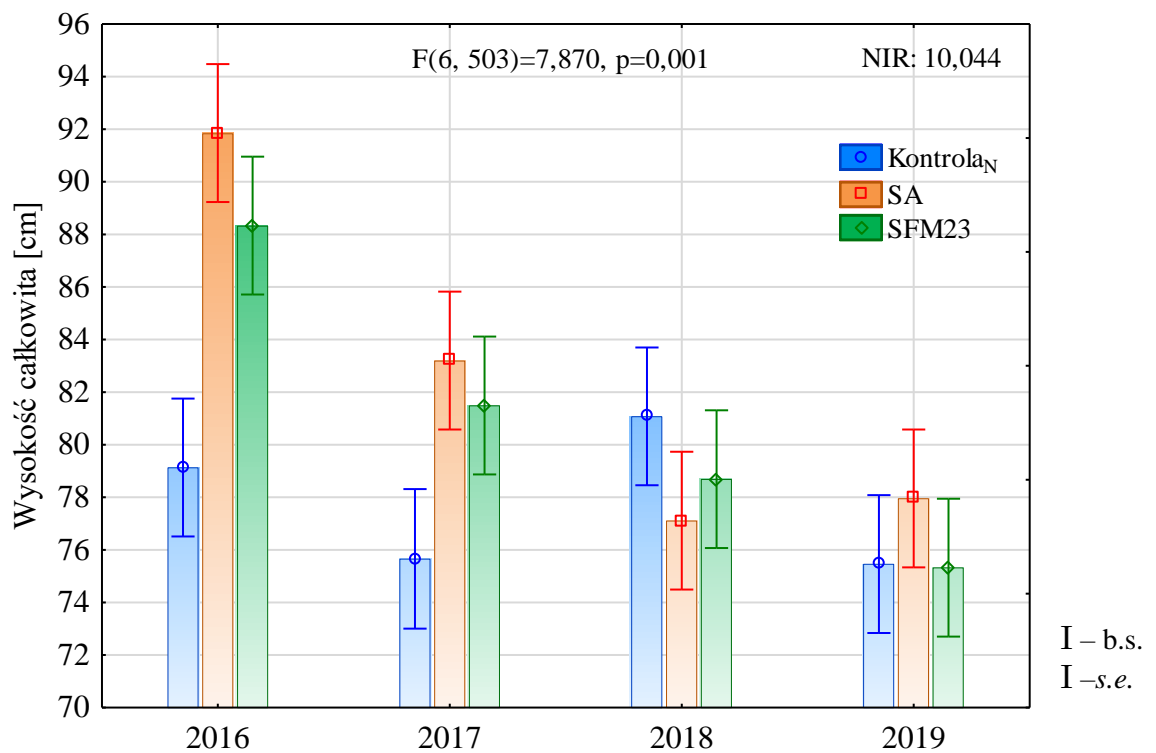
	<b>Kontrola<sub>N</sub></b>	<b>SA</b>	<b>SFM23</b>	$\bar{x}$	<b>NIR<sub>II</sub></b>
<b>Kontrola<sub>S</sub></b>	75,8	83,6	80,0	79,8	n.i.
<b>FF</b>	78,3	81,2	83,1	80,8	
<b>NI</b>	79,5	82,8	80,4	80,9	
$\bar{x}$	77,9	82,5	81,2	80,5	
<b>NIR<sub>I</sub></b>	2,469				
<b>NIR<sub>I/II</sub></b>	n.i.				
<b>NIR<sub>II/I</sub></b>	n.i.				

(jak w tab. 7, as in Tab. 7)

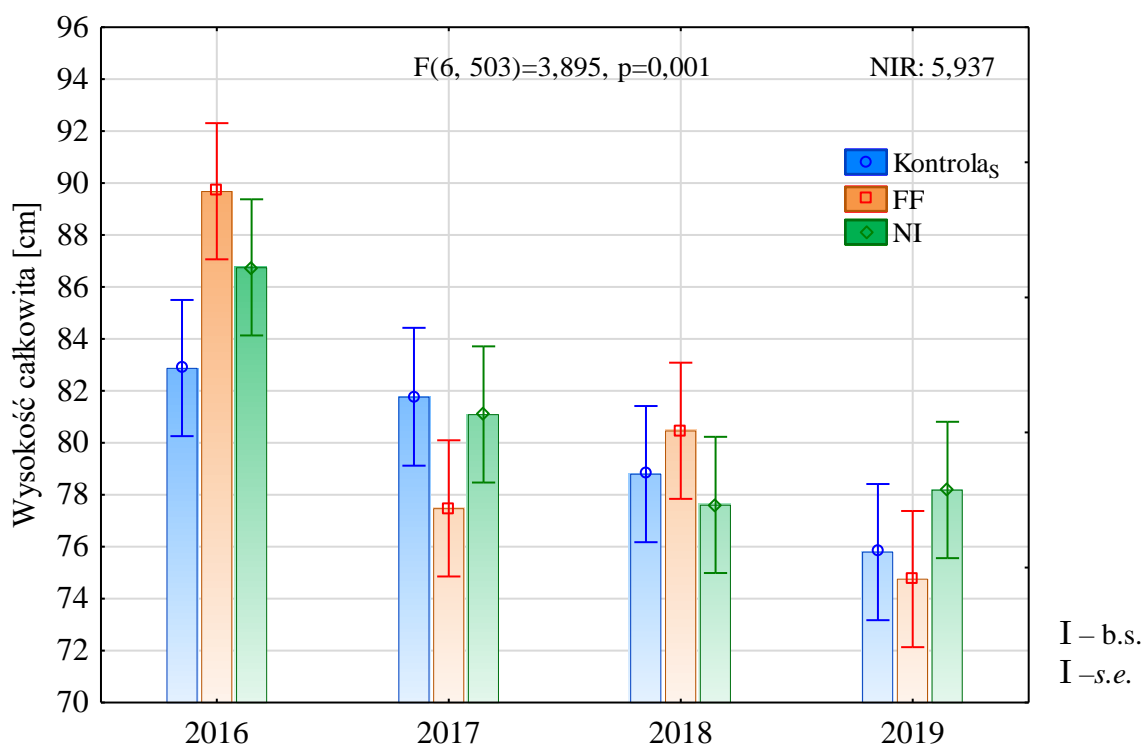
Odnutowano istotne zróżnicowanie cechy w poszczególnych latach doświadczenia. Najwyższe rośliny, o wysokości 86,44 cm, otrzymano w 2016 r., a najmniejsze, 76,16 cm, w 2019 r. (rys. 21).



Rys. 21. Wysokość rośliny w latach;  
Fig. 21. Height of plant in years



Rys. 22. Wysokość rośliny w latach po zastosowaniu nawożenia N;  
Fig. 22. Height of plant in years after N fertilization



Rys. 23. Wysokość roślin w latach po zastosowaniu szczepienia bakteryjnego;  
 Fig. 23. Height of plant in years after inoculation

Współdziałanie czynników badań z latami było istotne statystycznie. Nawożenie SA w 2016 r. wpłynęło na istotne zwiększenie wysokości roślin w stosunku do kontroli, o 16,2%, z 79,0 cm do 91,9 cm. Tendencją taką, choć nieistotną statystycznie, zaobserwowano również w 2017 r. i 2019 r., gdzie nawożenie SA powodowało wzrost roślin odpowiednio o 10,0% i 3,3% (rys. 22). Zastosowane szczepienie bakteryjne FF spowodowało znaczące zwiększenie wysokości roślin w stosunku do kontroli w 2016 r., z 82,8 cm do 89,7 cm. Szczepienie NI przyczyniło się do nieistotnego zwiększenia wysokości roślin w stosunku do kontroli w latach 2016 i 2019 (rys. 23).

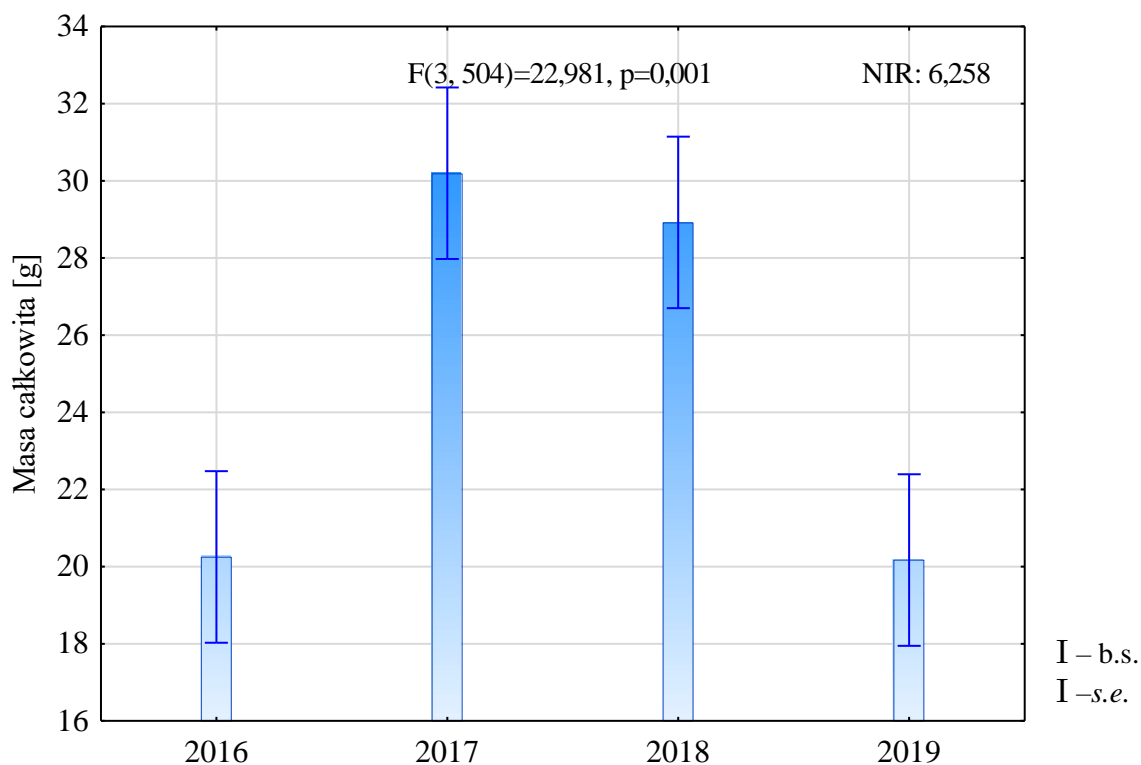
#### 5.6.1.2. Sucha masa rośliny

Sucha masa rośliny wynosiła średnio 25,03 g. Była istotnie zależna od sposobu szczepienia przedsiewnego nasion. Stosowanie Nitraginy powodowało wzrost wartości cechy o 4,33 g, co stanowi 18,9% w stosunku do kontroli i o 2,4 g w stosunku do FF. Sucha masa roślin była kształtowana w sposób nieistotny statystycznie w zależności od stosowanego rodzaju nawożenia mineralnego. Zaobserwowano jednak zwiększenie suchej masy roślin w stosunku do kontroli o 3,53 g po zastosowaniu SFM23 (tab. 19).

Tabela 19. Sucha masa rośliny [g];  
Table 19. Dry weight of plant [g]

	Kontrolas	SA	SFM23	$\bar{x}$	NIR <sub>II</sub>
<b>Kontrolas</b>	21,1	23,5	24,2	22,9	3,934
<b>FF</b>	24,9	21,7	28,0	24,9	
<b>NI</b>	25,2	27,1	29,5	27,3	
$\bar{x}$	23,7	24,1	27,2	25,0	
<b>NIR<sub>I</sub></b>	n.i.				
<b>NIR<sub>I/II</sub></b>	n.i.				
<b>NIR<sub>II/I</sub></b>	n.i.				

(jak w tab. 7, as in Tab. 7)



Rys. 24. Sucha masa rośliny w latach;  
Fig. 24. Dry weight of plant in years

Przebieg pogody w latach miał istotny wpływ na wielkość cechy. Istotnie większą suchą masę roślin – 30,2 g i 28,9 g – stwierdzono w latach 2017, 2018 w stosunku do lat 2016 i 2019, w których sucha masa wynosiła 20,2 g (rys. 24). Nie stwierdzono istotnego współdziałania lat z czynnikami badań.

### 5.6.1.3. Wysokość osadzenia najniższego strąka

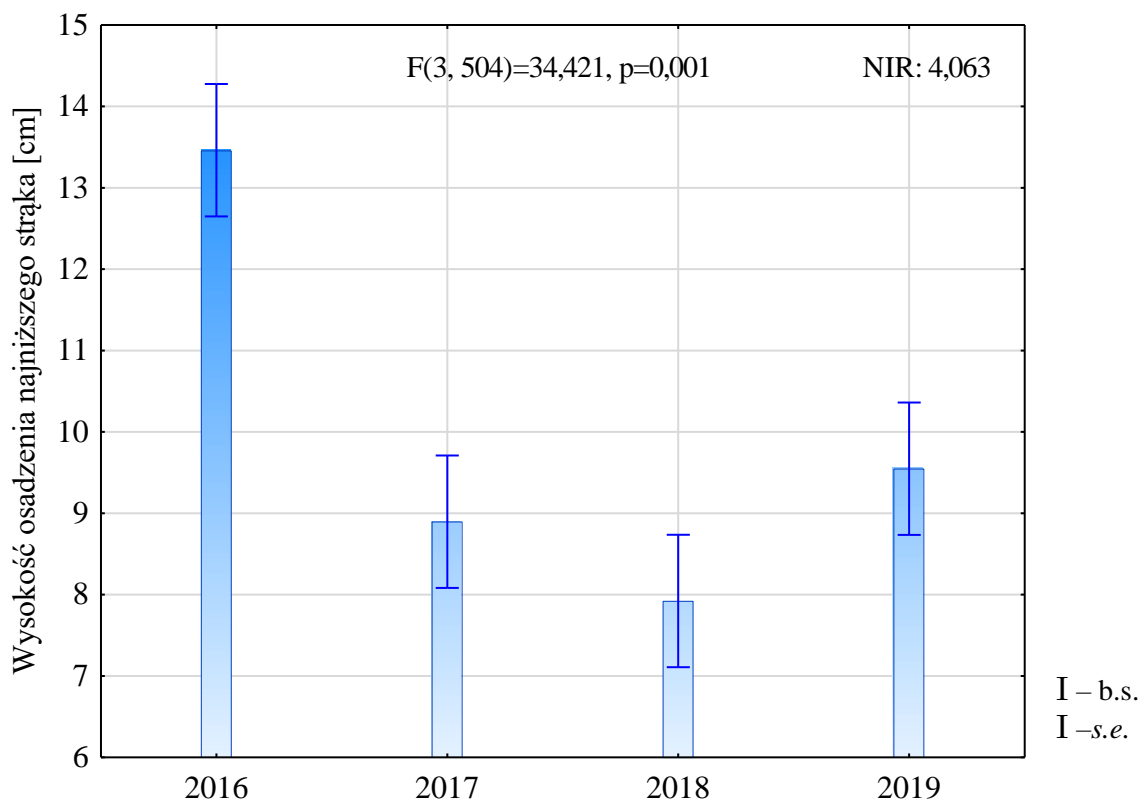
Wysokość osadzenia najniższego strąka w przeprowadzonym badaniu wyniosła 9,91 cm. Cecha ta nie była jednak istotnie uzależniona od żadnego z badanych czynników. Zaobserwowano jedynie nieznacznie niższe osadzenie najniższego strąka, o 1,01 cm, w obiekcie, w którym stosowano azotowe nawożenie mineralne SA i o 0,56 przy zastosowaniu SFM 23 w stosunku do kontroli (10,43 cm). W przypadku stosowania szczepionek bakteryjnych, użycie NI zwiększyło wielkość parametru, o 0,81 cm, w stosunku do FF (tab. 20).

Tabela 20. Wysokość osadzenia najniższego strąka [cm];

Table 20. The height of the lowermost pod [cm]

	Kontrola <sub>N</sub>	SA	SFM23	$\bar{x}$	NIR <sub>II</sub>
<b>Kontrolas</b>	11,43	9,18	9,73	10,11	n.i.
<b>FF</b>	9,97	9,28	8,95	9,40	
<b>NI</b>	9,88	9,81	10,93	10,21	
$\bar{x}$	10,43	9,42	9,87	9,91	
<b>NIR<sub>I</sub></b>	n.i.				
<b>NIR<sub>I/II</sub></b>	n.i.				
<b>NIR<sub>II/I</sub></b>	n.i.				

(jak w tab. 7, as in Tab. 7)



Rys. 25. Wysokość osadzenia najniższego strąka w latach;

Fig. 25. The height of the lowermost pod in years

Przebieg pogody w latach miał istotne znaczenie w kształtowaniu wysokości osadzenia najniższego strąka. Najwyżej osadzone strąki, na wysokości 13,4 cm, wykształciły rośliny w 2016 r. Najniższe osadzenie strąków zaobserwowano w 2018 r. – 7,9 cm (rys. 25). Nie zaobserwowano istotnego współdziałania lat z czynnikami badań.

#### 5.6.1.4. Masa nasion z rośliny

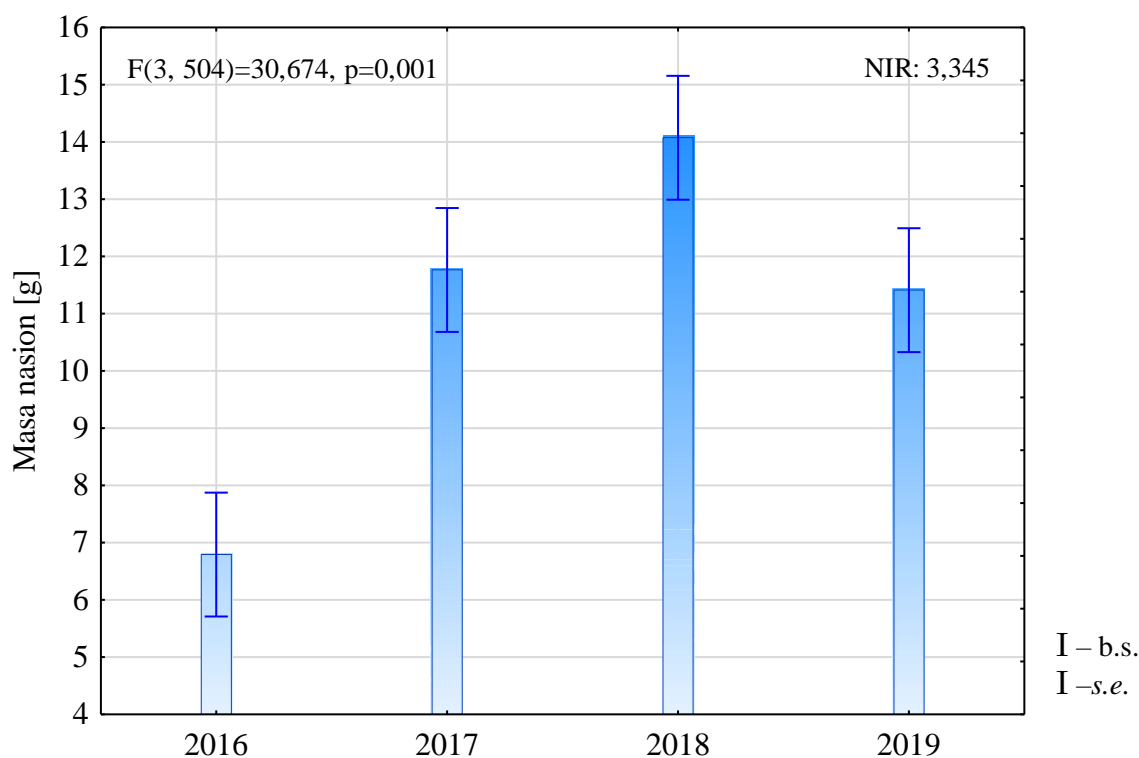
Masa nasion z rośliny była istotnie uzależniona od rodzaju stosowanego nawożenia. Średnio wynosiła 11,09 g. Zastosowanie SFM23 spowodowało istotne zwiększenie masy nasion z rośliny, do 12,42 g, w stosunku do kontroli, a różnica wyniosła 2,15 g. Nie wykazano istotnego zróżnicowania w cechy pod wpływem zastosowanego szczepienia bakteryjnego. Zaobserwowano jednak wzrost parametru po zastosowaniu NI, której użycie spowodowało powiększenie parametru w stosunku do obiektu kontrolnego (10,27 g) o 1,68 g (tab. 21).

Tabela 21. Masa nasion z rośliny [g];  
Table 21. Seeds weight per plant [g]

	<b>Kontrola<sub>N</sub></b>	<b>SA</b>	<b>SFM23</b>	$\bar{x}$	<b>NIR<sub>II</sub></b>
<b>Kontrola<sub>S</sub></b>	9,28	10,56	10,97	10,27	n.i.
<b>FF</b>	10,47	9,82	12,91	11,07	
<b>NI</b>	11,07	11,40	13,37	11,95	
$\bar{x}$	10,27	10,59	12,42	11,09	
<b>NIR<sub>I</sub></b>	1,732				
<b>NIR<sub>I/II</sub></b>	n.i.				
<b>NIR<sub>II/I</sub></b>	n.i.				

(jak w tab. 7, as in Tab. 7)

Przebieg pogody w latach istotnie wpłynął na kształtowanie masy nasion z rośliny. W latach 2017-2019 stwierdzono istotnie większą wartość parametru, odpowiednio: 11,76 g, 14,07 g, 11,41 g, w stosunku do 2016 r., w którym masa nasion z rośliny wynosiła 6,79 g (rys. 26). Nie odnotowano współdziałania badanych czynników z latami.



Rys. 26. Masa nasion z rośliny w latach;  
 Fig. 26. Seeds weight per plant in years

#### 5.6.1.5. Masa strąków z rośliny

Średnia masa strąków z rośliny wyniosła 16,6 g. Była ona istotnie zależna od zastosowanego rodzaju nawożenia. Użycie nawozu SFM23 spowodowało wzrost masy strąków z rośliny, z 15,2 g do 18,5 g, w stosunku do kontroli. Mniejszy wzrost, nieistotny statystycznie, zaobserwowano przy nawozie SA, po użyciu którego nastąpił wzrost cechy o 0,9 g w stosunku do obiektu kontrolnego. Nie odnotowano istotnego zróżnicowania cechy przy zastosowaniu szczepionek bakteryjnych. Tendencja wzrostowa występowała jednak przy użyciu szczepionek i powodowała wzrost masy strąków z rośliny o 6,35% po zastosowaniu FF i 13,08% po użyciu NI, w stosunku do obiektu kontrolnego (tab. 22).

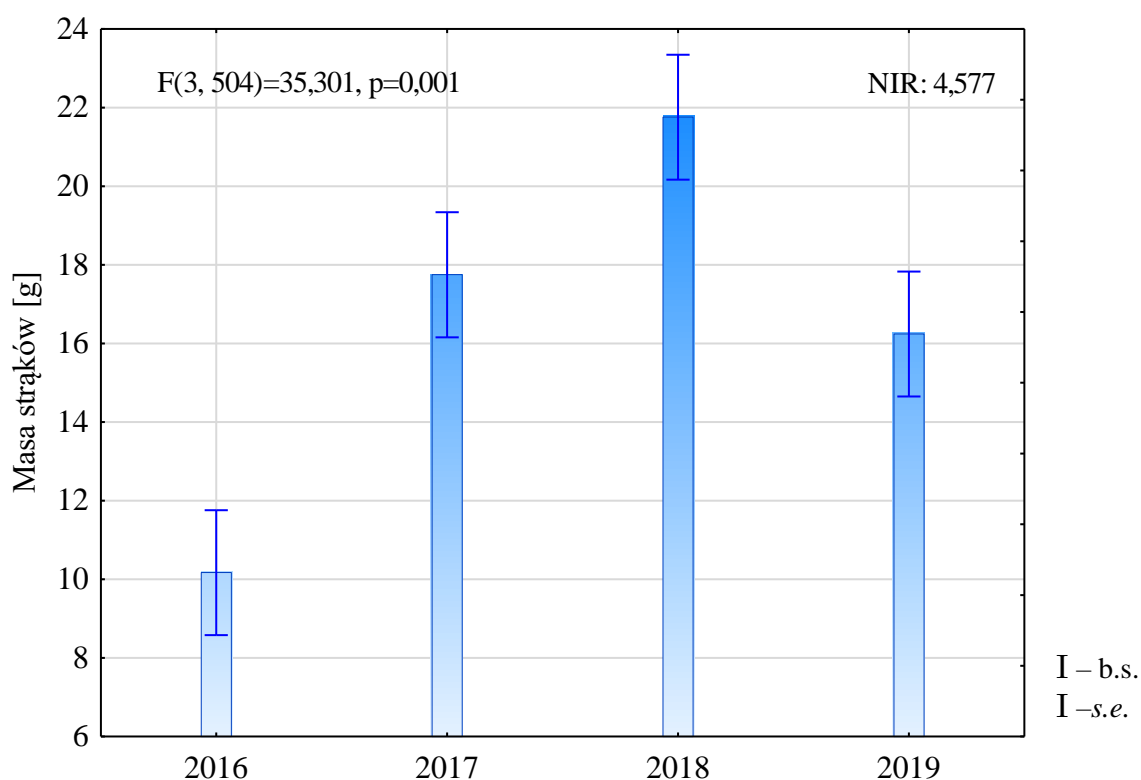
Przebieg pogody w latach istotnie różnicował wartość masy strąków z rośliny. Największą wartość, 21,8 g, odnotowano w 2018 r. Była ona istotnie większa od masy otrzymanej w latach 2019 (16,2 g) i 2016 (10,2 g).



Tabela 22. Masa strąków z rośliny [g];  
Table 22. Weight of pods per plant [g]

	Kontrola <sub>N</sub>	SA	SFM23	$\bar{x}$	NIR <sub>II</sub>
<b>Kontrola<sub>S</sub></b>	14,0	16,2	16,6	15,6	n.i.
<b>FF</b>	15,6	14,9	19,3	16,6	
<b>NI</b>	15,9	17,3	19,7	17,6	
$\bar{x}$	15,2	16,1	18,5	16,6	
<b>NIR<sub>I</sub></b>	2,667				
<b>NIR<sub>I/II</sub></b>	n.i.				
<b>NIR<sub>II/I</sub></b>	n.i.				

(jak w tab. 7, as in Tab. 7)



Rys. 27. Masa strąków z rośliny w latach;  
Fig. 27. Weight of pods per plant in years

Pierwszy rok doświadczenia charakteryzował się najniższą wartością parametru spośród wszystkich lat trwania doświadczenia. Masa strąków z rośliny w 2016 r. była istotnie mniejsza niż w pozostałych latach, w których rośliny wykształciły strąki o masie średnio o 82,7% większej (rys. 27).

#### 5.6.1.6. Liczba pędów z rośliny

Liczba pędów z rośliny nie była bezpośrednio zależna od czynników badań. Wykazano jedynie nieznaczny wzrost liczby pędów na skutek zastosowanego nawożenia mineralnego. Zastosowanie SFM23 skutkowało zwiększeniem liczby pędów z rośliny średnio o 1,26 szt., a SA o 1,12 szt. i wyniosło odpowiednio 2,66 i 2,52 szt. w stosunku do kontroli. Nie były to jednak wzrosty istotne statystycznie (tab. 23).

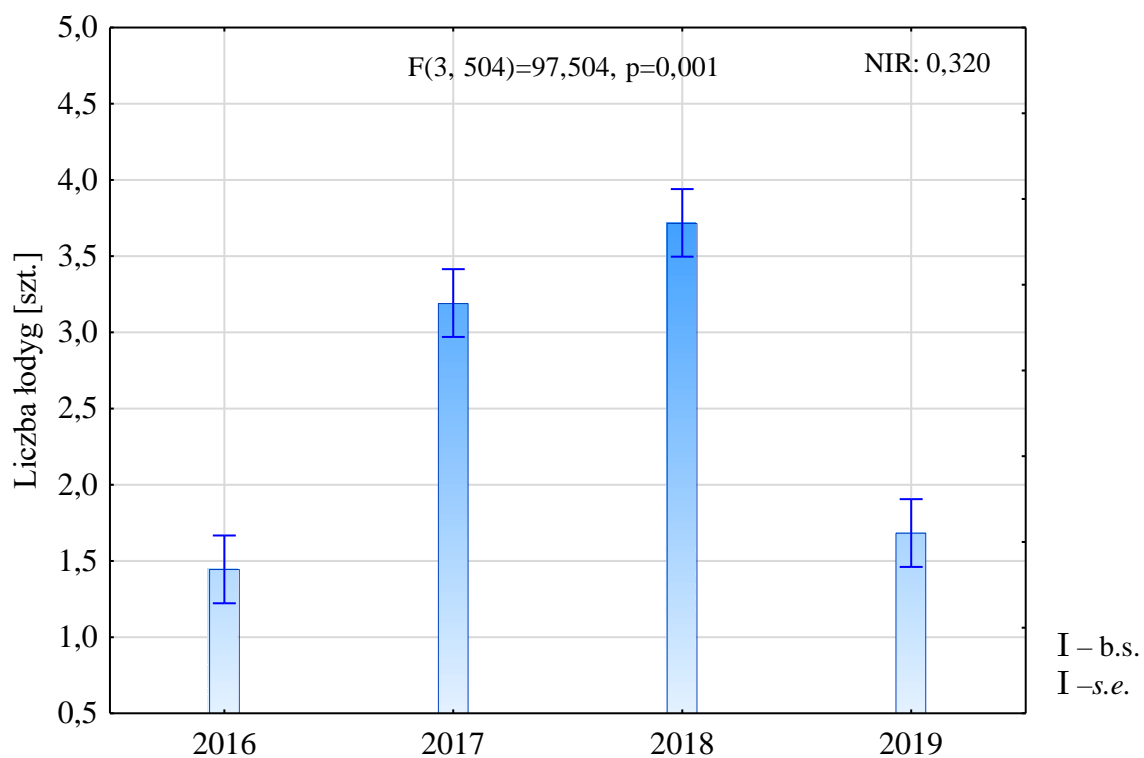
Tabela 23. Liczba pędów z rośliny [szt.];  
Table 23. Number of stems per plant [pcs.]

	<b>Kontrola<sub>N</sub></b>	<b>SA</b>	<b>SFM23</b>	$\bar{x}$	<b>NIR<sub>II</sub></b>
<b>Kontrolas</b>	1,000	2,542	2,483	2,008	n.i.
<b>FF</b>	1,400	2,500	2,673	2,191	
<b>NI</b>	1,800	2,518	2,817	2,378	
$\bar{x}$	1,400	2,520	2,658	2,193	
<b>NIR<sub>I</sub></b>	n.i.				
<b>NIR<sub>I/II</sub></b>	n.i.				
<b>NIR<sub>II/I</sub></b>	n.i.				

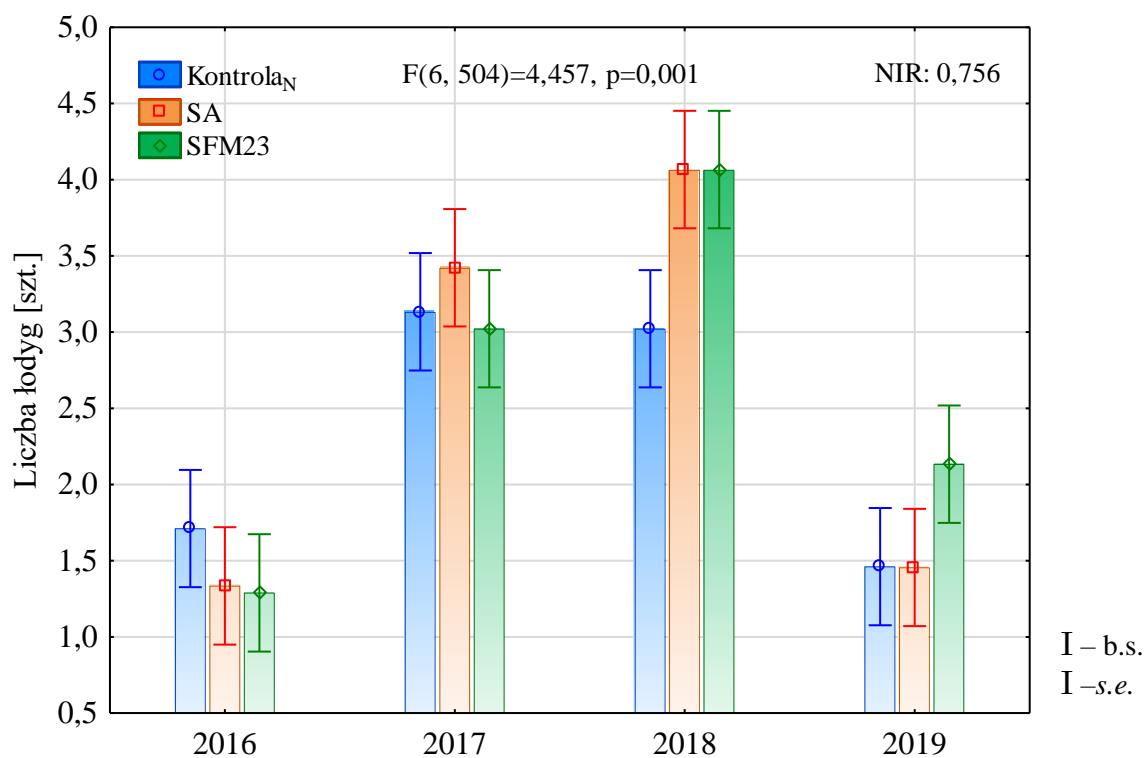
(jak w tab. 7, as in Tab. 7)

Przebieg pogody w latach miał istotny wpływ na kształtowanie średniej liczby pędów z rośliny. Najbardziej korzystne dla rozwoju liczby pędów były lata 2017 i 2018, w których uzyskano wartości 3,19 szt. i 3,72 szt. W 2018 r. rośliny wykształciły liczbę pędów istotnie większą od tej, którą uzyskano w pozostałych trzech latach doświadczenia. W roku 2016 i 2019 liczba pędów wykształcona na roślinie wyniosła 1,44 szt. i 1,68 szt. (rys. 28).

Zaobserwowano istotne współdziałanie nawożenia z badanymi latami. W 2018 r. nawożenie obiektów nawozami SA i SFM23 spowodowało istotny wzrost liczby pędów z rośliny, średnio o 1,05 szt. w stosunku do kontroli (3,02 szt.) (rys. 29).



Rys. 28. Liczba pędów z rośliny w latach;  
 Fig. 28. Number of stems per plant in years



Rys. 29. Liczba pędów z rośliny w latach po zastosowaniu nawożenia N;  
 Fig. 29. Number of stems per plant in years after N fertilization

Pozytywną tendencję nawożenia SFM23 odnotowano również w 2019 r., w którym liczba pędów z rośliny była o 0,67 szt. większa niż w obiekcie kontrolnym. W 2016 r. zaobserwowano skutek odwrotny, choć nieistotny statystycznie, kiedy to nawożenie azotowe wpłynęło na wykształcenie się mniejszej liczby pędów z rośliny w stosunku do kontroli – średnio o 22,2% (rys. 29).

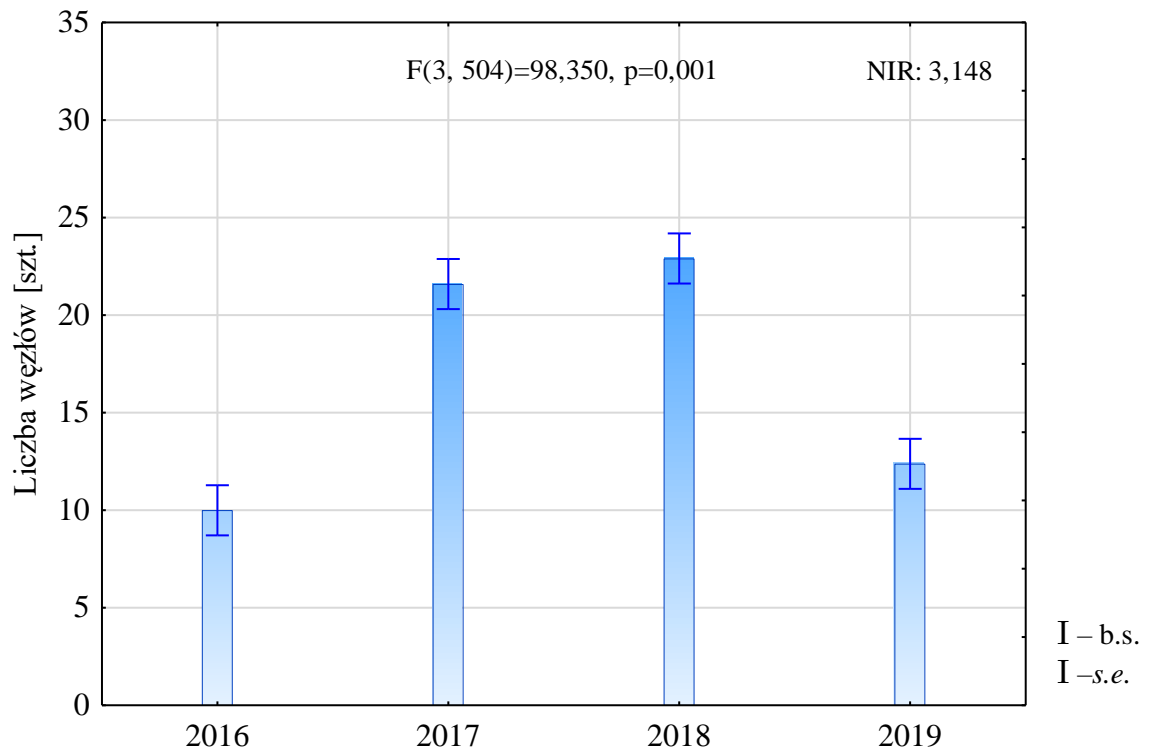
#### 5.6.1.7. Liczba węzłów na roślinie

Liczba węzłów owocujących na roślinie była istotnie uwarunkowana rodzajem stosowanego nawożenia mineralnego, a w mniejszym zakresie sposobem szczepienia nasion. Średnio parametr ten wynosił 16,74 szt. i zawierał się w przedziale od 14,15 szt. do 19,40 szt. Po zastosowaniu nawozu SFM23 zauważono istotne zwiększenie liczby pędów w stosunku do kontroli, z 14,98 szt. na 18,08 szt., a w przypadku użycia SA parametr ten wzrósł do 17,15 szt. w stosunku do obiektu kontrolnego. Jednak różnica uzyskana po zastosowaniu SA nie była istotna statystycznie. Szczepienie nasion szczepionkami bakteryjnymi nie spowodowało istotnego zwiększenia parametru. Zastosowanie Nitraginy przyczyniło się jedynie do nieznacznego wzrostu liczby węzłów w stosunku do kontroli, z 16,68 szt. do 16,98 szt. (tab. 24).

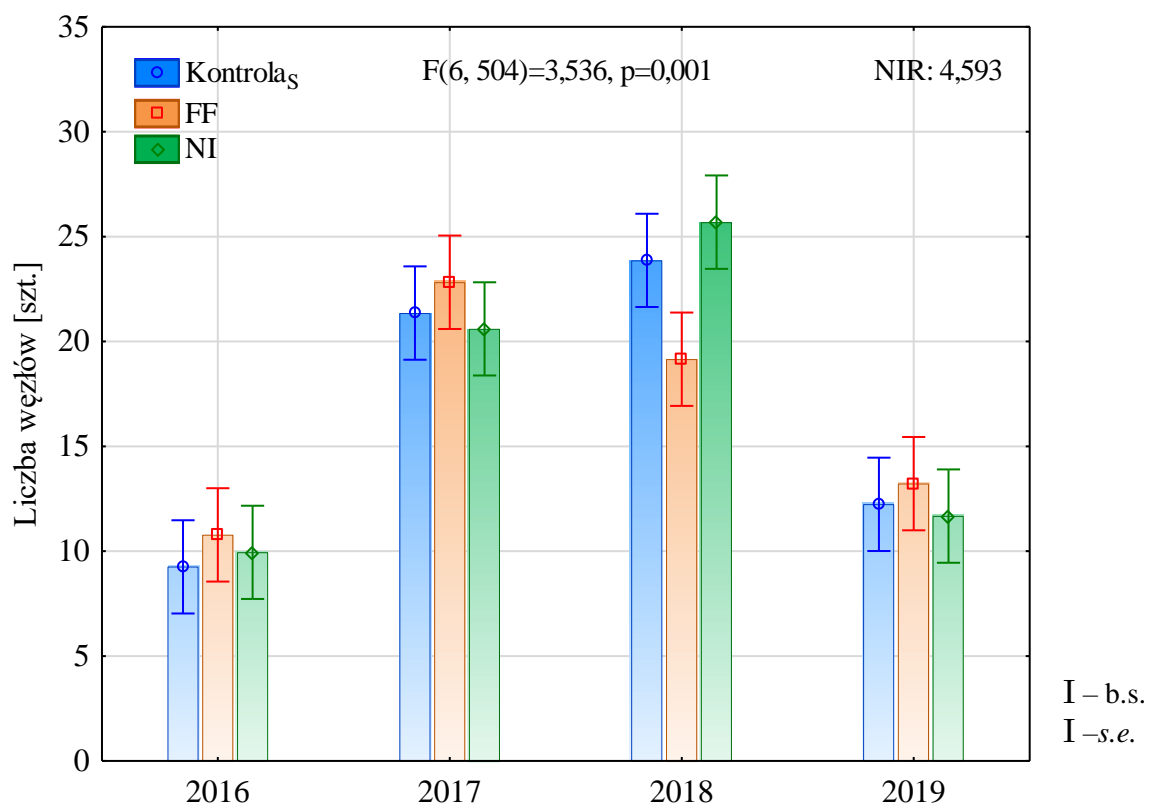
Tabela 24. Liczba węzłów na roślinie [szt.];  
Table 24. Number of knots per plant [pcs.]

	<b>Kontrola<sub>N</sub></b>	<b>SA</b>	<b>SFM23</b>	$\bar{x}$	<b>NIR<sub>II</sub></b>
<b>Kontrola<sub>S</sub></b>	15,5	18,0	16,6	16,7	n.i.
<b>FF</b>	15,4	16,1	18,2	16,6	
<b>NI</b>	14,2	17,4	19,4	17,0	
$\bar{x}$	15,0	17,2	18,1	16,8	
<b>NIR<sub>I</sub></b>	2,463				
<b>NIR<sub>I/II</sub></b>	n.i.				
<b>NIR<sub>II/I</sub></b>	n.i.				

(jak w tab. 7, as in Tab. 7)



Rys. 30. Liczba węzłów na roślinie w latach;  
 Fig. 30. Number of knots per plant in years



Rys. 31. Liczba węzłów na roślinie w latach po zastosowaniu szczepienia bakteryjnego;  
 Fig. 31. Number of knots per plant in years after inoculation

Przebieg pogody w latach przyczynił się do wykształcania istotnie różnych liczb owocujących węzłów w poszczególnych latach doświadczenia (rys. 30). W latach 2016 i 2019 odnotowano istotnie niższą liczbę węzłów niż w latach 2017 i 2018. W 2018 r. liczba wykształconych węzłów wyniosła 22,90 szt., co stanowiło blisko 230% wartości uzyskanej w 2016 r. i 185% wartości, którą zaobserwowano w ostatnim roku doświadczenia.

Stwierdzono również istotną interakcję między latami prowadzonych badań, a stosowaną szczepionką bakteryjną. W 2018 r. zaobserwowano pozytywny wpływ zastosowanej NI, dzięki której parametr liczby owocujących węzłów na roślinie zwiększył się o 6,52 szt. w stosunku do obiektu, w którym użyto szczepionki FF (rys. 31).

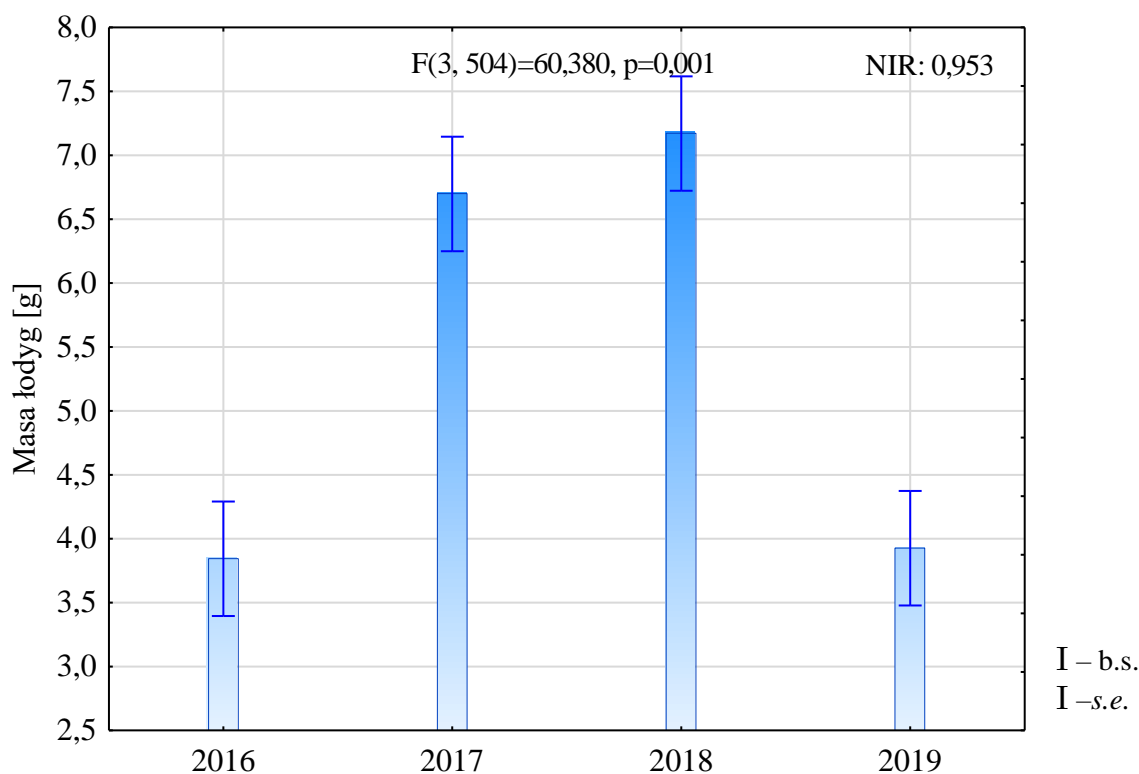
#### 5.6.1.8. Masa łodyg

Sucha masa łodyg wynosiła średnio 5,45 g i wahała się w zakresie od 4,34 g do 6,32 g. Wielkość parametru była istotnie kształtowana pod wpływem zastosowanego nawożenia mineralnego. Natomiast nie odnotowano istotnego wpływu szczepienia na wielkość masy łodyg. Spośród porównywanych rodzajów nawożenia najlepsze efekty uzyskano po zastosowaniu SFM23. Różnica w stosunku do kontroli wyniosła 1,08 g. Mniejszy wzrost w stosunku do kontroli, jednak również istotny, otrzymano po zastosowaniu SA i wyniósł on 0,90 g (tab. 25).

Tabela 25. Masa łodyg rośliny [g];  
Table 25. Weight of stems per plant [g]

	Kontrola <sub>N</sub>	SA	SFM23	$\bar{x}$	NIR <sub>II</sub>
<b>Kontrolas</b>	4,339	6,051	5,281	5,223	n.i.
<b>FF</b>	4,994	4,964	6,018	5,326	
<b>NI</b>	5,045	6,060	6,316	5,807	
$\bar{x}$	4,793	5,691	5,872	5,452	
<b>NIR<sub>I</sub></b>	0,768				
<b>NIR<sub>I/II</sub></b>	n.i.				
<b>NIR<sub>II/I</sub></b>	n.i.				

(jak w tab. 7, as in Tab. 7)



Rys. 32. Masa łodyg rośliny w latach;  
Fig. 32. Weight of stems per plant in years

Cecha była kształtowana poprzez przebieg warunków pogodowych w latach doświadczenia. Pierwszy i ostatni rok badań charakteryzował się wykształcaniem łodyg o istotnie mniejszej masie, odpowiednio 3,84 g i 3,93 g, niż łodygi, które otrzymano w wyniku badań w latach 2017 i 2018, tj. 6,70 g i 7,17 g (rys. 32).

W celu zobrazowania korelacji między wybranymi cechami morfologicznymi roślin wykonano analizę korelacji prostej. W wyniku przeprowadzonej analizy ustalono, że bardzo silna dodatnia zależność wystąpiła między cechami: masa nasion z rośliny i liczba nasion z rośliny (0,92\*\*), liczba strąków z rośliny i masa nasion z rośliny (0,90\*\*) oraz liczba strąków z rośliny i liczba nasion z rośliny (0,96\*\*). Odnotowano również umiarkowaną ujemną zależność między cechami: liczba strąków z rośliny i obsada roślin z 1 m<sup>2</sup> (-0,41) oraz liczba nasion w strąku i liczba strąków z rośliny (-0,40). Reszta powiązań między cechami charakteryzowała się słabą zależnością. Badane cechy nie były silnie skorelowane z plonem, co może być spowodowane odmiennymi warunkami pogodowymi w poszczególnych latach badań i zróżnicowaniem szczególnie obsady roślin, która wykazywała, spośród elementów struktury, największą korelację z plonem nasion. Jednocześnie występowała jej ujemna

korelacja z takimi cechami jak liczba nasion z rośliny i liczba strąków z rośliny, a więc kompensacja w obrębie podstawowych składowych plonu (tab. 26).

Tabela 26. Współczynnik korelacji między wybranymi cechami morfologicznymi;  
Table 26. Correlation coefficient between selected morphological traits

Cechy - Traits	Y	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>
Obsada roślin z m <sup>2</sup> Number of plants per m <sup>2</sup> (X <sub>1</sub> )	0,30**	1,00						
Masa nasion z rośliny Seed weight per plant [g] (X <sub>2</sub> )	0,21*	-0,26**	1,00					
Liczba nasion z rośliny Number of seeds per plant [g] (X <sub>3</sub> )	0,04	-0,38**	0,92**	1,00				
MTN 1000-grain weight [g] (X <sub>4</sub> )	0,10	0,07	-0,01	-0,26**	1,00			
Liczba strąków z rośliny Number of pods per plant (X <sub>5</sub> )	0,01	-0,41**	0,90**	0,96**	-0,21*	1,00		
Liczba nasion w strąku Number of seeds per pod (X <sub>6</sub> )	0,20*	0,32**	-0,16	-0,14	-0,11	-0,40**	1,00	
Wysokość rośliny Plant height (cm) (X <sub>7</sub> )	0,14	0,06	-0,14	-0,10	0,04	-0,09	-0,01	1,00

\* Istotna współzależność przy poziomie  $\alpha = 0,05$ ; *Significant correlation at  $\alpha = 0,05$  level*

\*\* Istotna współzależność przy poziomie  $\alpha = 0,01$ ; *Significant correlation at  $\alpha = 0,01$  level*

Y – plon nasion / *seeds' yield* [t ha<sup>-1</sup>]

## 5.6.2. Części podziemne

### 5.6.2.1. Parametry systemu korzeniowego

#### 5.6.2.1.1. Sucha masa korzenia z rośliny – Root Dry Matter (RDM)

Sucha masa korzenia kształtowała się na średnim poziomie 1,509 g i wahała się w zakresie 1,240 g - 1,873 g. Cecha ta była istotnie uzależniona od rodzaju stosowanego nawożenia. Użycie nawozu SA przyczyniło się do istotnego zwiększenia suchej masy korzeni, do 1,755 g, czyli o 25,5% w stosunku do obiektu nawożonego SFM23 oraz o 27,7% w stosunku do kontroli. Użycie szczepionek bakteryjnych nie wpłynęło istotnie na wielkość suchej masy korzeni (tab. 27).

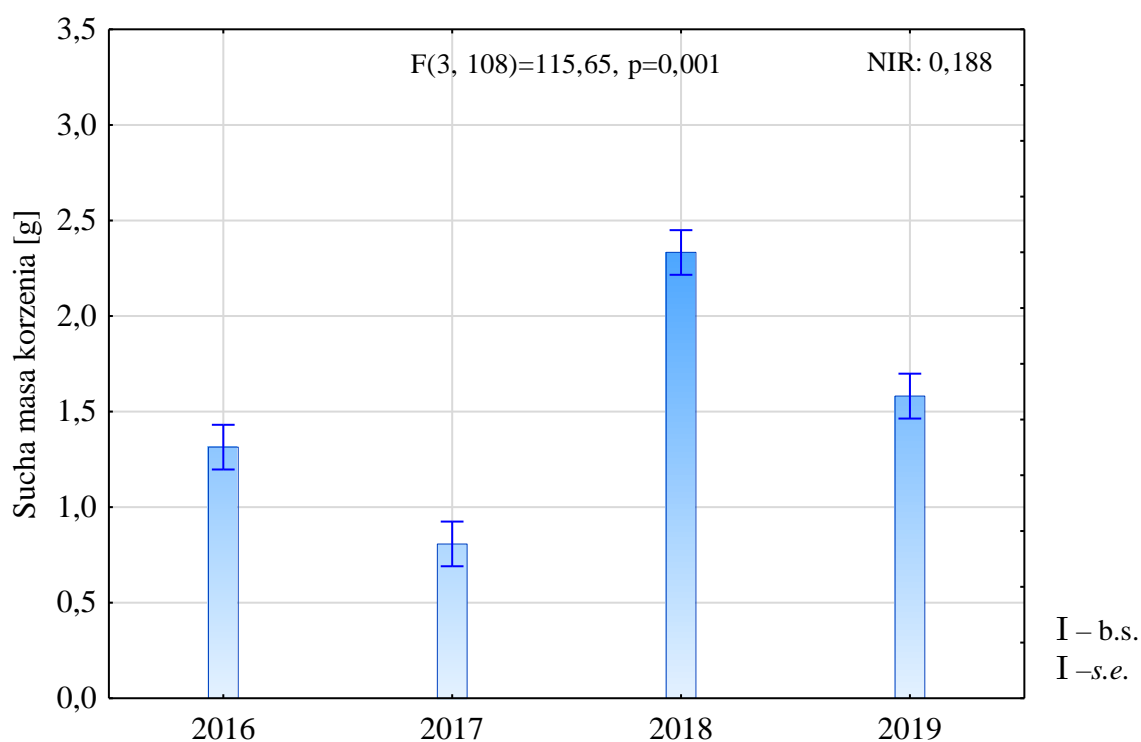


Tabela 27. Sucha masa korzenia z rośliny [g];  
Table 27. Root Dry Matter [g]

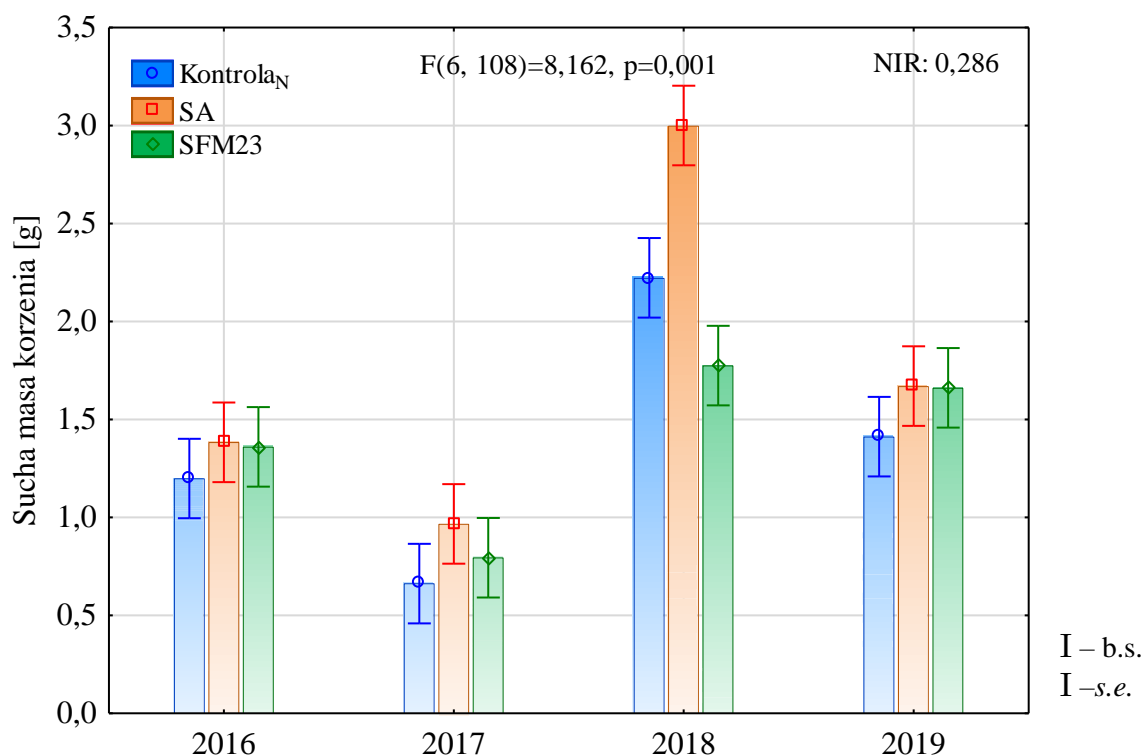
	Kontrola <sub>N</sub>	SA	SFM23	$\bar{x}$	NIR <sub>II</sub>
<b>Kontrolas</b>	1,413	1,577	1,561	1,517	n.i.
<b>FF</b>	1,469	1,873	1,365	1,569	
<b>NI</b>	1,240	1,815	1,268	1,441	
$\bar{x}$	1,374	1,755	1,398	1,509	
<b>NIR<sub>I</sub></b>	0,134				
<b>NIR<sub>I/II</sub></b>	n.i.				
<b>NIR<sub>II/I</sub></b>	n.i.				

(jak w tab. 7, as in Tab. 7)

Przebieg pogody w latach miał istotny wpływ na rozwój systemu korzeniowego. Największą suchą masę korzeni, o wartości 2,33 g, odnotowano w 2018 r., istotnie mniejszą, 1,31 g i 1,58 g, w latach 2016 i 2019, a najmniejszą, 0,81 g, w 2017 r. (rys. 33).



Rys. 33. Sucha masa korzenia w latach;  
Fig. 33. Root Dry Matter in years



Rys. 34. Sucha masa korzenia w latach po zastosowaniu nawożenia N;  
 Fig. 34. Root Dry Matter in years after N fertilization

Zaobserwowano również istotne współdziałanie lat z nawożeniem. W 2018 r. stwierdzono istotne zwiększenie masy korzeni roślin, z 2,23 g do 3,00 g, po zastosowaniu SA, w stosunku do kontroli. Jednakże odnotowano negatywny wpływ nawozu SFM23, po którego zastosowaniu w 2018 r., rośliny wykształciły korzenie o 0,45 g lżejsze od tych, które rosły na obiektach kontrolnych i o 1,22 g lżejsze od roślin z obiektu nawożonego saletrą amonową (rys. 34).

#### 5.6.2.1.2. Gęstość długości korzeni – Root Length Density (RLD)

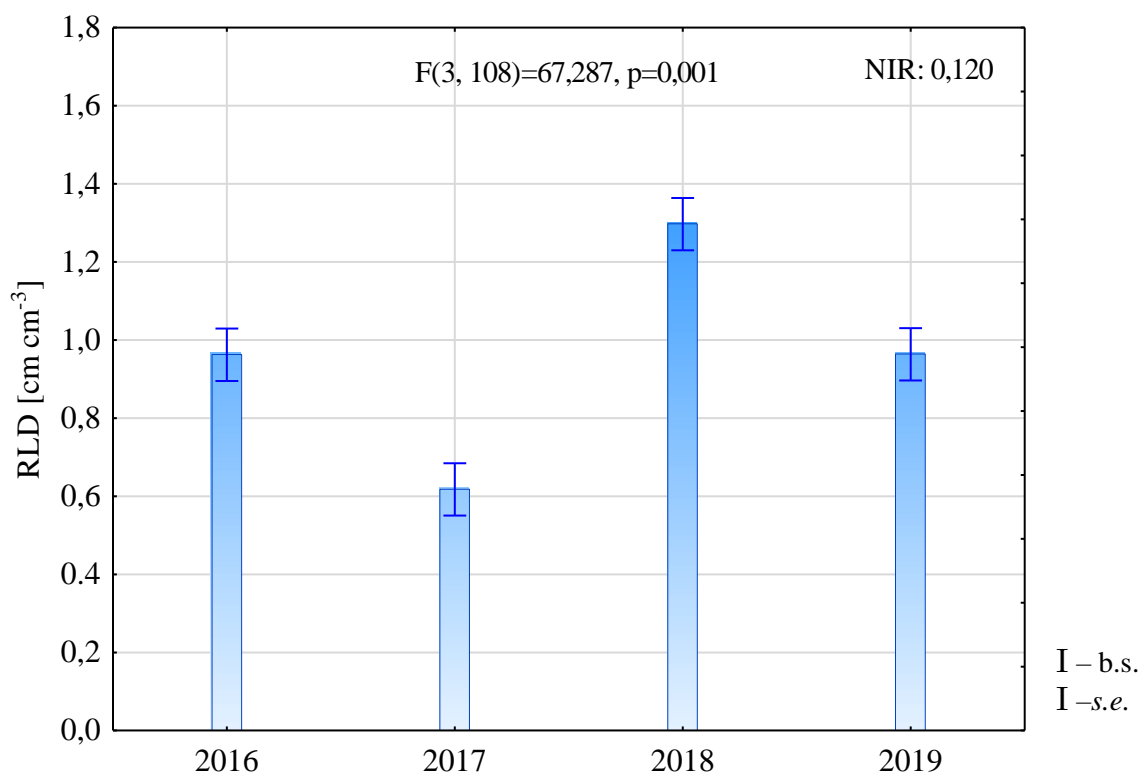
Gęstość długości korzeni (RLD) wynosiła średnio  $0,96 \text{ cm cm}^{-3}$  i była kształtowana istotnie statystycznie przez rodzaj stosowanego nawożenia azotowego. Korzenie o najmniejszej gęstości zaobserwowano w obiekcie nawożonym saletrą amonową bez szczepienia –  $0,819 \text{ cm cm}^{-3}$ , a największej –  $1,11 \text{ cm cm}^{-3}$  – w obiekcie z nawożeniem SFM23 i zastosowanym szczepieniem bakteryjnym FF. Zaobserwowano wzrost gęstości długości korzeni pod wpływem stosowania nawozu SFM23, o  $0,129 \text{ cm cm}^{-3}$ , w stosunku do kontroli. Natomiast saletra amonowa przyczyniała się do uzyskiwania małych wartości cechy, pomniejszając gęstość objętościową korzeni o  $0,087 \text{ cm cm}^{-3}$  w stosunku do kontroli (tab. 28).

Tabela 28. Gęstość długości korzeni [ $\text{cm cm}^{-3}$ ];  
Table 28. Root Length Density [ $\text{cm cm}^{-3}$ ]

	Kontrola <sub>N</sub>	SA	SFM23	$\bar{x}$	NIR <sub>II</sub>
<b>Kontrolas</b>	1,009	0,819	1,081	0,970	n.i.
<b>FF</b>	0,936	0,891	1,110	0,979	
<b>NI</b>	0,893	0,867	1,035	0,932	
$\bar{x}$	0,946	0,859	1,075	0,960	
<b>NIR<sub>I</sub></b>	0,057				
<b>NIR<sub>I/II</sub></b>	n.i.				
<b>NIR<sub>II/I</sub></b>	n.i.				

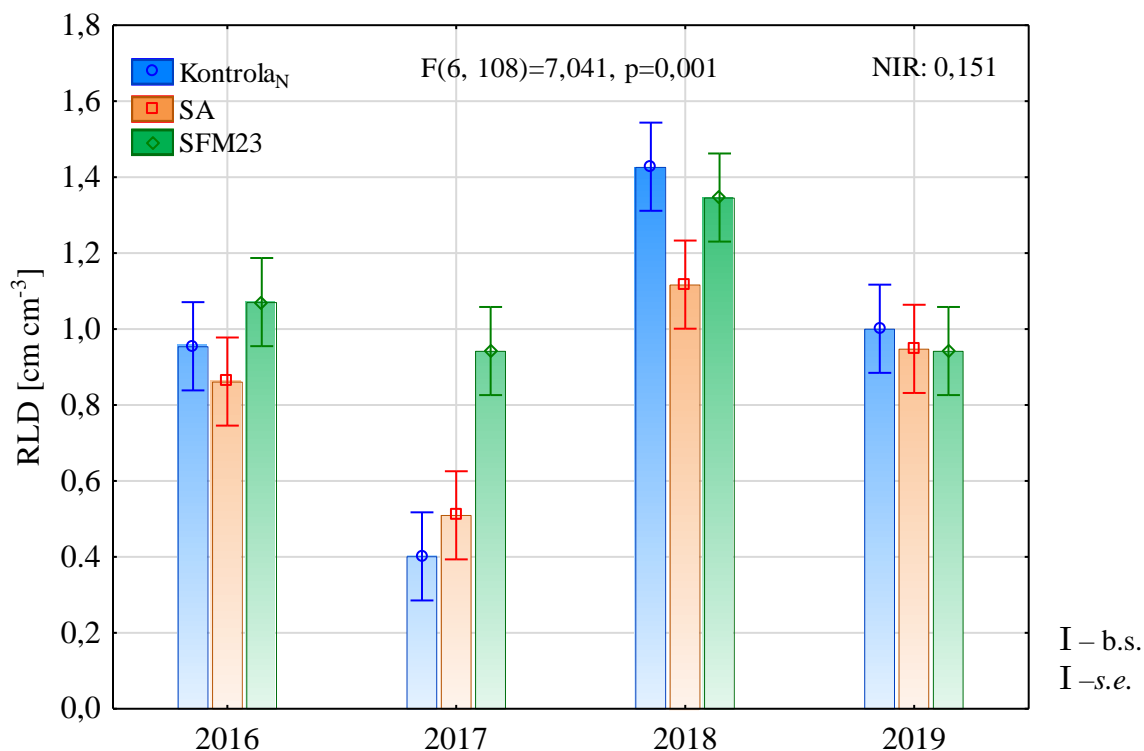
(jak w tab. 7, as in Tab. 7)

Przebieg warunków pogodowych w latach powodował istotne różnicowanie wartości cechy. Najmniejszą RLD odnotowano w 2017 r. –  $0,62 \text{ cm cm}^{-3}$ , największą w roku kolejnym –  $1,30 \text{ cm cm}^{-3}$ . W latach 2016 i 2019 wartości RLD miały zbliżoną wartość –  $0,96 \text{ cm cm}^{-3}$  (rys. 35).



Rys. 35. Gęstość długości korzeni w latach;  
Fig. 35. Root Length Density in years

Gęstość długości korzeni była również kształtowana poprzez współdziałanie przebiegu pogody w latach oraz stosowanego nawożenia azotowego. W 2016 r. istotnie większy wskaźnik RLD (wzrost o 0,21 cm cm<sup>-3</sup>) odnotowano po zastosowaniu SFM23 w stosunku do obiektu, gdzie stosowano saletrę amonową.



Rys. 36. Gęstość długości korzeni w latach po zastosowaniu nawożenia N;  
Fig. 36. Root Length Density in years after N fertilization

Podobną tendencję zaobserwowano w latach 2017 i 2018, gdzie przy zastosowaniu SFM23 gęstość długości korzeni wzrosła odpowiednio o 90% i 19,6% w stosunku do obiektu nawożonego saletrą. W 2018 r. zaobserwowano również istotny wzrost gęstości długości korzeni w obiekcie kontrolnym w stosunku do obiektu nawożonego saletrą amonową, o 27,7%. Podobny trend zaobserwowano w latach 2016 i 2019, jednak nie były to różnice istotne statystycznie (rys. 36).

#### 5.6.2.1.3. Gęstość suchej masy korzeni – Root Dry Matter Density (RDMD)

Gęstość suchej masy korzeni kształtowała się na średnim poziomie 2,62 mg cm<sup>-3</sup> i wahała się w zakresie od 2,15 do 3,25 mg cm<sup>-3</sup>. Spośród zastosowanych czynników badań, istotny wpływ na wielkość cechy miał rodzaj zastosowanego nawożenia azotowego. Nie stwierdzono wpływu szczepionki bakteryjnej na gęstość suchej masy korzeni. Wzrost RDMD jako efekt zastosowania nawożenia w postaci saletry amonowej (do 3,04 mg cm<sup>-3</sup>) był

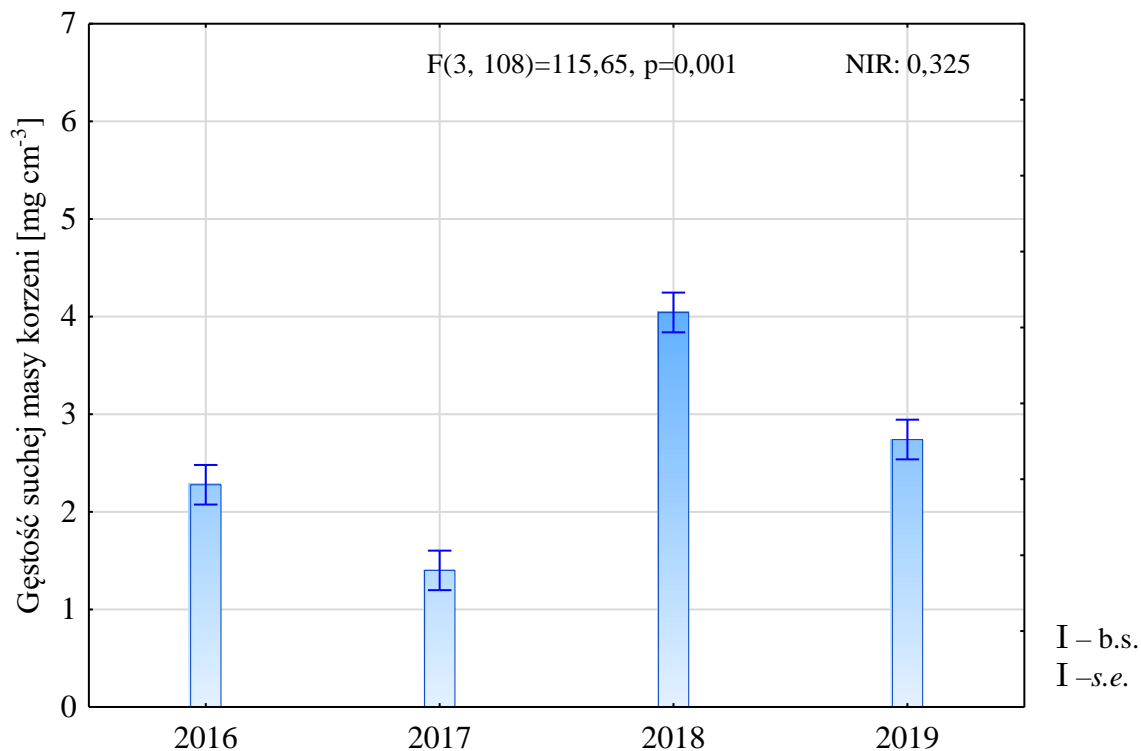
większy niż wzrost po zastosowaniu SFM23 ( $2,42 \text{ mg cm}^{-3}$ ) w stosunku do kontroli ( $2,38 \text{ mg cm}^{-3}$ ) (tab. 29).

Tabela 29. Gęstość suchej masy korzeni [ $\text{mg cm}^{-3}$ ];  
Table 29. Root Dry Matter Density [ $\text{mg cm}^{-3}$ ]

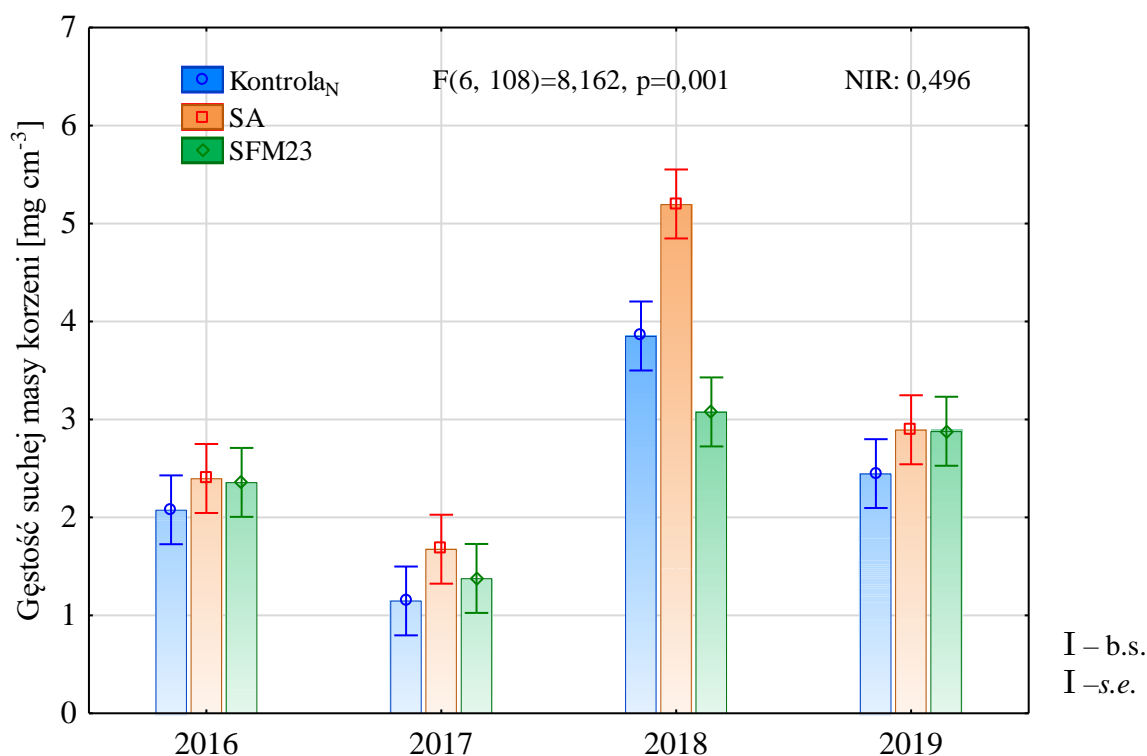
	Kontrola <sub>N</sub>	SA	SFM23	$\bar{x}$	NIR <sub>II</sub>
<b>Kontrolas</b>	2,45	2,73	2,71	2,63	n.i.
<b>FF</b>	2,55	3,25	2,37	2,72	
<b>NI</b>	2,15	3,15	2,20	2,50	
$\bar{x}$	2,38	3,04	2,42	2,62	
<b>NIR<sub>I</sub></b>	0,231				
<b>NIR<sub>I/II</sub></b>	n.i.				
<b>NIR<sub>II/I</sub></b>	n.i.				

(jak w tab. 7, as in Tab. 7)

Zaobserwowano również istotne zróżnicowanie cechy między poszczególnymi latami prowadzonych badań (rys. 37). Najmniejsza gęstość suchej masy korzeni została odnotowana w 2017 r. ( $1,40 \text{ mg cm}^{-3}$ ), a największa w 2018 r. ( $4,00 \text{ mg cm}^{-3}$ ). Wartości pośrednie ( $2,30 \text{ mg cm}^{-3}$  i  $2,70 \text{ mg cm}^{-3}$ ) otrzymano odpowiednio w pierwszym i ostatnim roku prowadzonych badań.



Rys. 37. Gęstość suchej masy korzeni w latach;  
Fig. 37. Root Dry Matter Density in years



Rys. 38. Gęstość suchej masy korzeni w latach po zastosowaniu nawożenia N;  
 Fig. 38. Root Dry Matter Density in years after N fertilization

Gęstość suchej masy korzeni w poszczególnych latach badań była również istotnie różnicowana rodzajem zastosowanego nawożenia azotowego. We wszystkich latach badań zaobserwowano większe wartości cechy RDMD po zastosowaniu nawozu azotowego w formie amonowo-azotanowej. Podobną tendencję zauważono przy zastosowaniu nawozu w formie amonowo-amidowej, jednak wyjątkiem okazał się 2018 r., w którym to wartość cechy (3,10 mg cm<sup>-3</sup>) okazała się istotnie statystycznie mniejsza nie tylko od wartości z obiektu nawożonego SA (5,20 mg cm<sup>-3</sup>), ale również od wartości z obiektu kontrolnego (3,90 mg cm<sup>-3</sup>) (rys. 38).

#### 5.6.2.1.4. Średnica korzeni – Mean Root Diameter (MRD)

Średnica korzeni kształtowała się na średnim poziomie 0,419 mm. Wahala się w zakresie od 0,368 do 0,479 mm. Spośród zastosowanych czynników badań, istotny wpływ na wielkość cechy miał rodzaj zastosowanego nawożenia azotowego. Nie stwierdzono wpływu szczepionki bakteryjnej na średnicę korzeni. Wzrost tego parametru, jako efekt zastosowania nawożenia w postaci saletry amonowej (0,440 mm), był większy niż wzrost po zastosowaniu SFM23 (0,431 mm) w stosunku do kontroli (0,387 mm). Wzrost wartości cechy był istotny

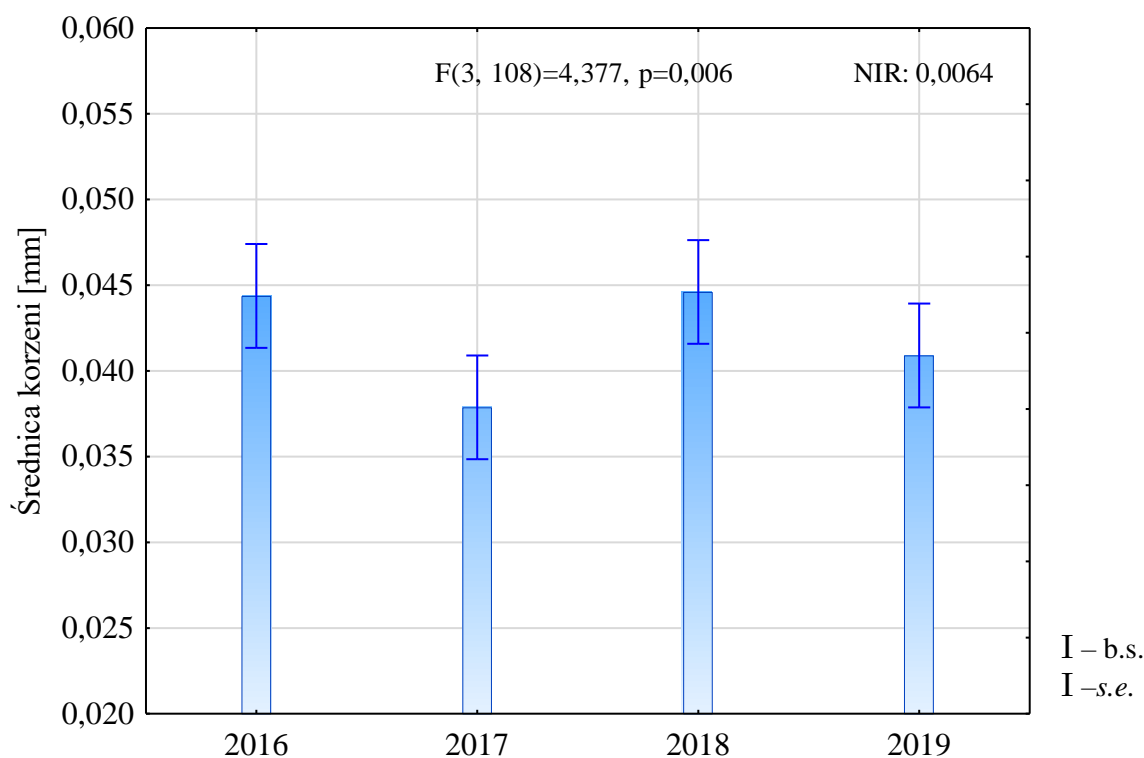
statystycznie jedynie w przypadku zastosowania SA względem obiektu kontrolnego. Wartości uzyskane po zastosowaniu SFM23 nie miały efektu statystycznego (tab. 30).

Tabela 30. Średnica korzeni [mm];  
Table 30. Mean Root Diameter [mm]

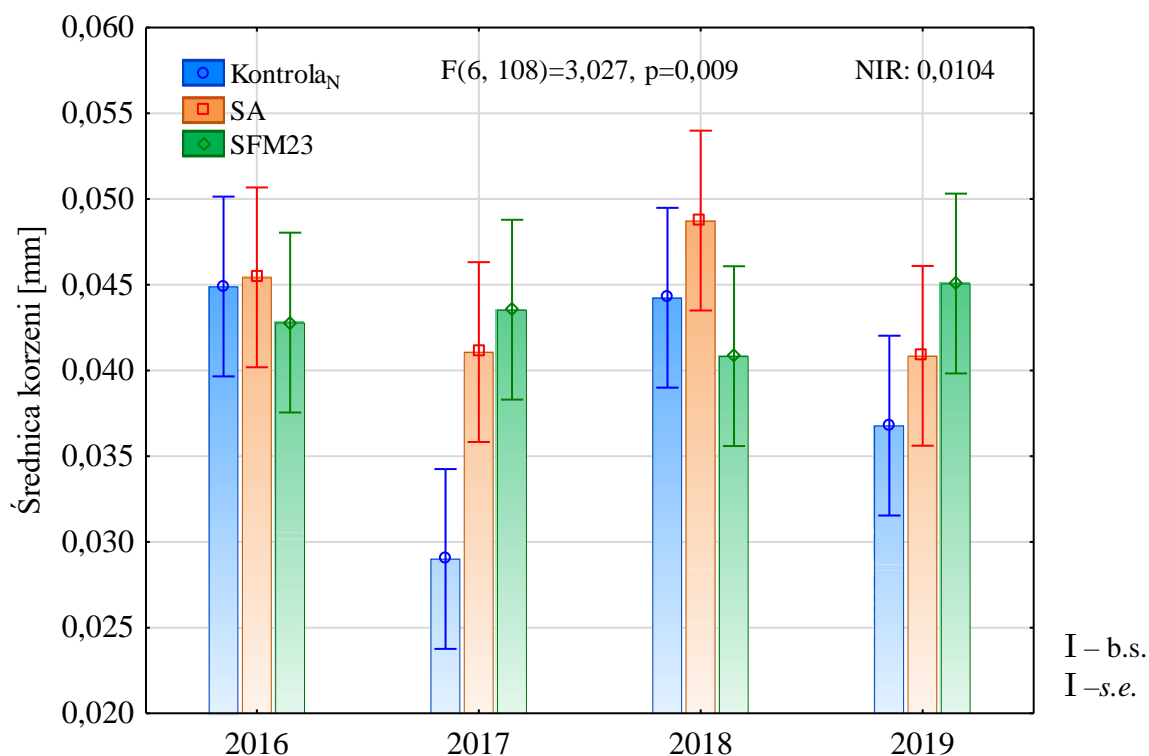
	Kontrola <sub>N</sub>	SA	SFM23	$\bar{x}$	NIR <sub>II</sub>
<b>Kontrolas</b>	0,393	0,431	0,428	0,417	n.i.
<b>FF</b>	0,401	0,479	0,427	0,436	
<b>NI</b>	0,368	0,410	0,437	0,405	
$\bar{x}$	0,387	0,440	0,431	0,419	
<b>NIR<sub>I</sub></b>	0,050				
<b>NIR<sub>I/II</sub></b>	n.i.				
<b>NIR<sub>II/I</sub></b>	n.i.				

(jak w tab. 7, as in Tab. 7)

Zaobserwowano również istotne zróżnicowanie cechy między poszczególnymi latami prowadzonych badań (rys. 39). Najmniejsza średnica korzeni została odnotowana w 2017 r. (0,379 mm). Istotnie większe średnice od tych uzyskanych w 2017 r. odnotowano w latach 2016 (0,379 mm) i 2018 (0,446 mm).



Rys. 39. Średnica korzeni w latach;  
Fig. 39. Mean Root Diameter in years



Rys. 40. Średnica korzeni w latach po zastosowaniu nawożenia N;  
 Fig. 40. Mean Root Diameter in years after N fertilization

Średnica korzeni w poszczególnych latach badań była również istotnie różnicowana rodzajem zastosowanego nawożenia azotowego. We wszystkich latach badań zaobserwowano większe wartości cechy po zastosowaniu nawozu azotowego w formie amonowo-azotanowej w stosunku do kontroli. Przy zastosowaniu nawozu w formie amonowo-amidowej nie odnotowano jednoznacznego efektu. W latach 2016 i 2018 (charakteryzujących się „dość suchym” okresem wegetacji, por. tab. 5B) średnica korzeni roślin z obiektów nawożonych SFM23 była mniejsza od średnicy korzeni roślin z obiektów kontrolnych, a w latach 2017 i 2019 (wilgotnych w okresie wegetacji, por. tab. 5B) – większa (rys. 40).

#### 5.6.2.1.5. Powierzchnia korzeni – Root Surface Area Density (RSAD)

Średnia powierzchnia korzeni (RSAD) była kształtowana zarówno przez rodzaj zastosowanego nawożenia, jak i sposób szczepienia nasion. Średnio wynosiła  $1,266 \text{ cm}^2 \text{ cm}^{-3}$ , a jej zakres wahał się od  $1,104 \text{ cm}^2 \text{ cm}^{-3}$  do  $1,471 \text{ cm}^2 \text{ cm}^{-3}$ . Nawożenie nawozem azotowym w formie amonowo-amidowej przyczyniło się istotnego powiększenia powierzchni długości korzeni w stosunku do powierzchni uzyskanej z obiektów nawożonych azotem amonowo-azotanowym. Wzrost powierzchni wyniósł  $0,204 \text{ cm}^2 \text{ cm}^{-3}$ . Zaobserwowano również



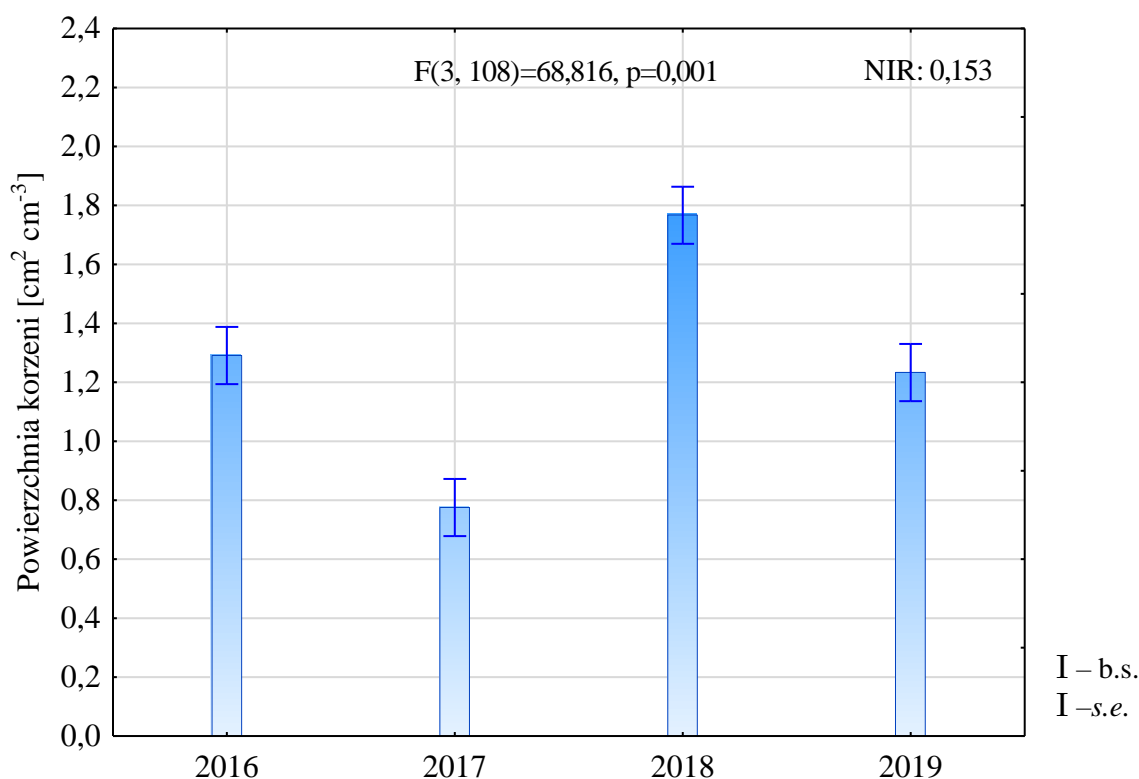
zwiększenie powierzchni długości korzeni o  $0.178 \text{ cm}^2 \text{ cm}^{-3}$  w stosunku do kontroli, jednak była to różnica nieistotna statystycznie (tab. 31).

Tabela 31. Powierzchnia korzeni [ $\text{cm}^2 \text{ cm}^{-3}$ ];  
Table 31. Root Surface Area Density [ $\text{cm}^2 \text{ cm}^{-3}$ ]

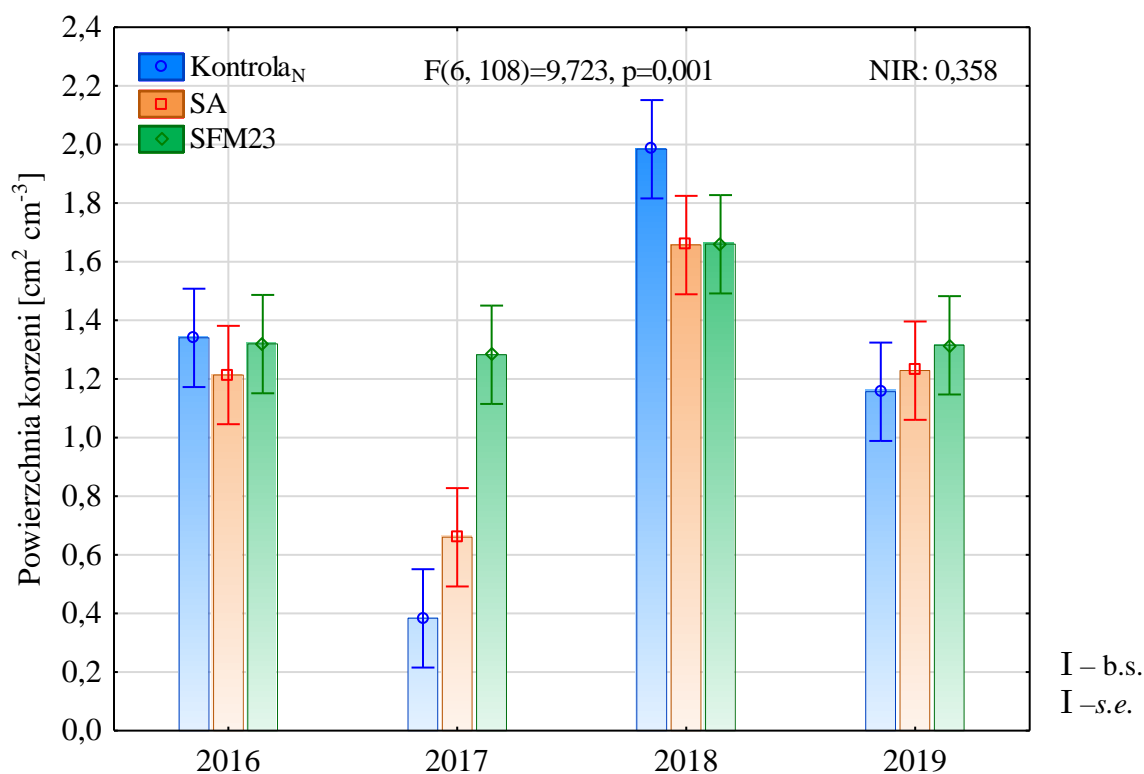
	Kontrola <sub>N</sub>	SA	SFM23	$\bar{x}$	NIR <sub>II</sub>
Kontrola <sub>S</sub>	1,280	1,135	1,415	1,277	0,129
FF	1,235	1,330	1,471	1,345	
NI	1,132	1,104	1,296	1,177	
$\bar{x}$	1,216	1,190	1,394	1,266	
NIR <sub>I</sub>	0,199				
NIR <sub>I/II</sub>	n.i.				
NIR <sub>II/I</sub>	n.i.				

(jak w tab. 7, as in Tab. 7)

Odnotowano również istotne zróżnicowanie powierzchni korzenia w latach (rys. 41), jak i w interakcji lat i rodzaju nawożenia (rys. 42). Największą średnią powierzchnię objętościową korzeni zaobserwowano w roku 2018 –  $1,767 \text{ cm}^2 \text{ cm}^{-3}$ . W pozostałych latach średnie wartości powierzchni korzeni wahały się w przedziale  $0,775\text{-}1,291 \text{ cm}^2 \text{ cm}^{-3}$ .



Rys. 41. Powierzchnia korzeni w latach;  
Fig. 41. Root Surface Area Density in years



Rys. 42. Powierzchnia korzeni w latach po zastosowaniu nawożenia N;  
 Fig. 42. Root Surface Area Density in years after N fertilization

Zastosowanie nawożenia SFM23 poskutkowało zwiększeniem średniej powierzchni długości korzeni soi w sezonach wegetacyjnych lat określonych jako wilgotne, wg współczynnika hydrotermicznego Sielianinowa, tj. w 2017 r. i 2019 r. (tab. 5B). W 2017 r. odnotowano wzrost powierzchni korzeni u roślin z obiektu, gdzie zastosowano SFM23, w stosunku do obiektu kontrolnego oraz obiektu nawożonego SA. Wzrost wartości cechy wyniósł odpowiednio 0,904 cm<sup>2</sup> cm<sup>-3</sup> i 0,623 cm<sup>2</sup> cm<sup>-3</sup>. Podobną tendencję, jednak nieistotną statystycznie, zaobserwowano również w 2019 r. (rys. 42).

#### 5.6.2.2. Parametry brodawek korzeniowych

##### 5.6.2.2.1. Liczba brodawek z rośliny

Liczba brodawek z rośliny była istotnie zależna od sposobu szczepienia nasion. Nie wykazano istotnych różnic w liczbie brodawek pod wpływem stosowanego nawożenia. Większą statystycznie liczebność brodawek stwierdzono w obiekcie, w którym zastosowano NI – 30,9 szt., w stosunku do kontroli, gdzie liczba brodawek wynosiła 18,3 szt. W obiekcie,

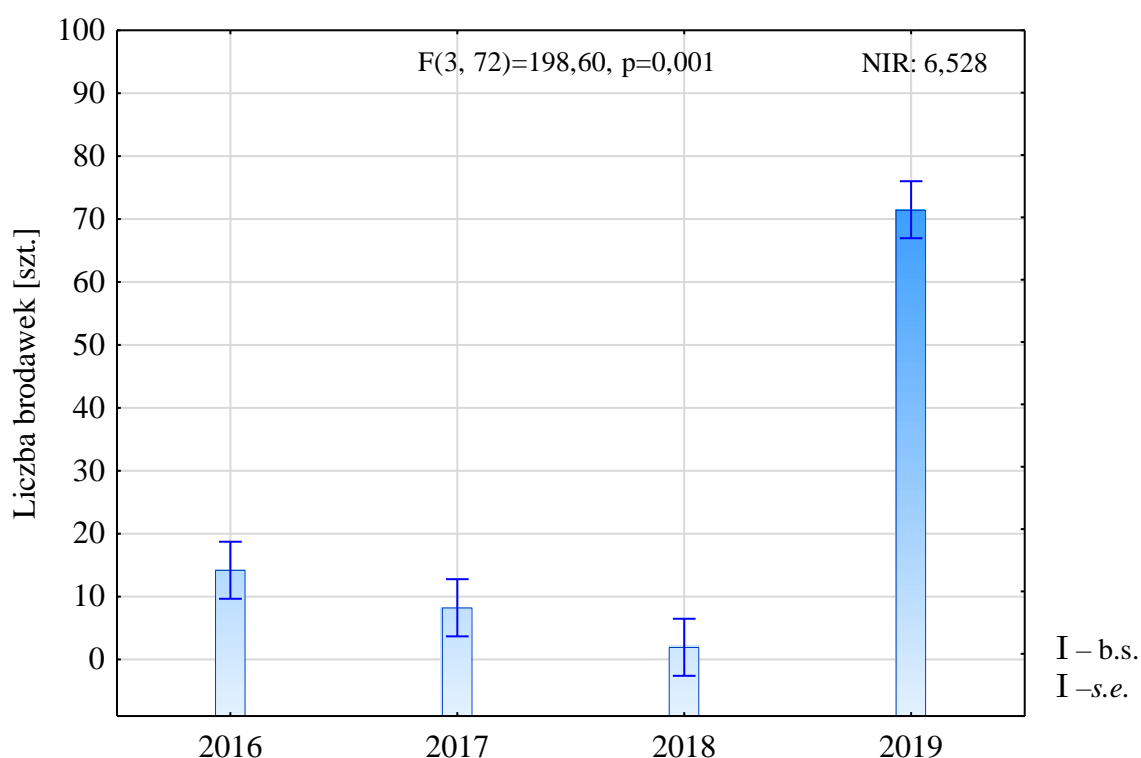
gdzie zastosowano szczepienie FF liczba wykształconych brodawek – 22,7 szt. – była również statystycznie istotnie mniejsza od liczby uzyskanej po użyciu NI (tab. 32).

Tabela 32. Liczba brodawek z rośliny [szt.];  
Table 32. Number of nodules per plant [pcs.]

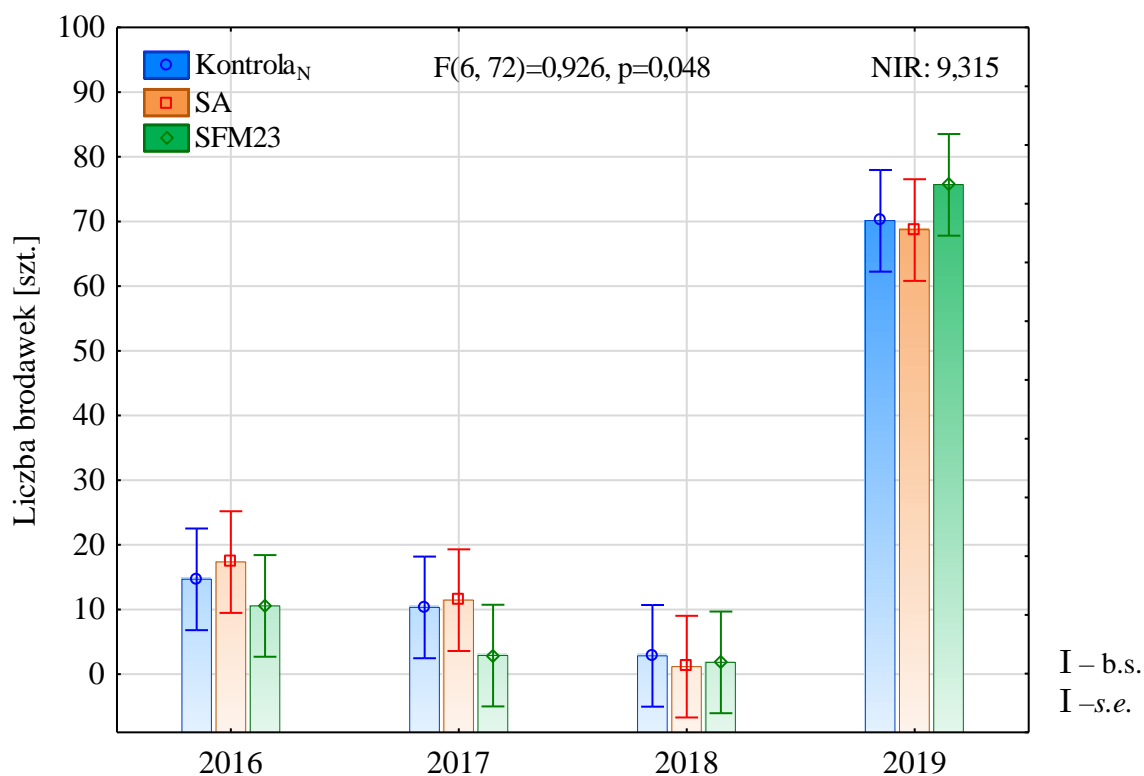
	Kontrola <sub>N</sub>	SA	SFM23	$\bar{x}$	NIR <sub>II</sub>
<b>Kontrolas</b>	23,0	17,7	14,0	18,3	7,635
<b>FF</b>	22,2	20,5	25,3	22,7	
<b>NI</b>	28,3	35,7	28,8	30,9	
$\bar{x}$	24,5	24,7	22,7	24,0	
<b>NIR<sub>I</sub></b>	n.i.				
<b>NIR<sub>I/II</sub></b>	n.i.				
<b>NIR<sub>II/I</sub></b>	n.i.				

(jak w tab. 7, as in Tab. 7)

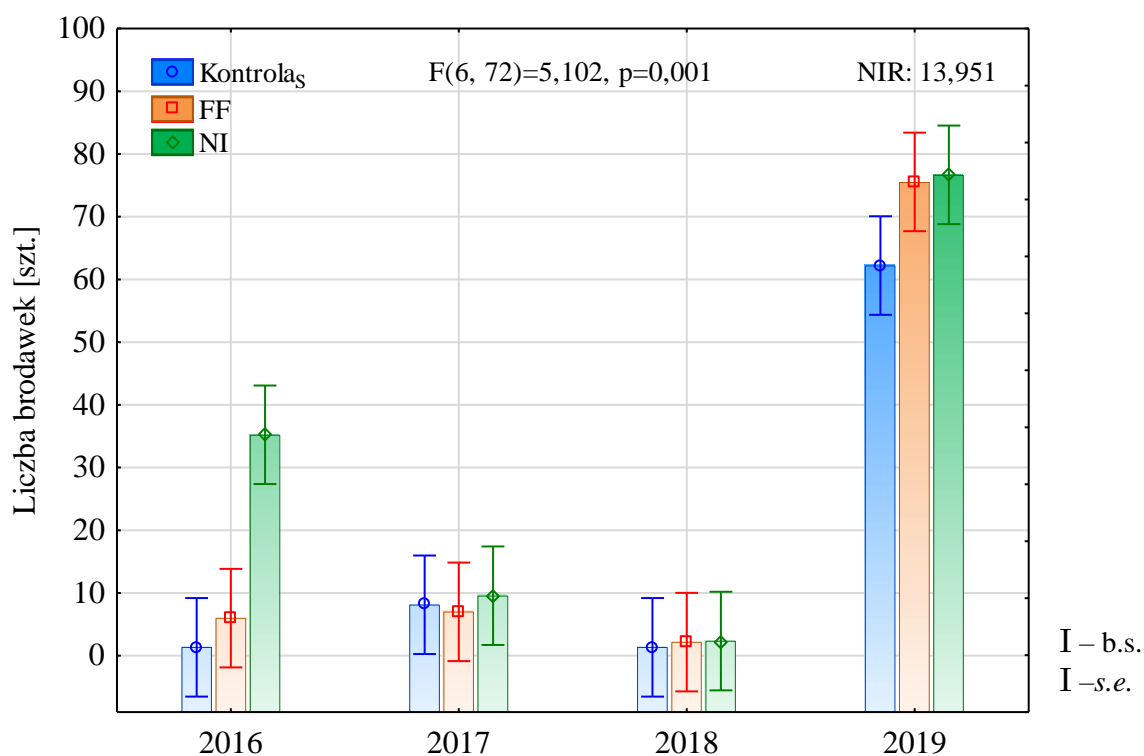
Przebieg pogody w latach w dużym stopniu wpłynął na liczebność brodawek. W 2019 r. uzyskano ponad 71 brodawek z rośliny, podczas gdy w 2016 r. – 14 brodawek, w 2017 r. – 8 brodawek, a w 2018 r. tylko 2 sztuki (rys. 43).



Rys. 43. Liczba brodawek z rośliny w latach;  
Fig. 43. Number of nodules per plant in years



Rys. 44. Liczba brodawek z rośliny w latach po zastosowaniu nawożenia N;  
 Fig. 44. Number of nodules per plant in years after N fertilization



Rys. 45. Liczba brodawek z rośliny w latach po zastosowaniu szczepienia bakteryjnego;  
 Fig. 45. Number of nodules per plant in years after inoculation

Wykazano również istotne współdziałanie lat z czynnikami badań (rys. 44, rys. 45). W przypadku obu czynników w 2019 r. liczba brodawek była istotnie większa niż w pozostałych latach badań. Zaobserwowano jednak istotny wpływ szczepionki Nitragina na liczbę brodawek z rośliny nie tylko w 2019 r., gdzie przyczyniła się do wzrostu o 23,6% w stosunku do kontroli, ale też w 2016 r., gdzie rośliny z obiektu szczepionego Nitraginą wykształciły o 34 brodawki więcej niż w obiekcie kontrolnym.

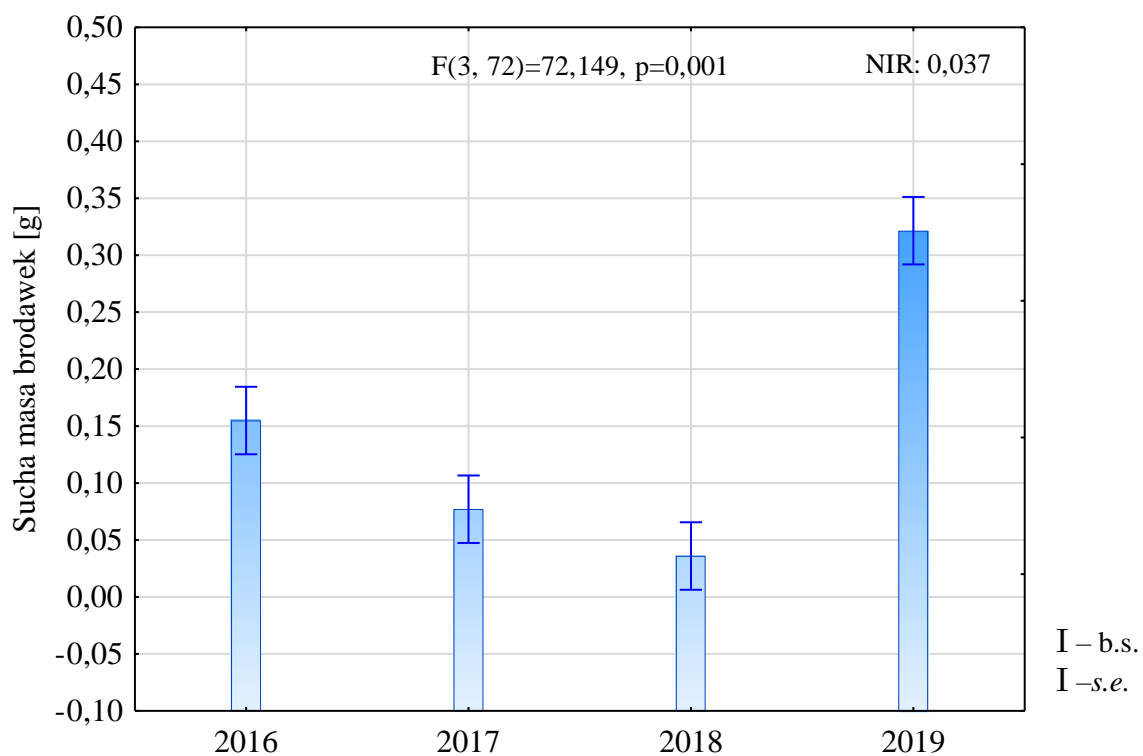
#### 5.6.2.2.2. Sucha masa brodawek

Sucha masa brodawek z rośliny wynosiła średnio 0,147 g, co przy omawianej wcześniej liczbie brodawek na roślinie, wynoszącej średnio 24 szt., daje średnią suchą masę jednej brodawki na poziomie 0,006 g. Sucha masa brodawek z rośliny była w istotnym stopniu warunkowana działaniem czynników badań i kształtowała się w przedziale 0,073 g - 0,206 g. Stosowanie nawożenia azotowego negatywnie wpłynęło na wartość cechy. Zaobserwowano wykształcanie istotnie lżejszych brodawek, średnio o 0,04 g, w obiektach nawożonych azotem mineralnym, w stosunku do obiektu kontrolnego, gdzie sucha masa kształtowała się na poziomie 0,174 g. Odwrotne zjawisko – wzrastania suchej masy brodawek z rośliny – odnotowano przy zastosowaniu szczepionek bakteryjnych. Istotnie większą masę brodawek, w wysokości 0,182 g, wykształcały rośliny z obiektu, którego nasiona były szczepione NI, w stosunku do obiektu z kontrolą, gdzie rośliny wykształcały brodawki o blisko połowę lżejsze – 0,099 g. Stosowanie szczepionki FF również przyczyniło się do istotnego wzrostu parametru, o 0,062 g, w stosunku do obiektu kontrolnego (tab. 33).

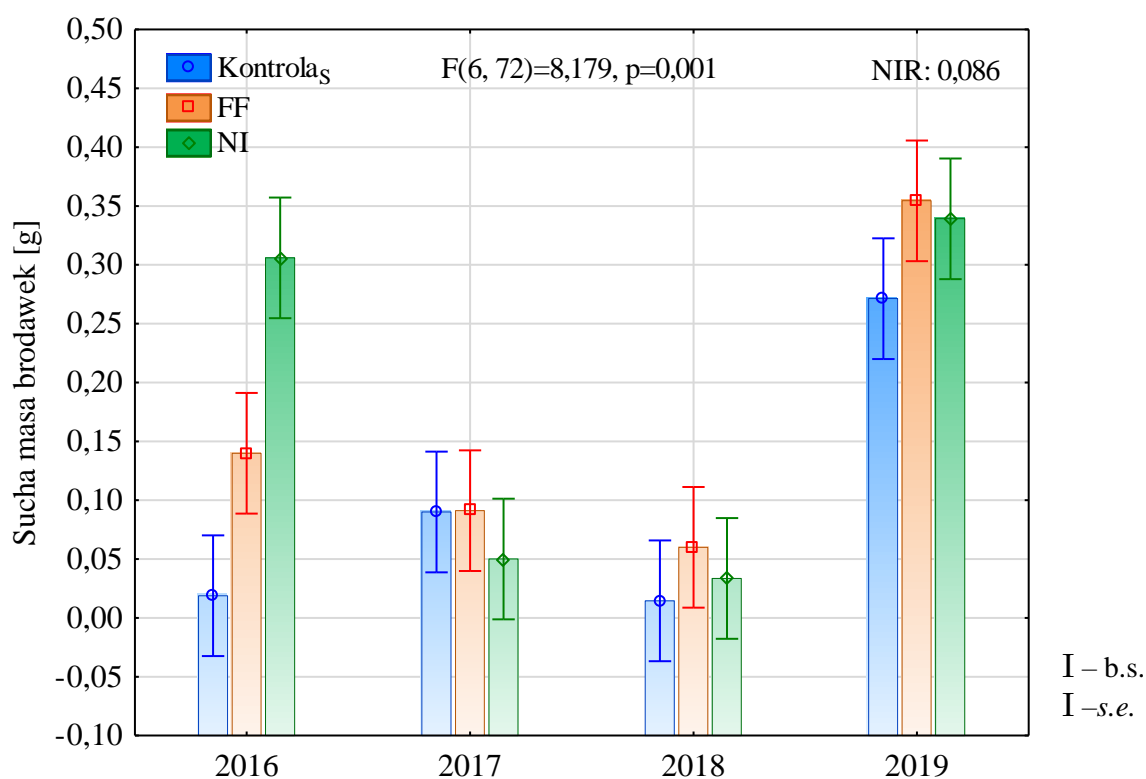
*Tabela 33. Sucha masa brodawek z rośliny [g];  
Table 33. Dry weight of nodules per plant [g]*

	<b>Kontrola<sub>N</sub></b>	<b>SA</b>	<b>SFM23</b>	$\bar{x}$	<b>NIR<sub>II</sub></b>
<b>Kontrola<sub>S</sub></b>	0,135	0,089	0,073	0,099	0,048
<b>FF</b>	0,181	0,139	0,164	0,161	
<b>NI</b>	0,206	0,188	0,152	0,182	
$\bar{x}$	0,174	0,138	0,130	0,147	
<b>NIR<sub>I</sub></b>	0,041				
<b>NIR<sub>I/II</sub></b>	n.i.				
<b>NIR<sub>II/I</sub></b>	n.i.				

(jak w tab. 7, as in Tab. 7)



Rys. 46. Sucha masa brodawek z rośliny w latach;  
 Fig. 46. Dry weight of nodules per plant in years



Rys. 47. Sucha masa brodawek z rośliny w latach po zastosowaniu szczepienia bakteryjnego;  
 Fig. 47. Dry weight of nodules per plant in years after inoculation

Sucha masa brodawek z rośliny była również uzależniona w istotnym stopniu od przebiegu pogody w latach doświadczenia. Największą suchą masę brodawek stwierdzono w 2019 r., co odpowiada omawianej wcześniej największej liczbie brodawek w 2019 r. Uwzględniając liczbę i masę brodawek z poszczególnych lat doświadczenia zaobserwowano, że w 2016 r. średnia masa brodawki wynosiła 10,92 mg, w 2017 r. – 9,36 mg, 2018 r. – 18,51 mg i w 2019 r. – 4,50 mg (rys. 43 i rys. 46).

Ponadto, wykazano istotne współdziałanie przebiegu pogody w latach i szczepionek bakteryjnych. Zastosowanie szczepionki NI istotnie zwiększyło suchą masę brodawek w 2016 r. w stosunku do kontroli zwiększając wartość suchej masy o 0,289 g, a szczepionki FF w 2019 r., gdzie, w porównaniu do obiektu kontrolnego, szczepienie spowodowało wzrost wartości suchej masy o 0,085 g (rys. 47).

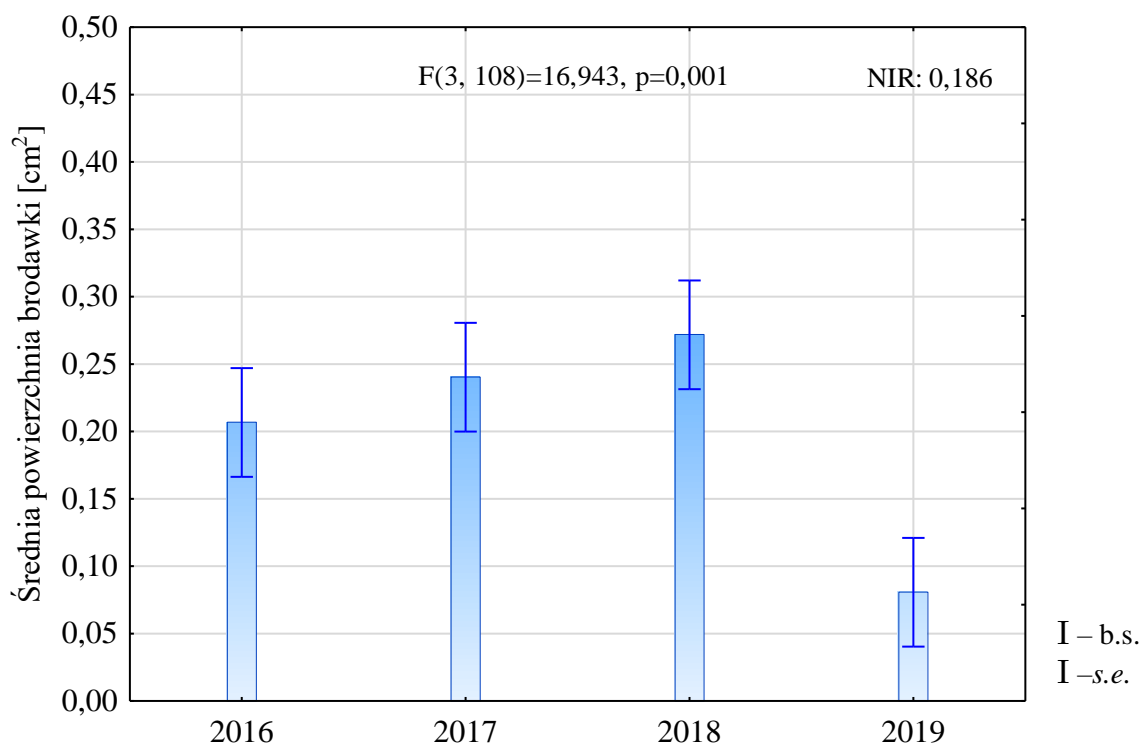
#### 5.6.2.2.3. Średnia powierzchnia brodawek

Średnia powierzchnia brodawek była istotnie uzależniona od stosowanego sposobu szczepienia nasion. Większą, w porównaniu do kontroli (0,210 cm<sup>2</sup>), powierzchnię brodawek stwierdzono w obiektach, w których stosowano szczepienie FF. Była to jednak różnica nieistotna statystycznie, a wzrost wyniósł 8,1%. Natomiast wykształcone przez rośliny brodawki z obiektu o nasionach szczepionych NI okazały się być istotnie mniejsze, o 22,4%, od tych, które uzyskano z obiektu kontrolnego. Nawożenie mineralne nie miało istotnego wpływu na kształtowanie cechy (tab. 34).

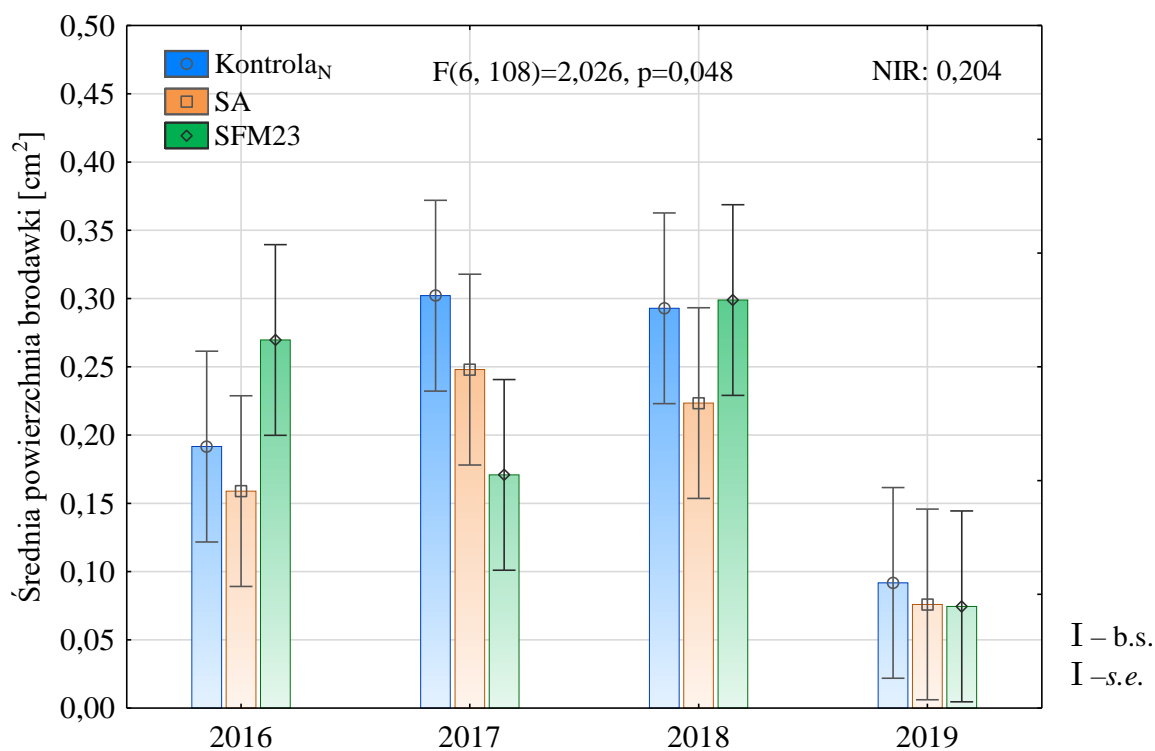
Tabela 34. Średnia powierzchnia brodawek [cm<sup>2</sup>];  
Table 34. Nodule Area [cm<sup>2</sup>]

	<b>Kontrola<sub>N</sub></b>	<b>SA</b>	<b>SFM23</b>	$\bar{x}$	<b>NIR<sub>II</sub></b>
<b>Kontrola<sub>S</sub></b>	0,250	0,163	0,215	0,210	0,048
<b>FF</b>	0,208	0,195	0,279	0,227	
<b>NI</b>	0,200	0,171	0,117	0,163	
$\bar{x}$	0,220	0,177	0,203	0,200	
<b>NIR<sub>I</sub></b>	n.i.				
<b>NIR<sub>I/II</sub></b>					0,085
<b>NIR<sub>II/I</sub></b>					0,083

(jak w tab. 7, as in Tab. 7)



Rys. 48. Średnia powierzchnia brodawek w latach;  
 Fig. 48. Nodule Area in years



Rys. 49. Średnia powierzchnia brodawek w latach po zastosowaniu nawożenia N;  
 Fig. 49. Nodule Area in years after N fertilization



Stwierdzono również istotne współdziałanie lat i czynnika nawozowego. Znacząco większą powierzchnię brodawek, 0,299 cm<sup>2</sup>, stwierdzono w 2018 r., po zastosowaniu SFM23 w stosunku do uzyskanej w 2019 r., tj. 0,075 cm<sup>2</sup> (rys. 49).

## 6. Dyskusja

O wielkości uzyskiwanych plonów oprócz warunków pogodowych decyduje stopień nasilenia chorób, poziom stosowanej agrotechniki i nawożenia oraz dobór odmian i rodzaj szczepionki [Marchetti i Donatelli 1994; Camara i in. 1996; Gass i in. 1996; Kołodziej i Pisulewska, 2000].

W badaniach własnych plon nasion, poza wpływem czynników badań, był również kształtowany przebiegiem pogody w latach. W 2017 r. w początkowym okresie wegetacji (kwiecień, maj) zaobserwowano większe wartości opadów od tych z wielolecia, odpowiednio o 62,3 mm i 13,6 mm, co przyczyniło się do uzyskania zmniejszonych plonów. Jest to zbieżne z doniesieniami przekazanymi przez Ye i in., [2018] i Zhou i in., [2021], którzy potwierdzili, że nadmiar wody może prowadzić do zmniejszenia plonów nasion soi.

Znacząco większe plony (około 4,4 t ha<sup>-1</sup>) uzyskano w latach 2016 i 2019, które charakteryzowały się korzystniejszym rozkładem opadów i temperatury w porównaniu do pozostałych lat badań. W 3 dek. kwietnia 2016 r. i 1 dek. maja 2019 r. warunki hydrotermiczne według wskaźnika Sielianinowa były „wilgotne”, co sprzyjało optymalnemu przebiegowi procesu wschodów. Następnie w lipcu 2016 r. oraz sierpniu 2019 r., tj. w okresie formowania i wypełniania strąków, warunki hydrotermiczne określono jako odpowiednio: „dość wilgotne” i „optymalne”. Brak stresu wodnego w tych newralgicznych fazach rozwoju roślin, przełożył się na wysoki plon nasion. Najmniej korzystnym dla plonowania, był rok 2017 (3,4 t ha<sup>-1</sup>), charakteryzujący się średnią temperaturą w okresie wegetacji poniżej średnich wartości w analogicznym okresie z wielolecia i sumą opadów blisko dwukrotnie przekraczającą średnią z wielolecia w czasie kiełkowania i wschodów (por. tab. 2). Średni plon nasion wynosił 4,03 t ha<sup>-1</sup>, a jego zakres mieścił się w przedziale 3,34-4,82 t ha<sup>-1</sup>.

Plon nasion jest zależny od kształtowania się elementów struktury plonu, tj. od liczby roślin na 1 m<sup>2</sup>, liczby strąków na roślinie, liczby nasion w strąku oraz masy tysiąca nasion. Lorenc-Kozik i Pisulewska [2003] oraz Głowacka i Kasiczak [2019] wykazały, że nawożenie azotowe w dawkach 30 i 60 kg N ha<sup>-1</sup> wpływało istotnie na wysokość plonu. W badaniach Jareckiego i Bobreckiej-Jamro [2016] wykazano, że startowe nawożenie soi saletrą amonową w dawce 25 kg N ha<sup>-1</sup> przyczyniło się do istotnego wzrostu plonu nasion (do 3,35 t ha<sup>-1</sup>) w porównaniu do obiektu kontrolnego (2,86 t ha<sup>-1</sup>). Jest to efekt odwrotny do tego, który uzyskano w badaniach własnych, gdzie plon nasion w obiekcie nawożonym saletrą amonową był mniejszy o 0,13 t ha<sup>-1</sup> od plonu uzyskanego w obiekcie kontrolnym (różnica nieistotna

statystycznie). Może być to spowodowane faktem, iż w badaniach własnych zastosowano saletrę amonową w dawce o 35 kg N ha<sup>-1</sup> większej niż ta, którą zastosowano w badaniach Jareckiego i Bobreckiej-Jamro oraz faktem, że w badaniach własnych azot aplikowano w dwóch dawkach, a w cytowanych badaniach stosowano jedynie dawkę startową. Spadki plonu przy nawożeniu saletrą amonową w dawce 60 kg N ha<sup>-1</sup> w porównaniu do 30 kg N ha<sup>-1</sup> odnotowały Lorenc-Kozik i Pisulewska [2003]. Jarecki i Bobrecka-Jamro [2016] odnotowali również zwiększenie plonu w obiekcie ze stosowaną saletrą w porównaniu do obiektu, w którym użyto Nitraginy, jednak nie była to różnica istotna statystycznie. W badaniach własnych odnotowano odwrotną reakcję. W obiekcie, gdzie stosowano samą saletrę, bez szczepienia bakteryjnego, uzyskano plon na poziomie 3,34 t ha<sup>-1</sup>, a w obiekcie z Nitraginą, bez nawożenia, plon był o 0,68 t ha<sup>-1</sup> (20,4%) większy.

W badaniach własnych największy plon (4,82 t ha<sup>-1</sup>) odnotowano w obiekcie, gdzie soja była szczepiona Nitraginą oraz gdzie użyto nawóz Sulfammo 23 N-Process, zawierający, poza azotem (23%), m.in. tlenek siarki (31%). Pozytywny wpływ użycia siarki odnotowano też w badaniach [Burkitbayev i in. 2021], gdzie udowodniono, że nawożenie siarką powodowało istotne zwiększenie plonu nasion soi. Shchegolkov [2015] stwierdził, że już przy 250 g S ha<sup>-1</sup> odnotowano korzystne oddziaływanie siarki zastosowanej dolistnie na plon i skład chemiczny nasion soi. Zastosowanie takiej ilości pierwiastka skutkowało wzrostem plonu o 0,13 t ha<sup>-1</sup>, z 1,97 t ha<sup>-1</sup> na 2,10 t ha<sup>-1</sup> oraz zwiększeniem plonu białka i tłuszczu (o 52,9 kg ha<sup>-1</sup> i 21,1 kg ha<sup>-1</sup> w stosunku plonów z obiektu kontrolnego, które wynosiły 718,3 kg ha<sup>-1</sup> białka i 374,4 kg ha<sup>-1</sup> tłuszczu). Również w badaniach Ibañez i in. [2020] stwierdzono, że właściwa aplikacja S jest niezbędna do optymalizacji plonów soi i zwiększenia zawartości białka w nasionach. Warto jednak zauważyć, że samo nawożenie Sulfammo 23 N-Process, bez wspomagającego stosowania szczepienia bakteryjnego w postaci Nitraginy, skutkowało plonowaniem o 1,00 t ha<sup>-1</sup> mniejszym, tj. 3,82 t ha<sup>-1</sup>.

W badaniach Głowackiej i Kasiczak [2019] oceniano efektywność rolniczą i ekonomiczną nawożenia soi siarką i azotem. Nawóz azotowy zastosowano w dawkach 0, 30 i 60 kg N ha<sup>-1</sup>, siarkowy w dawkach 0 i 40 kg S ha<sup>-1</sup>. Nawożenie azotem w dawce 30 kg N ha<sup>-1</sup> istotnie wpłynęło na wzrost plonu (średnio o 0,45 t ha<sup>-1</sup> w stosunku do plonu z obiektu kontrolnego wynoszącego 2,42 t ha<sup>-1</sup>), a największy plon (3,11 t ha<sup>-1</sup>) uzyskano przy nawożeniu dawką 60 kg N ha<sup>-1</sup>. Zastosowanie wyłącznie pogłówniej dawki siarki w dawce 40 kg S ha<sup>-1</sup> również wpłynęło korzystnie na wielkość plonu (wzrost o 0,14 t ha<sup>-1</sup>). Zaobserwowano także korzystny wpływ na tę cechę jednoczesnego stosowania nawożenia azotem (30 kg ha<sup>-1</sup>) z łączonym nawożeniem siarką (40 kg ha<sup>-1</sup>).

W badaniach Salvagiottiego i in. [2009] badano wpływ nawożenia mineralnego w dawkach 0 i 180 kg N ha<sup>-1</sup> na plon nasion soi. Rośliny nawożono mocznikiem o późnym uwalnianiu azotu, saletrą amonową wcześniej stosowaną i saletrą amonową późno stosowaną. Zaobserwowano, że plon między tymi trzema różnymi sposobami aplikowania azotu i rodzajem nawozu nie różniły się istotnie. Zauważono natomiast, że średni plon na obiektach nawożonych był istotnie większy o 228 kg ha<sup>-1</sup> (5%) od plonu uzyskanego z obiektu nienawożonego. Dodatkowo udowodniono wpływ przebiegu warunków pogodowych, a zwłaszcza temperatury powietrza, w poszczególnych latach doświadczenia na kształtowanie się plonu nasion.

O zawartości tłuszczu w nasionach soi decyduje w szczególności przebieg pogody w okresie wegetacji, nawożenia i doboru odmian [Kołodziej i Pisulewska, 2000]. Istotny wpływ odmiany, nawozu azotowego, inokulacji bakteryjnej nasion, a także warunków pogodowych na zawartość i profil kwasów tłuszczowych w nasionach soi wykazali również Szpunar-Krok i in. [2021].

Plon tłuszczu jest wypadkową plonu nasion i zawartości w nich tłuszczu. W przeprowadzonych badaniach wykazano, że zawartość tłuszczu w nasionach była istotnie statystycznie kształtowana rodzajem użytej szczepionki, natomiast wydajność – zarówno rodzajem zastosowanego szczepienia bakteryjnego, jak i użytego nawozu, podobnie jak plon nasion soi. Zmienność była też istotnie zależna od przebiegu pogody w latach, w obu przypadkach, tj. zawartości i wydajności tłuszczu. W okresie dojrzewania nasion (przełom sierpnia i września) w 2017 r. odnotowano niższą temperaturę powietrza w trzeciej dekadzie sierpnia i pierwszej dekadzie września w stosunku do odpowiadających dekad w pozostałych latach prowadzonego doświadczenia, co miało wpływ na końcową niską wydajność tłuszczu.

W badaniach własnych wykazano, że zastosowanie nawozu SFM23 przyczyniło się do istotnego zwiększenia wydajności tłuszczu, w stosunku zarówno do obiektu kontroli, jak i nawożenia SA. W przypadku zastosowania SA odnotowano zmniejszenie się wydajności tłuszczu w stosunku do kontroli. Nie wykazano jednak istotnej zmienności w poziomie zawartości tłuszczu między badanymi obiektami przy stosowaniu nawożenia azotowego. Wyniki te są częściowo zbieżne do uzyskanych przez [Kaur i in. 2017], którzy w jednym roku doświadczenia wykazali istotne zwiększenie się zawartości tłuszczu w nasionach soi pod wpływem saletry amonowej w dawce 179 kg ha<sup>-1</sup> w stosunku do kontroli, jednak w drugim roku badań nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic w zawartości tłuszczu w nasionach uzyskanych z obiektów nawożonych dawkami azotu w wysokościach 90, 135 i 179 kg ha<sup>-1</sup>. W badaniach Szostaka i in. [2020], gdzie badano m.in. plon tłuszczu, w zależności

od zastosowanych odmian (Amandine i Merlin) i nawożenia azotowego ( $0 \text{ kg N ha}^{-1}$ ,  $30 \text{ kg N ha}^{-1}$  – przed siewem,  $30 \text{ kg N ha}^{-1}$  – przy BBCH 73-75;  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$  ( $30 \text{ kg N ha}^{-1}$  przed siewem i  $30 \text{ kg N ha}^{-1}$  przy BBCH 73-75)), uzyskano wyniki rozbieżne od otrzymanych w badaniach własnych. Wykazano najwyższy poziom zawartości tłuszczu surowego przy nawożeniu w wysokości  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Plon tłuszczu w badaniach Szostaka i in. [2020] dla odm. Merlin był wysoki i kształtował się w zakresie  $489,5\text{-}661,6 \text{ kg ha}^{-1}$ . W badaniach własnych uzyskano nawet większe wyniki, a zakres wynosił od  $527,2\text{-}747,2 \text{ kg ha}^{-1}$ . Istotny wpływ nawożenia azotowego na plon tłuszczu był również obserwowany w badaniach Pisulewskiej i in. [1999], gdzie wykazano, że wraz ze wzrostem dawek nawożenia azotowego (we wspomnianym doświadczeniu użyto nawozu saletra amonowa) istotnie wzrastał plon tłuszczu. Dawka  $30 \text{ kg N ha}^{-1}$  przyczyniała się do podniesienia plonu tłuszczu o 11,4%, a dawka  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$  o 25,8%. Jest to zbieżne z uzyskanymi w badaniach własnych wynikami. Również, podobnie jak zaobserwowano w badaniach własnych, Pisulewska i in. [1999] wykazali istotny wpływ przebiegu warunków meteorologicznych w poszczególnych latach prowadzenia doświadczenia na plon tłuszczu w nasionach soi. Książak i Bojarszczuk [2022] zauważyli, że równomierne rozłożenie opadów podczas sezonu wegetacyjnego w jednym z lat przeprowadzonego przez nich doświadczenia powodowało zmniejszenie zawartości tłuszczu w nasionach. Podobną tendencję zaobserwowano w przeprowadzonych badaniach: w 2018 roku zawartość tłuszczu była najmniejsza z całego okresu badań. Pod względem opadów rok 2018 charakteryzował się największym podobieństwem w rozkładzie opadów do średnich z wielolecia.

W 2016 r. w sezonie wegetacyjnym od maja do września średnia ilość opadów była o 113,7 mm mniejsza od tej uzyskanej w odpowiadających miesiącach w wieloleciu 1985-2014 (por. rozdział 4, tab. 1). W roku 2017 opady w miesiącach rozwoju soi były większe o 67,9 mm na tle tych samych miesięcy w ujęciu wielolecia. Okres wegetacyjny 2018 r. był zaledwie o 1,1 mm wilgotniejszy od średniej z wielolecia z okresu od maja do września. Natomiast w roku 2019 opady przewyższyły średnią z wielolecia w sezonie wegetacyjnym o 63,9 mm. Koresponduje więc to z wynikami Książaka i Bojarszczuk [2022]. Przyczyny tego stanu można upatrywać w rozkładzie opadów w okresie kwitnienia, które, w połączeniu z warunkami termicznymi, przekładają się na plon nasion, a ten z kolei na plon tłuszczu w nasionach. W lipcu 2018 r. zaobserwowano, podczas fazy kwitnienia roślin, nadmierne opady. Były one większe o 30,5 mm w stosunku do średniej sumy opadów z wielolecia (119,8 mm vs. 89,3 mm). Mogło przyczynić się to do nieprawidłowego przebiegu procesu kwitnienia, opadania zawiązków kwiatowych, obniżonej efektywności zawiązywania strąków,

a tym samym powodować upośledzony rozwój nasion i nieoptymalne kształtowanie się ich składu chemicznego.

Stosowane szczepienie bakteryjne powodowało istotne różnicowanie wydajności tłuszczu w nasionach soi. Szczepionka bakteryjna NI przyczyniła się do istotnego statystycznie wzrostu wydajności tłuszczu oraz zmniejszenia zawartości tłuszczu w nasionach. Zmniejszenie zawartości tłuszczu było powiązane ze zwiększeniem zawartości białka (por. tab.10). Jest to ogólna prawidłowość wykazana m.in. w badaniach Pisulewskiej i in. [1999]; Pannecoucq i in. [2018]; Flajšmana i in. [2019]; Jareckiego [2020]; Chiluwala i in. [2021]. Zaobserwowano tendencję, choć nieistotną statystycznie, do zwiększania wydajności tłuszczu po użyciu szczepionki FF w stosunku do kontroli. Podobne wyniki uzyskał Jarecki [2020], który wykazał wzrost plonu tłuszczu o 101 kg ha<sup>-1</sup> w stosunku do kontroli po zastosowaniu komercyjnie dostępnego szczepienia bakteryjnego (HiStick® Soy) nasion soi. Doniesienia te są zgodne z wynikami otrzymanymi przez Flajšmana i in. [2019], którzy również stwierdzili, że szczepienie bakteriami brodawkowymi *Bradyrhizobium japonicum* powodowało zwiększenie plonu tłuszczu w nasionach soi (wzrost plonu tłuszczu średnio z obiektów szczepionych w stosunku do plonu tłuszczu z obiektu kontrolnego o 31 kg ha<sup>-1</sup>). Jarecki [2020] podkreślił jednak, że duży wpływ na efektywność procesu szczepienia dla celów otrzymania nasion o zadowalającej wydajności tłuszczu ma przebieg warunków pogodowych w okresie wegetacji roślin. Jest to zgodne z wynikami badań własnych, w których zaobserwowano istotny wpływ przebiegu pogody w latach na kształtowanie się wydajności tłuszczu w nasionach soi.

Badania własne wykazały istotne statystycznie zmniejszenie zawartości białka o 4,2% w nasionach z roślin pochodzących z obiektu nawożonego saletrą amonową w stosunku do obiektu kontrolnego, a nieistotne, o 2,0 %, z obiektu nawożonego SFM23. Wydajność białka natomiast była istotnie zróżnicowana pod wpływem nawożenia SFM23. Wydajność białka z hektara kształtowała się na poziomie 1154,3 kg ha<sup>-1</sup> w przypadku stosowania saletry amonowej i 1313,3 kg ha<sup>-1</sup> po aplikacji SFM23.

Szczepienie bakteryjne wpłynęło w istotny statystycznie sposób na zawartość i wydajność białka w nasionach. W obu przypadkach powodem istotnego wzrostu, w stosunku do kontroli, jak i Fix-Fertig, była Nitragina. Zawartość białka była istotnie większa, o 5,4%, w stosunku do zawartości w nasionach z obiektu nawożonego FF i o 7,2% większa w stosunku do zawartości białka w nasionach z obiektu kontrolnego. Wydajność białka, po zastosowaniu NI, była istotnie większa o 16,3% w stosunku do wydajności białka z nasion z obiektu nawożonego FF i o 28,9% w stosunku do wydajności białka z nasion z obiektu kontrolnego.

Warunki pogodowe w poszczególnych latach badań miały istotne przełożenie na kształtowanie się zawartości białka w nasionach. W latach dość suchych (2016 i 2018) zawartość białka była mniejsza od zawartości w latach wilgotnych (2017 i 2019).

Jak zauważyli w swoich badaniach Wani i in. [1995], czynniki badawcze, takie jak m.in. inokulacja, mogą nie powodować bezpośredniego zwiększenia plonów nasion, ale przyczyniać się do większego stężenia N w nasionach roślin, u których stosowano szczepienie w stosunku do tych, u których szczepienia nie aplikowano. W badaniach własnych zaobserwowano zarówno wzrost plonów nasion, jak i wzrost zawartości i wydajności białka w nasionach pod wpływem zastosowanych czynników. Podobne obserwacje w swoich badaniach poczynili Pannecouque i in., [2018], którzy wykazali, że komercyjne szczepienie nasion soi przyczyniło się do wzmoczenia rozwoju brodawek korzeniowych, co spowodowało zwiększenie się zawartości i wydajności białka w nasionach soi, w stosunku do kontroli, odpowiednio średnio o  $61,6 \text{ g kg}^{-1} \text{ s.m.}$  i  $296,7 \text{ kg ha}^{-1}$ . Również Zimmer i in. [2016] odnotowali, że użycie szczepów bakteryjnych w uprawie soi jest uzasadnione, jednak podkreślili zróżnicowanie efektu działania szczepienia bakteryjnego w zależności od lokalizacji badań. W badaniach Flajšmana i in. [2019] wykazano pozytywny wpływ szczepionki bakteryjnej na zawartość całkowitą białka i jego plon.

W badaniach Księżaka i Bojarszczuk [2022] wykazano największe plony białka nasion soi w obiektach traktowanych zarówno nawozem azotowym, jak i szczepionką bakteryjną. Wzrost wyniósł 28% w stosunku do nasion z obiektu kontrolnego. Samo aplikowanie N mineralnego w dawce 30 lub  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  pozwoliło na wzrost w plonie białka średnio o 14% w stosunku do kontroli. Natomiast samo użycie szczepionki bakteryjnej przyczyniło się do wzrostu plonu białka o 10% w stosunku do kontroli.

Liczba roślin przed zbiorem wynosiła średnio  $45 \text{ szt m}^{-2}$ . Stanowi to 64,3% założonej obsady. Materiał siewny każdorazowo był nabywany od autoryzowanego sprzedawcy nasion Merlin, tj. od Saatbau Polska Sp. z o. o., o zdolności kiełkowania średnio 88,5%. Zalecana obsada roślin na  $\text{m}^2$  podawana przez producenta to  $60 \text{ szt m}^{-2}$ . Przy gęstszym siewie może dochodzić do niewystarczającego rozkrzewiania się roślin, szczególnie w suchych latach i redukcji plonu [Saatbau Polska 2021]. W przeprowadzonych badaniach zdecydowano się na wysianie nasion w obsadzie  $70 \text{ szt m}^{-2}$ , ze względu na wspomnianą wartość zdolności kiełkowania oraz predykcję ujemnego wpływu warunków pogodowych na utrzymanie obsady roślin. I rzeczywiście, obsada roślin przed zbiorem była blisko o 36% mniejsza od założonej.

Na kształtowanie się liczby roślin przed zbiorem nie miał istotnego wpływu czynnik nawozowy ani szczepionka bakteryjna. Nie odnotowano również wpływu interakcji między

tymi czynnikami na wartość cechy. Wykazano jednak istotny wpływ przebiegu pogody w latach oraz wpływ interakcji przebiegu pogody w latach ze szczepieniem bakteryjnym nasion na kształtowanie się liczby roślin na 1 m<sup>2</sup> przed zbiorem. Największą liczbę roślin odnotowano w 2016 r, średnio o 25 szt. m<sup>-2</sup> większą niż w pozostałych latach doświadczenia. Taki wynik świadczy o istotnym wpływie warunków pogodowych na wielkość cechy. Przebieg pogody (suma opadów i średnia temperatura) w kwietniu 2016 r. był korzystny, co znajduje potwierdzenie w wielkości współczynnika Sielianiowa, według którego miesiąc kwiecień 2016 r. był wilgotny (tab. 4). Na podstawie współczynnika hydrotermicznego, obliczonego dla okresu wegetacji, stwierdzono, iż kwiecień 2017 r. był skrajnie wilgotny, a zarazem chłodny, natomiast kwiecień 2018 r. określono jako skrajnie suchy, co skutkowało w obu latach słabymi wschodami roślin, a w efekcie niską obsadą roślin przed zbiorem (por. rys. 12). Soja jest najbardziej wrażliwą rośliną pod względem stresu wodnego spośród roślin strączkowych [Clement i in. 2008]. Stres wodny może powodować upośledzenie wzrostu i metabolizmu, jak też zahamowanie rozwoju części podziemnych i nadziemnych roślin [Ohashi i in. 2006; Kunert i in. 2016]. Szczególnie degradingo wpływa na rozwój stres wodny występujący w dwóch fazach: podczas wschodów i w okresie od kwitnienia do wypełniania strąków [Sionit i Kramer 1977; Senaratna i McKersie 1983; Jha i in. 2018].

W warunkach suchych i półsuchych brak odpowiedniego uwilgotnienia gleby podczas siewu nasion zaburza proces początkowego rozwoju, co ma ujemne przełożenie na jakość wschodów i skutkuje utrudnionym zawiązywaniem łanu [Kakati i in. 2022]. Ujemny stres wodny wpływa też na upośledzenie rozwoju systemu korzeniowego. Nasiono soi musi pobrać wodę o masie co najmniej 50% swojej wagi by rozpocząć kiełkowanie, a jeszcze więcej jest potrzebne, by hipokotyl mógł przedostać się przez powierzchnię gleby [Bryant 2021]. Niektóre badania dowiodły, że tolerancja na stres wodny może być związana ze zrównoważonym wiązaniem azotu w warunkach stresu [Sinclair i in. 2007; Dhanapal i in. 2015].

W badaniach Córdova i in. [2020], gdzie badano wpływ nawożenia azotem w dawkach 0, 45, 90 i 135 kg N ha<sup>-1</sup> i w różnych porach ich aplikacji (siew, kwitnienie, zawiązywanie strąków roślin) odnotowano, że podczas obu lat doświadczenia obsada przy zbiorze nie była istotnie uzależniona od zastosowanych dawek nawożenia, terminu ich zastosowania, ani interakcji między tymi czynnikami. Zaobserwowano jednak tendencję, w jednym roku doświadczenia, do wykształcania się mniejszej obsady roślin w miarę wzrastającego nawożenia azotowego, o -0,04 roślin/m<sup>2</sup>/kg nawozu azotowego.

W badaniach Prusińskiego i in. [2020] zbadano wpływ trzech różnych dawek nawożenia azotem mineralnym i dwóch szczepionek bakteryjnych *Bradyrhizobium japonicum* na dwie



odmiany soi. Sprawdzono wpływ czynników na m. in. wysokość osadzenia najniższego strąka, liczbę strąków na roślinie, liczbę nasion w strąku i masę tysiąca nasion. Powyższe cechy w badaniach własnych kształtowały się następująco: liczba strąków z rośliny była istotnie zależna od zastosowanego nawożenia mineralnego oraz od przebiegu pogody w latach. Istotnie większa liczba strąków na roślinie była w latach 2017 (42 szt.) i 2018 (47 szt.) w stosunku do lat 2016 (19 szt.) i 2019 (28 szt.). Istotnie większe wartości w latach 2017 i 2018 zostały uzyskane dlatego, że również w tych latach obsada roślin była istotnie mniejsza od tej uzyskanej w latach 2016 i 2019. Mniejsza obsada przyczyniła się do silniejszego rozkrzewiania się roślin i wykształcania istotnie większej liczby strąków na roślinie w stosunku do roślin, które rozwijały się w warunkach silniejszej konkurencji o miejsce. Jest to zbieżne z tym, co uzyskał w swoich badaniach Prusiński i in. [2020]. W badaniach własnych liczba nasion, które zebrano z poszczególnych roślin była, podobnie jak liczba strąków z rośliny, istotnie uzależniona od zastosowanego nawożenia. Wzrost liczby nasion przy nawożeniu SFM23, w stosunku do kontroli, wyniósł 20,3%. Zaobserwowano również statystycznie istotne różnice w wartościach cechy w poszczególnych latach doświadczenia. W latach 2017-2019 liczba nasion była średnio o 36,8 szt. z rośliny większa niż w 2016 r. (41,8 szt. z rośliny). W fazie zawiązywania nasion w strąkach w pierwszej dekadzie sierpnia lat 2016 i 2019 zaobserwowano wystąpienie nadmiernej ilości opadów oraz towarzyszącą niższą, w stosunku do 2017 r. i 2018 r., średnią temperaturę powietrza (tab. 3 i 4), co miało wpływ na przebieg fazy rozwojowej, a tym samym na liczbę wykształconych nasion. MTN była w istotny sposób uzależniona od zastosowanego wariantu szczepienia, jak i przebiegu pogody w latach. Zastosowanie Nitraginy przyczyniło się do uzyskania większej MTN w porównaniu do kontroli o 18,6% i o 14,4% w stosunku do szczepionki FF. Według Zuffo i in. [2021] nawożenie soi azotem, jako rośliny o dużej zawartości białka w nasionach, powoduje zwiększenie się zawartości białka surowego w nasionach, a w konsekwencji, zwiększenie się MTN. W badaniach własnych zaobserwowano co prawda tendencję wzrostu MTN pod wpływem zastosowanego nawożenia mineralnego SFM23 w stosunku do kontroli – 3,1% i obiektów nawożonych saletrą amonową – 12,7%, jednak nie były to różnice istotne statystycznie. Przebieg pogody w latach powodował istotnie różne kształtowanie się MTN. Istotnie większą masę tysiąca nasion stwierdzono w 2019 r., w którym masa ta oscylowała na średnim poziomie 190 g, w stosunku do 2017 r. (130 g). W tym roku (2017) zaobserwowano mniej korzystny rozkład opadów i temperatury (niska średnia temperatura - 9,9 °C w 1. dekadzie maja (tab. 4) z jednoczesną nadmierną sumą opadów – 53,6 mm, przewyższającą 5- lub 10-krotnie sumy opadów z 1. dekady maja

w pozostałych latach badań (tab. 3)), które przyczyniły się do wykształcenia większej liczby nasion ( $90 \text{ szt. roślina}^{-1}$  vs.  $61 \text{ szt. roślina}^{-1}$ ), ale o mniejszej masie.

Rozbieżność między wynikami badań dotyczącymi liczby strąków z rośliny uzyskanymi przez Prusińskiego i in. [2020], a badaniami własnymi zaobserwowano we wpływie zastosowanego mineralnego nawożenia azotowego. W badaniach własnych zastosowanie komercyjnego nawozu SFM23 w dawce  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$  spowodowało istotny wzrost liczby strąków na roślinie. Bydgoscy badacze natomiast nie zaobserwowali takiego wpływu. Różnica ta może wynikać z rodzaju użytego nawozu. W doświadczeniu Prusińskiego i in. [2020] użyto azotanu amonu ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ), który jest solą kwasu azotowego i amoniaku, czyli azotu w formie amonowej i azotanowej. Użycie tych form azotu w badaniach własnych również nie przyczyniło się do istotnego wzrostu cechy. Natomiast w drugim użytym w badaniach własnych nawozie (SFM23) innym ważnym składnikiem, występującym nawet w większej ilości niż azot (23 %), jest siarka (31%). Można więc wysnuć przypuszczenie, że właściwy powód istotnego wzrostu cechy w badaniach własnych leżał nie w zastosowanym azocie, a jego współdziałaniu z siarką. Jednak jest to niesprawdzona hipoteza.

W badaniach Księżaka i Bojarszczuk [2022] wykazano pozytywny efekt szczepienia bakteryjnego i mineralnego nawożenia azotem na liczbę strąków na roślinie, jak też liczbę i masę tysiąca nasion. Prusiński i in. [2020] nie wykazali istotnego wpływu tych czynników na MTN. Natomiast Jarecki i Bobrecka-Jamro [2016] wykazali, że startowa dawka azotu w wysokości  $25 \text{ kg N ha}^{-1}$  przyczynia się do istotnego wzrostu liczby nasion w strąku względem obiektu, w którym zastosowano szczepienie bakteryjne Nitraginą. W wielu badaniach roślin strączkowych wykazano pozytywny wpływ szczepienia bakteryjnego na elementy struktury plonu, takie jak liczba nasion z rośliny, liczba strąków z rośliny i MTN [Asad i in. 2004; Rizvi i in. 2007; Assefa i in. 2017; Aserse i in. 2020]. W badaniach własnych istotny wpływ szczepionki zaobserwowano jedynie na kształtowanie MTN.

Czynniki ekofizjologiczne, takie jak wskaźnik powierzchni liści (LAI), są potencjalnymi czynnikami decydującymi o potencjale plonowania soi, głównie na obszarach charakteryzujących się okresowym deficytem opadów [Tagliapietra i in. 2018]. Powierzchnia liści soi jest krytyczną zmienną dla plonu, na którą wpływają czynniki abiotyczne (promieniowanie słoneczne i temperatura) oraz biotyczne (szkodniki i choroby); zatem osiągnięcie optymalnego LAI jest pierwszym krokiem w kierunku zmniejszenia różnic w plonach w produkcji soi. Deficyt wody jest głównym czynnikiem ograniczającym rozwój roślin, w tym ulistnienie, co ma negatywny wpływ na plonowanie soi [Battisti i in. 2013;

Sentelhas i in. 2015; Zanon i in. 2016]. Board i Harville [1996] i Specht i in. [1999] wykazali, że aby uzyskać maksymalny plon nasion na poziomie  $3 \text{ t ha}^{-1}$ , rośliny w etapie reprodukcji (R1, początek kwitnienia) powinny osiągnąć wskaźnik LAI na poziomie 3,5 a 4,0. Powyższe wyniki badań zostały potwierdzone w badania własnych. Stwierdzono maksymalną wartość wskaźnika LAI (LAI = 4,6) w roku 2017, charakteryzującym się ponadprzeciętną ilością opadów. W pozostałych latach badań maksymalna wartość wskaźnika LAI oscylowała w zakresie 3,9-4,1.

Tagliapietra i in. [2018] udowodnili empirycznie, iż niezależnie od pokroju rośliny, doboru odmian oraz ilości wody, maksymalne plony soi wystąpiły, gdy wskaźnik LAI był większy niż 3,5-4,5. Wzrost LAI do osiągnięcia plonu potencjalnego u nowoczesnych odmian można wytłumaczyć wzrostem rezerwy N w roślinach, niezbędnego składnika odżywczego w wypełnieniu strąków i nasion [Salvagiotti i in. 2008]. Badania własne nie wykazały jednoznacznych wyników potwierdzających powyższe badania. Stwierdzono brak istotnego wpływu nawożenia mineralnego na wielkość wskaźnika LAI. Jednakże odnotowano nieznacznie większe wartości LAI w obiektach, w których stosowano nawożenie SFM23 (LAI = 4,5) w porównaniu do obiektu kontrolnego (LAI = 4,1).

Zależności między plonem nasion soi (*Glycine max* [L.] Merr.), poborem azotu, biologicznym wiązaniem  $\text{N}_2$  (BNF) i odpowiedź na nawożenie azotem zostały szeroko omówione w literaturze naukowej [van Kessel i Hartley 2000; Salvagiotti i in. 2008]. Salvagiotti i in. [2008] przeanalizowali sześćset trzydzieści siedem zestawów danych pozyskanych z badań terenowych. Na podstawie przeprowadzonej analizy danych stwierdzono, że średni liniowy wzrost plonu nasion soi o  $0,013 \text{ Mg na kg}$  zależał od wzrostu akumulacji N w biomase nadziemnej. Dolna (maksymalna akumulacja N) i górna (maksymalne rozcieńczenie N) granica tej zależności miały nachylenia odpowiednio  $0,0064$  i  $0,0188 \text{ Mg nasion kg}^{-1} \text{ N}$ . Średnio 50–60% zapotrzebowania soi na N zostało zaspokojone przez biologiczne wiązanie  $\text{N}_2$ . W większości sytuacji ustalona ilość N nie była wystarczająca do zastąpienia pobranego N z plonem nasion. Przerwa pomiędzy poborem N przez roślinę z nawozu mineralnego i N dostarczonego przez wiązanie biologiczne (BNF) miały tendencję wzrostową dla odmian uprawianych w warunkach optymalnego uwilgotnienia gleby ( $>4,5 \text{ t ha}^{-1}$ ). Zaobserwowano ujemny wykładniczy związek między dawką nawozu azotowego, a wiązaniem  $\text{N}_2$  gdy N był aplikowany powierzchniowo lub płytko w glebie.

Wartości LAI, zarówno na początku kwitnienia, jak i rozwoju strąków były istotnie większe w obiektach z Nitraginą w porównaniu z obiektem kontrolnym [Jarecki i in. 2016]. Wyniki te wskazują, że odpowiednie zaopatrzenie roślin (przede wszystkim w azot) zwiększa

powierzchnię organów asymilacyjnych. Powyższe wyniki korespondują z badaniami własnymi. Stwierdzono istotnie większą wartość wskaźnika LAI w obiekcie, w którym stosowano szczepienie nasion Nitraginą. Ponadto wykazano zróżnicowanie w kształtowaniu wskaźnika LAI warunkowane rodzajem stosowanej szczepionki bakteryjnej. Stwierdzono istotnie mniejszą skuteczność szczepionki Fix-Fertig w rozwoju ulistnienia soi, w porównaniu do szczepionki Nitragina.

Chociaż pomiar SPAD szacuje zawartość chlorofilu, jest powszechnie używany jako wskaźnik zaopatrzenia rośliny w azot, na przykład do obliczania ilości nawozów lub do celów hodowlanych. W szczególności, w obrębie wąskiej zmienności genotypu, możliwa jest ocena wiarygodnej zawartości azotu w liściach za pomocą pomiaru SPAD [Fritschi i Ray 2007]. Gwata i in. [2004] stwierdzili bezpośrednią dodatnią korelację między wynikiem koloru liści a procesem wiązania azotu (BNF). Ponadto Ma i in. [1995] odnotowali spójną korelację między odczytami miernika SPAD a szybkością fotosyntezy podczas etapów wzrostu od R4 do R5.

Podobne wyniki badań uzyskał Jarecki i in. [2016] analizując wartość wskaźnika SPAD soi w fazie kwitnienia w zróżnicowanych warunkach uprawy. Najwyższe wartości SPAD (40,1) uzyskano na początku kwitnienia w obiekcie nawożonym azotem. Również podczas rozwoju strąków wskaźnik SPAD był wysoki (44,7) w obiekcie, w którym stosowano azot. Wyniki pomiarów SPAD wykazały, że o stanie odżywienia roślin decydowało ich kompleksowe zaopatrzenie w makro- i mikroelementy. Rośliny lepiej odżywione (większy SPAD) dawały większy plon, co potwierdziła silna korelacja ( $r = 0,83$ ). Dlatego pomiary SPAD mogą być przydatne do prognozowania plonu nasion soi. Zhang i in. [2013] wskazywali na zróżnicowanie pomiarów SPAD w zależności od fazy rozwojowej soi oraz dawki azotu. Krivosudská i Filová [2013] sugerują praktyczne zastosowanie pomiarów SPAD na roślinach soi do oceny ich reakcji na agrotechnikę i warunki uprawy.

W przeprowadzonych badaniach własnych wykazano, że średnia wartość wskaźnika zieloności liścia wynosiła 35,3 i kształtowała się w zakresie 33,4-37,2. Był on zależny od czynników głównych i ich współdziałania. Zastosowanie nawozu SFM23 istotnie zwiększyło wielkość cechy w stosunku do nawozu SA, a różnica wyniosła 1,5. Natomiast stosowanie szczepionki NI istotnie zwiększyło wielkość parametru, średnio o 2,4, w stosunku do kontroli. Przebieg pogody w latach miał nieznaczny wpływ na wielkość SPAD, jednakże uzyskano istotne współdziałanie czynników badań z latami. W 2017 istotnie większą wartość SPAD uzyskano po zastosowaniu nawożenia SFM23, w stosunku do kontroli, natomiast w roku 2019 odwrotnie. Stwierdzono również istotne współdziałanie lat i szczepionek bakteryjnych.

W latach 2016 i 2017 istotnie większą wartość SPAD uzyskano po zastosowaniu NI w stosunku do kontroli, natomiast w roku 2019 mniejszą.

Powyższe wyniki znalazły potwierdzenie w badaniach Kühling i in. [2018]. Autorzy wykazali, że wartość SPAD była zależna od sposobu uprawy soi. Zastosowanie szczepionki bakteryjnej znacząco zwiększyło wielkość SPAD w fazie BBCH 69 w zakresie 42 do 48, w zależności od doboru odmian.

W przeprowadzonych czteroletnich badaniach następujące nadziemne cechy morfologiczne roślin były kształtowane przez warianty zastosowanego nawożenia: 1) wysokość roślin, która była modelowana przez nawożenie SA, powodujące wzrost roślin o 5,6% i przez nawożenie SFM23 przyczyniające się do wzrostu wysokości o 4,2% w stosunku do kontroli (77,9 cm), 2) masa nasion z rośliny, gdzie zastosowanie SFM23 powodowało zwiększenie masy nasion o 1,83% w stosunku do nasion z obiektu nawożonego SA i o 2,15% w stosunku do nasion z obiektu kontrolnego (10,27 g), 3) masa strąków, w której kształtowaniu odnotowano silny wpływ nawozu SFM23, powodującego wzrost masy w stosunku do kontroli o 3,34 g (różnica między masą strąków z obiektu SFM23, a obiektu SA nie była istotna statystycznie), 4) liczba węzłów, która okazała się być kształtowana, podobnie jak masa strąków, jedynie nawożeniem SFM23 i powodowała wzrost liczby węzłów jedynie w stosunku do kontroli (o 3,1 szt), 5) masa łodyg, której wzrost zaobserwowano przy użyciu każdego z nawozów; SA powodowała wzrost suchej masy łodyg o 18,7%, a SFM23 o 22,5% w stosunku do kontroli (4,793 g). Zastosowane szczepienie bakteryjne szczepionką Nitragina istotnie wpłynęło na suchą masę roślin. Szczepionka ta pozwoliła na rozwój nadziemnej części roślin o suchej masie o 18,9% większej niż rośliny z obiektu kontrolnego (22,94 g).

Cechy, które były niewrażliwe na zastosowane czynniki to wysokość osadzenia najniższego strąka i liczba pędów z rośliny. Od przebiegu warunków pogodowych zależały istotnie następujące cechy morfologiczne części nadziemnych roślin: sucha masa roślin, wysokość osadzenia najniższego strąka, masa nasion z rośliny, masa strąków – spośród porównywanych lat badań największą masę strąków zaobserwowano w 2018 r., który charakteryzował się optymalnymi warunkami termiczno-opadowymi, liczba pędów z rośliny – niska obsada wpłynęła na proces kompensacji roślin w łanie charakteryzujący się tym, że w obiektach o mniejszej liczbie roślin wykształciło się więcej pędów; liczba węzłów, gdzie warunki pogodowe w dwóch latach doświadczenia (2017 i 2018) przyczyniły się do zwiększania liczby węzłów o nawet 200% w stosunku do wyników, które uzyskano w pozostałych dwóch latach badań (2016 i 2019). Interakcję między czynnikiem nawożenia

a przebiegiem pogody w latach zaobserwowano w cechach: wysokość rośliny, liczba pędów z rośliny. Natomiast lata w interakcji ze szczepieniem bakteryjnym wpływały istotnie na cechy: wysokość rośliny i liczba węzłów.

Według Faligowskiej i Szukały [2010] nawożenie azotowe wpływa pozytywnie na cechy biometryczne roślin soi, takie jak wysokość roślin, liczba strąków na roślinie czy masa nasion z 1 rośliny [Głowacka i Kasiczak 2019]. Jest to zbieżne z wynikami badań własnych, które również potwierdziły wpływ nawożenia azotowego na kształtowanie się wysokości roślin i masy nasion z rośliny. Niektórzy badacze, jak Zhao i in. [1999]; Scherer i in. [2008]; Barczak [2010]; Głowacka i Kasiczak [2019] zauważyli dodatni wpływ nawożenia siarką na wiązanie azotu atmosferycznego przez bakterie umiejscowione w brodawkach korzeniowych roślin strączkowych i efektywniejsze wykorzystanie azotu mineralnego, a tym samym większą produkcję biomasy. Może to tłumaczyć wyniki badań własnych, w których większość cech, na które wpływało nawożenie azotowe była różnicowana szczególnie przy zastosowaniu nawozu azotowego SFM23, który zawiera w swoim składzie ponad 30% siarki.

Według Salvagiottiego i in. [2008] potrzeba ok. 80 kg N ha<sup>-1</sup>, by wyprodukować rośliny soi o biomase zawierającej w sobie 1 t ha<sup>-1</sup> nasion soi. To zapotrzebowanie w 50-80% rośliną pokrywa na drodze biologicznego wiązania azotu przez bakterie brodawkowe [Salvagiotti i in. 2009]. W przypadku chęci uzyskania wysokich plonów o satysfakcjonującej jakości nasion, azot zawarty w glebie i BNF mogą nie być wystarczające do zaspokojenia potrzeb roślin soi w okresie wypełniania nasion, tak aby uzyskać maksymalny możliwy plon. Dlatego w okresie kwitnienia można zastosować tzw. drugą dawkę azotu, która przyczyni się do efektywniejszego wypełniania strąków i otrzymania optymalnego plonu nasion. Odnotowuje się jednak czasami brak pozytywnego wpływu dodatkowego nawożenia azotem w czasie wegetacji roślin. Twierdzi się, że nawożenie azotem w późniejszym stadium rozwoju roślin soi może powodować pogorszenie się procesu biologicznego wiązania azotu, nawet o 16% [Tamagno i in. 2018; Córdova i in. 2020]. Jednak, jak donoszą Takahashi i in. [1991], a za nimi Salvagiotti i in. [2009], efekt upośledzenia efektywności wiązania azotu przez bakterie brodawkowe na skutek dostarczania azotu mineralnego może być niwelowany poprzez aplikowanie nawozu poniżej obszaru zawiązywania się brodawek korzeniowych. Dowiedli oni, że tak aplikowane nawozy azotowe nie tylko pozwalały na osiągnięcie większych plonów, ale nie miały negatywnego wpływu na udział w tworzeniu wielkości plonu dzięki N pochodzącemu z biologicznego wiązania.

W badaniach Salvagiottiego i in. [2009] badano wpływ nawożenia mineralnego w dawkach 0 i 180 kg N ha<sup>-1</sup> na elementy struktury plonu soi. Rośliny nawożono mocznikiem

o późnym uwalnianiu, saletrą amonową wcześniej stosowaną i saletrą amonową późno stosowaną. Cechy takie jak masa nasion, liczba nasion na powierzchni  $m^2$ , biomasa resztek poźniwnych i biomasa całkowita roślin nie były uzależnione od zastosowanych wariantów czynnika.

W badaniach Córdova i in. [2020] zbadano wpływ nawożenia N w dawkach 0, 45, 90, 135  $kg N ha^{-1}$  i w różnych porach ich aplikacji (siew, kwitnienie, zawiązywanie strąków) na kształtowanie się parametrów plonu soi. Wyniki wskazały na pozytywny wpływ nawożenia N na plon i elementy struktury plonu w obu latach doświadczenia. Sucha masa nasion i biomasy nadziemnej była dodatnio skorelowana z nawozem azotowym w dawce 135  $kg N ha^{-1}$ , niezależnie od terminu aplikacji (w jednym roku doświadczenia) lub zależnie od terminu – podczas siewu (w drugim roku doświadczenia). Zarówno sucha masa nasion, jak i biomasy nadziemnej były o 17% większe niż te uzyskane w obiekcie kontrolnym. Ponadto, badacze zauważyli, że aplikacja N mineralnego pozytywnie wpłynęła na zwiększenie się liczby nasion soi z jednostki powierzchni ( $m^2$ ). Aplikowanie 135  $kg N ha^{-1}$  spowodowało 28% wzrost parametru w stosunku do średniej z pozostałych dawek nawożenia.

System korzeniowy roślin uprawnych wykazuje przez cały okres rozwoju dużą zmienność pod wpływem czynników środowiska. Ilość masy korzeniowej różni się w poszczególnych latach, co wiąże się z przebiegiem pogody w sezonie wegetacyjnym. Staniak i in. [2018] analizując reakcję soi zwyczajnej na wybrane stropy biotyczne stwierdzili, że jako roślina pochodząca z Dalekiego Wschodu ma wysokie wymagania termiczne i bardzo zmiennie reaguje na niekorzystne warunki klimatyczne, czego efektem jest różnicowanie parametrów morfologicznych części nadziemnych lub/i podziemnych w zależności od natężenia danego czynnika. Zdaniem Staniaka i in. [2018] występowanie czynników stresowych, takie jak susza czy chłód, może zakłócać procesy fizjologiczne, zmieniać metabolizm roślin, powodować uszkodzenia struktur komórkowych, a w konsekwencji hamować wzrost roślin, obniżać plon i pogarszać jego jakość. Michałek [2004] oceniając wpływ suszy na brodawkowanie oraz wzrost korzeni i pędów polskich odmian soi w fazie kwitnienia wykazał, że warunki okresowej suszy wywołują istotne obniżenie liczby, masy i aktywności brodawek powstałych na korzeniach roślin soi, co ma przełożenie na produktywność roślin. Zawartość wody w glebie na poziomie 50% p.p.w. i 25% p.p.w. zmniejszyła w stosunku do kontroli liczbę brodawek o 22-42%, świeżą masę korzeni o 46-69% oraz suchą masę korzeni o 23-41%.

W doświadczeniu własnym wykazano statystycznie istotny wpływ przebiegu pogody w latach na rozwój systemu korzeniowego soi. Istotnie większe parametry korzeni, tj. sucha

masa korzeni, gęstość długości korzeni, gęstość suchej masy korzeni, powierzchnia korzeni, stwierdzono w 2018 r., charakteryzującym się korzystnym układem opadów, a istotnie mniejsze w 2017 r., charakteryzującym się mało korzystnym układem pogody (suma opadów dwukrotnie przekraczająca średnią z wielolecia).

Przyrost korzeni roślin bobowatych jest większy przy dobrym zaopatrzeniu roślin w wodę w okresie pełnej wegetacji. Gdy gleba jest bardziej wilgotna w początkowym okresie wschodów, wówczas system korzeniowy jest słaby. Wpływ nadmiernej ilości opadów na rozwój systemu korzeniowego soi jest negatywny [Pires i in. 2002; Jackson i Ricard 2003], jednakże wielkość strat w wielkości masy korzeniowej jest zależna od czynników genetycznych warunkujących poziom tolerancji roślin. Henshaw i in. [2007] wykazali, że w porównywanych genotypach (wysoka i niska tolerancja na stres wodny) soja w warunkach znacznego uwodnienia gleby spowolniła tempo rozwoju systemu korzeniowego oraz znacząco zredukowała objętość systemu korzeniowego, w tym długość korzeni, masę, jak też średnicę.

Stosowanie szczepionek bakteryjnych promuje zrównoważoną uprawę soi wpływając na rozwój systemu korzeniowego i brodawek. Jednakże efektywność szczepienia zależy od przyjętej agrotechniki oraz czynników środowiska. Pedrozo i in. [2017] wykazali, że inokulacja przedsiewna nasion ma wpływ na wielkość suchej masy korzeni. Znacząco mniejszą suchą masę korzeni oraz długość korzeni stwierdzono w obiektach, w których zastosowano szczepienie bakteryjne jako alternatywę do nawożenia mineralnego azotem. Podobne wyniki badań uzyskali Rondina i in. [2020], którzy wykonali doświadczenie mające na celu wykazanie zmian w cech morfologicznych systemu korzeniowego soi pod wpływem szczepienia roślin bakteriami z rodzaju *Bradryzobium japonicum*. Autorzy wykazali pozytywny wpływ szczepienia na wybrane parametry korzeni tj. suchą masę korzeni (root dry weight), gęstość objętościową korzeni (root length density - RLD), specyficzną długość korzeni (specific root length) oraz długość korzeni bocznych (root-hair length) w porównaniu do obiektu kontrolnego. Jednakże wykazano ujemny wpływ szczepienia na objętość masy korzeniowej (root volume), średnicę korzeni (root mean diameter). W badaniach własnych wykazano niewielki wpływ stosowanych szczepionek bakteryjnych na wielkość parametrów systemu korzeniowego soi tj. RLD, RDMD, RSAD.

Pedrozo i in. [2017] oraz Sharaf i in. [2019] wykazali, że inokulacja przedsiewna nasion zwiększa liczbę i suchą masę brodawek. Jednakże, jak podnoszą badacze, efektywność procesu symbiozy jest warunkowana współzależnością czynników genotypowo-środowiskowych. Jarecki [2020] wykazał, że szczepionka HiStick® znacznie zwiększa liczbę i suchą masę brodawek na korzeniach soi w porównaniu z kontrolą. Średnio występowało 20 sztuk brodawek



w obiektach zaszczipionych w stosunku do kontroli, gdzie znaleziono pojedyncze brodawki. Jarecki [2020] wykazał istotne różnicowanie międzyodmianowe w zakresie stopnia brodawkowania. Odmiany o dłuższym okresie wegetacji odznaczały się większą liczbą brodawek oraz większą suchą masą brodawek. Ponadto Jarecki [2020] wykazał istotny wpływ pogody na kształtowanie ocenianych parametrów brodawek. Deficyt wody znacząco ograniczył rozwój brodawek. Rośliny wykształciły 6 sztuk w roku suchym o średniej suchej masie 0,23 g roślina<sup>-1</sup>, natomiast w roku mokrym 10 sztuk o średniej suchej masie 0,39 g roślina<sup>-1</sup>. Korzystny rozkład opadów skutkował istotnym wzrostem aktywności procesu nodulacji, czego efektem było zwiększenie średniej liczby brodawek na korzeniach do 14 sztuk o średniej suchej masie 0,55g roślina<sup>-1</sup>. Wongphatcharachai i in. [2015] również potwierdzili, że liczba i wielkość brodawek jest warunkowana wieloma czynnikami, zarówno uwarunkowaniami środowiskowymi, jak też sposobem szczepienia nasion.

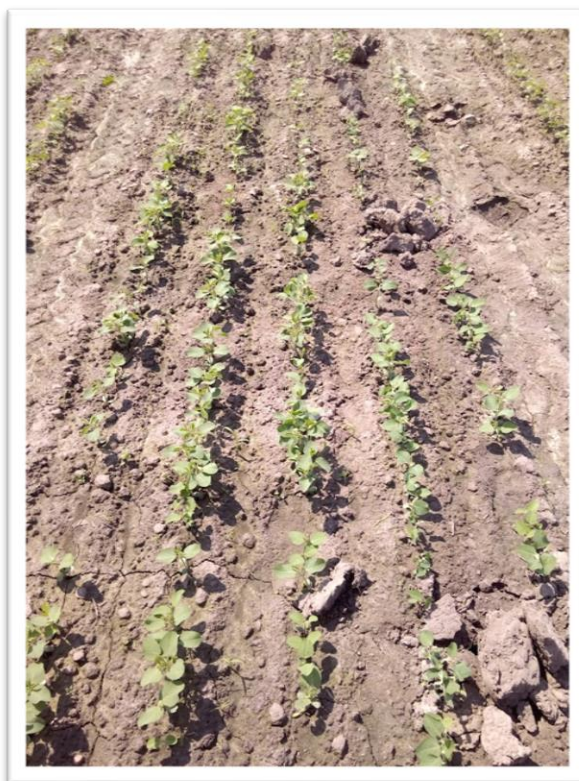
Przeprowadzone badania własne potwierdzają doniesienia Jareckiego [2020] oraz Wongphatcharachai i in. [2015] wskazując, że liczba i wielkość brodawek jest warunkowana wieloma czynnikami. Wykazano, że liczba brodawek z rośliny była istotnie zależna od sposobu szczepienia nasion. W obiektach, gdzie zastosowano szczepienie FF liczba wykształconych brodawek – 22,7 szt. – była statystycznie istotnie niższa od liczby uzyskanej po użyciu NI. Przebieg pogody w dużym stopniu wpłynął na liczebność brodawek. W 2019 r. uzyskano ponad 71 brodawek z rośliny, podczas gdy w 2016 r. – 14, 2017 r. – 8, a w 2018 r. tylko 2 sztuki.

## 7. Wnioski

1. Największe plony nasion, białka i tłuszczu uzyskano szczepiąc nasiona Nitraginą i stosując nawożenie azotowe w formie amonowo-amidowej w dawce  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Przebieg pogody wpłynął na wielkość plonu w większym stopniu niż zastosowane czynniki badań. Różnice w plonie między poszczególnymi latami dochodziły do  $1 \text{ t ha}^{-1}$  przy rozstępie od  $3,34$  do  $4,82 \text{ t ha}^{-1}$ .
2. Na zawartość białka w nasionach negatywnie wpłynęło nawożenie azotowe w formie amonowo-azotanowej, natomiast szczepienie bakteryjne Nitraginą wpłynęło dodatnio na zawartość białka, a ujemnie na zawartość tłuszczu. Przebieg pogody w 2019 r. (wyższa od średniej temperatura powietrza w okresie zawiązywania i wypełniania strąków (lipiec/sierpień)) sprzyjał gromadzeniu większej ilości białka w nasionach niż w latach 2016 i 2018.
3. Nawożenie nawozem w formie amonowo-amidowej oraz szczepienie bakteryjne Nitraginą wpłynęły korzystnie na liczbę strąków i nasion z rośliny oraz kształtowanie się masy tysiąca nasion. Przebieg warunków pogodowych niekorzystnie wpłynął na zagęszczenie powschodowe roślin. Najmniej korzystnym dla kształtowania obsady powschodowej roślin były lata 2017 i 2018, w których nastąpiło obniżenie obsady roślin o ok. 50% do wyjściowej.
4. Wskaźniki LAI i SPAD wykazywały największe wartości na obiektach, na których stosowano Nitraginę oraz nawożonych azotem w formie amonowo-amidowej. Występowało współdziałanie sposobu szczepienia i formy nawożenia z latami.
5. Na wszystkie cechy biometryczne, oprócz wysokości osadzenia najniższego strąka, wpływało istotnie nawożenie formą amonowo-amidową azotu. Natomiast Nitragina oddziaływała wyraźnie korzystnie tylko na suchą masę rośliny, a w mniejszym stopniu na pozostałe cechy biometryczne, z wyjątkiem liczby węzłów kwiatowych. Wykazano również pozytywne oddziaływanie azotu w formie amonowo-azotanowej na wysokość rośliny i masę łodyg i negatywne na masę nasion z rośliny. Warunki pogodowe w latach 2017 i 2018 korzystnie wpłynęły na wielkość suchej masy roślin, masy strąków i liczby pędów z rośliny, a negatywnie w 2016 r.
6. Stosowanie szczepionek bakteryjnych w ograniczonym zakresie oddziaływało na system korzeniowy soi. Szczepionki bakteryjne silniej oddziaływały na wielkość powierzchni korzeni, a słabiej na wielkość suchej masy oraz średnicę. Przedsięwzięte szczepienie nasion soi bakteryjną szczepionką Fix-Fertig pozwoliło uzyskać istotnie

większą powierzchnię korzeni w stosunku do obiektu szczepionego Nitraginą. Stosowanie azotu zwiększało parametry systemu korzeniowego. Istotnie większą suchą masę korzeni i średnicę korzeni uzyskano po zastosowaniu nawozu azotowego w formie amonowo-azotanowej, natomiast znacząco większa gęstość długości korzeni oraz powierzchnię korzeni po zastosowaniu azotu w formie amonowo-amidowej.

7. Zastosowanie szczepionki bakteryjnej Nitragina spowodowało znaczący wzrost liczby brodawek oraz suchej masy brodawek na systemie korzeniowym roślin soi. Natomiast szczepionka Fix-Fertig charakteryzowała się mniejszym wpływem na wyżej wymienione cechy. Zastosowanie azotu mineralnego w obu formach prowadziło do obniżenia wielkości suchej masy brodawek wykształcanych na korzeniach rośliny.



Fot. 1. Soja w fazie rozwojowej BBCH 09; *Pic. 1. Soybean in BBCH 09 growth stage*



Fot. 2. Soja w fazie rozwojowej BBCH 10-19; *Pic. 2. Soybean in BBCH 10-19 growth stage*



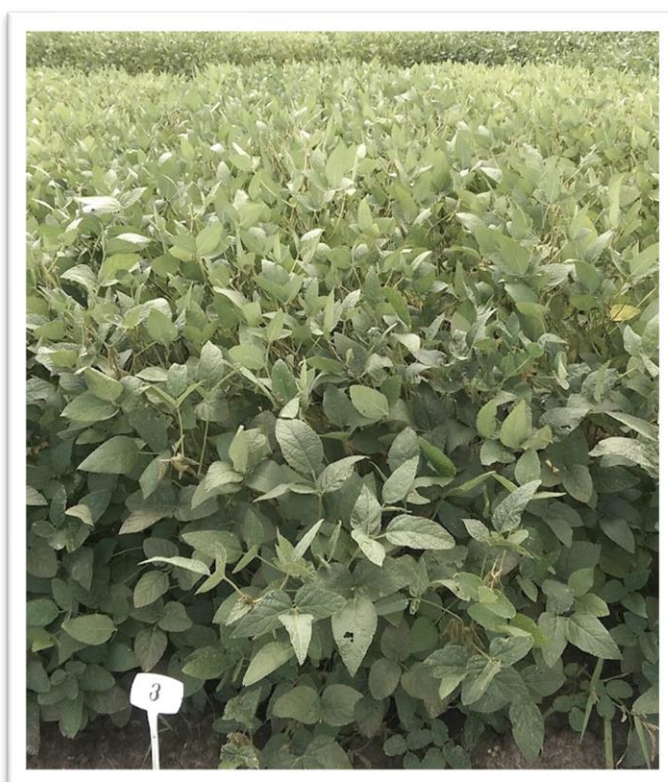
Fot. 3. Soja w fazie rozwojowej BBCH 29; *Pic. 3. Soybean in BBCH 29 growth stage*



Fot. 4. Soja w fazie rozwojowej BBCH 49; *Pic. 4. Soybean in BBCH 49 growth stage*



Fot. 5. Soja w fazie rozwojowej BBCH 65; *Pic. 5. Soybean in BBCH 65 growth stage*



Fot. 6. Soja w fazie rozwojowej BBCH 85; *Pic. 6. Soybean in BBCH 85 growth stage*



Fot. 7. Soja w fazie rozwojowej BBCH 91-95; *Pic. 7. Soybean in BBCH 91-95 growth stage*



Fot. 8. Soja w fazie rozwojowej BBCH 97; *Pic. 8. Soybean in BBCH 97 growth stage*

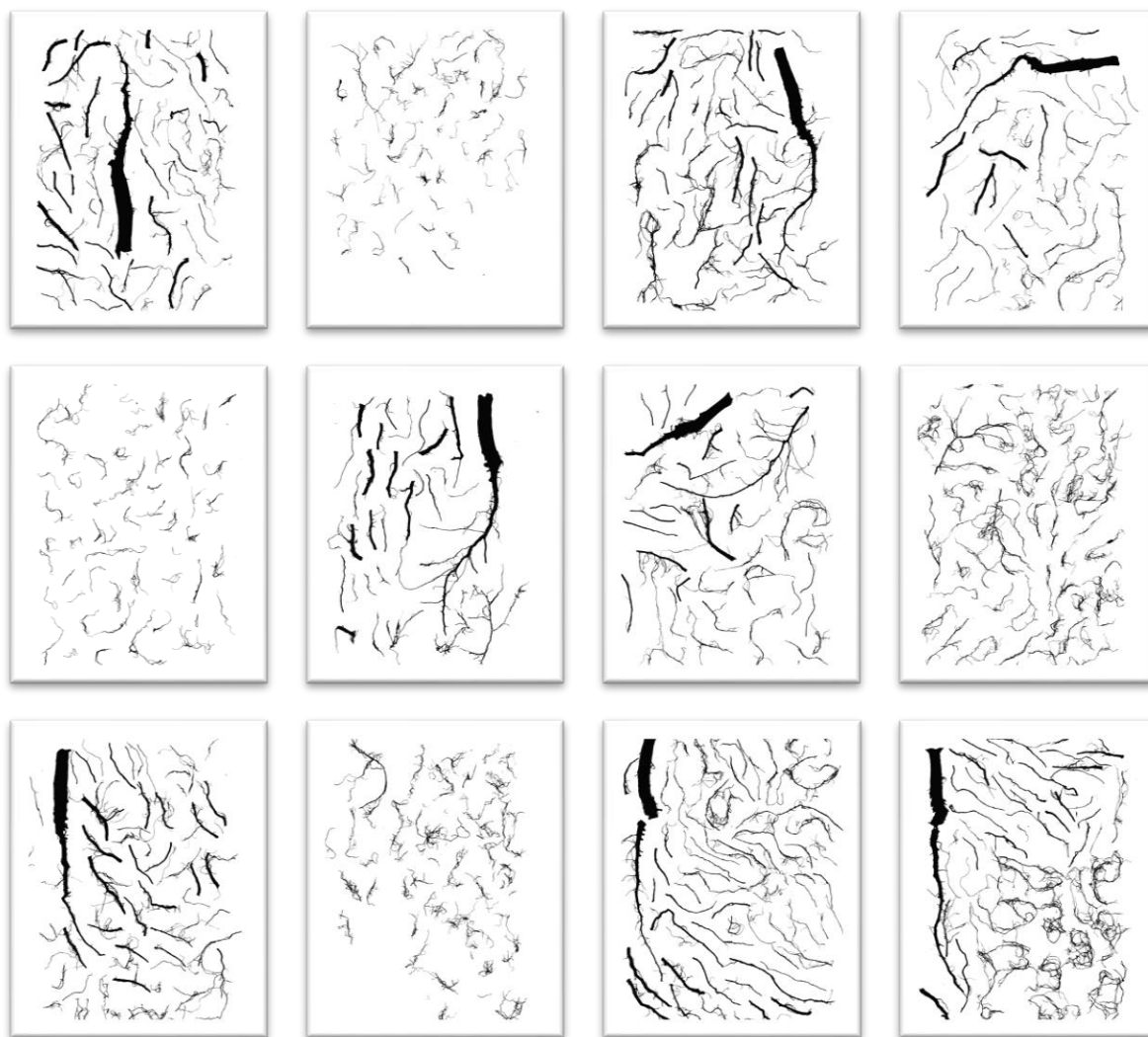


Fot. 9. System korzeniowy soi przed przystąpieniem do procesu płukania w automatycznej, hydrauliczno-pneumatycznej płuczce korzeniowej RWB/RWC-Delta-T;  
*Pic. 9. The root system of soybeans prior to the rinsing process in the RWB/RWC-Delta-T automatic hydraulic-pneumatic root washer*



Fot. 10. Przygotowywanie wypłukanych korzeni i brodawek korzeniowych do skanowania i analizy obrazu; *Pic. 10 Preparing washed roots and root nodules for scanning and image analysis*





Fot. 11-22. Skany systemu korzeniowego roślin soi wykonane skanerem Epson Perfection 4870 Photo w świetle przechodzącym w rozdzielczości 600 dpi; *Pic. 11-22. Scans of the root system of soybean plants taken with an Epson Perfection 4870 Photo scanner in transmitted light at 600 dpi*



Fot. 23-26. Skany brodawek korzeniowych wykonane skanerem Epson Perfection 4870 Photo w świetle przechodzącym w rozdzielczości 600 dpi; *Pic. 23-26. Scans of root nodules taken with an Epson Perfection 4870 Photo scanner in transmitted light at 600 dpi*



Fot. 27. Oznaczanie zawartości białka i tłuszczu za pomocą FOSS A/S – InfraXact (NIRS);  
*Pic. 27. Determination of protein and fat content with FOSS A/S - InfraXact (NIRS)*

## 8. Bibliografia

- Albareda M., Rodríguez-Navarro D. N., Temprano F. J.** 2009. Soybean inoculation: Dose, N fertilizer supplementation and rhizobia persistence in soil. *Field Crops Research*, 113(3), 352–356.  
**doi:** <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.05.013>
- Anapalli S. S., Fisher D. K., Reddy K. N., Krutz J. L., Pinnamaneni S. R., Sui R.** 2019. Quantifying water and CO<sub>2</sub> fluxes and water use efficiencies across irrigated C3 and C4 crops in a humid climate. *Science of The Total Environment*, 663, 338–350.  
**doi:** <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.12.471>
- Anda A., Simon B., Soós G., Teixeira da Silva J. A., Kucserka T.** 2018. Crop-water relation and production of two soybean varieties under different water supplies. *Theoretical and Applied Climatology*, 137(1), 1515–1528.  
**doi:** <https://doi.org/10.1007/S00704-018-2660-9>
- Anda A., Soós G., Menyhárt L., Kucserka T., Simon B.** 2020. Yield features of two soybean varieties under different water supplies and field conditions. *Field Crops Research*, 245, 1–9.  
**doi:** <https://doi.org/10.1016/J.FCR.2019.107673>
- ARiMR.** 2021. **Stawki płatności bezpośrednich za rok 2021.** Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa - Portal Gov.pl.  
<https://www.gov.pl/web/arimr/stawki-platnosci-bezposrednich-za-rok-2021>
- Arya H., Singh M. B., Bhalla P. L.** 2021. Towards Developing Drought-smart Soybeans. *Frontiers in Plant Science*, 12, 1–10.  
**doi:** <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.750664>
- Asad S. A., Farooq M., Afzal A.** 2004. Comparative study of the effects of biofertilizers on nodulation and yield characteristics of mung bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *International Journal of Agriculture and Biology*, 6(5), 837–843.
- Aserse A. A., Markos D., Getachew G., Yli-Halla M., Lindström K.** 2020. Rhizobial inoculation improves drought tolerance, biomass and grain yields of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and soybean (*Glycine max* L.) at Halaba and Boricha in Southern Ethiopia. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 66(4), 488–501.  
**doi:** <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1624724>
- Assefa A., Amsalu B., Tana T.** 2017. Response of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Cultivars to Combined Application of Rhizobium and NP Fertilizer at Melkassa, Central Ethiopia. *International Journal of Plant & Soil Science*, 14(1), 1–10.  
**doi:** <https://doi.org/10.9734/ijpss/2017/30864>
- Barczak B.** 2010. Siarka jako składnik pokarmowy kształtujący wielkość i jakość plonów wybranych roślin uprawnych (J. Prusiński, Red.). Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego, 1–131.
- Barona E., Ramankutty N., Hyman G., Coomes O. T.** 2021. Forests and Deforestation. *Our World in Data*, 5(2), 1–9.  
**doi:** <https://doi.org/10.1088/1748-9326/5/2/024002>
- Battisti R., Sentelhas P. C., Pilau F. G., Wollmann C. A.** 2013. Eficiência climática para as culturas da soja e do trigo no estado do Rio Grande do Sul em diferentes datas de semeadura. *Ciência Rural*, 43(3), 390–396.  
**doi:** <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013000300003>

- Biotech/GM Crops.** 2019. ISAAA Brief - Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops.  
<https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/55/default.asp>
- Biskupski A., Kaus A., Pabin J., Włodek S.** 2004. Wpływ zróżnicowanego nawożenia azotem na wskaźnik powierzchni liści (LAI), średni kąt nachylenia liści (MTA) i plon wybranych odmian pszenicy jarej. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Sectio E*, 59(2), 649–654.
- Board J. E., Harville B. G.** 1996. Growth Dynamics during the Vegetative Period Affects Yield of Narrow-Row, Late-Planted Soybean. *Agronomy Journal*, 88(4), 567–572.  
**doi:** <https://doi.org/10.2134/agronj1996.00021962008800040012x>
- Bryant C.** 2021. Soybean Growth and Development. [W:] *Soybean Production in Georgia*, 9–10. University of Georgia Extension.
- Bujak H.** 2022. Lista odmian roślin rolniczych wpisanych do krajowego rejestru w Polsce 2022.  
[https://www.coboru.gov.pl/pl/kr/kr\\_inf](https://www.coboru.gov.pl/pl/kr/kr_inf)
- Burkitbayev M., Bachilova N., Kurmanbayeva M., Tolenova K., Yerezhpova N., Zhumagul M., Mamurova A., Turysbek B., Demeu G.** 2021. Effect of sulfur-containing agrochemicals on growth, yield, and protein content of soybeans (*Glycine max* (L.) Merr.). *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(1), 891–900.  
**doi:** <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.11.033>
- Bustingorri C., Lavado R. S.** 2011. Soybean growth under stable versus peak salinity. *Scientia Agricola*, 68(1), 102–108.  
**doi:** <https://doi.org/10.1590/S0103-90162011000100015>
- Camara G. M., De S., Dourado-Neto D., Bernardes M. S.** 1996. Influence of photoperiod and air temperature on the growth, flowering and maturation of the soybean (*Glycine max*. L. Merr.). 4th ESA Congress, 160–160.
- Catroux G., Hartmann A., Revellin C.** 2001. Trends in rhizobial inoculant production and use. *Plant and Soil*, 230, 21–30.
- CCA.** 2023. **European Commission.** Common Catalogue - Varieties of agricultural plant and vegetable species.  
<https://ec.europa.eu/food/plant-variety-portal/>
- Chilawal A., Haramoto E. R., Hildebrand D., Naeve S., Poffenbarger H., Purcell L. C., Salmeron M.** 2021. Late-Season Nitrogen Applications Increase Soybean Yield and Seed Protein Concentration. *Frontiers in Plant Science*, 12, 1-15.  
**doi:** <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.715940>
- Clement M., Lambert A., Herouart D., Boncompagni E.** 2008. Identification of new up-regulated genes under drought stress in soybean nodules. *Gene*, 426(1–2), 15–22.  
**doi:** <https://doi.org/10.1016/j.gene.2008.08.016>
- Córdova S. C., Archontoulis S. V., Licht M. A.** 2020. Soybean profitability and yield component response to nitrogen fertilizer in Iowa. *Agrosystems, Geosciences and Environment*, 3(1), 1–16.  
**doi:** <https://doi.org/10.1002/agg2.20092>
- Cui Y., Ning S., Jin J., Jiang S., Zhou Y., Wu C.** 2020. Quantitative Lasting Effects of Drought Stress at a Growth Stage on Soybean Evapotranspiration and Aboveground BIOMASS. *Water* 2021, 13(1), 18–18.  
**doi:** <https://doi.org/10.3390/W13010018>
- Czerednik A., Nalborczyk E.** 2000. Współczynnik wykorzystania napromieniowania fotosyn-tetycznie aktywnego (RUE) – nowy wskaźnik fotosyntetycznej produktywności roślin w łanie. *Biuletyn IHAR*, 215, 13–21.

- Czopek K., Staniak M.** 2020. Możliwości wykorzystania postępu biologicznego w uprawie soi w Polsce. Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG-PIB, 65-78.
- de Majo C., da Silva C. M.** 2022. Introduction: Writing a global environmental history of soybean farming during the Great Acceleration. [W:] C. de Majo & da Silva C.M (Red.), *The Age of the Soybean: An Environmental History of Soy During the Great Acceleration*, White Horse Press, 5–16.
- Deaker R., Roughley R. J., Kennedy I. R.** 2004. Legume seed inoculation technology - A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 36(8), 1275–1288.  
doi: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.04.009>
- Dhanapal A. P., Ray J. D., Singh S. K., Hoyos-Villegas V., Smith J. R., Purcell L. C., King C. A., Fritschi F. B.** 2015. Genome-Wide Association Analysis of Diverse Soybean Genotypes Reveals Novel Markers for Nitrogen Traits. *The Plant Genome*, 8(3), 2–15.  
doi: <https://doi.org/10.3835/plantgenome2014.11.0086>
- Dong S., Jiang Y., Dong Y., Wang L., Wang W., Ma Z., Yan C., Ma C., Liu L.** 2019. A study on soybean responses to drought stress and rehydration. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(8), 2006–2017.  
doi: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.08.005>
- Dubey A., Kumar A., Abd\_Allah E. F., Hashem A., Khan M. L.** 2019. Growing more with less: Breeding and developing drought resilient soybean to improve food security. *Ecological Indicators*, 105, 425–437.  
doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.003>
- Dzwonkowski W., Rola K., Hanczakowska E., Niwińska B., Świątkiewicz S.** 2015. Raport o sytuacji na światowym rynku roślin GMO i możliwościach substytucji genetycznie zmodyfikowanej soi krajowymi roślinami białkowymi w aspekcie bilansu paszowego, 10–124.
- Ergo V. v., Lascano R., Vega C. R. C., Parola R., Carrera C. S.** 2018. Heat and water stressed field-grown soybean: A multivariate study on the relationship between physiological-biochemical traits and yield. *Environmental and Experimental Botany*, 148, 1–11.  
doi: <https://doi.org/10.1016/J.ENVEXPBOT.2017.12.023>
- Eurostat.** 2021.  
<https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tag00100/default/table?lang=en>
- Evans L. T., Fisher R. A.** 1999. Yield Potential: Its Definition, Measurement, and Significance. *Crop Science*, 39(6), 1544–1551.  
doi: <https://doi.org/10.2135/CROPSCI1999.3961544X>
- Faligowska A., Szukala J.** 2010. Wpływ szczepienia nasion i nawożenia azotem na cechy biometryczne roślin strączkowych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 550, 201–209.
- FAO - Food and Agriculture Organization.** 2003. <http://faostat.fao.org>
- FAO - Food and Agriculture Organization.** 2005. <http://faostat.fao.org>
- FAO - Food and Agriculture Organization.** 2017. <http://faostat.fao.org>
- FAO - Food and Agriculture Organization.** 2020. <http://faostat.fao.org>
- FAO - Food and Agriculture Organization.** 2021. <http://faostat.fao.org>
- Fenta B. A., Beebe S. E., Kunert K. J., Burridge J. D., Barlow K. M., Lynch J. P., Foyer C. H.** 2014. Field Phenotyping of Soybean Roots for Drought Stress Tolerance. *Agronomy*, 4(3), 418–435.  
doi: <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY4030418>
- FiBL Statistics.** 2020. Area data for selected crops - Soybeans - Organic area.  
<https://statistics.fibl.org/>

- Filoda G., Mrówczyński M., Matyjaszczyk E., Kierzek R., Nawracała J., Bubniewicz P., Fiedler Ż., Kornobis F., Matysiak K., Pruszyński G., Luboiński A., Markowicz M., Obst A., Wachowiak H.** 2016. Metodyka integrowanej ochrony i produkcji soi dla doradców, 10–70.  
<https://www.ior.poznan.pl/1158,metodyka-integrowanej-ochrony-i-produkcji-soi-dla-doradcow>
- Flajšman M., Šantavec I., Kolmanič A., Kocjan Ačko D.** 2019. Bacterial Seed Inoculation and Row Spacing Affect the Nutritional Composition and Agronomic Performance of Soybean. *International Journal of Plant Production*, 13(3), 183–192.  
**doi:** <https://doi.org/10.1007/s42106-019-00046-8>
- Fotyma E., Bezdusznik D.** 2000. Wykorzystanie testu NNI i testu SPAD do oceny stanu odżywienia zbóż azotem. *Fragmenta Agronomica*, 4(68), 29–45.
- Freitas V. F. de, Cerezini P., Hungria M., Nogueira M. A.** 2022. Strategies to deal with drought-stress in biological nitrogen fixation in soybean. *Applied Soil Ecology*, 172, 104352.  
**doi:** <https://doi.org/10.1016/J.APSSOIL.2021.104352>
- Fried H. G., Narayanan S., Fallen B.** 2019. Evaluation of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] genotypes for yield, water use efficiency, and root traits. *Plos One*, 14(2), 1–18.  
**doi:** <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0212700>
- Fritschi F. B., Ray J. D.** 2007. Soybean leaf nitrogen, chlorophyll content, and chlorophyll a/b ratio. *Photosynthetica*, 45(1), 92–98.  
**doi:** <https://doi.org/10.1007/s11099-007-0014-4>
- Gamon J. A., Surfus J. S.** 1999. Assessing leaf pigment content and activity with a reflectometer. *New Phytologist*, 143(1), 105–117.  
**doi:** <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1999.00424.x>
- Gan Y., Stulen I., Van Keulen H., Kuiper P. J. C.** 2003. Effect of N fertilizer top-dressing at various reproductive stages on growth, N<sub>2</sub> fixation and yield of three soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) genotypes. *Field Crops Research*, 80, 147–155.
- Gao X. B., Guo C., Li F. M., Li M., He J.** 2020. High Soybean Yield and Drought Adaptation Being Associated with Canopy Architecture, Water Uptake, and Root Traits. *Agronomy* 2020, 10(4), 608.  
**doi:** <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY10040608>
- Gass T., Schori A., Fossati A., Soldati A., Stamp P.** 1996. Cold tolerance of soybean (*Glycine max*. L. Merrill) during the reproductive phase. *European Journal of Agronomy*, 5, 71–88.
- Gawęda D., Nowak A., Haliniarz M., Woźniak A.** 2020. Yield and Economic Effectiveness of Soybean Grown Under Different Cropping Systems. *International Journal of Plant Production*, 14(3), 475–485.  
**doi:** <https://doi.org/10.1007/S42106-020-00098-1>
- Gliński J., Stępniewski W.** 1990. Influence of soil oxygen supply on root growth and functioning (review of the literature). *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 7–72.
- Głowacka A., Kasiczak A.** 2019. Efektywność rolnicza i ekonomiczna nawożenia azotem i siarką w uprawie soi. *Agronomy Science*, 74(1), 43–51.  
**doi:** <https://doi.org/10.24326/as.2019.1.4>
- Główny Urząd Statystyczny.** 2021. Rocznik Statystyczny Rolnictwa. <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/roczniki-statystyczne/roczniki-statystyczne/rocznik-statystyczny-rolnictwa-2021,6,15.html>

- Goldsmith P. D.** 2008. Economics of Soybean Production, Marketing, and Utilization. Soybeans: Chemistry, Production, Processing, and Utilization, 5, 117–150.  
doi: <https://doi.org/10.1016/B978-1-893997-64-6.50008-1>
- Gregorczyk A., Piech M.** 2000. Porównanie dynamiki wzrostu owsa nieoplewionego z oplewionym. Biuletyn IHAR, 215, 201–208.
- Gwata E. T., Wofford D. S., Pfahler P. L., Boote K. J.** 2004. Genetics of Promiscuous Nodulation in Soybean: Nodule Dry Weight and Leaf Color Score. Journal of Heredity, 95(2), 154–157.  
doi: <https://doi.org/10.1093/jhered/esh017>
- He J., Jin Y., Du Y. L., Wang T., Turner N. C., Yang R. P., Siddique K. H. M., Li F. M.** 2017. Genotypic variation in yield, yield components, root morphology and architecture, in soybean in relation to water and phosphorus supply. Frontiers in Plant Science, 8, 1499.  
doi: <https://doi.org/10.3389/FPLS.2017.01499/BIBTEX>
- Henshaw T. L., Gilbert R. A., Scholberg J. M. S., Sinclair T. R.** 2007. Soya Bean (*Glycine max* L. Merr.) Genotype Response to Early-season Flooding: I. Root and Nodule Development. Journal of Agronomy and Crop Science, 193(3), 177–188.  
doi: <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2007.00257.x>
- Hosseini M. K., Powell A. A., Bingham I. J.** 2002. Comparison of the seed germination and early seedling growth of soybean in saline conditions. Seed Science Research, 12(3), 165–172.  
doi: <https://doi.org/10.1079/SSR2002108>
- Huete A., Justice C.** 1999. Vegetation Index (MOD 13) Algorithm Theoretical Basis Document, Greenbelt: NASA Goddard Space Flight Centre. MODIS, 19–22.
- Ibañez T. B., Santos L. F. de M., Lapaz A. de M., Ribeiro I. V., Ribeiro F. V., Reis A. R. dos, Moreira A., Heinrichs R.** 2020. Sulfur modulates yield and storage proteins in soybean grains. Scientia Agricola, 78(1), 2–9.  
doi: <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2019-0020>
- Inicjatywa Białkowa COBORU.** 2022.  
<http://www.coboru.gov.pl/pl/ib/ib>
- Jackson M. B., Ricard B.** 2003. Physiology, Biochemistry and Molecular Biology of Plant Root Systems Subjected to Flooding of the Soil. W H. de Kroon, E. J. W. Visser (Red.), Root Ecology. Ecological Studies, Springer, 168, 193–213.
- Jarecki W.** 2020. Reaction of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] to seed inoculation with Bradyrhizobium japonicum bacteria. Plant, Soil and Environment, 66(5), 242–247.  
doi: <https://doi.org/10.17221/201/2020-PSE>
- Jarecki W., Bobrecka-Jamro D.** 2016. Reakcja roślin soi na szczepienie nasion nitraginą oraz nawożenie startowe azotem. Nauka Przyroda Technologie, 10(1), 1–12.  
doi: <https://doi.org/10.17306/J.NPT.2016.1.12>
- Jarecki W., Buczek J., Bobrecka-Jamro D.** 2016. Response of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) to bacterial soil inoculants and foliar fertilization. Plant, Soil and Environment, 62(9), 422–427.  
doi: <https://doi.org/10.17221/292/2016-PSE>
- Jha P. K., Kumar S. N., Ines A. V. M.** 2018. Responses of Soybean to Water Stress and Supplemental Irrigation in Upper Indo-Gangetic Plain: Field Experiment and Modeling Approach. Field Crops Research, 219, 76–86.  
doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.01.029>
- Kakati J. P., Fallen B., Bridges W., Narayanan S.** 2022. Characterization of a Soybean (*Glycine max* L. Merr.) Population for Germination and Seedling Root Traits under

- Water Stress. *Agronomy*, 12(8), 1–17.  
**doi:** <https://doi.org/10.3390/agronomy12081944>
- Kalaji H. M., Wolejko E., Łoboda T., Pietkiewicz S., Wyszyński Z.** 2004. Fluorescencja chlorofilu - nowe narzędzie do oceny fotosyntezy roślin jęczmienia, rosnących przy różnych dawkach azotu. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 496, 375–383.
- Karges K., Bellingrath-Kimura S. D., Watson C. A., Stoddard F. L., Halwani M., Reckling M.** 2022. Agro-economic prospects for expanding soybean production beyond its current northerly limit in Europe. *European Journal of Agronomy*, 133, 2–9.  
**doi:** <https://doi.org/10.1016/J.EJA.2021.126415>
- Katerji N., van Hoorn J. W., Hamdy A., Mastroianni M.** 2000. Salt tolerance classification of crops according to soil salinity and to water stress day index. *Agricultural Water Management*, 43(1), 99–109.  
**doi:** [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(99\)00048-7](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(99)00048-7)
- Kaur G., Serson W. R., Orłowski J. M., McCoy J. M., Golden B. R., Bellaloui N.** 2017. Nitrogen sources and rates affect soybean seed composition in Mississippi. *Agronomy*, 7(4), 2–10.  
**doi:** <https://doi.org/10.3390/agronomy7040077>
- Klimek-Kopyra A., Głab T., Strojny J.** 2019. The Key Role of Variety and Method of Sowing Selection in Pea Roots' Parameters Development under Sustainable Practice. *Sustainability*, 11(7), 2–10.  
**doi:** <https://doi.org/10.3390/su11071824>
- Klimek-Kopyra A., Kulig B., Oleksy A., Zajac T.** 2015. Agronomic performance of naked oat (*Avena nuda* L.) and faba bean intercropping. *Chilean journal of agricultural research*, 75(2), 168–173.  
**doi:** <https://doi.org/10.4067/S0718-58392015000200005>
- Kołodziej J., Pisulewska E.** 2000. Tom XXI Rośliny Oleiste 2000. *Rośliny Oleiste*, XXI, 759–773.
- Konecka K.** 1991. Soja dawniej i dzisiaj. *Postępy Nauk Rolniczych*, 4/5/6/91, 19–28.
- Koźmiński C., Górski T., Michalska B.** 1990. Atlas klimatyczny elementów i zjawisk szkodliwych dla rolnictwa w Polsce. IUNG Puławy, AR Szczecin, 78.
- Koźmiński C., Michalska B.** 2004. Nadmiar i niedobór opadów. W Atlas zasobów i zagrożeń klimatycznych Pomorza, Pr. zbior. Red. Cz. Koźmiński, B. Michalska, Wydawnictwo AR, 62.
- Krivosudská E., Filová A.** 2013. Evaluation of Selected Soybean Genotypes (*Glycine max* L.) by Physiological Responses during Water Deficit. *Journal of Central European Agriculture*, 14(2), 213–228.  
**doi:** <https://doi.org/10.5513/JCEA01/14.2.1250>
- Księżak J., Bojarszczuk J.** 2022. The Effect of Mineral N Fertilization and Bradyrhizobium japonicum Seed Inoculation on Productivity of Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). *Agriculture (Switzerland)*, 12(1), 3–14.  
**doi:** <https://doi.org/10.3390/agriculture12010110>
- Kudelka W., Kowalska M., Popis M.** 2021. Quality of soybean products in terms of essential amino acids composition. *Molecules*, 26(16), 1–8.  
**doi:** <https://doi.org/10.3390/molecules26165071>
- Kühling I., Hüsing B., Bome N., Trautz D.** 2018. Soybeans in high latitudes: effects of Bradyrhizobium inoculation in Northwest Germany and southern West Siberia. *Organic Agriculture*, 8(2), 159–171.  
**doi:** <https://doi.org/10.1007/s13165-017-0181-y>



- Kunert K. J., Vorster B. J., Fenta B. A., Kibido T., Dionisio G., Foyer C. H.** 2016. Drought Stress Responses in Soybean Roots and Nodules. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1–5.  
doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01015>
- Lamm F. R., Stone L. R., O'Brien D. M.** 2007. Crop Production and Economics in Northwest Kansas as Related to Irrigation Capacity. *Applied Engineering in Agriculture*, 23(6), 737–745.  
doi: <https://doi.org/10.13031/2013.24057>
- Lorenc-Kozik A.-M., Pisulewska E.** 2003. Wpływ zróżnicowanego nawożenia azotem i mikroelementami na plonowanie wybranych odmian soi. *Rośliny Oleiste*, XXIV, 131–142.
- Ma B. L., Morrison M. J., Voldeng H. D.** 1995. Leaf Greenness and Photosynthetic Rates in Soybean. *Crop Science*, 35(5), 1411–1414.  
doi: <https://doi.org/10.2135/cropsci1995.0011183X003500050025x>
- Maczek I.** 2019. Uprawa soi non-GMO.  
[https://modr.pl/sites/default/files/brochures/uprawa\\_soi\\_non\\_gmo.pdf](https://modr.pl/sites/default/files/brochures/uprawa_soi_non_gmo.pdf)
- Mandic V., Bijelic Z., Krnjaja V., Simic A., Ruzic-Muslic D., Dragicevic V., Petricevic V.** 2017. The rainfall use efficiency and soybean grain yield under rainfed conditions in Vojvodina. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 33(4), 475–486.  
doi: <https://doi.org/10.2298/BAH1704475M>
- Marchetti R., Donatelli M.** 1994. Seedlings of different species development response to temperature. 3rd ESA Congress, 176–177.
- Markwell J., Osterman J. C., Mitchell J. L.** 1995. Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. *Photosynthesis Research*, 46(3), 467–472.  
doi: <https://doi.org/10.1007/BF00032301>
- Masuda T., Goldsmith P. D.** 2009. World Soybean Production: Area Harvested, Yield, and Long-Term Projections. *International Food and Agribusiness Management Association*, 12(4), 1–31.  
[https://www.researchgate.net/publication/46534692\\_World\\_Soybean\\_Production\\_Area\\_Harvested\\_Yield\\_and\\_Long-Term\\_Projections](https://www.researchgate.net/publication/46534692_World_Soybean_Production_Area_Harvested_Yield_and_Long-Term_Projections)
- McLean E. O., Brown J. R.** 2015. Crop Response to Lime in the Midwestern United States. *Soil Acidity and Liming*, 267–303.  
doi: <https://doi.org/10.2134/AGRONMONOGR12.2ED.C6>
- Michalska G., Nowachowicz J., Bucek T., Wasilewski D., Kmiecik M.** 2013. Spożycie artykułów żywnościowych z udziałem mięsa i jego przetworów.  
[www.stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/gus/CHU\\_dostawy\\_rynek\\_krajowy.pdf](http://www.stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/gus/CHU_dostawy_rynek_krajowy.pdf)
- Michalek S.** 2004. Wpływ suszy na brodawkowanie oraz wzrost korzeni i pędów polskich odmian soi. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 267–274.
- Molga M.** 1972. *Meteorologia rolnicza*. PWRiL, 525–538.
- Nakayama N., Shimada S., Takahashi M., Kim Y. H., Arihara J.** 2005. Effects of water-absorbing rate of seed on flooding injury in soybean. *Japanese Journal of Crop Science*, 74(3), 325–329.  
doi: <https://doi.org/10.1626/JCS.74.325>
- Natarajan S.** 2014. Analysis of Soybean Seed Proteins Using Proteomics. *Journal of Data Mining in Genomics & Proteomics*, 05(01), 1–2.  
doi: <https://doi.org/10.4172/2153-0602.1000e113>
- Nendel C., Reckling M., Debaeke P., Schulz S., Berg-Mohnicke M., Constantin J., Fronzek S., Hoffmann M., Jakšić S., Kersebaum K., Klimek-Kopyra A., Raynal H., Schoving C., Stella T., Battisti R.** 2023. Future area expansion outweighs increasing

- drought risk for soybean in Europe. *Global Change Biology*, 29(5), 1340–1358.  
**doi:** <https://doi.org/10.1111/gcb.16562>
- Nowak J. S.** 2005. Reakcja roślin na niewłaściwą wilgotność podłoża. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 504(1), 185–197.  
<http://agro.icm.edu.pl/agro/element/bwmeta1.element.agro-e1e9f151-2363-4a2a-a32b-5055c264314e>
- Ohashi Y., Nakayama N., Saneoka H., Fujita K.** 2006. Effects of drought stress on photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and stem diameter of soybean plants. *Biologia Plantarum*, 50(1), 138–141.
- Oplacalność uprawy soi | Porady Rolnicze | nowoczesnafarma.pl.** 2021.  
<http://nowoczesnafarma.pl/Oplacalnosc-uprawy-soi.html>
- Pagano M. C., Miransari M.** 2016. The importance of soybean production worldwide. *Abiotic and Biotic Stresses in Soybean Production*, 1, 1–26.  
**doi:** <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801536-0.00001-3>
- Pannecoucq J., Goormachtigh S., Ceusters J., Debode J., Van Waes C., Van Waes J.** 2018. Temperature as a key factor for successful inoculation of soybean with *Bradyrhizobium* spp. under cool growing conditions in Belgium. *Journal of Agricultural Science*, 156(4), 493–503.  
**doi:** <https://doi.org/10.1017/S0021859618000515>
- Pedrozo A., De Oliveira N. J. G., Alberton O.** 2017. Biological nitrogen fixation and agronomic features of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) crop under different doses of inoculant. *Acta Agronomica*, 67(2), 297–302.  
**doi:** <https://doi.org/10.15446/acag.v67n2.56375>
- Pires J. L. F., Soprano E., Cassol B.** 2002. Morphophysiological changes of soybean in flooded soils. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37(1), 41–50.  
**doi:** <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000100006>
- Pisulewska E., Lorenc-Kozik A., Borowiec F.** 1999. Wpływ zróżnicowanego nawożenia azotem na plon, zawartość oraz skład kwasów tłuszczowych w nasionach dwóch odmian soi. *Rośliny Oleiste*, XX(2), 511–520.  
<https://bibliotekanauki.pl/articles/833415>
- Polska Soja.** 2017. **Kalkulacja uprawy soi: tabela opłacalności.**  
[https://www.polskasoja.pl/asp/pl\\_start.asp?typ=14&menu=6&strona=1](https://www.polskasoja.pl/asp/pl_start.asp?typ=14&menu=6&strona=1)
- Pörtner H.-O., Roberts D. C., Poloczanska E. S., Mintenbeck K., Tignor M., Alegría A., Craig M., Langsdorf S., Löschke S., Möller V., Okem A.** 2022. IPCC, 2021 [W:] *Zmiana klimatu 2022: Zagrożenia, adaptacja i wrażliwość. Podsumowanie dla decydentów.* Wkład II Grupy Roboczej do 6 Raportu Podsumowującego Międzyrządowego Panelu ds. Zmiany Klimatu, 8–21.  
**doi:** <https://doi.org/10.1017/9781009325844.001>
- Prusiński J., Baturo-Cieśniewska A., Borowska M.** 2020. Response of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) to mineral nitrogen fertilization and bradyrhizobium japonicum seed inoculation. *Agronomy*, 10(9), 2–13.  
**doi:** <https://doi.org/10.3390/agronomy10091300>
- Rizvi Z. F., Zia M., Chaudhary F. M.** 2007. Interactive effect of *Rhizobium* strains and P on soybean yield, nitrogen fixation and soil fertility. *Pakistan Journal of Botany*, 39(1), 255–264.
- Rodríguez-Navarro D. N., Margaret Oliver I., Albareda Contreras M., Ruiz-Sainz J. E.** 2011. Soybean interactions with soil microbes, agronomical and molecular aspects. *Agronomy for Sustainable Development*, 31(1), 173–190.  
**doi:** <https://doi.org/10.1051/AGRO/2010023>

- Rondina A. B. L., dos Santos Sanzovo A. W., Guimarães G. S., Wendling J. R., Nogueira M. A., Hungria M.** 2020. Changes in root morphological traits in soybean co-inoculated with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense* or treated with *A. brasilense* exudates. *Biology and Fertility of Soils*, 56(4), 537–549.  
doi: <https://doi.org/10.1007/s00374-020-01453-0>
- Saatbau Polska.** 2021. Soja 2021 - Katalog odmian soi | W gruncie najlepsze.  
[http://www.saatbau.pl/asp/pliki/foldery/soja\\_2021.pdf](http://www.saatbau.pl/asp/pliki/foldery/soja_2021.pdf)
- Salvagiotti F., Cassman K. G., Specht J. E., Walters D. T., Weiss A., Dobermann A.** 2008. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. *W Field Crops Research*, 108(1), 1–13.  
doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.03.001>
- Salvagiotti F., Specht J. E., Cassman K. G., Walters D. T., Weiss A., Dobermann A.** 2009. Growth and nitrogen fixation in high-yielding soybean: Impact of nitrogen fertilization. *Agronomy Journal*, 101(4), 958–970.  
doi: <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0173x>
- Santachiara G., Salvagiotti F., Rotundo J. L.** 2019. Nutritional and environmental effects on biological nitrogen fixation in soybean: A meta-analysis. *Field Crops Research*, 240, 106–115.  
doi: <https://doi.org/10.1016/J.FCR.2019.05.006>
- Scherer H. W., Pacyna S., Spoth K. R., Schulz M.** 2008. Low levels of ferredoxin, ATP and leghemoglobin contribute to limited N<sub>2</sub> fixation of peas (*Pisum sativum* L.) and alfalfa (*Medicago sativa* L.) under S deficiency conditions. *Biology and Fertility of Soils*, 44(7), 909–916.  
doi: <https://doi.org/10.1007/s00374-008-0273-7>
- Senaratna T., McKersie B. D.** 1983. Dehydration Injury in Germinating Soybean (*Glycine max* L. Merr.) Seeds. *Plant Physiology*, 72, 620–624.
- Sentelhas P. C., Battisti R., Câmara G. M. S., Farias J. R. B., Hampf A. C., Nendel C.** 2015. The soybean yield gap in Brazil – magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. *The Journal of Agricultural Science*, 153(8), 1394–1411.  
doi: <https://doi.org/10.1017/S0021859615000313>
- Seong R.-C., Kim J.-G., Nelson C. J.** 1999. Dry Matter Accumulation and Leaf Mineral Contents as Affected by Excessive Soil Water in Soybean. *Korean Journal of Crop Science*, 44(2), 129–133.
- Sharaf H., Rodrigues R. R., Moon J., Zhang B., Mills K., Williams M. A.** 2019. Unprecedented bacterial community richness in soybean nodules vary with cultivar and water status. *Microbiome*, 7(1), 63–63.  
doi: <https://doi.org/10.1186/s40168-019-0676-8>
- Shchegolkov A. V.** 2015. Productivity of soybean depending on application of foliar fertilizing with sulfur, boron and molybdenum fertilizers on leached black soil, 106(2), 212–224.
- Silvius J. E., Johnson R. R., Peters D. B.** 1977. Effect of Water Stress on Carbon Assimilation and Distribution in Soybean Plants at Different Stages of Development. *Crop Science*, 17(5), 713–716.  
doi: <https://doi.org/10.2135/CROPSCI1977.0011183X001700050010X>
- Sinclair T. R., Purcell L. C., King C. A., Sneller C. H., Chen P., Vadez V.** 2007. Drought tolerance and yield increase of soybean resulting from improved symbiotic N<sub>2</sub> fixation. *Field Crops Research*, 101(1), 68–71.  
doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.09.010>

- Singh G.** 2010. Water management in soybean. W G. Singh (Red.), The soybean: botany, production and uses. CABI, 191–208.  
doi: <https://doi.org/10.1079/9781845936440.0191>
- Sionit N., Kramer P. J.** 1977. Effect of Water Stress During Different Stages of Growth of Soybean. *Agronomy Journal*, 69, 274–278.
- Skowera B., Puła J.** 2004. Skrajne warunki pluwiotermiczne w okresie wiosennym na obszarze Polski w latach 1971-2000. *Acta Agrophysica*, 1(104), 171–177.
- Smith W., Qi Z., Grant B., VanderZaag A., Desjardins R.** 2019. Comparing hydrological frameworks for simulating crop biomass, water and nitrogen dynamics in a tile drained soybean-corn system: Cascade vs computational approach. *Journal of Hydrology X*, 2, 1–11.  
doi: <https://doi.org/10.1016/J.HYDROA.2018.100015>
- Soy - Our World in Data.** 2023. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://ourworldindata.org/soy>
- Specht J. E., Hume D. J., Kumudini S. V.** 1999. Soybean Yield Potential-A Genetic and Physiological Perspective. *Crop Science*, 39(6), 1560–1570.  
doi: <https://doi.org/10.2135/cropsci1999.3961560x>
- Staniak M., Stępień A., Czopek K.** 2018. Reakcja soi zwyczajnej (*Glycine max* (L.) Merr.) na wybrane stresy abiotyczne. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 57(11), 63–74.
- Subba Rao A., Sammi Reddy K.** 2010. Nutrient Management in Soybean. W G. Singh (Red.), The Soybean: Botany, Production and Uses. CABI, 161–190.  
[https://books.google.pl/books?hl=pl&lr=&id=EAhJUyAtsMoC&oi=fnd&pg=PA161&dq=nutrient+management+in+soybean+rao+reddy&ots=EuYhIUh8Zz&sig=PF1LQiFeldeuN7NeQmpJK6Jso&redir\\_esc=y#v=onepage&q=nutrient%20management%20in%20soybean%20rao%20reddy&f=false](https://books.google.pl/books?hl=pl&lr=&id=EAhJUyAtsMoC&oi=fnd&pg=PA161&dq=nutrient+management+in+soybean+rao+reddy&ots=EuYhIUh8Zz&sig=PF1LQiFeldeuN7NeQmpJK6Jso&redir_esc=y#v=onepage&q=nutrient%20management%20in%20soybean%20rao%20reddy&f=false)
- Sugiyama A., Ueda Y., Takase H., Yazaki K.** 2015. Do soybeans select specific species of Bradyrhizobium during growth? *Communicative & Integrative Biology*, 8(1), 1–2.  
doi: <https://doi.org/10.4161/19420889.2014.992734>
- SunScan.** 2000. **Pomiar współczynnika LAI - Geomor-Technik.**  
<https://geomor.com.pl/produkt/sunscan-pomiar-wspolczynnika-lai/>
- Szmigielski A., Oleksy A.** 1997. Wpływ kierunku siewu na powierzchnię asymilacyjną liści oraz plonowanie i zawartość białka w ziarnie pszenżyta jarego. *Biul. Reg. AR Kraków*, 314, 26–30.
- Szostak B., Głowacka A., Kasiczak A., Kiełtyka-Dadasiewicz A., Bąkowski M.** 2020. Nutritional value of soybeans and the yield of protein and fat depending on a cultivar and the level of nitrogen application. *Journal of Elementology*, 25(1), 45–57.  
doi: <https://doi.org/10.5601/jelem.2019.24.2.1769>
- Szpunar-Krok E., Wondolowska-Grabowska A., Bobrecka-Jamro D., Jańczak-Pieniążek M., Kotecki A., Kozak M.** 2021. Effect of Nitrogen Fertilization and Inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* on Fatty Acid Profile of Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) Seeds. *Agronomy*, 11(941), 1-18.  
doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy11050941>
- Święcicki W. K., Surma M., Koziara W., Skrzypczak G., Szukała J., Bartkowiak-Broda I., Zimny J., Banaszak Z., Marciniak K.** 2011. Nowoczesne technologie w produkcji roślinnej – przyjazne dla człowieka i środowiska. *Polish Journal of Agronomy*, 7, 102–112.  
<http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.dl-catalog-c7e41cb5-6847-454a-9a51-622c6369034b>

- Świtoński M., Malepszy S.** 2012. Postęp biologiczny w rolnictwie w erze genomiki i modyfikacji genetycznych. *Nauka - PAN Czytelnia Czasopism*, 1, 25–35.  
<https://journals.pan.pl/dlibra/publication/105966/edition/91812/content>
- Tagliapietra E. L., Streck N. A., Rocha T. S. M., Richter G. L., Silva M. R., Cera J. C., Guedes J. V. C., Zanon A. J.** 2018. Optimum Leaf Area Index to Reach Soybean Yield Potential in Subtropical Environment. *Agronomy Journal*, 110(3), 932–938.  
**doi:** <https://doi.org/10.2134/agronj2017.09.0523>
- Takahashi Y., Chinushi T., Nagumo Y., Nakano T., Ohyama T.** 1991. Effect of deep placement of controlled release nitrogen fertilizer (coated urea) on growth, yield, and nitrogen fixation of soybean plants. *Soil Science and Plant Nutrition*, 37(2), 223–231.  
**doi:** <https://doi.org/10.1080/00380768.1991.10415032>
- Tamagno S., Sadras V. O., Haegele J. W., Armstrong P. R., Ciampitti I. A.** 2018. Interplay between nitrogen fertilizer and biological nitrogen fixation in soybean: implications on seed yield and biomass allocation. *Scientific Reports*, 8(1), 1–10.  
**doi:** <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35672-1>
- Toleikiene M., Slepetyš J., Sarunaite L., Lazauskas S., Deveikyte I., Kadziuliene Z.** 2021. Soybean development and productivity in response to organic management above the northern boundary of soybean distribution in Europe. *Agronomy*, 11(2), 2–13.  
**doi:** <https://doi.org/10.3390/agronomy11020214>
- Tovjanin M. J., Djurdjevic V., Pejic B., Novkovic N., Mutavdzic B., Markovic M., Mackic K.** 2019. Modeling the impact of climate change on yield, water requirements, and water use efficiency of maize and soybean grown under moderate continental climate in the Pannonian lowland. *Idojaras*, 123(4), 469–486.  
**doi:** <https://doi.org/10.28974/IDOJARAS.2019.4.4>
- van Kessel C., Hartley C.** 2000. Agricultural management of grain legumes: has it led to an increase in nitrogen fixation? *Field Crops Research*, 65(2–3), 165–181.  
**doi:** [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(99\)00085-4](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(99)00085-4)
- Venzke Filho S. de P., Feigl B. J., Piccolo M. de C., Fante Jr. L., Siqueira Neto M., Cerri C. C.** 2004. Root systems and soil microbial biomass under no-tillage system. *Scientia Agricola*, 61(5), 529–537.  
**doi:** <https://doi.org/10.1590/S0103-90162004000500011>
- Wani S. P., Rupela O. P., Lee K. K.**, 1995. Sustainable agriculture in the semi-arid tropics through biological nitrogen fixation in grain legumes. *Plant and Soil*, 174, 29–49.
- Willem Van Gelder J., Kammeraat K., Kroes H., Duurenlaan V.** 2008. Soy consumption for feed and fuel in the European Union A research paper prepared for Milieudefensie (Friends of the Earth Netherlands).  
[www.profundo.nl](http://www.profundo.nl)
- Wingeyer A. B., Amado T. J. C., Pérez-Bidegain M., Studdert G. A., Perdomo Varela C. H., Garcia F. O., Karlen D. L.** 2015. Soil Quality Impacts of Current South American Agricultural Practices. *Sustainability* 2015, 7(2), 2213–2242.  
**doi:** <https://doi.org/10.3390/SU7022213>
- Wongphatcharachai M., Staley C., Wang P., Moncada K. M., Sheaffer C. C., Sadowsky M. J.** 2015. Predominant populations of indigenous soybean-nodulating *Bradyrhizobium japonicum* strains obtained from organic farming systems in Minnesota. *Journal of Applied Microbiology*, 118(5), 1152–1164.  
**doi:** <https://doi.org/10.1111/jam.12771>
- Woźniak A., Gontarz D., Staniszewski M.** 2005. Wpływ zmianowania na plonowanie i wartość wskaźnika LAI pszenicy twardej (*Triticum durum* Desf.). *Biuletyn IHAR*, 237/238, 13–21.

- Xiong R., Liu S., Considine M. J., Siddique K. H. M., Lam H. M., Chen Y.** 2021. Root system architecture, physiological and transcriptional traits of soybean (*Glycine max* L.) in response to water deficit: A review. *Physiologia Plantarum*, 172(2), 405–418.  
doi: <https://doi.org/10.1111/PPL.13201>
- Ye H., Song L., Chen H., Valliyodan B., Cheng P., Ali L., Vuong T., Wu C., Orlowski J., Buckley B., Chen P., Shannon J. G., Nguyen H. T.** 2018. A major natural genetic variation associated with root system architecture and plasticity improves waterlogging tolerance and yield in soybean. *Plant Cell and Environment*, 41(9), 2169–2182.  
doi: <https://doi.org/10.1111/pce.13190>
- Zanon A. J., Streck N. A., Grassini P.** 2016. Climate and Management Factors Influence Soybean Yield Potential in a Subtropical Environment. *Agronomy Journal*, 108(4), 1447–1454.  
doi: <https://doi.org/10.2134/agronj2015.0535>
- Zawila-Niedźwiecki T., Gruszczyńska M., Strzelecki P.** 1993. Wskaźnik LAI w teledetekcyjnej ocenie kondycji lasu. *Sylwan*, 6, 55–60.
- Zhang X., Huang G., Bian X., Zhao Q.** 2013. Effects of nitrogen fertilization and root interaction on the agronomic traits of intercropped maize, and the quantity of microorganisms and activity of enzymes in the rhizosphere. *Plant and Soil*, 368(1–2), 407–417.  
doi: <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1528-5>
- Zhao F. J., Wood A. P., Mcgrath S. P.** 1999. Effects of sulphur nutrition on growth and nitrogen fixation of pea (*Pisum sativum* L.). *W Plant and Soil*, 212, 209–219.
- Zhou J., Mou H., Zhou J., Ali M. L., Ye H., Chen P., Nguyen H. T.** 2021. Qualification of soybean responses to flooding stress using UAV-based imagery and deep learning. *Plant Phenomics*, 2021, 2–11.  
doi: <https://doi.org/10.34133/2021/9892570>
- Zhou J., Zhang Z., Xin Y., Chen G., Wu Q., Liang X., Zhai Y.** 2022. Effects of Planting Density on Root Spatial and Temporal Distribution and Yield of Winter Wheat. *Agronomy*, 12, 1–11.  
doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy12123014>
- Zimmer S., Messmer M., Haase T., Piepho H.-P., Mindermann A., Schulz H., Habekuß A., Ordon F., Wilbois K.-P., Heß J.** 2016. Effects of soybean variety and Bradyrhizobium strains on yield, protein content and biological nitrogen fixation under cool growing conditions in Germany. *European Journal of Agronomy*, 72, 38–46.  
doi: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.09.008>
- Zuffo A. M., Ratke R. F., Aguilera J. G., Steiner F.** 2021. Bradyrhizobium spp. Inoculation associated with nitrogen application enhances the quality of soybean seeds. *Ciencia e Agrotecnologia*, 45, 1–7.  
doi: <https://doi.org/10.1590/1413-7054202145018721>

## 9. Spis tabel i rysunków

### Spis tabel; *List of Tables*

Tabela 1. Zasobność gleby w składniki pokarmowe;	
Table 1. Soil nutrients abundance.....	22
Tabela 2. Przebieg pogody w latach 2016-2019 w Stacji Doświadczalnej w Prusach;	
Table 2. Weather conditions in the years 2016 to 2019 in the Experimental Station in Prusy	23
Tabela 3. Suma opadów [mm] w latach 2016-2019 w miesiącach wegetacji soi odnotowane w Stacji Doświadczalnej w Prusach – ujęcie dekadowe;	
Table 3. Precipitation sum [mm] in the years 2016-2019 in the months of soybean vegetation in Experimental Station in Prusy – decadal view .....	24
Tabela 4. Temperatury powietrza [°C] w latach 2016-2019 w miesiącach wegetacji soi odnotowane w Stacji Doświadczalnej w Prusach – ujęcie dekadowe;	
Table 4. Air temperatures [°C] in the years 2016-2019 in the months of soybean vegetation in Experimental Station in Prusy – decadal view .....	24
Tabela 5. Współczynnik hydrotermiczny Sielianinowa w okresie wegetacji soi A) w dekadach poszczególnych miesięcy, B) w poszczególnych miesiącach;	
Table 5. Sielianin hydrothermal coefficient in growing season of soybean A) in decades, B) in months .....	26
Tabela 6. Zabiegi ochrony roślin soi wykonane w latach 2016-2019;	
Table 6. Soybean plant protection treatments performed in 2016-2019 .....	27
Tabela 7. Plon nasion soi [t ha <sup>-1</sup> ];	
Table 7. Soybean seed yield [t ha <sup>-1</sup> ] .....	31
Tabela 8. Zawartość tłuszczu w nasionach soi [g kg <sup>-1</sup> s.m.];	
Table 8. Fat content in soybean seeds [g kg <sup>-1</sup> d.m.] .....	32
Tabela 9. Wydajność tłuszczu nasion soi [kg ha <sup>-1</sup> ];	
Table 9. Fat yield of soybean seeds [kg ha <sup>-1</sup> ] .....	34
Tabela 10. Zawartość białka w nasionach soi [g kg <sup>-1</sup> s.m.];	
Table 10. Protein content in soybean seeds [g kg <sup>-1</sup> d.m.].....	36
Tabela 11. Wydajność białka nasion soi [kg ha <sup>-1</sup> ];	
Table 11. Protein yield of soybean seeds [kg ha <sup>-1</sup> ].....	38
Tabela 12. Liczba roślin przed zbiorem z 1 m <sup>2</sup> [szt.];	
Table 12. Number of plants per 1 m <sup>2</sup> before harvest [pcs.].....	40
Tabela 13. Liczba strąków z rośliny [szt.];	
Table 13. Number of pods per plant [pcs.].....	42
Tabela 14. Liczba nasion z rośliny [szt.];	
Table 14. Number of seeds per plant [pcs.].....	44
Tabela 15. Masa tysiąca nasion [g];	
Table 15. Thousand seed weight [g].....	45
Tabela 16. LAI [m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> ] łanu soi;	
Table 16. LAI [m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> ] of a soybean crop.....	46
Tabela 17. SPAD łanu soi w fazie kwitnienia (BBCH 65);	
Table 17. SPAD of a soybean crop in the flowering stage of growth (BBCH 65) .....	48
Tabela 18. Wysokość rośliny [cm];	
Table 18. Height of plant [cm] .....	50
Tabela 19. Sucha masa rośliny [g];	
Table 19. Dry weight of plant [g].....	53
Tabela 20. Wysokość osadzenia najniższego strąka [cm];	
Table 20. The height of the lowermost pod [cm] .....	54

Tabela 21. Masa nasion z rośliny [g];	
Table 21. Seeds weight per plant [g] .....	55
Tabela 22. Masa strąków z rośliny [g];	
Table 22. Weight of pods per plant [g].....	57
Tabela 23. Liczba pędów z rośliny [szt.];	
Table 23. Number of stems per plant [pcs.] .....	58
Tabela 24. Liczba węzłów na roślinie [szt.];	
Table 24. Number of knots per plant [pcs.].....	60
Tabela 25. Masa łodyg rośliny [g];	
Table 25. Weight of stems per plant [g] .....	62
Tabela 26. Współczynnik korelacji między wybranymi cechami morfologicznymi;	
Table 26. Correlation coefficient between selected morphological traits .....	64
Tabela 27. Sucha masa korzenia z rośliny [g];	
Table 27. Root Dry Matter [g].....	65
Tabela 28. Gęstość długości korzeni [cm cm <sup>-3</sup> ];	
Table 28. Root Length Density [cm cm <sup>-3</sup> ].....	67
Tabela 29. Gęstość suchej masy korzeni [mg cm <sup>-3</sup> ];	
Table 29. Root Dry Matter Density [mg cm <sup>-3</sup> ] .....	69
Tabela 30. Średnica korzeni [mm];	
Table 30. Mean Root Diameter [mm] .....	71
Tabela 31. Powierzchnia korzeni [cm <sup>2</sup> cm <sup>-3</sup> ];	
Table 31. Root Surface Area Density [cm <sup>2</sup> cm <sup>-3</sup> ].....	73
Tabela 32. Liczba brodawek z rośliny [szt.];	
Table 32. Number of nodules per plant [pcs.] .....	75
Tabela 33. Sucha masa brodawek z rośliny [g];	
Table 33. Dry weight of nodules per plant [g] .....	77
Tabela 34. Średnia powierzchnia brodawek [cm <sup>2</sup> ];	
Table 34. Nodule Area [cm <sup>2</sup> ].....	79

## Spis rysunków; *List of Figures*

Rys. 1. Produkcja, plon i powierzchnia zasiewów soi na świecie (A) i w Polsce (B);	
Fig. 1. Soy production, yield and area harvested in the World (A) and in Poland (B) .....	10
Rys. 2. Położenie SD Prusy na obszarze województwa małopolskiego;	
Fig. 2. Location of SD Prusy in the Lesser Poland voivodeship .....	19
Rys. 3. Plon nasion soi w latach 2016-2019;	
Fig. 3. Soybean seeds yield in 2016-2019 years .....	32
Rys. 4. Zawartość tłuszczu w nasionach soi w latach;	
Fig. 4. Fat content in soybean seeds in years.....	33
Rys. 5. Zawartość tłuszczu w nasionach soi w latach po zastosowaniu nawożenia N;	
Fig. 5. Fat content in soybean seeds in years after N fertilization.....	33
Rys. 6. Wydajność tłuszczu nasion soi w latach;	
Fig. 6. Fat yield of soybean seeds in years .....	35
Rys. 7. Zawartość białka w nasionach soi w latach;	
Fig. 7. Protein content in soybean seeds in years .....	36
Rys. 8. Zawartość białka w nasionach soi w latach po zastosowaniu szczepienia bakteryjnego;	
Fig. 8. Protein content in soybean seeds in years after inoculation.....	37
Rys. 9. Wydajność białka nasion soi w latach;	
Fig. 9. Protein yield of soybean seeds in years.....	38



Rys. 10. Wydajność białka nasion soi w latach po zastosowaniu nawożenia N;	
Fig. 10. Protein yield of soybean seeds in years after N fertilization.....	39
Rys. 11. Wydajność białka nasion soi w latach po zastosowaniu szczepienia bakteryjnego;	
Fig. 11. Protein yield of soybean seeds in years after inoculation .....	39
Rys. 12. Liczba roślin przed zbiorem z 1 m <sup>2</sup> w latach;	
Fig. 12. Number of plants per 1 m <sup>2</sup> before harvest in years .....	41
Rys. 13. Liczba roślin przed zbiorem z 1 m <sup>2</sup> w latach po zastosowaniu szczepienia bakteryjnego;	
Fig. 13. Number of plants per 1 m <sup>2</sup> before harvest in years after inoculation.....	41
Rys. 14. Liczba strąków z rośliny w latach;	
Fig. 14. Number of pods per plant in years .....	43
Rys. 15. Liczba nasion z rośliny w latach;	
Fig. 15. Number of seeds per plant in years .....	44
Rys. 16. Masa tysiąca nasion w latach;	
Fig. 16. Thousand seed weight in years .....	45
Rys. 17. LAI łanu soi w fazie kwitnienia w latach;	
Fig. 17. LAI of a soybean crop in the flowering stage of growth in years .....	47
Rys. 18. SPAD łanu soi w fazie kwitnienia w latach;	
Fig. 18. SPAD of a soybean crop in the flowering stage of growth in years .....	48
Rys. 19. SPAD łanu soi w fazie kwitnienia w latach po zastosowaniu nawożenia N;	
Fig. 19. SPAD of a soybean crop in the flowering stage of growth in years after N fertilization .....	49
Rys. 20. SPAD łanu soi w fazie kwitnienia w latach po zastosowaniu szczepienia bakteryjnego;	
Fig. 20. SPAD of a soybean crop in the flowering stage of growth in years after inoculation	49
Rys. 21. Wysokość rośliny w latach;	
Fig. 21. Height of plant in years .....	51
Rys. 22. Wysokość rośliny w latach po zastosowaniu nawożenia N;	
Fig. 22. Height of plant in years after N fertilization .....	51
Rys. 23. Wysokość rośliny w latach po zastosowaniu szczepienia bakteryjnego;	
Fig. 23. Height of plant in years after inoculation.....	52
Rys. 24. Sucha masa rośliny w latach;	
Fig. 24. Dry weight of plant in years .....	53
Rys. 25. Wysokość osadzenia najniższego strąka w latach;	
Fig. 25. The height of the lowermost pod in years .....	54
Rys. 26. Masa nasion z rośliny w latach;	
Fig. 26. Seeds weight per plant in years .....	56
Rys. 27. Masa strąków z rośliny w latach;	
Fig. 27. Weight of pods per plant in years.....	57
Rys. 28. Liczba pędów z rośliny w latach;	
Fig. 28. Number of stems per plant in years.....	59
Rys. 29. Liczba pędów z rośliny w latach po zastosowaniu nawożenia N;	
Fig. 29. Number of stems per plant in years after N fertilization.....	59
Rys. 30. Liczba węzłów na roślinie w latach;	
Fig. 30. Number of knots per plant in years .....	61
Rys. 31. Liczba węzłów na roślinie w latach po zastosowaniu szczepienia bakteryjnego;	
Fig. 31. Number of knots per plant in years after inoculation.....	61
Rys. 32. Masa łodyg rośliny w latach;	
Fig. 32. Weight of stems per plant in years .....	63

Rys. 33. Sucha masa korzenia w latach;	
Fig. 33. Root Dry Matter in years.....	65
Rys. 34. Sucha masa korzenia w latach po zastosowaniu nawożenia N;	
Fig. 34. Root Dry Matter in years after N fertilization.....	66
Rys. 35. Gęstość długości korzeni w latach;	
Fig. 35. Root Length Density in years.....	67
Rys. 36. Gęstość długości korzeni w latach po zastosowaniu nawożenia N;	
Fig. 36. Root Length Density in years after N fertilization.....	68
Rys. 37. Gęstość suchej masy korzeni w latach;	
Fig. 37. Root Dry Matter Density in years.....	69
Rys. 38. Gęstość suchej masy korzeni w latach po zastosowaniu nawożenia N;	
Fig. 38. Root Dry Matter Density in years after N fertilization.....	70
Rys. 39. Średnica korzeni w latach;	
Fig. 39. Mean Root Diameter in years.....	71
Rys. 40. Średnica korzeni w latach po zastosowaniu nawożenia N;	
Fig. 40. Mean Root Diameter in years after N fertilization.....	72
Rys. 41. Powierzchnia korzeni w latach;	
Fig. 41. Root Surface Area Density in years.....	73
Rys. 42. Powierzchnia korzeni w latach po zastosowaniu nawożenia N;	
Fig. 42. Root Surface Area Density in years after N fertilization.....	74
Rys. 43. Liczba brodawek z rośliny w latach;	
Fig. 43. Number of nodules per plant in years.....	75
Rys. 44. Liczba brodawek z rośliny w latach po zastosowaniu nawożenia N;	
Fig. 44. Number of nodules per plant in years after N fertilization.....	76
Rys. 45. Liczba brodawek z rośliny w latach po zastosowaniu szczepienia bakteryjnego;	
Fig. 45. Number of nodules per plant in years after inoculation.....	76
Rys. 46. Sucha masa brodawek z rośliny w latach;	
Fig. 46. Dry weight of nodules per plant in years.....	78
Rys. 47. Sucha masa brodawek z rośliny w latach po zastosowaniu szczepienia bakteryjnego;	
Fig. 47. Dry weight of nodules per plant in years after inoculation.....	78
Rys. 48. Średnia powierzchnia brodawek w latach;	
Fig. 48. Nodule Area in years.....	80
Rys. 49. Średnia powierzchnia brodawek w latach po zastosowaniu nawożenia N;	
Fig. 49. Nodule Area in years after N fertilization.....	80

## Streszczenie

Badania nad wpływem szczepionki bakteryjnej i rodzaju nawozu azotowego na plonowanie, architekturę łanu oraz wybrane wskaźniki wegetacyjne soi, przeprowadzono w latach 2016-2019 w oparciu o doświadczenie polowe zlokalizowane w Stacji Doświadczalnej Katedry Agroekologii i Produkcji Roślinnej Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie. Czynnikiem doświadczenia były: I) rodzaj nawozu azotowego - brak nawożenia (kontrola), nawożenie formą amonowo-azotanową azotu, tj. saletrą amonową w dawce 60 kg N ha<sup>-1</sup>, nawożenie formą amonowo-amidową azotu, tj. Sulfammo 23 N-Process w dawce 60 kg N ha<sup>-1</sup>, II) szczepionka bakteryjna - brak szczepienia (kontrola), szczepienie preparatem Saatbau Fix-Fertig, szczepienie preparatem Nitragina.

Wykazano, że plon nasion jest istotnie zwiększany zarówno poprzez zastosowanie szczepionki bakteryjnej Nitragina, jak też poprzez zastosowanie nawożenia azotowego w formie amonowo amidowej (Sulfammo 23 N-Process). Przebieg pogody w poszczególnych latach badań również istotnie różnicuje plon. Największe wartości plonu odnotowano w latach 2016 i 2019, w których nie wystąpił stres wodny w okresie wschodów oraz zawiązywania i wypełniania strąków na roślinach. Wydajność tłuszczu i białka nasion jest istotnie zależna i ulega zwiększeniu pod wpływem nawożenia azotem w formie amonowo-amidowej. Natomiast szczepienie bakteryjne Nitraginą powoduje zwiększenie zawartości białka i zmniejszenie zawartości tłuszczu w nasionach. Cechy, takie jak liczba strąków i nasion z rośliny, są zwiększane poprzez stosowanie azotu w formie amonowo-amidowej, podobnie jak poprzez stosowanie szczepionki Nitragina, która powoduje również istotne zwiększenie masy tysiąca nasion. Obsada roślin przed zbiorem jest kształtowana poprzez warunki hydrotermiczne w okresie wegetacji. Przy zaburzeniach – zarówno w warunkach nadmiaru, jak i niedoboru wody obserwuje się zmniejszenie obsady roślin na 1m<sup>2</sup>.

Wskaźniki LAI i SPAD wykazują najwyższe wartości po zastosowaniu Nitraginy oraz przy nawożeniu azotem w formie amonowo-amidowej. Zaobserwowano, że wartości LAI oraz SPAD rosną, gdy średnia temperatura powietrza jest większa od średnich temperatur w wieloleciu.

Cechy biometryczne, poza wysokością osadzenia najniższego strąka, są istotnie różnicowane poprzez formę amonowo-amidową azotu. Szczepienie bakteryjne Nitraginą wpływa pozytywnie na suchą masę roślin, w mniejszym stopniu na inne cechy biometryczne,

z wyjątkiem liczby węzłów kwiatowych. Zastosowanie azotu w formie amonowo-azotanowej powoduje zwiększenie wysokości roślin, masy łodyg oraz zmniejszenie masy nasion z rośliny.

Parametry korzeniowe są istotnie różnicowane przez rodzaj stosowanego nawożenia azotem. Nawóz saletra amonowa wpływa na zwiększenie suchej masy korzeni i średnicy korzeni, a Sulfammo 23 N-Process zwiększa gęstość długości korzeni i ich powierzchnię. W mniejszym stopniu na parametry korzeni wpływa użycie szczepionki bakteryjnej. Jednak wykazano wpływ Nitraginy na wzrost liczby brodawek i ich suchej masy.

## Abstract

### Effect of bacterial inoculation and type of nitrogen fertilizer on yield, crop architecture and selected vegetative indices of soybean

Research on the effect of bacterial inoculation and the type of nitrogen fertilizer on yield, crop architecture and selected vegetation indices of soybean, was carried out in 2016-2019 based on a field experiment located at the Experimental Station of the Institute of Agroecology and Plant Production of the University of Agriculture in Krakow. The factors of the experiment were: I) type of nitrogen fertilizer - no fertilization (control), fertilization with the ammonium nitrate form of nitrogen, i.e. ammonium nitrate at a rate of 60 kg N ha<sup>-1</sup>, fertilization with the ammonium amide form of nitrogen, i.e. Sulfammo 23 N-Process at a rate of 60 kg N ha<sup>-1</sup>, II) bacterial inoculation - no inoculation (control), inoculation with Saatbau Fix-Fertig, inoculation with Nitragina.

Seed yield was shown to be significantly increased by both the application of the bacterial inoculation Nitragina and the application of nitrogen fertilization in the ammonium-amide form (Sulfammo 23 N-Process). The course of weather in each year of the study also significantly differentiated yield. The highest yield values were recorded in 2016 and 2019, in which there was no water stress during the period of emergence and during pod setting and filling. Seed fat and protein yields are significantly dependent and increased under ammonium nitrogen fertilization. Bacterial inoculation with Nitragina, on the other hand, increases protein content and decreases seed fat content. Traits such as the number of pods and seeds per plant are increased by nitrogen application in the ammonium-amide form, as is Nitragina inoculation, which also results in a significant increase in thousand-seed weight. Pre-harvest plant density is shaped by hydrothermal conditions during the growing season. When disturbed - both under excess and deficient water conditions, a reduction in plant density per 1m<sup>2</sup> is observed.

LAI and SPAD indices show the highest values after the application of Nitragina and with nitrogen fertilization in ammonium-amide form. It was observed that LAI and SPAD values increase when the average air temperature is higher than the average temperatures in the multi-year period.

Biometric traits, except for the height of setting of the lowest pod, are significantly differentiated by the ammonium-amide form of nitrogen. Bacterial inoculation with Nitragina has a positive effect on plant fresh weight, to a lesser extent on other biometric traits, except

for the number of flower nodes. The application of nitrogen in the ammonium-nitrate form increases plant height, stem weight and decreases seed weight per plant.

Root parameters are significantly differentiated by the type of nitrogen fertilizer applied. Ammonium nitrate fertilizer increases root dry weight and root diameter, while Sulfammo 23 N-Process increases root length density and root surface area. To a lesser extent, root parameters are affected by the use of bacterial inoculation. However, Nitragina has been shown to have an effect on increasing the number of roots nodules and their dry weight.