



INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY W PUŁAWACH

Edyta Baca

**Reakcja wybranych odmian soi zwyczajnej (*Glycine max* (L.) Merr.)
na zróżnicowany poziom nawożenia azotem**

Reaction of selected cultivars of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.)
to different levels of nitrogen fertilization

Rozprawa doktorska

Doctoral thesis

Rozprawa doktorska przygotowana w Zakładzie Uprawy Roślin Pastewnych IUNG-PIB
w Puławach

Promotor: prof. dr hab. Mariola Staniak

Puławy 2024

Pragnę złożyć serdeczne podziękowania:

Pani prof. dr hab. Marioli Staniak za opiekę naukową i merytoryczne wsparcie, które były nieocenione w trakcie realizacji pracy doktorskiej. Dziękuję za cierpliwość, zrozumienie, życzliwość oraz wskazówki, które umożliwiły mi ukończenie tej pracy.

Dziękuję Pracownikom Zakładu Uprawy Roślin Pastewnych za udzieloną pomoc i życzliwość.

Dziękuję Współpracownikom z Lubelskiego Ośrodka Doradztw Rolniczego w Końskowoli za wsparcie, życzliwość i motywację.

Pragnę również podziękować mojej Rodzinie za niezachwianą wiarę we mnie, cierpliwość oraz wsparcie przez cały okres pisania tej pracy.

Dziękuję!

Spis treści:

1. WSTĘP I CEL BADAŃ.....	6
2. PRZEGLĄD LITERATURY	8
3. METODYKA BADAŃ.....	29
3.1. Doświadczenie polowe	29
3.1.1. Charakterystyka warunków prowadzenia doświadczenia	29
3.1.2. Metody pomiarów i analiz laboratoryjnych.....	37
3.2. Badania uzupełniające.....	42
3.2.1. Charakterystyka warunków doświadczenia.....	42
3.2.2. Metody pomiarów i analiz laboratoryjnych.....	44
4. WYNIKI.....	45
4.1. Doświadczenie polowe	45
4.1.1. Cechy biometryczne roślin.....	45
4.1.2. Plon nasion i elementy kształtujące plon.....	51
4.1.3. Wskaźnik fluorescencji chlorofilu.....	55
4.1.4. Wskaźnik pokrycia gleby liśćmi (LAI)	62
4.1.5. Indeks zieloności liścia (SPAD).....	66
4.1.6. Zależności pomiędzy plonem nasion a wybranymi wskaźnikami.....	69
4.1.7. Właściwości mikrobiologiczne gleby.....	73
4.2. Badania uzupełniające.....	80
4.2.1. Cechy struktury roślin w fazie kwitnienia.....	80
4.2.2. Cechy struktury roślin i plonu w fazie dojrzałości	83
4.2.3. Skład chemiczny nasion	85
4.2.4. Indeks zieloności liścia (SPAD).....	86
5. DYSKUSJA.....	88
6. WNIOSKI	99
Literatura.....	102
Streszczenie/Summary	122

1. WSTĘP I CEL BADAŃ

W ostatnich latach poszukuje się możliwości większego wykorzystania rodzimych surowców białkowych w żywieniu zwierząt w celu ograniczenia importu poekstrakcyjnej śruty sojowej, która jest obecnie najpowszechniej wykorzystywanym źródłem białka roślinnego. Aktualnie w Polsce występuje duży deficyt białka paszowego, który uzupełniany jest przez import śruty sojowej. W tym celu nasz kraj sprowadza rocznie około 2,0-2,5 mln t śruty sojowej, czyli ok. 1,0-1,2 mln t czystego białka (Florek 2017). Stanowi to ok. 62% białka paszowego wykorzystywanego do produkcji pasz przemysłowych w Polsce (Brzóska i Śliwa 2016). Taka sytuacja świadczy o uzależnieniu Polski od zagranicznych źródeł białka roślinnego, a tym samym o ograniczeniu bezpieczeństwa żywnościowego kraju. Ponadto importowana śruta sojowa w ok. 90% pochodzi z odmian genetycznie modyfikowanych (Kwiatek i in. 2007). Jest to kluczowe zagadnienie, ponieważ w niedalekiej przyszłości planowane jest wprowadzenie zakazu stosowania pasz GMO w żywieniu zwierząt, co otwiera drogę do szerszego wykorzystania pasz białkowych produkowanych w kraju. Jego wprowadzenie, po kilkukrotnych przesunięciach daty, miało obowiązywać od 1 stycznia 2025 r. Natomiast obecny rządowy projekt nowelizacji ustawy o paszach przewiduje, że wspomniany wcześniej zakaz miałby obowiązywać od 1 stycznia 2030 r. Wnioskodawcą tej zmiany jest Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi (www.legislacja.rcl.gov.pl).

Soja (*Glycine max* (L.) Merr.) pod względem botanicznym należy do roślin bobowatych grubonasiennych (strączkowych), ale z uwagi na kierunki wykorzystania często zaliczana jest do roślin oleistych (Boczar 2016). Skład chemiczny nasion soi jest unikatowy, ze względu na dużą zawartość białka (ok. 40%) i tłuszczu (ok. 20%). Korzystny skład aminokwasowy białka oraz duża zawartość nienasyconych kwasów tłuszczowych przyczyniają się do szerokiego wykorzystania nasion soi, przede wszystkim w przemyśle spożywczym (produkcja oleju) i paszowym (poekstrakcyjna śruta sojowa) (Tyczewska i in. 2014). Należy również podkreślić, że olej uzyskiwany z nasion soi jest jednym z głównych surowców do produkcji biodiesla (Czopek i Staniak 2020).

Soja jest rośliną dnia krótkiego o dużych wymaganiach termicznych, przez co zainteresowanie jej uprawą w Polsce do niedawna było znikome (Śliwa i Kania 2015). Zdaniem Gawędy i in. (2016) w warunkach klimatycznych Polski plon nasion soi zależy

przede wszystkim od warunków pogodowych, głównie temperatury i opadów. O ile wzrost temperatury i wydłużenie okresu wegetacyjnego w naszej szerokości geograficznej związany z ocieplaniem klimatu (Kozyra i in. 2009) jest korzystny dla tego gatunku, o tyle częste okresy posuszne oraz wiosenne i wczesno jesienne przymrozki, są czynnikami niesprzyjającymi jej uprawie, które przyczyniają się do obniżki plonu nasion (Czopek i Staniak 2018, Staniak i in. 2011a). Warunki pogodowe panujące w okresie wegetacji w dużym stopniu wpływają także na zawartość składników pokarmowych w nasionach, niwelując tym samym w znacznym stopniu wpływ czynników agrotechnicznych (Biel i in. 2017, Kołodziej i Pisulewska 2000, Rotundo i Westigate 2009, Staniak i in. 2011b).

Uprawa soi staje się coraz bardziej popularna w wielu krajach Europy, w tym również w Polsce, ze względu na wysoką wartość odżywczą nasion, względną odporność na choroby i szkodniki oraz mniejszą skłonność do wylegania w porównaniu z innymi gatunkami roślin strączkowych. Doceniane są również korzyści przyrodnicze i ekonomiczne związane z uprawą tego gatunku, wynikające z wiązania azotu atmosferycznego przez bakterie brodawkowe *Bradyrhizobium japonicum*, dzięki czemu można znacząco ograniczyć nawożenie azotem mineralnym (Martyniuk 2019). Soja stanowi także ważny element zmianowania przerywając następstwo zbóż po sobie. Duże zapotrzebowanie na wysokiej jakości białko pochodzące z soi niemodyfikowanej genetycznie oraz postęp biologiczny i agrotechniczny przyczyniają się do upowszechniania uprawy soi w Polsce. Prężnie rozwija się hodowla nowych odmian dostosowanych do uprawy w warunkach klimatycznych naszego kraju, doskonalona jest także agrotechnika (Jarecki i Bobrecka-Jarmo 2016). Jednym z kluczowych elementów umożliwiających uzyskanie satysfakcjonującego plonu nasion soi jest wybór odpowiedniej odmiany, dostosowanej do konkretnych warunków siedliska i regionu. Najważniejszą cechą, która decyduje o przydatności odmiany do uprawy w danym regionie jest długość okresu wegetacji. Odmiany wczesne dojrzewające mogą być uprawiane w całej Polsce, ale uprawa późnych odmian może być ryzykowna w wielu regionach kraju (Jarecki i in. 2019).

Bardzo ważną rolę w kształtowaniu wielkości i jakości plonu soi odgrywa nawożenie mineralne (Jarecki i Bobrecka-Jamro 2016). Przy obfitym brodawkowaniu bakterie symbiotyczne mogą związać do 100 kg N na 1 ha, co pokrywa zapotrzebowanie soi na azot nawet w 60% (Fiolda i Mrówczyński 2016). Resztę należy uzupełnić azotem mineralnym. Zastosowanie odpowiedniej dawki azotu jest bardzo ważne, ponieważ zbyt mała ilość tego składnika niekorzystnie wpływa na plon nasion i zawartość w nich białka, natomiast zbyt duża może opóźnić okres kwitnienia soi, wydłużyć wegetację i obniżyć

masę brodawek (Lorenc-Kozik i Pisulewska 2003). Poza tym odmiany różniące się wczesnością mogą w różny sposób reagować na pogłówną dawkę azotu, ze względu na zróżnicowaną liczbę dni potrzebną do uzyskania dojrzałości zniwnej.

Decydującą rolę w kształtowaniu stabilności ekologicznej i produktywności agroekosystemów odgrywają mikroorganizmy glebowe, charakteryzujące się ogromną aktywnością biochemiczną. Jest to niezwykle ważne zagadnienie w ocenie jakości i żyzności gleby. Korsak-Adamowicz i in. (2007) wykazali, że zintensyfikowanie technologii uprawy soi ogranicza symbiozę z bakteriami brodawkowymi i prowadzi do zmniejszenia wiązania azotu atmosferycznego, przy czym czynnikiem najbardziej ograniczającym było zaprawianie nasion fungicydami oraz nawożenie azotem. Określenie aktywności biologicznej gleby i jej stanu fizykochemicznego w zależności od dawki azotu jest zatem bardzo ważne z punktu widzenia skuteczności działania bakterii symbiotycznych *Bradyrhizobium japonicum* i efektywności wiązania N₂ przez różne odmiany soi.

Te przesłanki skłoniły mnie do podjęcia badań, których celem było:

- ocena przydatności średnio wczesnych (Abelina, Sculptor) i bardzo późnych (Coraline, Malaga, Petrina) odmian soi do uprawy w warunkach województwa lubelskiego,
- ocena wpływu zróżnicowanych dawek azotu na poziom plonowania, wybrane elementy struktury plonu, cechy biometryczne roślin oraz jakość nasion pięciu odmian soi,
- określenie wpływu zróżnicowanego nawożenia azotem na względną zawartość chlorofilu w liściach (indeks SPAD), wskaźnik pokrycia powierzchni gleby liśćmi (LAI) oraz wybrane wskaźniki fluorescencji chlorofilu (Fv/Fm, PI) badanych odmian soi,
- ocena wpływu dawki azotu i odmiany soi na wybrane parametry aktywności mikrobiologicznej gleby.

2. PRZEGLĄD LITERATURY

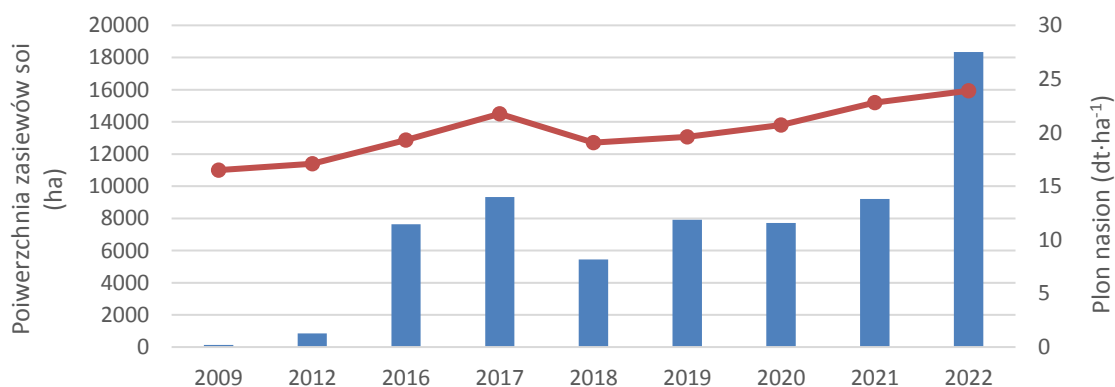
Soja (*Glycine max* (L.) Merr.) określana jest mianem jednej z najwartościowszych roślin uprawnych na świecie (Boczar 2016). W skład chemiczny nasion soi wchodzi białko (38-42% białka ogólnego) oraz tłuszcz (19-22%) (Bellaloui i Gillen 2010). Z uwagi na to soja jest niezwykle ważnym źródłem białka i tłuszczu zarówno w przemyśle

paszowym jak i spożywczym (Sharma i in. 2014). Dodatkowo nasiona soi w swoim składzie zawierają wiele cennych związków, takich jak: błonnik, lecytyna, witaminy (głównie E, B1, B2), składniki mineralne (K, Ca, Mg, P, Fe, Zn) i antyoksydanty (Biel i in. 2018). Ponadto, należąca do rodziny bobowatych soja, posiada zdolność do wiązania wolnego azotu dzięki symbiozie z bakteriami brodawkowymi *Bradyrhizobium japonicum*. Może to przynosić wymierne korzyści ekologiczne i ekonomiczne: mniejsze wymagania soi pod względem nawożenia azotem, przerwanie następstwa uprawy zbóż po sobie, wzbogacenie gleby w azot, zwiększenie plonu roślin następczych. Dzięki temu soja stanowi cenny element zmianowania (Śliwa i in. 2015).

Jak podaje Carter i in. (2004) soja, która została wprowadzona na pola uprawne w Chinach 6000-9000 lat temu, swoje pochodzenie zawdzięcza dzikiemu krewnemu (*Glycine soja* Sieb. and Zucc). Historia uprawy soi w Polsce sięga drugiej połowy XIX wieku. Jak podaje Kotecki (2019) uprawą chińskich odmian soi zajął się wówczas Antoni Sempołowski. Nasiona otrzymał z Austrii od prof. Haberlanda. Pierwszy eksperyment polowy z soją w Polsce został założony w 1878 r. w Żabikowie, ale w ówczesnych warunkach klimatycznych Wielkopolski soja nie dojrzała. Dopiero w okresie międzywojennym uzyskano plenne odmiany, z których najlepsze plonowały na poziomie $1,8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Dzięki swemu wszechstronnemu wykorzystaniu, soja pod względem powierzchni uprawy zajmuje obecnie czwarte miejsce na świecie (po pszenicy, ryżu i kukurydzy), pierwsze spośród bobowatych grubonasiennych, a areał jej uprawy w 2021 roku wynosił 129,5 mln ha wobec 127,0 mln ha w 2020 r. oraz 120,5 mln ha w 2019 r. (FAOSTAT 2024). Soja uprawiana jest w 95 krajach, ale do głównych producentów soi na świecie niezmiennie należą USA, Brazylia oraz Argentyna, które zapewniają ponad 80% światowej produkcji nasion. W 2021 r. soję w Europie uprawiano na powierzchni ponad 5,5 mln ha wobec 5,3 mln ha w 2020 r. W Europie zajmuje ona 6, a w Polsce dopiero 34 miejsce pod względem powierzchni uprawy, co jest spowodowane głównie mało korzystnymi warunkami klimatycznymi (FAOSTAT 2024). Obecnie jednak możliwości uprawy soi w Polsce zwiększają się, ze względu na postęp hodowlań prowadzący do powstania nowych odmian, które coraz lepiej przystosowane są do uprawy w warunkach naszego kraju. Nie bez znaczenia jest też ocieplanie się klimatu i związane z tym wydłużanie się okresu wegetacyjnego (Kozyra i in. 2009). Według danych FAOSTAT (2024) na przestrzeni ostatnich 5 lat można zaobserwować znaczący wzrost powierzchni zasiewów tego gatunku w naszym kraju, jak również tendencję wzrostową poziomu plonowania (Rys. 1).

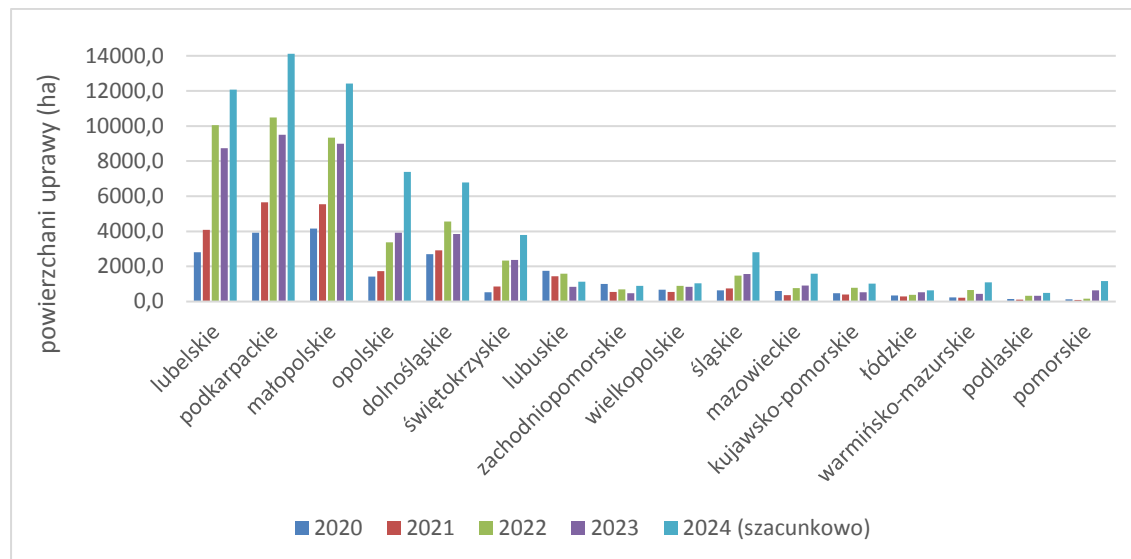
Obserwowany w ostatnich dekadach globalny wzrost temperatury powietrza spowodował wydłużenie okresu wegetacyjnego w naszej szerokości geograficznej i przesunięcie na północ granicy strefy, w której możliwa jest uprawa roślin ciepłolubnych, takich jak soja (Kozyra i in. 2009). Najkorzystniejszym rejonem pod zasiew soi w Polsce jest południowo-wschodnia i południowo-zachodnia część kraju, ale uprawa tego gatunku możliwa jest praktycznie na terenie prawie całego kraju (Łykowski 1984, Biel i in. 2017). Wzrost powierzchni uprawy soi w Polsce uwarunkowany jest, przede wszystkim, zwiększaniem puli nowych, plennych odmian oraz doskonaleniem agrotechniki (Sawicka 2000). Podstawę stanowi właściwy dobór odmian do warunków regionu i gospodarstwa. Uprawa odmian wczesnych możliwa jest praktycznie we wszystkich rejonach kraju, z wyjątkiem terenów podgórskich i północnych, ale odmian późnych i bardzo późnych głównie w południowej i południowo-zachodniej części kraju (Czopek i Staniak 2020). Wynika to ze zróżnicowania długości okresu wegetacyjnego w Polsce, który pomiędzy częścią północną i północno-wschodnią a południową i południowo-zachodnią może wynosić 30-40 dni (Kozyra i in. 2009). Zdaniem wielu autorów warunki klimatyczne mają decydujący wpływ na skalę uprawy tego gatunku w Polsce, pomimo rosnącego postępu odmianowego (Staniak i in. 2018, Źarski i in. 2019). Według amerykańskich badań powodzenie w uprawie soi zależy od warunków atmosferycznych, rodzaju gleby i genotypu (Haegele i Below 2013).



Rys. 1. Powierzchnia zasiewów oraz wielkość plonu nasion soi w Polsce w okresie 2009-2022 (FAOSTAT 2024)

Według danych ARiMR, w 2021 roku soja była uprawiana w Polsce na powierzchni 25,6 tys. ha. Natomiast w 2022 r. odnotowano prawie dwukrotny wzrost powierzchni zasiewów, który wyniósł 47,9 tys. ha. Areał uprawy soi utrzymywał się na podobnym poziomie również w 2023 r. (44,4 tys. ha). Według szacunków ARiMR, rok 2024 jest

rekordowy pod względem powierzchni zasiewów soi w Polsce - według danych szacunkowych będzie to 68,4 tys. ha (stan na 30.06.2024 r.). Województwo lubelskie plasuje się w czołówce pod względem powierzchni zasiewów soi w naszym kraju, obok województw podkarpackiego i małopolskiego (Rys. 2)



Rys.2 Powierzchnia uprawy soi w Polsce wg. województw (ARiMR 2024)

W 2023 r. najwięcej soi na Lubelszczyźnie uprawiano w powiecie chełmskim (2,8 tys. ha). Z każdym rokiem zainteresowanie uprawą roślinie. Polscy rolnicy mogą liczyć na dodatkowe wsparcie finansowe w formie systemu dopłat, w tym m.in. do produkcji nasion roślin strączkowych. Ponadto, od 2023 r. mogą otrzymać dofinansowanie na uprawę soi, przystępując do Ekoschematu pn. „Prowadzenie produkcji roślinnej w systemie Integrowanej produkcji roślin”. Na podstawie danych COBORU, obserwuje się następujące trendy dotyczące plonowania soi w Polsce: tendencja wzrostowa poziomu plonowania, zmienność poziomu plonowania w latach badań oraz różnice w plonowaniu zależnie od wczesności odmiany (Tabela 1). Wzrost poziomu plonowania soi może wynikać z postępu w hodowli nowych odmian dostosowanych do polskich warunków klimatyczno-glebowych oraz postępu w technologii uprawy. Jednak poziom uzyskanych plonów jest niestabilny i zależy głównie od przebiegu pogody w danym sezonie wegetacyjnym. Badania prowadzone w obrębie odmian soi przez COBORU od 2023 r. zostały podzielone na trzy serie, uwzględniające czas liczony od siewu do osiągnięcia dojrzałości zniwnej: seria I - bardzo wczesne i wczesne, seria II - średniowczesne i średniopóźne, seria III – późne i bardzo późne. Jak pokazują dane z 2023 roku wczesność odmiany soi może wpływać na jej plonowanie. Odmiany zróżnicowane pod względem

wczesności mogą wykazywać różne poziomy plonowania. Na przykład w latach z długim i ciepłym latem, odmiany późne mogą plonować lepiej, natomiast w latach z krótszym okresem wegetacyjnym, odmiany wczesne mogą odznaczać się większym poziomem plonowania.

Tabela 1. Średnie plonowanie soi na przestrzeni lat 2019-2023 (COBORU 2024)

Rok	2019	2020	2021	2022	2023
w doświadczeniach COBORU (dt/ha)	26,7	29,1	34,9	30,9	seria I - 32,0
					seria II - 39,4
					seria III - 40,5
w produkcji (t/ha)	-	-	-	2,5 - 3,0 t/ha (2,0 t)	3,0 - 4,0 t/ha (5,0 t)

Seria I – odmiany bardzo wczesne i wczesne (długość wegetacji 131-137 dni), seria II – odmiany średnio wczesne i średnio późne (długość wegetacji 138-150 dni), seria III – odmiany późne i bardzo późne (długość wegetacji 148-164 dni)

Stres suszy powodowany przez okresowe niedobory opadów, który pojawia się coraz częściej i obejmuje swoim zasięgiem znaczne obszary kraju, jest główną przyczyną strat w produkcji rolniczej (Doroszewski 2012, Lipiec i in. 2013). Często towarzyszą mu wysokie temperatury powietrza, które potęgują niekorzystny efekt braku wody. Jak podaje Chmura i in. (2009) oraz Grzesiak i in. (1996) susza jest szczególnie groźna dla produkcji roślinnej na glebach lekkich i bardzo lekkich, które zajmują ponad połowę użytków rolnych w Polsce. Zdaniem Cohen i in. (2020) połączenie suszy i stresu cieplnego, występujące w fazie wzrostu wegetatywnego lub generatywnego wielu gatunków roślin uprawnych (m.in. soi), może mieć destrukcyjny wpływ na plony. Soja wykazuje zróżnicowaną reakcję na niekorzystne warunki wilgotnościowe związane z okresowym, bądź długotrwałym niedoborem wody w glebie. Z genetycznego punktu widzenia posiada umiarkowane wymagania wodne i jest zaadaptowana do przetrwania okresowych niedoborów wody. Głęboki, palowy system korzeniowy umożliwia jej pobieranie wody z głębszych warstw gleby, a występujące na liściach i łodygach owłosienie stanowi ochronę przed zbyt dużym parowaniem (Hinson i Hartwig 1982). Ponadto, soja jest w stanie regulować intensywność procesów fizjologicznych, zwłaszcza transpiracji dzięki zdolności do heliotropizmu. Przy dużym natężeniu promieniowania słonecznego liście ustawiają się równolegle do

padających promieni słonecznych, co zmniejsza proces nagrzewania i wyparowywania wody.

Największe zapotrzebowanie na wodę soja wykazuje w tzw. okresach krytycznych, z których pierwszy przypada na okres od siewu do pełni wschodów. W czasie kiełkowania nasiona pobierają wodę w ilości odpowiadającej ok. 120% ich masy. Drugim okresem krytycznym jest faza kwitnienia, w której niedobór wody może doprowadzić do zrzucania kwiatów, co skutkuje mniejszą liczbą strąków i nasion. Z kolei ograniczanie masy nasion oraz nierównomierne dojrzewanie, które często sprzyja pękaniu strąków i osypywaniu się nasion jest skutkiem niedoboru wody w fazie wypełniania strąków (Nawracała 2001, Brevedan i Egli 2003, Kucharik i Serin 2008, Czopek i Staniak 2017). Według Juzoń i in. (2012) objawem suszy u roślin bobowatych jest zmniejszenie plonu wskutek zrzucania kwiatów i młodych strąków oraz przedwczesnego i niedostatecznego wypełnienia nasion. Bury i Nawracała (2004) dowiedli, że warunki pogodowe oddziałują nie tylko na wzrost i rozwój, ale również na długość okresu wegetacyjnego soi. Nadmiar opadów w okresie zbioru w pierwszym roku badań nie tylko utrudniał zbiór, ale był też przyczyną opóźnionego i nierównomiernego dojrzewania. Z kolei w drugim roku, niedobór opadów w całym okresie wegetacyjnym i wysokie temperatury powietrza, przede wszystkim w lipcu i sierpniu, przyspieszyły zbiór, jednocześnie skracając okres wegetacji roślin.

Właściwy dobór odmiany jest jednym z najważniejszych elementów agrotechniki w uprawie tego gatunku, ponieważ w niektórych regionach kraju mogą wystąpić trudności z dojrzewaniem nasion późnych odmian soi. Jarecki i in. (2019) wskazują na problemy ze zbiorem nasion odmian Smuglyanka oraz Atlanta, które do osiągnięcia dojrzałości zniwnej w latach o niekorzystnym przebiegu pogody potrzebowały 148-149 dni. Na podstawie badań przeprowadzonych na Ukrainie Zhcherbyna i in. (2021) wykazali, że najwyższe i stabilne w latach plony nasion otrzymano z wczesnych odmian soi. Odmiany bardzo wczesne, ze względu na krótszy okres wegetacji charakteryzowały się istotnie mniejszym plonem nasion. Z kolei odmiany średniowczesne były bardziej narażone na suszę, szczególnie w drugiej połowie lata, więc uzyskanie dobrych plonów było możliwe wyłącznie w latach charakteryzujących się optymalną ilością opadów w okresie wegetacji. Także zdaniem Warzechy (1983) warunki środowiskowe silnie wpływają na plon nasion soi i cechy jego struktury.

Uprawa soi w Europie cieszy się coraz większym zainteresowaniem, dzięki czemu prace związane z hodowlą nowych odmian są prowadzone w różnych ośrodkach naukowych (Czopek i Staniak 2020). Do badań urzędowych zgłaszanych jest coraz więcej

nowych odmian soi, szybko rośnie również liczba odmian w Krajowym Rejestrze (KR). Aktywność rodzimych firm zajmujących się hodowlą nowych odmian także jest widoczna, jednak po czasie zawieszenia programów hodowli twórczej wymagany jest czas, aby zgłoszenie polskich odmian było możliwe (Bujak i in. 2021). Do 2014 r. w KR zarejestrowane były tylko 3 odmiany soi (Aldana, Augusta i Mavka). W 2015 Krajowy Rejestr poszerzył się o dwie nowe odmiany – Aligator i Madlen, a w 2016 roku zarejestrowano odmianę Abelina. Kolejne lata przyniosły wzrost liczby nowych odmian wpisywanych do KR (Tabela 2).

Tabela 2. Liczba odmian soi w Krajowym Rejestrze (KR) w latach 2015-2024

Rok rejestracji	Liczba nowych odmian	Nazwy odmiany
2015	2	Aligator, Madlen
2016	1	Abelina
2017	6	Erica, GL Melanie, Maja, Paradis, Petrina, Sculptor
2018	5	Coraline, ES Comandor, Oressa, Regina, Viola
2019	5	Adessa, Annushka, Antigua, Aurelina, ES Favor
2020	4	ES Governor, Marzena, Orpheus, Trumpf
2021	7	Abaca, Ceres PZO, ES Chacellor, ES Conductor, Karok, Magnolia PZO, Sully
2022	7	Adelfia, Asterix, ES Bachelor, GL Susanna, Pamela, Pula, Wojtek
2023	4	Acassa, Antaria, Arnold, Vineta PZO
2024	6	Acapulca, Astramelix, Astronomix, Lajma, LID Diamantor, Ikone

Obecnie (2024 r.) w KR znajdują się 42 odmiany soi, z czego 93% zostało wpisanych w latach 2017 – 2024, co świadczy o znacznym postępie w hodowli tego gatunku (COBORU 2024). Większość zarejestrowanych odmian soi to odmiany zagraniczne, co sugeruje potrzebę wzmocnienia krajowych programów hodowlanych. Poddając ocenie przydatność odmian soi do uprawy w naszym kraju, zwraca się uwagę nie tylko na dobre i stabilne plonowanie w latach. Kluczowy jest przede wszystkim termin osiągnięcia dojrzałości zniwnej w danym rejonie kraju. Możliwość wykonania zbioru nasion przed jesiennymi przymrozkami jest kwestią nadrzędną. W Polsce odmiany soi o krótkim okresie wegetacji dojrzewają w ostatniej dekadzie sierpnia, lub na początku września. Z kolei zbiór odmian o dłuższym okresie wegetacji może przypadać na kolejne dekady września, a nawet dopiero w październiku. Odmiany soi klasyfikowane są do grup wczesności na podstawie długości okresu wegetacji (od wysiewu do osiągnięcia dojrzałości zniwnej). Początkowo w doświadczeniach prowadzonych przez Centralny Ośrodek Badań

Odmian Roślin Rolniczych (COBORU 2024) odmiany były podzielone na 6 grup wczesności (bardzo wczesne, wczesne, średnio wczesne, średnio późne, późne i bardzo późne). Od 2023 r. COBORU wprowadziło 9-stopniową skalę klasyfikacji wczesności odmian soi (Tabela 3).

Tabela 3. Polska klasyfikacja odmian soi pod względem wczesności wg. COBORU

Lp.	Nazwa grupy wczesności	Ocena w skali
1.	Bardzo wczesne	1
2.	Bardzo wczesne do wczesnych	1-2, 2
3.	Wczesne	2-3, 3
4.	Wczesne do średnio wczesnych	3-4, 4
5.	Średnio wczesne	4-5, 5
6.	Średnio wczesne do późnych	5-6, 6
7.	Późne	6-7, 7
8.	Późne do bardzo późnych	7-8, 8
9.	Bardzo późne	8-9, 9

W województwie lubelskim, ze względu na wpływ klimatu kontynentalnego, objawiającego się długą, ciepłą jesienią powinny istnieć korzystne warunki do uprawy także późniejszych odmian soi, dlatego do badań wybrano 2 odmiany średniowczesne (Sculptor i Abelina) oraz 3 odmiany bardzo późne (Coraline, Petrina i Malaga). Charakterystykę badanych odmian soi pod względem wybranych cech użytkowych na podstawie ogólnokrajowych wyników Porejestrowego Doświadczalnictwa Odmianowego (PDO) prezentują Tabele 4 i 5.

Tabela 4. Plonowanie wybranych odmian soi na podstawie ogólnokrajowych wyników PDO (COBORU 2024)

L. p.	Odmiana	Rok rejestracji	Grupa wczesności	Plon nasion (dt/ha) w poszczególnych latach badań						
				2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
1.	Abelina	2016	4	38,5	37,7	28,1	32,9	35,3	32,3	36,2
2.	Petrina	2017	7	37,2	37,3	28,7	27,5	34,8	31,9	brak danych
3.	Sculptor	2017	6,5	32,0	35,8	brak danych	brak danych	brak danych	brak danych	brak danych
4.	Coraline	2018	7,5	33,7	39,9	29,2	brak danych	brak danych	brak danych	brak danych
5.	Malaga	CCA	bardzo późna	brak danych	38,9	brak danych	brak danych	brak danych	brak danych	brak danych

CCA – odmiana pochodząca ze Wspólnotowego katalogu odmian roślin rolniczych, niewpisana do Krajowego rejestru w Polsce

Tabela 5. Charakterystyka odmian soi pod względem wybranych cech rolniczo-użytkowych na podstawie ogólnokrajowych wyników PDO (COBORU 2021* i 2024)

L. p.	Odmiana	Zawartość białka ogólnego (% s. m.)	Zawartość tłuszczu surowego (% s. m.)	Wysokość osadzenia najniższego strąka (cm)	Wyleganie przed zbiorem (skala 9 st.)	Liczba dni od siewu do dojrzałości żniwnej	Masa 1000 nasion (g)
1.	Abelina	37,2	23,2	12,9	7,0	141	176
2.	Petrina	36,5	22,5	11,4	7,2	152	183
3.	Sculptor*	38,8	22,5	11,0	7,2	136	216
4.	Coraline*	37,3	23,3	10,4	7,7	145	187
5.	Malaga*	36,4	23,0	10,9	8,0	147	208

Każdego roku rolnicy mogą zakupić nasiona odmian soi znajdujących się w KR oraz materiał siewny odmian pochodzących ze Wspólnotowego Katalogu Odmian Roślin Uprawnych (CCA), badane w doświadczeniach COBORU w ramach PDO. Do niedawna wiele z nich nie było testowanych w Polsce, a tym samym nie dysponowano rzetelną informacją odnośnie ich przydatności do uprawy (Bujak i in. 2021). Obecnie, dzięki badaniom PDO, każdego roku COBORU opracowuje Listy odmian zalecanych (LOZ) do uprawy w poszczególnych województwach. Prezentują one zestawy odmian, które są najlepiej przystosowane do danego regionu uprawy, panujących tam warunków pogodowych oraz długości okresu wegetacji. Dla woj. lubelskiego LOZ dla soi po raz pierwszy sporządzono w 2019 roku. Trafilo na nią wówczas sześć odmian soi: Abelina (KR), GL Melanie (KR), Sirelia (CCA), Naya (CCA), Brunensis (CCA) oraz Kofu (CCA). W 2020 roku LOZ obejmowała łącznie siedem odmian soi. Skreślona została odmiana GL Melanie, a wpisano dodatkowo dwie odmiany pochodzące z KR: ES Comandor oraz

Petrina. W 2021 roku na terenie woj. lubelskiego rekomendowano do uprawy łącznie osiem odmian soi. Lista odmian zalecanych powiększyła się wówczas o jedną odmianę pochodzącą z CCA – Obelix. Następnie na rok 2022 w naszym województwie rekomendowano do uprawy łącznie siedem odmian soi. Skreślona została odmiana Abelina, Bruensis oraz Naya, a wpisane zostały dwie odmiany Acardia (CCA) i Aurelina (KR). Rok później LOZ dla woj. lubelskiego obejmowała osiem odmian soi. Skreślono odmiany Obelix, Kofu i Petrina. Listę powiększono o trzy odmiany, w tym dwie odmiany pochodzące z CCA - Achillea i Albiensis oraz jedną zarejestrowaną w Polsce (KR) – ES Governor. W 2024 LOZ obejmował łącznie dziewięć odmian soi, z tym, że skreślono dwie – Albiensis i ES Comandor, a wpisano dwie pochodzące z CCA – Nessie PZO i Sahara. LOZ dla soi w woj. lubelskim jest co roku aktualizowana. Zmiany wprowadzane w obrębie odmian świadczą o prowadzeniu ciągłych badań i dostosowywaniu listy do warunków panujących na Lubelszczyźnie. Można zaobserwować wzrost liczby odmian rekomendowanych, co może świadczyć o zwiększonym zainteresowaniu uprawą soi w regionie. Wprowadzanie nowych, bardziej plennych odmian, mniej podatnych na stropy biotyczne i abiotyczne oraz lepiej przystosowanych do lokalnych warunków glebowo-klimatycznych, jest tym bardziej uzasadnione.

Soja wykazuje wrażliwość na niską temperaturę począwszy od wschodów po dojrzałość. Szczególne wymagania tego gatunku odnośnie temperatury występują w okresie od siewu nasion do pełni wschodów oraz w fazie kwitnienia (Gass i in. 1996, Câmara i in. 1997, Gaynor i in. 2011, Staniak et al. 2021a,b). Są to dwa okresy krytyczne, w których gatunek ten jest szczególnie wrażliwy na przechłodzenie. Jak wskazuje Praczyk (2017) w warunkach klimatycznych naszego kraju siew soi powinien być wykonany przy średniej temperaturze gleby wynoszącej co najmniej 8°C, a dobowej temperaturze powietrza ok. 10-15°C, co zazwyczaj ma miejsce na przełomie kwietnia i maja. Zdaniem Filoda i Mrówczyńskiego (2016) niskie temperatury w okresie wschodów mogą przedłużyć kiełkowanie nasion, w konsekwencji czego część z nich gnije i nie wschodzi. W badaniach przeprowadzonych przez Staniak i in. (2021a) w warunkach kontrolowanych wykazano, że utrzymujące się przez okres 9 dni niskie temperatury powietrza (11/6°C dzień/noc) wprawdzie opóźniły wschody roślin, ale znacząco ich nie zmniejszyły (średnio dla 16 odmian o 5%). Wykazano natomiast, że pod wpływem wiosennego stresu chłodu plon nasion prawie wszystkich badanych odmian soi zwiększył się, natomiast nie wykazano istotnego wpływu przechłodzenia na skład chemiczny nasion. Należy zaznaczyć, że

stosowano zdrowy, kwalifikowany materiał siewny, nasiona były zaprawione fungicydami i zaszczepione pożywką bakteryjną zawierającą symbionty rhizobium, a pozostałe warunki wysiewu były optymalne. Oznacza to, że kilkudniowe, niewielkie spadki temperatury nie wpływają negatywnie na kiełkowanie nasion, a przyspieszenie siewu soi o 1-2 tygodnie, zwłaszcza w południowej części kraju i przy sprzyjających warunkach pogodowych (opady, temperatura) może być korzystny z punktu widzenia wydłużenia okresu wegetacji. Jarecki i Bobrecka - Jamro (2021) wykazali, że największy plon nasion uzyskano, gdy soję wysiewano w drugiej dekadzie kwietnia. Wysiew w pierwszej dekadzie maja spowodował zmniejszenie plonu nasion o 7,9%, zwiększył natomiast MTN i zawartość białka w nasionach. Także w badaniach innych autorów wcześniejszy siew soi przyczyniał się do wzrostu plonu nasion soi (Pedersen and Lauer 2004, De Bruin i Pedersen 2008, Egli i Cornelius 2009, Marburger i in. 2016, Gaspar and Conley 2015)

Soja jest szczególnie wrażliwa na niskie temperatury także w fazie kwitnienia (Staniak et al. 2021b). Za minimum biologiczne w tej fazie uważana jest temperatura 17-18°C, natomiast za optymalny uznaje się zakres 22-25°C. W okresie dojrzewania zapotrzebowanie na ciepło zmniejsza i optymalnie powinno wynosić 14-19°C, przy czym za minimum uznaje się temperaturę w zakresie 8-14°C (Gass i in. 1996). Nawracała (2001) wykazał, że od przebiegu temperatury w okresie tworzenia kwiatostanów zależała liczba kwiatów na roślinie i pędzie głównym, przy czym duże znaczenie miał też czynnik genetyczny. Najobfitszym kwitnieniem odznaczały się genotypy późne, wysokie i o dużej liczbie bocznych rozgałęzień.

Soja posiada silnie rozwinięty, palowy system korzeniowy, sięgający w głąb gleby nawet do głębokości 150 cm, choć większość masy korzeniowej rozwija się w warstwie ornej. Taka budowa korzenia korzystnie wpływa na strukturę fizykochemiczną gleby oraz umożliwia przemieszczanie składników pokarmowych z głębszych warstw gleby do warstwy ornej (Praczyk i in. 2017). W badaniach Jakubus i in. (2015) porównywano skład chemiczny soi uprawianej przez 12 lat w monokulturze i zmianowaniu oraz oceniano pozostawione stanowiska glebowe. Uprawa soi w zmianowaniu sprzyjała gromadzeniu w jej organach większej ilości makroskładników (N, P, K, Ca, S), a jednocześnie gleba spod soi uprawianej w takim systemie charakteryzowała się większą zawartością fosforu i potasu przyswajalnego dla roślin oraz węgla organicznego. Zawierała też więcej azotu mineralnego, dzięki obecności w korzeniach bakterii brodawkowych wiążących azot

atmosferyczny (Brzezińska i Mrozek-Niećko 2019). Ma to znaczenie plonotwórcze dla roślin bobowatych, ale także do upraw następczych.

Azot jest pierwiastkiem niezbędnym do wzrostu i funkcjonowania wszystkich organizmów roślinnych na Ziemi. Jest to pierwiastek bardzo aktywny, który w glebie ulega różnym przemianom i występuje w wielu formach chemicznych. Jednym z głównych procesów składających się na cykl azotu jest biologiczne wiązanie N atmosferycznego. Zdaniem Ishizuka (1992) proces ten dostarcza rocznie od około 100 do 172 mln ton tego pierwiastka. Wspomniany proces stanowi najprawdopodobniej największe źródło dostępnego azotu w biosferze (Martyniuk 2008). Bardzo ważną rolę w procesach związanych z przemianą azotu odgrywają mikroorganizmy. W rolnictwie największe znaczenie mają bakterie brodawkowe (potocznie tzw. rhizobia), które żyją w symbiozie z roślinami bobowatymi (Szukała 2012, Paśmionka 2017). Największym rezerwuarem azotu jest atmosfera, w której stężenie cząsteczek N₂ stanowi ok. 78% składu powietrza (niemal czterokrotnie więcej niż O₂). Jednak ze względu na potrójne wiązanie kowalencyjne, które łączy atomy azotu w cząsteczce jest on trudno przyswajalny przez organizmy żywe i dlatego wymaga redukcji do łatwo przyswajalnej formy amonowej lub azotanowej (Ishizuka 1992, Olejnik 2020, Rubiales i in. 2015, Mahmud i in. 2020). Biologiczne wiązanie azotu (BNF z ang. biological nitrogen fixation), będące procesem redukcji azotu cząsteczkowego (N₂) do amoniaku (NH₃), odpowiada za około dwie trzecie związanego azotu wytwarzanego na Ziemi (Mus i in. 2018). BNF jako proces przyjazny dla środowiska przyrodniczego stanowi podstawę rolnictwa zrównoważonego i ekologicznego (Hungria i in. 2005, Olivares i in. 2013, Olejnik 2020). Zdolność do BNF mają jedynie organizmy prokariotyczne, tj. bakterie i archeony (Martyniuk 2008, Mus i in. 2016, Stasiak i in. 2016, Olejnik 2020). Doskonale znane jest znaczenie symbiozy rhizobiów z korzeniami roślin bobowatych dla wzrostu i rozwoju roślin, ale także dla poprawy żyzności gleby. Wykorzystując to zjawisko możliwe jest ograniczenie stosowania azotu mineralnego, a tym samym zmniejszenie zanieczyszczenia gleb i wód oraz ochrona środowiska (Adesemoye i Kloepper 2009, Abdi i in. 2021). BNF dotyczy, między innymi, bakterii z rodzajów (Martyniuk 2008):

- *Azotobacter*, *Nostoc* – wolnożyjące asymilatory N₂, które występują w glebie i zbiornikach wodnych,
- *Azospirillum* – bakterie wiążące azot w asocjacji z korzeniami roślin, najważniejsze gatunki to *A. lipoferum* tworzący układ z roślinami C₄ (np. kukurydza) oraz *A. brasilense* – z roślinami trawiastymi C₃,

- *Azoarcus* – bakterie rozwijające się w wiązkach przewodzących niektórych roślin,
- *Frankia* – bakterie wiążące N₂ w układach symbiotycznych z olszą,
- *Rhizobium* – bakterie brodawkowe wiążące N₂ w ścisłych układach symbiotycznych z roślinami bobowatymi.

Układem symbiotycznym określa się proces, podczas którego następuje przekazywanie zredukowanego N do partnera roślinnego (Martyniuk 2008). Przykłady układów symbiotycznych z bakteriami brodawkowymi (*Rhizobium*) przedstawiono w Tabeli 6.

Tabela 6. Rodzaje oraz najważniejsze gatunki bakterii brodawkowych i rośliny, z którymi tworzą układy symbiotyczne (Martyniuk 2008)

Rodzaj/gatunek bakterii	Rodzaj rośliny - gospodarz
<i>Rhizobium</i>	
<i>R. leguminosarum:</i>	
- <i>biowar viciae</i>	<i>Pisum, Viciae, Lathyrus, Lens</i>
- <i>biowar trifolii</i>	<i>Trifolium</i>
- <i>biowar phaseoli</i>	<i>Phaseolus</i>
<i>Mesorhizobium</i>	
<i>M. loti</i>	<i>Lotus</i>
<i>Sinorhizobium</i>	
<i>S. meliolti</i>	<i>Medicago, Melilotus, Trigonella</i>
<i>Azorhizobium</i>	
<i>A. caulinodans</i>	<i>Sesbania</i>
<i>Bradyrhizobium</i>	
<i>B. japonicum</i>	<i>Glycine</i>
<i>Bradyrhizobium</i> sp.	<i>Lupinus</i>
<i>Allorhizobium</i>	
<i>A.unicola</i>	<i>Neptunia</i>

Bakterie brodawkowe tworzące układy symbiotyczne z krajowymi gatunkami roślin strączkowych występują w większości gleb naszego kraju. Nie stwierdza się natomiast na ogół obecności bakterii symbiotycznych soi (*Bradyrhizobium japonicum*), ze względu na obce pochodzenie tego gatunku i niewielką jak dotychczas uprawę w Polsce. Bakterie te występują tylko na stanowiskach, gdzie soja już wcześniej była uprawiana, a nasiona przedśiewnie zostały potraktowane szczepionką bakteryjną (Martyniuk 2012). Szczepienie nasion korzystnie wpływa na brodawkowanie, dzięki czemu soja może wiązać od 50 do 100 kg N·ha⁻¹ (Bezdiczek i in. 1978), co pozwala na pokrycie w około 50-70% zapotrzebowania na ten składnik pokarmowy (Salvagiotti i in. 2008, Ohyama i in.

2013). Także Jarecki i Bobrecka - Jamro (2016) wykazali istotny, dodatni wpływ szczepienia nasion soi nitraginą na liczbę i masę brodawek na korzeniu.

Występowanie bakterii brodawkowych w glebie uzależniona jest od szeregu czynników, takich jak: klimat, właściwości biologiczne i fizyko-chemiczne gleby, czynniki agrotechniczne, m.in. częstotliwość uprawy roślin bobowatych na danym polu, nawożenie NPK czy wapnowanie (Martyniuk 2019, Carranca 2013). Ważnym czynnikiem wpływającym na zawiązywanie brodawek korzeniowych jest pH gleby. Soja, podobnie jak bobik, groch oraz wyka wymaga gleby o odczynie zbliżonym do obojętnego. Zakwaszone gleby z uwagi na występujące duże stężenie jonów glinu, stwarzają niekorzystne środowisko do wzrostu korzeni i włośników oraz rozwoju bakterii brodawkowych (Księżak 2006). Potwierdzają to badania Martyniuka i in. (2005), którzy wykazali istotną zależność pomiędzy liczebnością bakterii brodawkowych, a odczynem gleby. Z kolei Martyniuk i Oroń (2007) dowiedli, że kwaśny odczyn gleby ograniczał występowanie w glebie bakterii z rodzaju *Azotobacter*.

Oddziaływanie niektórych zabiegów agrotechnicznych na brodawkowanie soi było przedmiotem badań Korsak - Adamowicz i in. (2007). Autorzy wykazali, że zmiana struktury gleby od spulchnionej do zagęszczonej (wałem Campbella i pierścieniowym) powodowała wzrost liczebności brodawek korzeniowych. Z kolei zintensyfikowanie technologii produkcji soi powodowało zmniejszenie liczby i masy brodawek korzeniowych, przy czym najbardziej ograniczające było nawożenie azotem mineralnym oraz zaprawianie nasion zaprawą fungicydową. Także Martyniuk i in. (2016) donoszą o niekorzystnym wpływie zaprawy przeciwgrzybiczej na tworzenie brodawek na korzeniach i niektóre parametry wzrostu soi (długość pędu, świeża masa), przy czym istotne znaczenie miał czas kontaktu zaprawy fungicydowej ze szczepionką bakteryjną. Autorzy wykazali, że zaprawa redukowała w sposób istotny liczebność bakterii symbiotycznych na nasionach soi przechowywanych przez 24 h w temperaturze pokojowej. Z kolei Fujikake i in. (2003) wykazali, że wysoka zawartość azotanów w środowisku glebowym hamowała rozwój brodawek korzeniowych. W badaniach przeprowadzonych przez Brzezińską i Mrozek - Niećko (2021) wykazano, że na żywotność bakterii symbiotycznych soi istotnie wpływało wysokie stężenie nawozów mikroelementowych, przy czym toksyczny dla bakterii, niezależnie od stężenia, okazał się mangan i miedź. Spadek liczby bakterii na nasionach zaobserwowano już po godzinie od zastosowania nawozu.

Znaczący wpływ na symbiozę roślin bobowatych i bakterii brodawkowych mają warunki pogodowe. Szczególnie niekorzystnie na ten proces wpływają susza i wysoka

temperatura, które powodują szybkie starzenie się i obumieranie brodawek soi (Bordeleau i Prévost 1994). Badania Korsak – Adamowicz i in. (2007) wykazały, że w latach, w których w okresie kwitnienia soi średnia dobową temperatura powietrza wynosiła w granicach 20°C i powyżej, a suma opadów była mniejsza niż 20 mm stwierdzono istotnie mniej brodawek niż w latach o większych opadach i niższej temperaturze.

Soja, podobnie jak inne gatunki z rodziny bobowatych, pobiera azot z: atmosfery, gleby oraz nawozów mineralnych (Wysokiński i in. 2013). Badania Rymuzy i in. (2020) dowodzą, że znaczący wpływ na ilość azotu pobranego z różnych źródeł miała odmiana soi oraz warunki pogodowe. Najmniej azotu w całej biomacie, resztkach poźniwnych oraz nasionach zakumulowała odmiana Merlin, w porównaniu do SG Anser oraz Abeliny. Głównym źródłem azotu dla badanych odmian była atmosfera (40,5%) oraz rezerwy glebowe (50,5%), a tylko 9,1% stanowił azot pobrany z nawozów mineralnych. Wykazano także, że więcej azotu soja pobrała w korzystnym pod względem termicznym i wilgotnościowym 2017 r., w porównaniu do znacznie cieplejszego i suchego 2018 r. Także w badaniach Jareckiego i Bobreckiej - Jamro (2016) plon nasion soi był w dużym stopniu uzależniony od sposobu zaopatrzenia roślin w azot oraz warunków pogodowych. Przy korzystnych warunkach wilgotnościowych wiosną istotnie większy plon nasion uzyskano po zastosowaniu wiosną dawki startowej N (25 kg ha⁻¹), niż po samym szczepieniu nasion nitraginą.

Azot, jako pierwiastek plonotwórczy ma ogromne znaczenie w produkcji roślinnej. Głowacka i Kasiczak (2019) wykazały, że przedsiewna dawka 30 kg N·ha⁻¹, istotnie zwiększyła plon nasion soi, ale największe plony uzyskano przy zastosowaniu 30 kg N·ha⁻¹ przedsiewnie i takiej samej dawki w fazie BBCH 73-75. Według Pyzika (1983) większe dawki azotu zwiększają plon nasion soi, jednak przedłużają okres wegetacji: 10 kg N·ha⁻¹ o ok. 1 dzień, a nawożenie powyżej 60 kg N·ha⁻¹ powoduje wyleganie i nierównomierne dojrzewanie roślin, a tym samym pogorszenie wartości technologicznej nasion. Bury i Nawracała (2004) wskazują, że w sytuacji słabego brodawkowania roślin, pomimo zastosowanej szczepionki, nawożenie mineralne przyczyniło się do wzrostu plonów. Także Luboiński i Markowicz (2017) wykazali zależność pomiędzy intensywnością brodawkowania, a zapotrzebowaniem soi na azot pochodzący z nawozów mineralnych. W warunkach słabego brodawkowania korzystniejsze okazało się zastosowanie dwóch dawek azotu (32 + 48 kg N·ha⁻¹) niż tylko jednej dawki startowej (32 kg N·ha⁻¹), natomiast przy intensywniejszym zawiązywaniu brodawek korzeniowych, symbioza w dużym stopniu pokryła zapotrzebowanie na azot, dlatego najbardziej korzystne było zastosowanie tylko

przedsiewnej dawki N ($32 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). Istotny wpływ dawki azotu na plonowanie soi wykazano także w badaniach Szostak i in. (2020). Największy plon nasion uzyskano przy zastosowaniu dawki N $60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ podzielonej na dwie części ($30 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ przedsiewnie i $30 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ w fazie BBCH 73-75), w porównaniu z dawką N $30 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ stosowaną niezależnie od terminu (przedsiewnie lub w fazie BBCH 73-75). Z kolei Bednarczyk i Pisarek (2018) określając wpływ różnych dawek azotu (0, 30 i $60 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) na plonowanie soi, jakość nasion (zawartość białka i tłuszczu) oraz aspekty ekonomiczne wykazały, że najbardziej optymalne było nawożenie azotem w ilości $30 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Białko stanowi podstawowy składnik nasion roślin bobowatych grubonasiennych. Soja oraz łubin żółty zawierają najwięcej białka (35–42%), natomiast najmniejszy udział tego składnika w nasionach (21–25%) charakteryzuje groch i fasolę. Soja zaliczana jest również do roślin oleistych, z uwagi na dużą zawartość tłuszczu w nasionach (18–22%). Dla porównania, w nasionach większości roślin bobowatych grubonasiennych zawartość tłuszczu waha się od 0,5 do 2% (Kapusta 2012). Spośród czynników agrotechnicznych nawożenie azotem ma największy wpływ na jakość nasion roślin strączkowych. Badania Jareckiego i Bobreckiej-Jamro (2015a) dowodzą, że azot zastosowany przedsiewnie w ilości $25 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ zwiększył w sposób istotny zawartość białka ogólnego w nasionach soi w porównaniu do obiektu kontrolnego, natomiast zastosowanie samej nitraginy wykazało jedynie tendencję wzrostową. Nie udowodniono natomiast istotnego wpływu nawożenia azotem oraz szczepienia nasion na zawartość tłuszczu surowego. Także Pisulewska i in. (1999) wykazali, że nawożenie azotem w dawce 30 i $60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ pozytywnie wpływało na plon nasion (wzrost odpowiednio o 8,5 i 24,0%), w porównaniu do obiektu kontrolnego ($0 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$), natomiast nie wpłynęły istotnie na procentową zawartość tłuszczu w nasionach. Oba parametry były również zależne od przebiegu warunków pogodowych w okresie wegetacji. Najwięcej tłuszczu w nasionach soja zgromadziła w suchym i ciepłym roku (suma opadów poniżej 520 mm, temperatura powietrza w czasie kwitnienia około 20°C), natomiast w roku, który charakteryzował się wyższą sumą opadów i niższą średnią temperaturą powietrza zawartość tłuszczu w nasionach była mniejsza. Także Czopek i Staniak (2018) wykazały wzrost zawartości tłuszczu (średnio o 5,7%) i spadek zawartości białka (średnio o 6,2%) w nasionach soi pod wpływem stresu suszy. Niewielki lub brak wpływu warunków pogodowych na jakość nasion soi wykazały natomiast Kołodziej i Pisulewska (2000). Z kolei odmienne wyniki przedstawili Michałek i Borowski (2006), w których wykazali, że pod wpływem okresowej suszy w nasionach siedmiu odmian soi zmniejszyła się zawartość tłuszczu (średnio o 13,8% w doświadczeniu wazonowym i o

4,8% w doświadczeniu polowym), a wzrosła zawartość białka ogólnego (średnio o 6,4%). Wpływ czynników: genetycznego i agrotechnicznych na wartość odżywczą dwóch odmian soi: Aldana i Merlin, był przedmiotem badań Biel i in. (2017). Stwierdzono, że genotyp istotnie wpłynął na skład chemiczny nasion badanych odmian (Aldana odznaczała się mniejszą zawartością tłuszczu surowego niż Merlin), przy czym wykazano także duży wpływ warunków pogodowych na tę cechę. Z kolei Jarecki i Bobrecka-Jamro (2021) wykazali istotny wpływ terminu siewu na plon i jakość nasion dwóch odmian soi: Abelina i Aligator. Wysiew w pierwszej dekadzie maja przyczynił się do istotnego wzrostu zawartości białka w nasionach, w porównaniu z wysiewem w drugiej dekadzie kwietnia. Nie wykazano natomiast istotnych różnic w zawartości białka i tłuszczu pomiędzy badanymi odmianami. Jarecki i Bobrecka-Jamro (2015) wykazali również zróżnicowanie odmianowe w zawartości tłuszczu w nasionach wczesnych odmian soi (Aldana charakteryzowała się większą zawartością tego składnika w porównaniu do Augusty).

Produktywność roślin w dużym stopniu uzależniona jest od zawartości barwników asymilacyjnych, które stanowią najistotniejszy wewnętrzny czynnik fotosyntetyczny (Nowak i Wróbel 2010). Barwniki chlorofilowe są wskaźnikami żywotności i odporności roślin na środowiskowe czynniki stresowe (Kozłowski i in. 2001). Najbardziej rozpowszechniony jest występujący u większości roślin chlorofil *a*. Z kolei chlorofil *b*, charakteryzujący rośliny wyższe, stanowi około 30% całkowitej ilości chlorofilu (Myśliwa-Kurdziel i Gabruk 2001). Cechy genetyczne roślin, związane z gatunkiem i odmianą, mają decydujący wpływ na zawartość chlorofilu w liściach, ale jego zawartość może być modyfikowana przez warunki siedliskowe i atmosferyczne, zwłaszcza opady (Rumasz-Rudnicka 2010). O redukcji zawartości chlorofilu pod wpływem stresu wodnego donosi Sarker i in. (1999). Zawartość chlorofilu w liściach jest ściśle powiązana z zawartością w nich azotu (Sandoval-Villa i in. 2002). Związek między zawartością chlorofilu a stężeniem azotu w liściach określa indeks zieloności liścia (SPAD). Metoda pomiaru SPAD opiera się na określeniu względnej ilości chlorofilu (*a* i *b*) poprzez pomiar światła transmitowanego przez liście o dwóch długościach fal 650 i 950 nm. Średnia z tych dwóch danych stanowi wartość SPAD. Pomiar indeksu SPAD jest szybką metodą do oceny stanu odżywienia roślin bez niszczenia ich tkanek i konieczności wykorzystywania dodatkowej aparatury i środków chemicznych do analiz (Machul 2001). Jest to metoda, która może być wykorzystana do ustalania dawek nawożenia azotem i prognozowaniu wysokości plonu (Fotyma 1997). Zdaniem Krivosudska i Filova (2013) pomiary te dają możliwość porównania reakcji odmian soi na wybrane czynniki agrotechniczne i

siedliskowe. Wiele badań wskazuje na zależność zawartości chlorofilu od fazy rozwojowej roślin. Według Nowak i Wróbla (2010) liście soi odznaczają się najwyższą zawartością chlorofilu w fazie wzrostu i rozwoju liści trójdzielnych oraz w fazie kwitnienia, a po tym okresie odnotowuje się zmniejszenie jego zawartości. O redukcji zawartości chlorofilu w trakcie starzenia się roślin soi donosi również Fu i in. (2000). Z kolei badania Jareckiego i Bobreckiej-Jamro (2015b) wykazały, że wartości wskaźnika SPAD odnotowane w fazie początku kwitnienia soi były niższe w porównaniu do pomiarów wykonanych w fazie rozwoju strąków. Krivosudska i Filova (2013) udowodniły, że stres wywołany wstrzymaniem podlewania roślin przez okres siedmiu dni w fazie kwitnienia wpłynął negatywnie m.in. na wartości indeksu SPAD trzech badanych odmian soi. Ponadto wykazano różnice genotypowe dotyczące zawartości azotu w liściach badanych odmian soi. Spadek zawartości chlorofilu w liściach soi pod wpływem stresu suszy (50% ppw) w porównaniu do obiektu kontrolnego (80% ppw) odnotowali także Chowdhury i in. (2017). Według Jareckiego i Bobreckiej-Jamro (2016), sposób zaopatrzenia roślin w azot istotnie różnicował wskaźnik SPAD u roślin soi. Zastosowanie nawożenia azotem oraz łączne zastosowanie nitraginy z dawką azotu zwiększyło w sposób istotny wartość wskaźnika SPAD w porównaniu do obiektu kontrolnego.

Jedną z metod umożliwiających ocenę stanu fizjologicznego roślin oraz wpływu różnych czynników stresowych na zdrowotność i witalność roślin jest pomiar fluorescencji chlorofilu (Sulkiewicz i Ciereszko 2016, Šestak i Šiffel 1997). Jak podają Baker i Rosenquist (2004) fluorescencja chlorofilu umożliwia określenie sprawności aparatu fotosyntetycznego oraz funkcjonowania fotosystemu II (PSII) w różnych warunkach środowiska. Jest ona pomocna w określeniu rodzaju stresora oraz umożliwia wczesne zdiagnozowanie jego wpływu, zanim na roślinie wystąpią wizualne objawy stresu. Badania fluorescencji chlorofilu wykonuje się za pomocą fluorymetrów. Są to przenośne urządzenia, dzięki którym możliwe jest wykonanie nieinwazyjnych i szybkich pomiarów bezpośrednio w naturalnym środowisku życia rośliny. Rejestrują one reemisję energii świetlnej zaabsorbowanej przez anteny energetyczne aparatu fotosyntetycznego. Dzięki tej metodzie możliwa jest ocena zmian parametrów fluorescencji chlorofilu *a* u wszystkich organizmów, które prowadzą fotosyntezę (Center i in. 2016). Murkowski (2002) technikę pomiaru fluorescencji chlorofilu ocenia jako precyzyjną i szybką metodę do oceny reakcji roślin na zakłócenia procesu fotosyntezy oraz ich zdolności do koordynacji i regulacji procesów życiowych w warunkach stresu. Parametrami wykorzystywanymi do pomiaru fluorescencji chlorofilu są: **PI** (*Performance Index*) - wskaźnik funkcjonowania

fotosystemu II (PSII) oraz Fv/Fm - wskaźnik maksymalnej wydajności kwantowej PSII (Strasser i in. 2000). Większość energii zaabsorbowanej przez rośliny wykorzystywana jest w procesie fotosyntezy, ale część jest tracona w wyniku promieniowania fluorescencyjnego. Wielkość fluorescencji jest odwrotnie proporcjonalna do intensywności fotosyntezy (Staniak i Baca 2018). Promieniowanie to emitowane jest wyłącznie ze zdrowych liści i pochodzi, przede wszystkim, z chlorofilu *a*, który w większości znajduje się w PSII, stanowiąc tym samym wskaźnik jego funkcjonowania (Kalaji i Łoboda 2010).

Według Araus i in. (1998) pomiar fluorescencji chlorofilu może być także przydatny w ocenie bilansu energetycznego i metabolicznego fotosyntezy, a także poziomu plonowania różnych gatunków roślin w warunkach niedoboru wody. Obok stresu suszy, rośliny narażone są również na stres świetlny. Wiąże się on ze zbyt dużą absorpcją energii promieniowania fotosyntetycznego (PAR) przez barwniki chlorofilowe, w stosunku do możliwości przetworzenia jej w procesie fotosyntezy na energię chemiczną (Murkowski 2005). Konsekwencją stresu świetlnego może być wystąpienie fotoinhibicji, czyli naruszenia funkcji fotosyntezy (Coleman i in. 1988). W warunkach naturalnych, wysoki poziom promieniowania zwykle występuje razem z podwyższoną temperaturą, konsekwencją czego jest na ogół występowanie deficytu wody. Prowadzi to do stałej fotoinhibicji, obniżającej wydajność fotosyntetyczną (Souza i in. 2004).

Fotosynteza to podstawowy proces biorący udział w wytwarzaniu plonu roślin. Fizjologiczna rola azotu w tym zakresie wiąże się z jego oddziaływaniem na przebieg i efektywność wspomnianego procesu (Wojcieszka 1994). Zarówno niedobór jak i nadmiar azotu może działać ograniczająco na wzrost roślin, syntezę chlorofilu i białek oraz produkcję suchej masy. Przebieg fotosyntezy ulega znacznym modyfikacjom pod wpływem azotu, co ma odzwierciedlenie w przyroście biomasy roślin. Wraz ze zwiększaniem ilości azotu w danym środowisku zmniejsza się produkcja fotosyntetyczna z jednostki powierzchni asymilacyjnej oraz efektywność zastosowanego azotu (Wojcieszka-Wyskupajtys 1996). W badaniach przeprowadzonych przez Wojcieszka (1993) wykazano, że soja silnie reagowała na zawartość azotu w pożywce (20, 60, 180 i 360 mg N na litr pożywki). Odnotowano, między innymi, wzrost produkcji suchej masy, zawartości chlorofilu oraz intensywności fotosyntezy pod wpływem koncentracji azotu do poziomu optymalnego (180 mg N l⁻¹), po czym następowało obniżenie wartości badanych parametrów (360 mg N l⁻¹). Zwiększone dawki azotu wpływają na wzrost aktywności fotosyntetycznej liści, co prowadzi do wzrostu powierzchni organów asymilujących oraz przedłużenie ich fizjologicznych funkcji. Jednak zbyt duża powierzchnia asymilacyjna liści

proceeds to their mutual shading and the dominance of respiration processes over photosynthesis, and as a consequence to a decline in yield (Wojcieszka 1993, Wojcieszka-Wyskupajtyś 1996). As Kalaji et al. (2014) state based on chlorophyll fluorescence studies, a dysfunction of the photosynthetic apparatus, through a reduction in photochemical efficiency of PSII, also occurs as a result of a deficiency of other elements, such as: P, K, Ca, Mg, S and Fe.

The course of physiological processes occurring in a plant can be distinguished by a high variability depending on the genotype (Shangguan et al. 2000). As Wojcieszka (1996), despite the fact that the photosynthesis process can undergo modifications under the influence of nutrition in feed ingredients, it is a genetically determined trait of the species and a variety of plants. Also Björkman and Demming (1987) showed that chlorophyll fluorescence is a measure of the efficiency of the photosynthetic apparatus, dependent to a greater extent on the genotype than on environmental factors.

The dynamics of growth and biomass accumulation can be determined using the leaf area index (LAI - Leaf Area Index). It represents the multiple of leaf surface area in relation to the surface area occupied by the plants. Identical leaf surface area can produce different biomass, which is dependent on the intensity of photosynthesis (Starck 1998). According to Tagliapietra et al. (2018), leaf surface area is a limiting factor for yields and depends on abiotic factors (solar radiation and temperature) and biotic factors (pests and diseases). According to Wojcieszka-Wyskupajtyś (1996) the intensity of photosynthesis is not only dependent on leaf surface area, but also on the angle of leaf orientation. The denser the canopy, the greater the radiation loss in deeper layers of the canopy. Tagliapietra et al. (2018) stated that the determination of optimal LAI values for a given species should be adapted to the genetic characteristics of the current varieties. In turn, Kross et al. (2015) state that the achievement of maximum yield of soybeans is possible at LAI values of at least 3.5 - 4.0 from the beginning of flowering to the start of growth of the seeds.

The leaf area index is defined as the ratio of the total leaf surface area to the ground surface area above which the leaves are located (number of m^2 leaves per $1 m^2$ of ground). The optical sensor determines the intensity of radiation under different viewing angles simultaneously, which enables the calculation of the leaf surface area and the estimation of the average leaf inclination angle (Kałuża, Strzebiński 2009). Jarecki and Bobrecka - Jamro (2016) stated that the application of nitrogen fertilizer together with the starting dose of nitrogen ($25 kg N \cdot ha^{-1}$) influenced the significant increase in the LAI of soybeans. In turn,

badaniach Prusińskiego i in. (2008) nie wykazano addytywnego oddziaływania dawek azotu (0, 30, 60 i 90 kg N·ha⁻¹) zastosowanych przedsięwzię i dolistnie na wartość indeksu LAI w bobiku. Stwierdzono także, że wysokie wartości tego wskaźnika mierzone na zakończenie fazy kwitnienia nie stanowiły odzwierciedlenia wysokości końcowego plonu biomasy bobiku oraz udziału w nim plonu nasion.

Czułymi wskaźnikami stanowiącymi o właściwościach gleby, a tym samym o jej żyzności i urodzajności jest różnorodność mikrobiologiczna, liczebność mikroorganizmów oraz ich aktywność enzymatyczna. Do oznaczania aktywności oraz różnorodności mikroorganizmów glebowych wykorzystuje się metody bezpośrednie (ogólna liczba mikroorganizmów) oraz pośrednie (uwalniany CO₂, aktywność enzymów). Enzymy glebowe biorą udział w metabolizmie oraz są katalizatorami procesów przetwarzania materii i energii zachodzących w glebie. Dzięki badaniu aktywności mikroorganizmów w danym zbiorowisku możliwe jest poznanie ekologii drobnoustrojów w biocenozach. Ze względu na to, że na mikroorganizmy oddziałuje szereg biotycznych i abiotycznych czynników, ich aktywność powinna być analizowana również pod kątem warunków danego środowiska. Jakikolwiek zmiany właściwości gleby mogą być przyczyną zmiany ich aktywności, liczebności, składu gatunkowego oraz bioróżnorodności w glebie (Gałązka i in. 2016).

Wskaźniki mikrobiologiczne są bardziej czułe i w lepszym stopniu odzwierciedlają stan gleby niż właściwości fizyko-chemiczne (Natywa i in. 2014). Według Bielińskiej i Mocek (2003) na liczebność drobnoustrojów w glebie oraz ich aktywność enzymatyczną wpływają, m.in. pH gleby oraz zawartość materii organicznej, a te właściwości gleby kształtowane są z kolei przez różne czynniki agrotechniczne, takie jak dawka i rodzaj stosowanego nawozu. Jak donoszą Vetanovotz i Peterson (1992) nawożenie azotem mineralnym przyczynia się do wzrostu w glebie populacji grzybów, bakterii oraz promieniowców, przy czym zbyt duże dawki tego nawozu powodują nagromadzenie się w glebie trującego dla roślin amoniaku, a także ograniczają rozwój pewnych grup mikroorganizmów i obniżają pH gleby. Także Barabasz i in. (2002) wykazali, że nieracjonalne nawożenie azotem może powodować powstawanie toksycznych związków (nitrozoamin), które niekorzystnie wpływają na rozwój pożytecznych mikroorganizmów. Według Kucharskiego i in. (1996) ilość drobnoustrojów glebowych może być modyfikowana zarówno terminem nawożenia jak i formą azotu. Zdaniem Geissler i Scow (2014) stosowanie mocznika może przejściowo zwiększyć pH i stężenie amoniaku do poziomu hamującego rozwój drobnoustrojów glebowych. Ponadto długoterminowe

stosowanie azotu mineralnego może zmieniać skład gatunkowy mikroorganizmów glebowych, nawet przy niewielkich zmianach odczynu gleby. Jednak reakcje danej grupy mikroorganizmów są różne i w dużym stopniu zależą od czynników środowiskowych oraz systemu uprawy.

Aktywność enzymatyczna gleby zależy od jej wilgotności, dostępu tlenu, zawartości węgla organicznego i azotu, odczynu, koncentracji metali ciężkich oraz zabiegów agrotechnicznych (Krzywy i in. 2006). Enzymy glebowe stanowią biologiczny wskaźnik stanu środowiska glebowego. Są one wydzielane do gleby zarówno przez mikroorganizmy, jak i rośliny oraz faunę glebową. Ich białkowy charakter sprawia, że odznaczają się szybką i wyraźną reakcją na różne czynniki środowiskowe. Aktywność enzymatyczna ściśle wiąże się procesem przemian węgla, azotu, fosforu i siarki, w związku z czym jest ważnym wskaźnikiem diagnozującym produktywność i żyzność gleby oraz kierunek i szybkość przemian związków organicznych. Ocena stanu biologicznego środowiska glebowego opiera się na ogólnych parametrach biochemicznych, do których należy, m.in. aktywność dehydrogenaz glebowych oraz parametrów specyficznych, takich jak aktywność enzymów hydrolitycznych, do których należą m.in. fosfatazy (Piotrowska 2011). Dehydrogenazy są enzymami z grupy oksydoreduktaz, które katalizują utlenianie substancji organicznych, z kolei fosfatazy katalizują hydrolizę estrów i bezwodników kwasu ortofosforowego (Piotrowska-Cyplik i in. 2007). Ich rolą jest regulacja przemian organicznych związków fosforu w nieorganiczne fosforany, które są bezpośrednio dostępne dla roślin i organizmów glebowych. Najbardziej rozpowszechnione w świecie roślinnym i zwierzęcym są: fosfataza kwaśna (optymalne pH 4-6) i fosfataza alkaliczna (optymalne pH 8-10) (Bielińska 2005). Dzięki określeniu aktywności dehydrogenaz możliwe jest uzyskanie informacji o poziomie aktywności biologicznej gleby, wielkości populacji drobnoustrojów glebowych oraz szybkości zachodzenia procesów oksydacyjnych substancji organicznej w glebie. Natomiast aktywność enzymów z grupy fosfataz jest bardzo istotna w przemianach fosforu glebowego (Gajda i in. 2010).

3. METODYKA BADAŃ

3.1. Doświadczenie polowe

3.1.1. Charakterystyka warunków prowadzenia doświadczenia

Badania przeprowadzono w oparciu o doświadczenie polowe, realizowane w latach 2017-2019, na Polu Doświadczalno-Wdrożeniowym należącym do Lubelskiego Ośrodka

Doradztwa Rolniczego w Końskowoli, zlokalizowanym w Pożogu II (woj. lubelskie, powiat puławski). Doświadczenie założono na glebie płowej, wytworzonej z lessu kl. IIIa, kompleksu pszennego dobrego. Odczyn gleby zawierał się w przedziale pH_{KCl} 6,9 – 7,4. Zawartość przyswajalnych form makroskładników mieściła się w zakresie ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ gleby): P – 9,0-19,2; K – 8,6-18,7; Mg – 10,3-11,5. Zawartość węgla organicznego wynosiła 0,96-0,97%.

Dwuczynnikowe doświadczenie polowe założono w układzie losowanych podbloków (split-plot), w 4 powtórzeniach. Powierzchnia poletka wynosiła 30 m^2 . Pierwszy czynnik badawczy stanowiła dawka azotu ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$): 0 (N0), 30 (N30), 60 (N60), zaś drugi – odmiana soi zwyczajnej (*Glicynie max* (L.) Merrill): Abelina, Sculptor, Coraline, Malaga, Petrina. W pierwszym roku badań (2017) zastosowano tylko 2 dawki azotu N30 i N60. Charakterystykę odmian soi zamieszczono w Tabeli 7, widok poletek doświadczalnych i ogólny widok eksperymentu przedstawiono na fotografiach 1 i 2.

Tabela 7. Charakterystyka odmian soi (COBORU 2024, CCA 2024)

Odmiana	Hodowca	Rok wpisania do Krajowego Rejestru	Cechy odmiany
Abelina	Saatbau Polska sp. z o.o.	2016	średniowczesna
Sculptor	Saaten-Union Polska sp. z o.o.	2017 (skreślona 27.06.2024)*	średniowczesna
Coraline	Saaten-Union Polska sp. z o.o.	2018	bardzo późna
Malaga	Saatbau Polska sp. z o.o.	CCA**	bardzo późna
Petrina	DANKO Hodowla Roślin sp. z o.o.	2017	bardzo późna

* na wniosek zachowującego odmianę

**odmiana ze Wspólnotowego Katalogu Odmian Roślin Rolniczych CCA



Fot. 1. Przykładowy widok poletka z odmianą średniowczesną Sculpator (po lewo) i bardzo późną Maląga (po prawo) [zdzj. E. Baca]



Fot. 2. Ogólny widok doświadczenia [zdzj. E. Baca]

Przedplonem dla soi w 2017 i 2019 r. był jęczmień jary, a w 2018 r. kukurydza. Nawożenie przedsięwne fosforem i potasem wykonano w formie YaraMila corn (7% N, 20% P₂O₅, 28% K₂O) w dawce 200 kg·ha⁻¹, co odpowiadało następującym ilościom w przeliczeniu na czysty składnik (kg ha⁻¹): N - 14,0, P – 17,4, K – 46,5. Nawożenie azotem

wykonano w formie saletry amonowej (34,4% N) w dawce $87 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (przedsięwzięcie) oraz $174 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (50% przedsięwzięcie + 50% pogłównie w fazie BBCH 61), co odpowiadało ilości N dla poszczególnych obiektów, odpowiednio 30 i 60 kg ha^{-1} . Azot zastosowany przedsięwzięcie został wysiany za pomocą tarczowego rozsiewacza nawozów (SIPMA) i wymieszany z glebą za pomocą biernego agregatu uprawowego na głębokość 5 cm , natomiast pogłównie został wysiany rzutowo (ręcznie) na wybranych poletkach zgodnie ze schematem doświadczenia. Na obiekcie kontrolnym azotu nie wysiewano. Nasiona soi przed siewem zostały potraktowane zaprawą nasienną T 75 DS/WS (tiuram) oraz zaszczerpione preparatem zawierającym bakterie symbiotyczne z rodzaju *Bradyrhizobium japonicum* (Nitragina – $200 \text{ g}\cdot 100 \text{ kg}^{-1}$ nasion) i wysiane siewnikiem (Poznaniak) o szerokości roboczej 3 m z redlicami stopkowymi, na głębokość 4 cm , w rozstawie 25 cm , w optymalnym terminie. W 2019 r. wystąpiły nawalne deszcze po siewie, które spowodowały zaskorupienie gleby i problemy ze wschodami soi. Ponadto wystąpił problem związany z żerowaniem ptactwa, które dodatkowo uszkodziło osłabione rośliny (Fot. 3 i 4). W następstwie tych czynników konieczne było przesiewanie doświadczenia.



Fot. 3. Stan doświadczenia po nawalnych deszczach na dzień 28.05.2019 [zdj. E. Baca]



Fot. 4. Uszkodzone przez ptactwo siewki soi [zdj. E. Baca]

Soję wysiewano w ilości 70 szt. nasion na 1 m^2 . Rzeczywiste ilości wysiewu nasion dla poszczególnych odmian w kolejnych latach prowadzenia doświadczenia przedstawia Tabela 7. Szczegółowy opis zbiegów uprawowych i pielęgnacyjnych wykonanych w latach

badania oraz terminy siewu i zbioru soi przedstawiono w Tabeli 8, natomiast zastosowane herbicydy scharakteryzowano w Tabeli 9.

Tabela 7. MTN oraz rzeczywista ilość wysiewu nasion poszczególnych odmian soi w latach prowadzenia doświadczeń

Odmiana	MTN (g)	Ilość wysiewu (kg·ha ⁻¹)	MTN (g)	Ilość wysiewu (kg·ha ⁻¹)	MTN(g)	Ilość wysiewu (kg·ha ⁻¹)
	2017		2018		2019	
Abelina	186	139	171	117	193	128
Sculptor	216	143	198	136	222	147
Coraline	187	141	151	104	178	136
Malaga	208	159	225	154	244	184
Petrina	191	127	166	130	226	168

Tabela 8. Rodzaj i terminy wykonanych zabiegów uprawowych i pielęgnacyjnych

Wykonane zabiegi	Termin wykonania zabiegu		
	2017	2018	2019
Uprawa późniwa zestawem KBT brona talerzowa + wał strunowy	8.08.2016	14.08.2017	6.08.2018
Wysiew nawozów fosforowo – potasowych	18.11.2016	6.11.2017	8.11.2018
Orka zimowa pługiem zagonowym na głębokość 25 cm	18.11.2016	8.11.2017	8.11.2018
Bronowanie pola broną ciężką	16.03.2017	02.04.2018	21.03.2019
Wysiew azotu przedsiewnie	24.04.2017	7.05.2018	30.05.2019
Uprawa pola zestawem uprawowym biernym	24.04.2017	7.05.2018	30.05.2019
Wysiew nasion soi siewnikiem zbożowym Poznaniak (3m)	11.05.2017	9.05.2018	31.05.2019
Oprysk doświadczenia herbicydem	SL – 11.05.2017	*C+D – 1.06.2018, FF - 11.06.2018	SL – 31.05.2019, FF – 14.06.2021, C+D – 21.06.2021
Wysiew nawozu azotowego pogłównie (w fazie BBCH 61)	6.07.2017	22.06.2018	09.07.2019

Zbiór roślin soi do omłotu	Abelina, Sculptor, Coraline – 13.09.2017 Malaga, Petrina – 22.09.2017	Abelina – 11.09.2018, Sculptor – 20.09.2018, Coraline, Petrina – 1.10.2018, Malaga – 28.09.2018	Abelina, Sculptor – 25.09.2019, Coraline, Petrina – 8.10.2019, Malaga – 3.10.2019
----------------------------	---	---	--

*C+D - Corum 502,4 SL + Dash HC, FF - Fusilade Forete 150 EC, SL – Sencor Liquid 600 SC

Tabela 9. Ochrona herbicydowa soi w latach prowadzenia doświadczenia

Rok	Substancja czynna	Nazwa handlowa herbicydu	Zastosowana dawka ($l \cdot ha^{-1}$)	Faza rozwojowa soi (BBCH)
2017	metrybuzyna	Sencor Liquid 600 SC	0,55	BBCH 00
2018	fluazyfop-P butylu	Fusilade Forte 150 EC	1,0	BBCH 11
2019	metrybuzyna	Sencor Liquid 600 SC	0,55	BBCH 00
	fluazyfop-P butylu	Fusilade Forte 150 EC	1,0	BBCH 11
	bentazon + imazamoks	Corum 502,4 SL + Dash HC (adiuwant)	0,625 + 0,6	BBCH 14

Warunki meteorologiczne

Warunki pogodowe dla miejscowości Końskowola podano na podstawie pomiarów Stacji Meteorologicznej zlokalizowanej na terenie IUNG-PIB w Puławach, oddalonej o 9,6 km (Tabela 10 i 11).

Tabela 10. Średnia miesięczna temperatura powietrza w okresach wegetacyjnych 2017-2019 z uwzględnieniem wielolecia

Lata badań	Miesiące					
	IV	V	VI	VII	VIII	IX
2017	7,9	14,5	18,7	18,7	19,8	14,1
2018	14,0	17,8	19,2	20,8	20,8	15,8
2019	10,3	13,6	22,5	19,1	20,4	14,6
Wielolecie (1871-2000)	7,8	13,5	16,8	18,5	17,4	13,3

Tabela 11. Sumy miesięcznych opadów atmosferycznych w okresach wegetacyjnych 2017-2019 z uwzględnieniem wielolecia

Lata badań	Miesiące						Suma IV-V
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
2017	58	32	34	137	73	101	435
2018	32	55	34	112	26	44	303
2019	39	61	33	65	86	53	337
Wielolecie (1871-2000)	40	57	70	84	75	51	377

Przebieg warunków pogodowych w latach 2017-2019 był zróżnicowany. Porównując warunki termiczne stwierdzono, że lata te były wyjątkowo ciepłe, a średnia miesięczna temperatura powietrza w okresie wegetacyjnym, we wszystkich miesiącach i latach badań była wyższa w porównaniu ze średnimi z wielolecia (Tabela 8). W sezonie wegetacyjnym 2017 r. szczególnie ciepłe były czerwiec i sierpień (temperatura wyższa odpowiednio o 1,9 i 2,4°C), w 2018 r. – kwiecień, maj i sierpień (temperatura wyższa odpowiednio o 6,2, 4,3 i 3,4°C), zaś w trzecim roku (2019 r.) – czerwiec i sierpień (temperatura wyższa odpowiednio o 5,7 i 3,0°C) w porównaniu do średnich z wielolecia.

Suma opadów w trakcie okresu wegetacyjnego była najniższa w 2018 r. (303 mm), a najwyższa w 2017 r. (435 mm). Niedoborowy pod względem opadów był rok 2018 (o 20%) oraz 2019 (o 11%), w porównaniu do sumy opadów z okresów wielolecia (Tabela 9). W 2017 roku największe opady deszczu odnotowano w kwietniu, lipcu oraz wrześniu i w odniesieniu do średniej sumy z wielolecia były one większe odpowiednio o 45, 63 i 98%. Intensywne opady występujące w lipcu powodowały wyleganie roślin, natomiast wrześniowa deszczowa aura utrudniała zbiory soi. Największe niedobory opadów deszczu, w porównaniu do notowań przeciętnych, zanotowano w maju i czerwcu (odpowiednio o 44 i 51%). W sierpniu suma opadów była zbliżona do średniej z wielolecia. W sezonie wegetacyjnym 2018 r. zanotowano znaczne niedobory opadów deszczu. W kwietniu, czerwcu, sierpniu i wrześniu sumy miesięcznych opadów były niższe w porównaniu ze średnią z wielolecia odpowiednio o 20, 51, 65 i 14%. W maju ilość opadów była zbliżona do sumy z wielolecia, a jedynie w lipcu zanotowano opady wyższe od przeciętnych (o 33%). W trzecim roku badań (2019) największe niedobory opadów deszczu zanotowano w czerwcu i lipcu (odpowiednio o 53 i 23%), a z kolei sierpień charakteryzował się większą ilością opadów w porównaniu do sumy z wielolecia (o 15%). W kwietniu, maju i wrześniu ilość opadów była zbliżona do notowań przeciętnych.

Warunki hydrotermiczne z trzech analizowanych okresów wegetacyjnych zostały opisane przy wykorzystaniu wskaźnika hydrotermicznego Sielanianowa (cyt. za Skowerą 2014), określanym również jako współczynnik zabezpieczenia w wodę lub umownym bilansem wilgoci (Radomski 1977, Podleśny 2009). Wskaźnik (k) jest stosunkiem sumy opadów atmosferycznych do sumy średnich dobowych temperatur powietrza w danym okresie:

$$k = \frac{10 \cdot P}{\Sigma t}$$

gdzie:

P - suma miesięczna opadów atmosferycznych (mm),

Σt - suma średnich dobowych temperatur w danym miesiącu > 0 °C.

Przedziały wartości wskaźnika hydrotermicznego oraz jego interpretacja zostały określone w zależności od wartości k:

- skrajnie suchy – $k \leq 0,4$;
- bardzo suchy – $0,4 < k \leq 0,7$;
- suchy – $0,7 < k \leq 1,0$;
- dość suchy – $1,0 < k \leq 1,3$;
- optymalny – $1,3 < k \leq 1,6$;
- umiarkowanie wilgotny – $1,6 < k \leq 2,0$;
- wilgotny – $2,0 < k \leq 2,5$;
- bardzo wilgotny – $2,5 < k \leq 3,0$;
- skrajnie wilgotny – $k > 3,0$.

Uzyskane dane meteorologiczne pozwoliły określić charakterystykę wilgotnościową poszczególnych miesięcy okresów wegetacyjnych w latach prowadzenia doświadczeń (Tabela 12).

Tabela 12. Charakterystyka trzech okresów wegetacyjnych na podstawie wskaźnika hydrotermicznego Sielanianowa (k)

Miesiąc	Lata badań					
	k	2017	k	2018	k	2019
kwiecień	2,62	bardzo wilgotny	0,71	suchy	1,30	dość suchy
maj	1,05	dość suchy	1,08	dość suchy	1,60	optymalny
czerwiec	0,62	bardzo suchy	0,65	bardzo suchy	0,54	bardzo suchy
lipiec	2,5	wilgotny	1,87	umiarkowanie wilgotny	1,17	dość suchy
sierpień	1,23	dość suchy	0,43	bardzo suchy	1,49	optymalny
wrzesień	2,48	wilgotny	1,03	dość suchy	1,33	optymalny

3.1.2. Metody pomiarów i analiz laboratoryjnych

Badania fizjologiczne

W trakcie sezonu wegetacyjnego przeprowadzono obserwacje faz rozwojowych soi wg Adamczewskiego i Matysiak (2011). W wybranych fazach rozwojowych (Tabela 13) wykonywano pomiary wskaźników: fluorescencji chlorofilu (Fv/Fm, PI), pokrycia powierzchni gleby liśćmi (LAI) oraz indeksu zieloności liścia (SPAD). Pomiary wykonywane były u wszystkich badanych odmian soi.

Tabela 13. Fazy rozwojowe soi, w których wykonywano pomiary wskaźników wraz z datami przeprowadzonych pomiarów

Faza BBCH		Data przeprowadzonych pomiarów		
		2017	2018	2019
61	Początek fazy kwitnienia	5 VII	27 VI	5 VII
65	Pełnia fazy kwitnienia	18 VII	10 VII	19 VII
70	Pierwszy strąk osiągnął typową długość (15-20 mm)	10 VIII	8 VIII	2 VIII
77	Wypełnianie strąków (około 70% strąków osiągnęło typową długość (15-20 mm))	29 VIII	20 VIII	20 VIII

Pomiary bezpośredniej fluorescencji chlorofilu *a* wykonane zostały metodą bezinwazyjną (*in vivo*) za pomocą fluorymetru PocketPEA (Hansatech Instruments – WB). Oceniano dwa wskaźniki: Fv/Fm (maksymalna wydajność kwantowa fotosystemu II) i PI (wskaźnik funkcjonowania fotosystemu II). Wskaźniki fluorescencji chlorofilu wykorzystane zostały do określenia sprawności aparatu fotosyntetycznego oraz oceny stanu fizjologicznego roślin. Pomiary przeprowadzane były po 20 minutowej adaptacji liścia w ciemności, w 10 powtórzeniach na każdym poletku.

Pomiary wskaźnika pokrycia liśćmi, indeks LAI (Leaf area index) wykonano za pomocą urządzenia LAI-2000 Plant Canopy Analyzer (LI-COR). Wskaźnik pokrycia liściowego określa sumaryczny stosunek jednostronnej powierzchni wszystkich liści do powierzchni podłoża, nad którą się znajdują (liczba m² liści przypadających na 1 m² powierzchni). Pomiary przeprowadzane zostały w 3 powtórzeniach na każdym poletku.

Pomiary indeksu zieloności liścia (SPAD) wykonano przy wykorzystaniu chlorofilometru SPAD – 502 (Minolta). Zasadą działania aparatu jest pomiar transmisji wiązek światła czerwonego (650 nm) i podczerwonego (950 nm) przechodzących przez

liść, z których chlorofil znajdujący się w liściach absorbuje tylko światło czerwone. Przyrząd mierzy różnice pomiędzy absorpcją światła przez liść przy tych dwóch długościach fali, a iloraz tych różnic jest indeksem zieloności liścia, albo względnej zawartości chlorofilu. Otrzymany wynik podany jest w postaci cyfrowej, w tzw. jednostkach SPAD (Soil and Plant Analysis Development) w zakresie od 0 do 800. Wartość odczytanego wyniku jest proporcjonalna do zawartości chlorofilu w badanym obszarze liścia (6 mm²). Względna zawartość chlorofilu ($a+b$) w blaszkach liściowych przyjęta została, jako wskaźnik żywotności roślin. Pomiaru wykonywane były w 30 powtórzeniach na każdym poletku.

Badania struktury roślin i plonu

Przed zbiorem, z każdego poletka pobrano losowo po 10 roślin, w celu określenia cech biometrycznych roślin, które obejmowały:

- wysokość rośliny (cm),
- wysokość osadzenia najniższego strąka (cm),
- liczbę strąków na roślinę (szt.),
- liczbę nasion na roślinę (szt.),
- masę nasion na roślinę (g),
- masę strąków na roślinę (g),
- MTN (g).

Plon nasion (t·ha⁻¹) określono w fazie dojrzałości pełnej, przy 14% wilgotności nasion.

Ocena właściwości mikrobiologicznych gleby

W latach 2018 - 2019 wykonano analizy mikrobiologiczne gleby w Zakładzie Mikrobiologii Rolniczej IUNG-PIB w Puławach. Obejmowała ona ocenę wolnożyjących asymilatorów azotu w glebie *Azotobacter* (2019 r.) oraz ocenę aktywności enzymatycznej gleby na podstawie aktywności dehydrogenaz oraz fosfataz (kwaśnej i zasadowej) (2018 r. i 2019 r.). Próbkę gleby zostały pobrane w fazie kwitnienia soi (BBCH 65), w trzech powtórzeniach z warstwy 0-20 cm, a następnie przesiane przez sito 2 mm i przetrzymywane w lodówce (4 °C) do czasu wykonania analizy. Z każdej próbki glebowej, zachowując warunki sterylności, pobrano 10 g naważki, którą przeniesiono do sterylnej butelki zawierającej 90 cm³ soli fizjologicznej. Tak przygotowany materiał wytrząsano na wytrząsarce przez 20 minut. Zawiesinę pozostawiano do czasu aż grubsze cząstki gleby

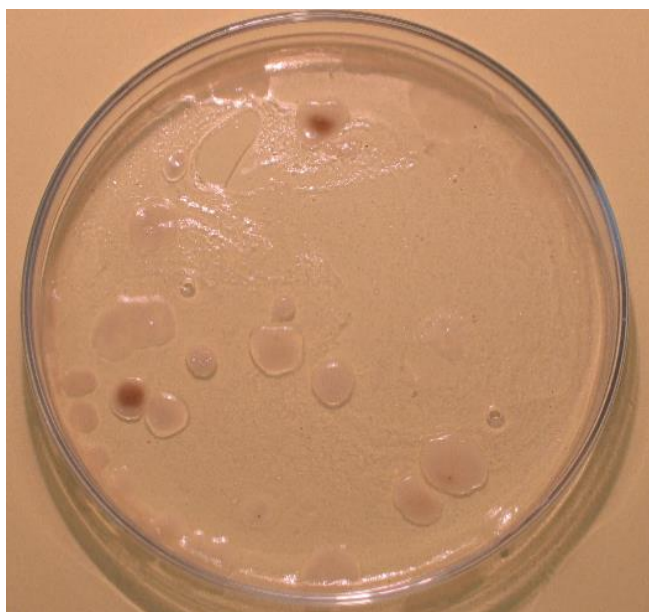
opadły i z płynu znad osadu sporządzono serię 10 - krotnych rozcieńczeń w celu wykonania posiewów na płytki Petriego.

Oznaczanie ogólnej liczebności wolnożyjących asymilatorów azotu *Azotobacter* spp.

Ogólną liczebność *Azotobacter* spp. oznaczono metodą płytek zalewanych na pożywce agarowej według Fenglerowej, (1965) (Tabela 13, Fot. 5). Podłoże sterylizowano w temperaturze 117°C przez 20 minut. Na płytkę wysiewano po 1 cm³ rozcieńczenia glebowego 10⁻¹ – 10⁻² i zalewano 5 cm³ pożywki. Płytki inkubowano w temperaturze 28°C przez 3 – 5 dni.

Tabela 13. Skład pożywki wg. Fenglerowej

Pożywka wg. Fenglerowej	
K ₂ HPO ₄	0,5g
MgSO ₄	0,2g
NaCl	5,0g
CaCO ₃	5,0g
sacharoza	10g
MnSO ₄	ślady
FeSO ₄	ślady
molibdenian sodu	ślady
agar	12g
woda destylowana	1000 cm ³
pH	6,9 – 7,1



Fot. 5 Ogólna liczebność *Azotobacter* spp.

Oznaczenia aktywności enzymatycznej dehydrogenaz

Aktywności dehydrogenazy w glebie oznaczono wg metodyki opisywanej przez Casidę i in. (1964). Metoda polega na działaniu chlorku 2, 3, 5-tryfenylotetrazolu (TTC), jako sztucznego akceptora wodoru i elektronów. Wodny roztwór tego związku jest bezbarwny, po przyłączeniu H_2 i elektronów do dehydrogenaz TTC redukuje się do czerwonego tryfenylofurazonu (TF). Intensywność barwy roztworu, w którym zaszła reakcja jest miarą aktywności dehydrogenaz bakterii. Na podstawie ekstynkcji odczytuje się ilość TF w mg z krzywej wzorcowej. Za aktywność jednostkową należy przyjąć powstanie w warunkach testu 1 mg TF mg^{-1} białka.

Do próbek płaskodennych odważano 6 g świeżej przesianej gleby. Następnie dodano 60 mg $CaCO_3$ oraz 1 cm^3 3% roztworu TTC (za każdym razem świeżo przygotowywany; przy glebach o dużej ilości koloidów używa się 6% TTC) oraz 2,5 cm^3 wody destylowanej. Próbkę mieszano, zakorkowywano i wstawiano do termostatu w temperaturze 37°C na 24 godziny. Po inkubacji glebę ekstrahowano alkoholem etylowym aż do wybarwienia różowo – czerwonej barwy. Do próbek wlewano 25 cm^3 alkoholu, intensywnie wstrząsano i pozostawiano na 30 minut (czynność powtarzano 3 - krotnie). Następnie alkohol sączono na sączku (średnica 3 mm). Do każdej serii oznaczeń stosowano próbkę kontrolną bez gleby. Przepuszczalność mierzono przy długości fali 485 nm (T - transmisja) wobec próby kontrolnej na spektrofotometrze typu SPEKOL 11 (Carl Zeiss, Jena).

Oznaczenia aktywności dehydrogenazy dla każdej próbki przeprowadzano w trzech powtórzeniach a wyniki wyrażano jako średnią arytmetyczną.

Oznaczanie aktywności enzymatycznej fosfatazy zasadowej i kwaśnej

Aktywności fosfataz w glebie (zasadowej pH = 11,0; kwaśnej pH = 6,5) oznaczono metodą kolorymetryczną według Tabatabai i Bremner (1969). Pomiar uwolnionego p-nitrofenolu mierzono w czasie hydrolitycznego rozkładu katalizowanego przez fosfatazę zasadową (pH = 11,0) lub kwaśną (pH = 6,5) soli disodowej p-nitrofenylofosforanu. Za jednostkę aktywności przyjęto taką aktywność, która powoduje utlenienie p-nitrofenolu o stężeniu 1 mol/mg białka.

Odczynniki:

1. Zmodyfikowany uniwersalny bufor pH = 6,5 lub 11 opisany przez Skujinsa i in. (Tabela 14). Pobierano jednorazowo 20 cm^3 roztworu do kolbki na 100 cm^3 doprowadzono pH

do 6,5 lub 11,0 dodając 10 cm³ 0,1 N HCl lub 0,1N NaOH. Dopelniano do 100 cm³ wodą destylowaną.

Tabela 14. Skład buforu Skujinsa

Bufor Skujinsa	
TRIS –	3,025g
trójhydroksymetyloaminometan	2,900g
kwasy maleinowy	3,500g
cytrynowy	1,570g
borowy	122 cm ³
1N NaOH	
uzupełnić wodą destylowaną do pojemności 250 cm ³ ; przechowywać w lodówce	

- 0,115 M roztwór PNP (4 – nitrofenylofosforan sodowy) - 1,927 g związku rozpuszczono w 50 cm³ buforu o pH = 6,5. Roztwór przechowywano w lodówce w butelce z ciemnego szkła.
- 0,5 M roztwór chlorku wapnia – 73,5 g CaCl₂ x 2H₂O rozpuszczono w 1000 cm³ H₂O_{dest}
- 0,5 M roztwór NaOH - 20 g NaOH rozpuszczono w 1000 cm³ H₂O_{dest}
- Wzorzec: roztwór p-nitrofenolu – 1,0 g rozpuszczono w 1000 cm³ H₂O_{dest}. Krzywą wzorcową przygotowano rozcieńczając 1 cm³ roztworu wzorcowego p - nitrofenolu do 100 cm³ w kolbie miarowej (0,001 mg/1 ml).

Wykonanie:

Do kolbek Erlenmayer'a o pojemności 50 cm³ naważano 1 g świeżej, przesianej gleby. Następnie dodawano 4 cm³ buforu (pH 11,0 – dla fosfatazy zasadowej i pH 6,5 – dla fosfatazy kwaśnej) oraz 1 cm³ roztworu PNP (4 - nitrofenylofosforan sodu) w odpowiednim buforze. Zakorkowane kolbki wstawiano do termostatu na 37°C na czas 1 godziny. Następnie dodawano 1 cm³ 0,5 M CaCl₂ x 2H₂O oraz 4 cm³ 0,5 N NaOH. Po wymieszaniu kolbek sączono przez bibułę Whatman'a 12 do kolbek miarowych o pojemności 50 cm³ i dopełniano wodą gotowaną (pozbawioną CO₂). Pomiar kolorymetryczny wykonywano przy długości fali 410 nm. Wyniki podawano w µg PNP/g s.m. gleby/1 godziny.

Analiza statystyczna

Zebrane wyniki badań zostały opracowane statystycznie metodą analizy wariancji (ANOVA) w programie Statgraphics Centurion XVI, zgodnie z układem doświadczenia. Do porównania różnic między średnimi dla czynników głównych oraz interakcji zastosowano wielokrotny test przedziałów ufności (Test Tukey'a) na poziomie istotności $\alpha=0,05$. Poszukiwano zależności pomiędzy plonem a zmiennymi charakteryzującymi plon, wskaźnikami fluorescencji chlorofilu oraz wskaźnikiem SPAD, które przedstawiono w postaci wykresów i równań regresji prostoliniowej oraz współczynników korelacji prostej. Średnie wartości z lat były obliczane na podstawie danych z dwóch ostatnich lat w trzyletnim cyklu badań.

3.2. Badania uzupełniające

3.2.1. Charakterystyka warunków doświadczenia

W 2019 roku, w hali wegetacyjnej IUNG-PIB w Puławach przeprowadzono dodatkowo ściśle, dwuczynnikowe doświadczenie wazonowe, w układzie kompletnie zrandomizowanym, w 4 powtórzeniach (Fot. 6)



Fot. 6. Soja w doświadczeniu wazonowym w fazie rozwojowej BBCH 11 – 04.06.2019r.

[zdj. E. Baca]

Pierwszy czynnik badawczy stanowiła dawka azotu ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$): 0 (kontrola), 30 (przedsiewnie), 60 (50% przedsiewnie i 50% pogłównie w fazie BBCH 61), zaś drugi czynnik – odmiana soi zwyczajnej (*Glycine max* (L.) Merrill): Abelina, Sculptor, Coraline, Malaga, Petrina (Fot. 7).



Fot. 7. Odmiana soi Sculptor w fazie BBCH 77 [zdzj. E. Baca]

Doświadczenie przeprowadzono w wazonach Mitscherlicha wypełnionych glebą płową z warstwy ornej (0-30 cm) pola uprawnego, wymieszanej z piaskiem w stosunku 5:2. Odczyn gleby pH_{KCl} 6,9, zawartość przyswajalnego P, K, Mg i S wynosiła odpowiednio (w mg na 100 g gleby): 32,7; 12,2; 11,0; 1,34. Nawożenie fosforem, potasem i magnezem stosowano w postaci roztworów, odpowiednio: KH_2PO_4 , K_2SO_4 i $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ jednorazowo, przedsięwzięcie w ilości ($\text{g} \cdot \text{wazon}^{-1}$): P-1,0; K-1,5; Mg-0,5, co w przeliczeniu wynosiło ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$): P-37, K-52, Mg-18. Azot stosowano w postaci NH_4NO_3 zgodnie ze schematem doświadczenia: N0-bez nawożenia, N30-0,9 $\text{g} \cdot \text{wazon}^{-1}$ i N60-1,8 $\text{g} \cdot \text{wazon}^{-1}$ (w 2 dawkach 50:50). Nasiona soi przed siewem zostały zaprawione zaprawą nasienną, a w dniu siewu potraktowane szczepionką bakteryjną (nitragina), a następnie wysiane po 15 nasion na wazon w dniu 29.04.2019 r., na głębokość 1,5 cm. Po wschodach dokonano selekcji ujemnej pozostawiając po 5 roślin w wazonie. Wszystkie wazoni podlewane były codziennie do warunków optymalnych.

3.2.2. Metody pomiarów i analiz laboratoryjnych

W trakcie prowadzenia doświadczenia wykonano pomiary względnej zawartości chlorofilu w liściach soi (indeks SPAD). Pomiary indeksu SPAD wykonano czterokrotnie w sezonie wegetacyjnym, w następujących fazach rozwojowych: początek kwitnienia (BBCH 61), pełnia kwitnienia (BBCH 65), początek rozwoju strąków (BBCH 71) oraz wypełnianie strąków (BBCH 77). Pomiary wykonywano w 3 powtórzeniach (1 powtórzenie stanowiła średnia z 30 pomiarów). Pomiary indeksu zieloności liścia wykonano przy wykorzystaniu chlorofilometru SPAD – 502 PLUS (Minolta). Otrzymany wynik podany jest w postaci cyfrowej, w tzw. jednostkach SPAD (Soil and Plant Analysis Development) w zakresie od 0 do 50. Wartość odczytanego wyniku jest proporcjonalna do zawartości chlorofilu w badanym obszarze liścia (6 mm^2).

W fazie kwitnienia soi (BBCH 65) pobrano po 5 roślin z każdego obiektu w celu określenia biomasy (nadziemnej i podziemnej) oraz oceny brodawkowania (łącznie 75 roślin). Określono: długość pędu i korzenia, masę części nadziemnej i podziemnej oraz liczbę i masę brodawek.

W fazie dojrzałości pełnej rośliny zostały ścięte, a następnie wykonano następujące pomiary i oznaczenia: wysokość roślin, wysokość osadzenia pierwszego strąka, liczba węzłów na pędzie głównym, liczba strąków pełnych na roślinie, liczba i masa nasion na roślinę, liczba nasion w strąku, sucha masa łodygi i strączyn.

Analizy składu chemicznego nasion wykonano w certyfikowanym Głównym Laboratorium Analiz Chemicznych w Puławach i obejmowały one zawartość (% sm): azotu ogólnego oraz tłuszczu surowego. Zawartość tłuszczu surowego została oznaczona metodą wagową, natomiast azotu – analizą przepływową CFA (Continuous Flow Analysis) z detekcją spektrofotometryczną. Na podstawie ilości azotu ogólnego (N) wyliczono zawartość białka ogólnego (BO) w nasionach soi zgodnie z formułą $BO=N \times 6,25$.

Zebrane wyniki zestawiono i opracowano statystycznie metodą analizy wariancji (ANOVA) w programie Statgraphic Centurion XVI. Do porównania różnic między średnimi dla czynników głównych oraz interakcji zastosowano wielokrotny test przedziałów ufności (Test Tukey'a) na poziomie istotności $\alpha=0,05$. Analiza wariancji zawartości składników pokarmowych wykonano za pomocą programu ANWAR (ZAZI IUNG Puławy), istotność różnic porównywano testem Tukeya na poziomie istotności $\alpha=0,05$.

4. WYNIKI

4.1. Doświadczenie polowe

4.1.1. Cechy biometryczne roślin

Wysokość roślin stanowi cechę morfologiczną, która może wpływać na poziom plonowania soi, ale decyduje też o podatności roślin na wyleganie. W toku przeprowadzonych badań stwierdzono, że niezależnie od badanych czynników doświadczenia, soja najwyższe rośliny wykształciła w pierwszym roku badań (średnio 117,8 cm) i były one wyższe niż w 2018 r. i 2019 r. odpowiednio o 17,5 cm i 11,9 cm (Tabela 15).

Dawka azotu w sposób istotny różnicowała wysokość roślin soi w 2018 i 2019 roku. W obu latach najniższe rośliny zanotowano na obiekcie N0, a istotnie wyższe na obiektach N30 i N60, odpowiednio o 8,3 i 5,0% w 2018 r oraz o 10,6 i 8,7% w 2019 r. We wszystkich latach badań oraz w wartościach średnich nie wykazano istotnych różnic w wysokości roślin pomiędzy obiektami N30 i N60.

Odmiana soi różnicowała w sposób istotny wysokość roślin we wszystkich latach badań. W 2017 roku najwyższe rośliny zanotowano u odmian Abelina i Coraline (odpowiednio 144,5 i 137,2 cm), natomiast w 2018 r. wyróżniała się pod względem tej cechy Coraline (114,9 cm). W 2019 r. Malaga, Coraline i Petrina były istotnie wyższe niż pozostałe dwie odmiany. W pierwszym roku badań najniższa była Petrina, zaś w dwóch kolejnych latach – Sculptor.

Wykazano interakcję czynników doświadczenia i ich wpływ na wysokość roślin. We wszystkich latach badań na obiekcie N60 najwyższe rośliny zanotowano u odmiany Coraline, natomiast na obiekcie N30 odmiana Sculptor była istotnie niższa niż pozostałe odmiany w 2018 i 2019 r., natomiast Petrina w 2017 r.

Tabela 15. Wysokość roślin (cm) soi w zależności od odmiany i dawki azotu

Dawka N (kg·ha ⁻¹)	Odmiana	Rok			Średnio (2018-2019)
		2017	2018	2019	
0	Abelina	-	90,8 ab	90,3 a	90,5
	Sculptor	-	82,6 a	82,5 a	82,6
	Malaga	-	97,0 b	109,8 b	103,4
	Coraline	-	117,2 c	108,7 b	113,0
	Petrina	-	92,5 ab	105,9 b	99,2
	Średnio	-	96,0 A	99,5 A	97,7 A
30	Abelina	147,6 d	109,8 bc	111,1 b	110,4
	Sculptor	113,6 bc	87,4 a	87,0 a	87,2
	Malaga	106,6 b	108,4 bc	120,6 b	114,5
	Coraline	123,9 c	113,8 c	117,1 b	115,4

	Petrina	90,0 a	100,6 b	114,4 b	107,5
	Średnio	116,3 A	104,0 B	110,0 B	107,0 B
60	Abelina	141,4 b	107,2 bc	107,7 ab	107,4
	Sculptor	104,3 a	96,6 b	97,8 a	97,2
	Malaga	96,4 a	103,5 bc	110,9 b	107,2
	Coraline	150,4 b	113,9 c	115,5 b	114,7
	Petrina	103,9 a	83,1 a	109,2 b	96,2
	Średnio	119,3 A	100,8 B	108,2 B	104,5 AB
Średnio	Abelina	144,5 c	102,6 b	103,0 b	102,8 b
	Sculptor	108,9 b	88,9 a	89,1 a	88,9 a
	Malaga	101,5 ab	102,9 b	113,8 c	108,4 b
	Coraline	137,2 c	114,9 c	113,8 c	114,4 b
	Petrina	96,9 a	92,0 a	109,8 c	100,9 ab
	Średnia	117,8	100,3	105,9	103,1
NIR ($\alpha=0,05$)	dawka azotu (I)	r.n.	4,49	3,89	8,27
	odmiana (II)	8,29	6,79	5,89	12,69
	I×II	11,67	11,79	10,22	r.n.

Wysokość osadzenia najniższego strąka

Wysokość osadzenia najniższego strąka jest cechą morfologiczną niezwykle istotną przy zbiorze soi, która w znacznym stopniu wpływa na poziom plonowania tego gatunku. W latach prowadzenia badań stwierdzono, że niezależnie od badanych czynników doświadczenia pierwszy strąk u soi był najniżej osadzony w 2018 r. (średnio 7,66 cm), a najwyżej w 2017 r. (9,84 cm) (Tabela 16).

Dawka azotu istotnie wpłynęła na wysokość osadzenia pierwszego strąka u soi w 2018 i 2019 r. W obu latach badań rośliny soi najniżej zawiązały pierwszy strąk na obiekcie N0, a istotnie wyżej, w 2018 r. na obiekcie N30 (średnio o 0,7cm), a w 2019 r. – na obiektach N30 (o 0,9 cm) i N60 (o 1,2 cm). W wartościach średnich z lat wykazano podobną tendencję, niepotwierdzoną statystycznie.

We wszystkich latach badań odmiana soi istotnie różnicowała wysokość osadzenia najniższego strąka. W 2017 r. pierwszy strąk istotnie wyżej osadzony był u odmiany Abelina (średnio 12,0 cm), w 2018 r. u odmiany Sculptor (9,06 cm), a w 2019 r. u odmiany Petrina (10,2 cm), w porównaniu do pozostałych odmian.

W 2017 i 2019 r. wykazano istotne współdziałanie czynników doświadczenia i ich wpływ na wysokość osadzenia najniższego strąka u soi. Na obiekcie N60 istotnie wyższym osadzeniem pierwszego strąka, w porównaniu do pozostałych odmian, charakteryzowały się: Abelina w 2017 r., a Petrina w 2019 r. Z kolei przy dawce N30 istotnie większą wartością tej cechy odznaczały się: Abelina i Coraline w 2017 r., a Petrina w 2019 r.

Tabela 16. Wysokość osadzenia najniższego strąka (cm) soi w zależności od odmiany i dawki azotu

Dawka N (kg·ha ⁻¹)	Odmiana	Rok			Średnio (2018-2019)
		2017	2018	2019	
0	Abelina	-	7,70	7,85 a	7,78
	Sculptor	-	8,70	8,80 a	8,75
	Malaga	-	7,25	8,05 a	7,65
	Coraline	-	6,53	8,10 a	7,32
	Petrina	-	6,55	7,90 a	7,23
	Średnio	-	7,35 A	8,14 A	7,74 A
30	Abelina	10,8 b	8,33	8,33 a	8,33
	Sculptor	9,03 a	9,40	9,40 a	9,40
	Malaga	9,45 a	8,25	7,98 a	8,12
	Coraline	11,3 b	6,58	8,05 a	7,32
	Petrina	8,98 a	7,75	11,3 b	9,50
	Średnio	9,92 A	8,06 B	9,00 B	8,53 A
60	Abelina	13,2 b	7,43	7,55 a	7,49
	Sculptor	8,65 a	9,08	9,03 b	9,06
	Malaga	8,83 a	8,05	8,88 ab	8,47
	Coraline	8,88 a	6,25	9,75 b	8,00
	Petrina	9,30 a	7,03	11,5 c	9,28
	Średnio	9,77 A	7,57 AB	9,35 B	8,46 A
Średnio	Abelina	12,0 c	7,82 b	7,91 a	7,87
	Sculptor	8,84 a	9,06 c	9,08 b	9,07
	Malaga	9,14 a	7,85 b	8,30 ab	8,08
	Coraline	10,1 b	6,45 a	8,63 ab	7,54
	Petrina	9,14 a	7,11 ab	10,2 c	8,67
	Średnia	9,84	7,66	8,83	8,24
NIR ($\alpha=0,05$)	dawka azotu (I)	r.n.	0,644	0,547	r.n.
	odmiana (II)	0,817	0,975	0,828	r.n.
	I×II	1,151	r.n.	1,437	r.n.

Wykazano, że niezależnie od badanych czynników doświadczenia większą liczbę strąków rośliny wykształciły w latach 2018 i 2019 (średnio, odpowiednio 39,0 i 36,7 szt.), niż w 2017 r. (średnio 18,9 szt.) (Tabela 17).

Dawka azotu różnicowała w sposób istotny liczbę strąków na roślinę tylko w 2018 r. Istotnie większą wartość tej cechy uzyskano na obiekcie N60 w porównaniu do N0 (o 32,9%) i N30 (o 26,4%). Podobną tendencję wykazano w 2019 r. oraz dla wartości średnich z lat, przy czym różnice nie zostały statystycznie udowodnione.

We wszystkich latach badana odmiana w sposób istotny różnicowała liczbę strąków na roślinę. W 2017 r. istotnie większą wartość tej cechy odnotowano u odmiany Coraline, w porównaniu do pozostałych odmian z wyjątkiem Sculptora, a w 2018 i 2019 r. u odmiany Sculptor w porównaniu do wszystkich pozostałych odmian.

W 2018 i 2019 r. wykazano istotne współdziałanie czynników doświadczenia, które wpływało na liczbę strąków na roślinę. Na obiektach N0 i N30 odmiana Sculptor wykształciła istotnie większą liczbę strąków na roślinę w porównaniu do Malagi w 2018 r. oraz Malagi i Coraline w 2019 r., a na obiekcie N30 także Abeliny. Przy zastosowaniu dawki N60 w 2018 r. odmiany Sculptor i Coraline wykazały się istotnie większą wartością tej cechy w porównaniu do Abeliny i Petriny, a w 2019 r. Sculptor wykształcił istotnie więcej strąków niż pozostałe odmiany.

Tabela 17. Liczba strąków na roślinie (szt.) soi w zależności od odmiany i dawki azotu

Dawka N (kg·ha ⁻¹)	Odmiana	Rok			Średnio (2018-2019)
		2017	2018	2019	
0	Abelina	-	31,0 ab	36,0 abc	33,5
	Sculptor	-	47,6 b	48,5 c	48,1
	Malaga	-	23,4 a	24,8 a	24,1
	Coraline	-	32,1 ab	32,3 ab	32,2
	Petrina	-	38,8 ab	41,5 bc	40,2
	Średnio	-	34,6 A	36,6 A	35,6 A
30	Abelina	17,0	28,3 ab	25,3 ab	26,8
	Sculptor	21,5	52,0 b	52,0 c	52,0
	Malaga	16,8	27,4 a	21,5 a	24,5
	Coraline	24,5	41,8 ab	34,5 ab	38,2
	Petrina	19,3	32,8 ab	38,3 bc	35,6
	Średnio	19,8 A	36,4 A	34,3 A	35,4 A
60	Abelina	16,0	27,0 a	24,8 a	25,9
	Sculptor	18,0	70,8 b	64,8 c	67,8
	Malaga	16,0	48,0 ab	38,0 ab	43,0
	Coraline	20,8	59,8 b	28,0 ab	43,9
	Petrina	18,0	24,7 a	40,5 b	32,6
	Średnio	18,0 A	46,0 B	39,2 A	42,6 A
Średnio	Abelina	16,5 a	28,8 a	28,7 a	28,7 a
	Sculptor	19,8 ab	56,8 c	55,1 c	56,0 b
	Malaga	16,4 a	32,9 a	28,1 a	30,5 a
	Coraline	24,1 b	44,5 b	31,6 a	38,1 a
	Petrina	18,6 a	32,1 a	40,1 b	36,1 a
	Średnia	18,9	39,0	36,7	37,9
NIR ($\alpha=0,05$)	dawka azotu (I)	r.n.	7,24	r.n.	r.n.
	odmiana (II)	5,38	10,95	8,34	12,92
	I×II	r.n.	23,93	14,49	r.n.

Masa strąków na roślinę

W przeprowadzonym doświadczeniu stwierdzono, że niezależnie od czynników doświadczenia większą masę strąków na roślinę uzyskano w latach 2018 i 2019 (średnio, odpowiednio 22,6 i 20,3 g), niż w 2017 r. (średnio 9,22 g) (Tabela 18).

Dawka azotu różnicowała w istotny sposób masę strąków na roślinę tylko w 2018 r. Istotnie większą wartość tej cechy uzyskano na obiekcie N60 w porównaniu do N0 (o 42,8%) i N30 (o 33,8%).

We wszystkich latach badania odmiana w istotny sposób różnicowała masę strąków na roślinę. W 2017 r. istotnie większą wartość tej cechy odnotowano dla odmiany Coraline w porównaniu do Petriny, w 2018 r. dla odmian Sculptor i Malaga w porównaniu do Abeliny, zaś w 2019 r. dla odmiany Sculptor w porównaniu do wszystkich pozostałych odmian. Biorąc pod uwagę wartości średnie z lat, Malaga wykształciła istotnie większą masę strąków niż Abelina.

Interakcję czynników doświadczenia i ich wpływ na masę strąków na roślinę wykazano w dwóch ostatnich latach badań. W 2018 r. na obiekcie N60 istotnie większą wartością tej cechy wykazała się Malaga w porównaniu do Abeliny i Petriny. W 2019 r. na wszystkich obiektach (N0, N30, N60) największą masą strąków charakteryzowała się odmiana Sculptor.

Tabela 18. Masa strąków (g) soi w zależności od odmiany i dawki azotu

Dawka azotu (kg·ha ⁻¹)	Odmiana	Rok			Średnio (2018-2019)
		2017	2018	2019	
0	Abelina	-	15,7	18,5 ab	17,1
	Sculptor	-	26,2	26,5 b	26,4
	Malaga	-	14,1	17,3 a	15,7
	Coraline	-	14,6	19,4 ab	17,0
	Petrina	-	26,5	22,1 ab	24,3
	Średnio	-	19,4 A	20,8 A	20,1 A
30	Abelina	8,57	14,5	12,4 a	13,5
	Sculptor	10,5	27,0	26,6 c	26,8
	Malaga	9,02	16,4	13,6 ab	15,0
	Coraline	11,9	23,1	17,7 ab	20,4
	Petrina	6,36	22,4	21,7 bc	22,1
	Średnio	9,26 A	20,7 A	18,4 A	19,5 A
60	Abelina	11,00	11,9 a	10,8 a	11,4
	Sculptor	9,41	34,3 bc	33,2 d	33,8
	Malaga	8,31	43,0 c	25,4 cd	34,2
	Coraline	11,2	32,4 abc	15,6 ab	24,0
	Petrina	5,95	16,8 ab	23,3 bc	20,1
	Średnio	9,18 A	27,7 B	21,7 A	24,7 A

Średnio	Abelina	9,78 ab	14,0 a	13,9 a	14,0 a
	Sculptor	9,94 ab	29,2 b	28,8 c	29,0 b
	Malaga	8,66 ab	24,5 b	18,8 ab	21,6 ab
	Coraline	11,6 b	23,3 ab	17,6 ab	20,5 ab
	Petrina	6,15 a	21,9 ab	22,4 b	22,1 ab
	Średnia	9,22	22,6	20,3	21,4
NIR ($\alpha=0,05$)	dawka azotu	r.n.	6,47	r.n.	r.n.
	(I)	3,949	9,79	5,02	8,88
	odmiana (II) I×II	r.n.	21,40	8,72	r.n.

Liczba nasion na roślinę

Niezależnie od badanych czynników doświadczenia większą liczbę nasion na roślinę soja wykształciła w 2018 i 2019 r. (średnio, odpowiednio 71,8 i 68,6 szt.), niż w 2017 r. (29,6 szt.) (Tabela 19).

Wykazano istotny wpływ dawki azotu na liczbę nasion na roślinę tylko w drugim roku prowadzenia doświadczenia. Istotnie większą wartość tej cechy uzyskano na obiekcie N60 w porównaniu do N0 (o 34%) i N30 (o 27%). Taką samą tendencję, niepotwierdzoną statystycznie, zanotowano w 2019 r. i w wartościach średnich z lat.

Odmiana w sposób istotny różnicowała liczbę nasion na roślinę soi we wszystkich latach badań i w wartościach średnich. W 2017 r. istotnie większą wartość tej cechy odnotowano dla odmiany Coraline w porównaniu do odmian: Abelina, Malaga i Petrina, natomiast w 2018 r. odmiany Sculptor i Coraline, a w 2019 r. Sculptor wykazały się istotnie większą liczbą nasion na roślinę w porównaniu do pozostałych odmian. Biorąc pod uwagę wartości średnie z lat, największą liczbę nasion wykształciła odmiana Sculptor, a istotnie niższą odmiany: Abelina, Malaga i Petrina.

W 2018 i 2019 r. wykazano interakcję czynników doświadczenia i ich wpływ na liczbę nasion na roślinę soi. W 2018 r. na obiekcie N60 odmiany Sculptor, Malaga i Coraline odznaczyły się istotnie większą liczbą nasion na roślinę w porównaniu do pozostałych odmian. W 2019 r. na obiektach N0 i N30 pod względem wartości tej cechy wyróżniały się odmiany: Sculptor i Petrina, a na obiekcie N60 – Sculptor.

Tabela 19. Liczba nasion na roślinę (szt.) soi w zależności od odmiany i dawki azotu

Dawka azotu (kg·ha ⁻¹)	Odmiana	Rok			Średnio (2018-2019)
		2017	2018	2019	
0	Abelina	-	56,2	67,5 ab	61,9
	Sculptor	-	82,5	83,0 b	82,8
	Malaga	-	42,0	48,8 a	45,4
	Coraline	-	68,0	65,5 ab	66,8

	Petrina	-	68,5	77,8 b	73,2
	Średnio	-	63,5 A	68,5 A	66,0 A
30	Abelina	28,5	52,9	45,3 ab	49,1
	Sculptor	30,3	89,0	88,3 c	88,7
	Malaga	27,0	48,3	38,5 a	43,4
	Coraline	37,0	85,3	67,8 bc	76,6
	Petrina	25,0	59,5	78,3 c	68,9
	Średnio	29,6 A	67,0 A	63,6 A	65,3 A
60	Abelina	29,5	46,1 a	41,0 a	43,6
	Sculptor	31,8	125,0 b	124,8 c	124,9
	Malaga	25,3	95,3 b	70,3 b	82,8
	Coraline	39,3	125,3 b	55,0 ab	90,2
	Petrina	22,5	33,9 a	77,8 b	55,9
	Średnio	29,7 A	85,1 B	73,8 A	79,5 A
Średnio	Abelina	29,0 a	51,7 a	51,3 a	51,5 a
	Sculptor	31,0 ab	98,8 b	98,7 c	98,8 b
	Malaga	26,1 a	61,8 a	52,5 a	57,2 a
	Coraline	38,1 b	92,8 b	62,8 ab	77,8 ab
	Petrina	23,8 a	54,0 a	77,9 b	66,0 a
	Średnia	29,6	71,8	68,6	70,3
NIR ($\alpha=0,05$)	dawka azotu (I)	r.n.	14,86	r.n.	r.n.
	odmiana (II)	7,57	22,49	16,19	30,29
	I×II	r.n.	49,16	28,11	r.n.

4.1.2. Plon nasion i elementy kształtujące plon

Plon nasion

Warunki pogodowe w latach badań kształtowały plon nasion soi. Badania przeprowadzone w latach 2017-2019 wykazały, że największy plon nasion tego gatunku uzyskano w 2018 r. (średnio $4,38 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), a nieco mniejszy w 2017 i 2019 r. (odpowiednio $4,19$ i $4,20 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) (Tabela 20).

Poziom plonowania soi istotnie zależał od dawki azotu w dwóch pierwszych latach badań. W 2017 r. zastosowanie azotu na poziomie $60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (N60) spowodowało istotny wzrost plonu nasion (o 10,0%) w porównaniu do obiektu N $30 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (N30). W 2018 r. na obiektach N30 i N60 uzyskano istotnie większy plon (odpowiednio o 23,8 i 24,1%) w porównaniu do obiektu kontrolnego (N0).

Odmiana istotnie różnicowała plon nasion soi we wszystkich latach badań. Biorąc pod uwagę wartości średnie, najlepiej plonowała Malaga, a istotnie niżej Sculptor, natomiast pozostałe odmiany plonowały na średnim poziomie. W 2017 i 2018 r. Malaga dała istotnie większy plon nasion (odpowiednio $5,08$ i $5,71 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) w porównaniu do

pozostałych odmian, natomiast w 2019 r. najlepiej plonowały Malaga i Petrina (odpowiednio 4,40 i 4,39 t ha⁻¹).

W 2017 i 2018 r. wykazano interakcję czynników doświadczenia i ich wpływ na plon nasion soi. W obu latach badań na obiektach N30 najwyższą plonowała Malaga, natomiast na obiektach N60 w 2017 r. najbardziej wydajną była Malaga, a w 2018 r. Malaga, Coraline i Petrina plonowały na podobnym poziomie i istotnie wyżej niż Sculptor i Abelina.

Tabela 20. Plon nasion (t·ha⁻¹) soi w zależności od odmiany i dawki azotu

Dawka N (kg·ha ⁻¹)	Odmiana	Rok			Średnio (2018-2019)
		2017	2018	2019	
0	Abelina	-	3,81b	4,20	4,01
	Sculptor	-	2,46a	4,12	3,29
	Malaga	-	5,54c	4,34	4,94
	Coraline	-	3,73b	4,10	3,92
	Petrina	-	3,37b	4,30	3,84
	Średnio	-	3,78A	4,21A	4,00 A
30	Abelina	3,74a	4,85c	4,23	4,54
	Sculptor	3,72a	3,13a	3,90	3,52
	Malaga	4,94b	6,04d	4,38	5,21
	Coraline	3,63a	5,17c	3,91	4,54
	Petrina	3,97a	4,20b	4,40	4,30
	Średnio	4,01A	4,68B	4,16A	4,42 A
60	Abelina	4,29ab	4,21b	4,18	4,20
	Sculptor	3,75a	2,53a	3,93	3,23
	Malaga	5,23c	5,57c	4,47	5,02
	Coraline	4,55b	5,50c	4,13	4,82
	Petrina	4,03ab	5,63c	4,47	5,05
	Średnio	4,37B	4,69B	4,24A	4,46 A
Średnio	Abelina	4,02a	4,29b	4,21ab	4,25ab
	Sculptor	3,76a	2,71a	3,99a	3,35a
	Malaga	5,08b	5,71d	4,40b	5,06b
	Coraline	4,09a	4,80c	4,05a	4,42ab
	Petrina	4,00a	4,40b	4,39b	4,40ab
	Średnia	4,19	4,38	4,20	4,29
NIR (α=0,05)	dawka azotu (I)	0,157	0,171	r.n.	r.n.
	odmiana (II)	0,355	0,259	0,340	1,351
	I×II	0,594	0,566	r.n.	r.n.

Masa tysiąca nasion

Największą masą 1000 nasion (MTN) soja wykazała się w 2019 r. (średnio 197,8 g), mniejszą w 2018 r. (średnio 187,2 g), a najmniejszą w 2017 r. (średnio 177,2 g) (Tabela 21).

Dawka azotu różnicowała w sposób istotny MTN tylko w drugim roku badań. Istotnie większą masę 1000 nasion uzyskano na obiektach N0 i N30 (odpowiednio o 10,1 i 7,8%) w porównaniu do obiektu N60. W pozostałych latach wykazano tendencję do zmniejszania MTN wraz ze wzrostem nawożenia, która jednak nie została udowodniona statystycznie.

Odmiana różnicowała masę 1000 nasion we wszystkich latach badań. W 2018 i 2019 r. istotnie większą wartość tej cechy odnotowano u Malagi (odpowiednio, 216,4 i 233,4 g) w porównaniu do pozostałych odmian, a w 2017 r. Malaga odznaczyła się istotnie większą MTN (197,5 g) niż odmiana Abelina (146,3 g). Także w wartościach średnich z lat Malaga wyróżniała się istotnie większą MTN niż pozostałe odmiany (224,9 g).

Tabela 21. Masa tysiąca nasion (g) soi w zależności od odmiany i dawki azotu

Dawka N (kg·ha ⁻¹)	Odmiana	Rok			Średnio (2018-2019)
		2017	2018	2019	
0	Abelina	-	181,2	161,6	171,4
	Sculptor	-	190,5	187,8	189,2
	Malaga	-	224,9	238,2	231,6
	Coraline	-	186,2	213,0	199,6
	Petrina	-	189,7	196,3	193,0
	Średnio	-	194,5 B	199,4 A	196,9 A
30	Abelina	177,4	182,9	172,8	177,9
	Sculptor	190,0	198,6	190,9	194,8
	Malaga	214,7	209,3	237,0	223,2
	Coraline	188,3	180,4	201,6	191,0
	Petrina	157,4	180,8	197,2	189,0
	Średnio	185,6 A	190,4 B	199,9 A	195,2 A
60	Abelina	156,6	168,0	149,7	158,9
	Sculptor	181,4	179,2	191,0	185,1
	Malaga	180,2	215,1	224,9	220,0
	Coraline	190,3	156,5	197,2	176,9
	Petrina	135,3	164,4	208,2	186,3
	Średnio	168,8 A	176,6 A	194,2 A	185,4 A
Średnio	Abelina	167,0 ab	177,3 a	161,4 a	169,4 a
	Sculptor	185,7 ab	189,4 a	189,9 b	189,7 a
	Malaga	197,5 b	216,4 b	233,4 c	224,9 b
	Coraline	189,3 ab	174,4 a	203,9 b	189,2 a
	Petrina	146,3 a	178,3 a	200,6 b	189,4 a
	Średnia	177,2	187,2	197,8	192,5

NIR ($\alpha=0,05$)	dawka azotu (I)	r.n.	12,73	r.n.	r.n.
	odmiana (II)	43,57	19,87	22,31	27,57

Masa nasion z rośliny

Badania wykazały, że większą masę nasion z rośliny otrzymano w latach 2018 i 2019 (średnio, odpowiednio 13,7 i 13,6 g), niż w 2017 r. (średnio 5,8 g) (Tabela 22).

Dawka azotu różnicowała w sposób istotny masę nasion z rośliny w pierwszym i drugim roku badań. W 2017 r. istotnie większą wartość tej cechy otrzymano na obiekcie N60 w porównaniu do obiektu N30 (o 3,2%), a w 2018 r. – na obiekcie N60 w porównaniu do N0 (o 28,5%) i N30 (o 21,5%).

Wykazano istotny wpływ odmiany na masę nasion z rośliny we wszystkich latach badań. W 2017 i 2018 r. istotnie większą wartość tej cechy odnotowano dla odmian Sculptor, Malaga i Coraline, a w 2019 r. dla odmian Sculptor i Petrina w porównaniu do pozostałych odmian. Biorąc pod uwagę wartości średnie z lat, największą masę nasion uzyskano z odmiany Sculptor, a istotnie mniejszą z odmiany Abelina.

We wszystkich latach badań wykazano interakcję czynników doświadczenia i ich wpływ na masę nasion z rośliny. W 2017 r. zarówno przy dawce N30, jak i N60 największą wartość tej cechy wykazano u odmiany Coraline, a najmniejszą u Petriny. W 2018 r. przy dawce N60 istotnie większą masę nasion z rośliny zanotowano u odmian Sculptor, Malaga i Coraline w porównaniu do pozostałych odmian. Z kolei w 2019 r., zarówno na obiekcie N30 jak i N60 największa masa nasion charakteryzowała odmianę Sculptor.

Tabela 22. Masa nasion z rośliny (g) soi w zależności od odmiany i dawki azotu

Dawka azotu (kg·ha ⁻¹)	Odmiana	Rok			Średnio (2018-2019)
		2017	2018	2019	
0	Abelina	-	10,1 a	12,0 a	11,1
	Sculptor	-	16,0 a	15,9 a	16,0
	Malaga	-	10,2 a	11,6 a	10,9
	Coraline	-	12,0 a	13,3 a	12,7
	Petrina	-	13,2 a	15,6 a	14,4
	Średnio	-	12,3 A	13,7 A	13,0 A
30	Abelina	4,44 b	9,8 a	8,30 a	9,05
	Sculptor	5,84 c	18,1 a	17,9 b	18,0
	Malaga	5,98 c	12,3 a	8,95 a	10,6
	Coraline	8,37 d	14,8 a	13,3 ab	14,1
	Petrina	3,69 a	10,2 a	15,7 ab	13,0
	Średnio	5,66 A	13,0 A	12,8 A	12,9 A
	Abelina	5,27 b	7,92 a	6,90 a	7,41
	Sculptor	6,79 c	21,7 b	20,7 c	21,2
	Malaga	5,45 b	22,0 b	16,7 bc	19,4

60	Coraline	8,00 d	19,7 b	11,0 ab	15,4
	Petrina	3,68 a	7,67 a	17,1 bc	12,4
	Średnio	5,84 B	15,8 B	14,5 A	15,1 A
Średnio	Abelina	4,86 b	9,28 a	9,05 a	9,17 a
	Sculptor	6,32 d	18,6 b	18,1 c	18,4 b
	Malaga	5,71 c	14,8 b	12,4 ab	13,6 ab
	Coraline	8,18 e	15,5 b	12,5 b	14,0 ab
	Petrina	3,69 a	10,4 a	16,1 c	13,3 ab
	Średnia	5,75	13,7	13,6	13,7
NIR ($\alpha=0,05$)	dawka azotu (I)	0,112	2,76	r.n.	r.n.
	odmiana (II)	0,254	4,17	3,42	5,20
	I×II	0,425	9,12	7,47	r.n.

4.1.3. Wskaźnik fluorescencji chlorofilu

Maksymalna wydajność PSII (wskaźnik Fv/Fm)

Wskaźnik Fv/Fm szacuje maksymalną wydajność kwantową fotosystemu II (PSII) w różnych warunkach siedliskowych. W trzyletnim okresie badań najwyższą, średnią wartość maksymalnej wydajności PSII (Fv/Fm) zanotowano w 2019 r. (0,794), niższą w 2017 r. (0,749), a najniższą w 2018 r. (0,722) (Tabela 23-25).

W pierwszym roku badań, biorąc pod uwagę dawkę azotu, istotne różnice odnotowano w fazach BBCH 70 i BBCH 77 (Tabela 23). W fazie BBCH 70 istotnie większą wartość omawianego wskaźnika wykazano na obiekcie N60 w porównaniu do N30, a kolei w fazie BBCH 77 zależności były odwrotne. Podobną tendencję, ale nie udowodnioną statystycznie wykazano dla wartości średnich. Odmiana istotnie różnicowała wartość maksymalnej wydajności PSII w każdej badanej fazie rozwojowej. Najmniejsze wartości tego wskaźnika zanotowano u odmiany Sculptor, a w fazie BBCH 77 także u Abeliny, natomiast istotnie większe: w fazie BBCH 65 – u odmian Abelina i Petrina, w fazie BBCH 70 – u odmian Abelina, Malaga i Coraline, zaś w fazie BBCH 77 – u odmiany Malaga. Biorąc pod uwagę wartości średnie, najniższy wskaźnik Fv/Fm wykazano u odmiany Sculptor (0,719), zaś najwyższy u Malagi (0,775), przy czym różnice nie zostały potwierdzone statystycznie.

W fazach rozwojowych BBCH 70 i BBCH 77 wykazano istotne współdziałanie czynników doświadczenia i jego wpływ na wskaźnik Fv/Fm. Na obiekcie N30 odmiana Sculptor charakteryzowała się istotnie niższą wartością tego wskaźnika w porównaniu do Malagi i Petryny w fazie BBCH 70, natomiast w fazie BBCH 77 w porównaniu do pozostałych odmian, z wyjątkiem Coraline. Na obiekcie N60 najwyższy wskaźnik Fv/Fm

cechował odmianę Malaga, a istotnie niższy: w fazie BBCH 70 – odmiany Sculptor i Petrina, zaś w fazie BBCH 77 – Abelina.

W drugim roku badań istotny wpływ dawki azotu na wartość wskaźnika Fv/Fm wykazano tylko w fazie BBCH 61 oraz wartościach średnich (Tabela 24). W fazie BBCH 61 na obiekcie N0 wartość tego wskaźnika była istotnie wyższa w porównaniu do obiektów N30 i N60 (odpowiedni o 10,1% i 13,6%). W przypadku wartości średnich, na obiekcie N0 wartość wskaźnika Fv/Fm była istotnie wyższa w porównaniu do obiektu N60 (o 5,4%). Odmiana w sposób istotny różnicowała wartość wskaźnika fluorescencji chlorofilu w każdej fazie rozwojowej. W fazie BBCH 61 istotnie większą wartość Fv/Fm odnotowano u odmiany Malaga w porównaniu do pozostałych odmian, z wyjątkiem Abeliny, w fazie BBCH 65 – u odmian Malaga, Abelina i Petrina w porównaniu do Sculptor, natomiast w fazach BBCH 70 i BBCH 77 - u Malagi w porównaniu do odmian Sculptor i Petrina. Biorąc pod uwagę wartości średnie, istotnie mniejszą wartość maksymalnej wydajności PSII odnotowano u odmiany Sculptor w porównaniu do pozostałych odmian, z wyjątkiem Petriiny.

W 2018 r. istotne interakcje czynników doświadczenia wykazano tylko w fazie BBCH 61. Na obiekcie N60 istotnie większą wartość wskaźnika Fv/Fm wykazano u odmiany Malaga w porównaniu do odmiany Sculptor. Podobną tendencję, ale nieudowodnioną statystycznie wykazano w fazach rozwojowych BBCH 70 i BBCH 77 oraz wartościach średnich.

W 2019 r. nawożenie azotem istotnie wpłynęło na wartość wskaźnika Fv/Fm w fazach BBCH 61 i BBCH 77 (Tabela 25). Na obiektach N0 i N30 odnotowano istotnie większą wartość tego parametru w porównaniu do N60. Istotny wpływ odmiany na wartość PSII wykazano w każdej fazie rozwojowej, z wyjątkiem BBCH 65. Badania wykazały, że najniższym wskaźnikiem Fv/Fm charakteryzowała się odmiana Sculptor, zaś pozostałe odmiany wskaźnik ten miały istotnie większy, z wyjątkiem odmiany Coraline w fazach BBCH 61 i 70.

W 2019 r. istotne współdziałanie czynników doświadczenia wykazano w fazach BBCH 70 i BBCH 77. W fazie BBCH 70 na obiekcie N60 istotnie większą wartość wskaźnika Fv/Fm zanotowano u odmian Malaga, Coraline i Petrina w porównaniu do odmiany Sculptor. W fazie BBCH 77 na obiekcie N30 istotnie mniejszą wartością PSII odznaczyła się odmiana Sculptor w porównaniu do pozostałych odmian, z wyjątkiem Petriiny, natomiast na obiekcie N60 istotnie większą wartość omawianego parametru

odnotowano dla odmian Malaga i Coraline w porównaniu do pozostałych odmian, z wyjątkiem Petriny. W obu fazach rozwojowych, na obiekcie N60 odmiana Sculptor charakteryzowała się istotnie mniejszym wskaźnikiem Fv/Fm, w porównaniu do pozostałych odmian z wyjątkiem Abeliny.

Tabela 23. Maksymalna wydajność PSII (Fv/Fm) w zależności od dawki azotu i odmiany w 2017

Dawka N (kg·ha ⁻¹)	Odmiana	Faza rozwojowa (wg BBCH)			Średnio
		65	70	77	
30	Abelina	0,768	0,818ab	0,717b	0,768
	Sculptor	0,709	0,812a	0,586a	0,702
	Malaga	0,759	0,829b	0,766b	0,785
	Coraline	0,724	0,822ab	0,686ab	0,744
	Petrina	0,773	0,825b	0,700b	0,766
	Średnio	0,747 A	0,821A	0,691B	0,753A
60	Abelina	0,777	0,830abc	0,546a	0,718
	Sculptor	0,708	0,820ab	0,677b	0,735
	Malaga	0,737	0,837c	0,719b	0,764
	Coraline	0,772	0,832bc	0,679b	0,761
	Petrina	0,802	0,818a	0,624ab	0,748
	Średnio	0,759A	0,827B	0,649A	0,745A
Średnio	Abelina	0,773b	0,824b	0,632a	0,743
	Sculptor	0,709a	0,816a	0,632a	0,719
	Malaga	0,748ab	0,833c	0,743b	0,775
	Coraline	0,748ab	0,827bc	0,683ab	0,753
	Petrina	0,788b	0,822ab	0,662a	0,757
	Średnio	0,753	0,824	0,670	0,749
NIR ($\alpha=0,05$)	dawka N (I)	r.n.	0,0034	0,0275	r.n.
	odmiana (II)	0,0399	0,0075	0,0608	r.n.
	I×II	r.n.	0,0124	0,1003	r.n.

Tabela 24. Maksymalna wydajność PSII (Fv/Fm) w zależności od dawki azotu i odmiany w 2018

Dawka N (kg·ha ⁻¹)	Odmiana	Faza rozwojowa (wg BBCH)				Średnio
		61	65	70	77	
0	Abelina	0,738a	0,737	0,788	0,790	0,765
	Sculptor	0,667a	0,699	0,713	0,707	0,698
	Malaga	0,768a	0,739	0,792	0,805	0,778
	Coraline	0,706a	0,739	0,761	0,752	0,740
	Petrina	0,713a	0,734	0,754	0,760	0,738
	Średnio	0,718B	0,730A	0,762A	0,763A	0,744B
30	Abelina	0,682a	0,747	0,749	0,750	0,733
	Sculptor	0,621a	0,690	0,707	0,661	0,670
	Malaga	0,678a	0,720	0,766	0,788	0,740
	Coraline	0,670a	0,717	0,745	0,793	0,733
	Petrina	0,611a	0,742	0,759	0,734	0,710
	Średnio	0,652A	0,723A	0,745A	0,745A	0,717AB

60	Abelina	0,624ab	0,748	0,751	0,758	0,720
	Sculptor	0,530a	0,607	0,707	0,668	0,630
	Malaga	0,754b	0,723	0,792	0,784	0,760
	Coraline	0,602ab	0,688	0,761	0,761	0,703
	Petrina	0,652ab	0,736	0,740	0,733	0,715
	Średnio	0,632A	0,700A	0,750A	0,741A	0,706A
Średnio	Abelina	0,681bc	0,744b	0,763bc	0,766bc	0,739b
	Sculptor	0,606a	0,665a	0,709a	0,679a	0,666a
	Malaga	0,733c	0,727b	0,783c	0,792c	0,759b
	Coraline	0,659ab	0,715ab	0,756bc	0,769bc	0,725b
	Petrina	0,659ab	0,737b	0,751b	0,742b	0,721ab
	Średnio	0,668	0,718	0,752	0,750	0,722
NIR ($\alpha=0,05$)	dawka N (I)	0,0387	r.n.	r.n.	r.n.	0,0369
	odmiana (II)	0,0585	0,0577	0,0315	0,0380	0,0558
	I×II	0,1265	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.

Tabela 25. Maksymalna wydajność PSII (Fv/Fm) w zależności od dawki azotu i odmiany w 2019 r.

Dawka N (kg·ha ⁻¹)	Odmiana	Faza rozwojowa (wg BBCH)				Średnio
		61	65	70	77	
0	Abelina	0,796	0,780	0,810a	0,834a	0,805
	Sculptor	0,759	0,757	0,784a	0,831a	0,783
	Malaga	0,790	0,786	0,794a	0,835a	0,801
	Coraline	0,784	0,784	0,792a	0,831a	0,798
	Petrina	0,770	0,772	0,800a	0,832a	0,794
	Średnio	0,780B	0,776A	0,796A	0,833B	0,796A
30	Abelina	0,807	0,792	0,814a	0,835b	0,812
	Sculptor	0,755	0,786	0,796a	0,820a	0,789
	Malaga	0,782	0,722	0,803a	0,836b	0,786
	Coraline	0,773	0,770	0,786a	0,835b	0,791
	Petrina	0,773	0,757	0,810a	0,831ab	0,793
	Średnio	0,778 B	0,765A	0,802A	0,831B	0,804A
60	Abelina	0,789	0,806	0,799ab	0,809ab	0,801
	Sculptor	0,740	0,775	0,771a	0,800a	0,772
	Malaga	0,781	0,780	0,814b	0,826c	0,800
	Coraline	0,744	0,784	0,809b	0,823c	0,790
	Petrina	0,766	0,803	0,811b	0,819bc	0,800
	Średnio	0,764 A	0,790A	0,801A	0,815A	0,792A
Średnio	Abelina	0,797c	0,793	0,808b	0,826b	0,806
	Sculptor	0,751a	0,773	0,784a	0,817a	0,781
	Malaga	0,784bc	0,763	0,804b	0,832c	0,796
	Coraline	0,767ab	0,779	0,796ab	0,830bc	0,793
	Petrina	0,770b	0,777	0,807b	0,827bc	0,795
	Średnio	0,774	0,777	0,800	0,826	0,794
NIR ($\alpha=0,05$)	dawka N (I)	0,0121	r.n.	r.n.	0,0034	r.n.
	odmiana (II)	0,0182	r.n.	0,0152	0,0052	r.n.
	I×II	r.n.	r.n.	0,0329	0,0112	r.n.

Wskaźnik funkcjonowania PSII (wskaźnik PI)

Wskaźnik funkcjonowania fotosystemu II dotyczy jego ogólnej żywotności i witalności (PI – Performance Index) i określa sprawność funkcjonowania aparatu fotosyntetycznego w konkretnych warunkach siedliskowych. W trzyletnim okresie badań najwyższą, średnią wartość PI zanotowano w 2019 r. (5,31), niższą w 2017 r. (2,88), a najniższą w 2018 r. (1,64) (Tabele 26-28).

W pierwszym roku badań nawożenie azotem istotnie różnicowało wartość wskaźnika PI tylko w fazie BBCH 70 (Tabela 26). Większą wartość omawianego wskaźnika odnotowano na obiekcie N60 w porównaniu do obiektu N30 (o 22,0%). Odmiana w sposób istotny różnicowała wartość PI we wszystkich badanych fazach rozwojowych. W fazie BBCH 65 najmniejszą wartością tego wskaźnika charakteryzowała się odmiana Sculptor, zaś u pozostałych odmian z wyjątkiem Coraline był on istotnie większy. Z kolei w fazach BBCH 70 i BBCH 77 Malaga odznaczała się istotnie większą wartością wskaźnika PI w porównaniu do wszystkich pozostałych odmian. Podobną tendencję, ale nie udowodnioną statystycznie wykazano dla wartości średnich.

Interakcję badanych czynników doświadczenia wykazano tylko w fazie BBCH 70. Na obiekcie N30 istotnie większą wartością wskaźnika PI odznaczyły się odmiany Malaga, Coraline i Petrina, w porównaniu do odmian Abelina i Sculptor. Z kolei na obiekcie N60 istotnie większą wartość wskaźnika PI odnotowano dla Malagi, w porównaniu do pozostałych odmian, z wyjątkiem Coraline.

W 2018 r. istotny wpływ nawożenia azotem na wartość wskaźnika PI wykazano we wszystkich fazach rozwojowych z wyjątkiem BBCH 70 (Tabela 27). W fazie BBCH 61 na obiekcie N0 wykazano istotnie większą wartość omawianego wskaźnika w porównaniu do obiektów N30 i N60 (odpowiedni o 76,5% i 83,7%). W fazach rozwojowych BBCH 65 i BBCH 77 istotnie większą wartość PI odnotowano dla obiektu N0 w porównaniu do N60 (odpowiednio o 38,7% i 52,1%). Istotny wpływ odmiany na wartość wskaźnika funkcjonowania PSII wykazano we wszystkich fazach rozwojowych oraz wartościach średnich. Odmiana Malaga w fazach BBCH 61, BBCH 70 i BBCH 77 charakteryzowała się istotnie większą wartością wskaźnika PI w porównaniu do wszystkich pozostałych odmian, zaś w fazie BBCH 65 – w porównaniu do Petrinie. Także w wartościach średnich wskaźnik PI u odmiany Malaga był istotnie wyższy w porównaniu do pozostałych odmian, z wyjątkiem Coraline.

W drugim roku prowadzenia badań nie wykazano istotnego współdziałania czynników doświadczenia oraz ich wpływu na wartość wskaźnika funkcjonowania PSII.

W 2019 r. nawożenie azotem istotnie wpłynęło na wartość wskaźnika PI w fazach BBCH 61 i BBCH 77 (Tabela 28). W fazie BBCH 61 wykazano istotnie większą wartość omawianego parametru na obiekcie N0, w porównaniu do obiektu N60 (o 29,0%). Z kolei w fazie BBCH 77 istotnie większą wartość wskaźnika PI otrzymano na obiektach N0 i N30 w porównaniu do N60 (odpowiednio o 49,0% i 58,0%). Istotny wpływ odmiany na wartość omawianego wskaźnika wykazano we wszystkich fazach rozwojowych. W fazach BBCH 61 i BBCH 65 istotnie wyższą wartość wskaźnika PI odnotowano u Abeliny w porównaniu do pozostałych odmian, z wyjątkiem Malagi, w fazie BBCH 70 u Abeliny i Petriny w porównaniu do Sculptor i Coraline, natomiast w fazie BBCH 77 u Malagi, Coraline i Petriny w porównaniu do pozostałych odmian.

Interakcję badanych czynników doświadczenia wykazano w dwóch fazach rozwojowych: BBCH 61 i BBCH 70. Na obiekcie N0 w fazie BBCH 61 istotnie wyższą wartość wskaźnika PI odnotowano u Malagi w porównaniu do odmian Sculptor i Petrina, natomiast na obiekcie N30 istotnie wyższą wartością omawianego parametru odznaczała się odmiana Abelina w porównaniu do odmiany Sculptor. W fazie BBCH 70 istotnie wyższą wartością wskaźnika PI odznaczyła się odmiana: na obiekcie N0 – Abelina w porównaniu do Coraline, na obiekcie N30 – Abelina, Malaga i Petrina w porównaniu do Coraline, a na obiekcie N60 – Malaga, Coraline i Petrina w porównaniu do odmiany Sculptor.

Tabela 26. Wskaźnik funkcjonowania PSII (PI) w zależności od odmiany i dawki azotu w 2017 r.

Dawka N (kg·ha ⁻¹)	Odmiana	Faza rozwojowa (wg BBCH)			Średnio
		65	70	77	
30	Abelina	1,64	2,85a	0,51	1,67
	Sculptor	0,97	3,26a	0,20	1,48
	Malaga	2,41	8,45b	1,71	4,19
	Coraline	1,28	6,71b	1,06	3,02
	Petrina	1,76	6,74b	0,74	3,08
	Średnio	1,61A	5,60A	0,84A	2,69A
60	Abelina	2,09	5,66a	0,21	2,65
	Sculptor	1,03	5,86a	0,51	2,47
	Malaga	1,49	9,11b	1,77	4,12
	Coraline	1,46	7,73ab	0,60	3,26
	Petrina	2,19	5,81a	0,72	2,91
	Średnio	1,65A	6,83B	0,76A	3,08A

Średnio	Abelina	1,87b	4,25a	0,36a	2,16
	Sculptor	1,00a	4,56a	0,35a	1,97
	Malaga	1,95b	8,78c	1,74b	4,16
	Coraline	1,37ab	7,22b	0,83a	3,14
	Petrina	1,98b	6,28b	0,73a	2,99
	Średnio	1,63	6,22	0,80	2,88
NIR ($\alpha=0,05$)	dawka N (I)	r.n.	0,603	r.n.	r.n.
	odmiana (II)	0,822	1,336	0,638	r.n.
	I×II	r.n.	2,202	r.n.	r.n.

Tabela 27. Wskaźnik funkcjonowania PSII (PI) w zależności od odmiany i dawki azotu w 2018 r.

Dawka N (kg·ha ⁻¹)	Odmiana	Faza rozwojowa (wg BBCH)				Średnio
		61	65	70	77	
0	Abelina	0,89	1,38	2,92	2,57	1,94
	Sculptor	0,29	1,13	0,59	0,64	0,66
	Malaga	1,79	1,96	4,94	6,96	3,91
	Coraline	0,70	1,14	2,42	3,80	2,02
	Petrina	0,83	0,85	2,17	2,23	1,52
	Średnio	0,90B	1,29B	2,61A	3,24B	2,01A
30	Abelina	0,58	1,31	1,95	1,49	1,33
	Sculptor	0,20	0,56	0,71	0,44	0,48
	Malaga	0,66	1,17	3,61	5,22	2,67
	Coraline	0,52	1,11	2,17	4,35	2,04
	Petrina	0,63	1,26	1,93	0,81	1,16
	Średnio	0,51A	1,08AB	2,07A	2,46AB	1,53A
60	Abelina	0,39	1,36	1,81	2,18	1,44
	Sculptor	0,08	0,58	0,68	0,61	0,49
	Malaga	1,49	1,14	3,71	4,21	2,64
	Coraline	0,17	0,66	2,19	2,60	1,41
	Petrina	0,32	0,92	1,60	1,06	0,98
	Średnio	0,49A	0,93A	2,00A	2,13A	1,39A
Średnio	Abelina	0,62a	1,35b	2,23b	2,08b	1,57a
	Sculptor	0,19a	0,76a	0,66a	0,56a	0,54a
	Malaga	1,31b	1,42b	4,08c	5,46d	3,07b
	Coraline	0,46a	0,97ab	2,26b	3,58c	1,82ab
	Petrina	0,59a	1,01ab	1,90b	1,37ab	1,22a
	Średnio	0,63	1,10	2,23	2,61	1,64
NIR ($\alpha=0,05$)	dawka N (I)	0,311	0,357	r.n.	0,802	r.n.
	odmiana (II)	0,470	0,540	0,998	1,212	1,426
	I×II	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.

Tabela 28. Wskaźnik funkcjonowania PSII (PI) w zależności od odmiany i dawki azotu w 2019 r.

Dawka N (kg·ha ⁻¹)	Odmiana	Faza rozwojowa (wg BBCH)				Średnio
		61	65	70	77	
0	Abelina	3,98abc	5,12	6,14b	10,1	6,34
	Sculptor	2,10a	2,55	3,78ab	8,62	4,35
	Malaga	4,80c	4,11	4,80ab	11,8	6,46
	Coraline	4,24bc	3,49	3,55a	11,6	5,77
	Petrina	2,67ab	3,25	5,41ab	12,8	6,11
	Średnio	3,56B	3,70A	4,98A	10,0B	5,81A
30	Abelina	4,71b	4,14	6,84b	10,5	6,47
	Sculptor	1,86a	3,42	5,03ab	7,61	4,37
	Malaga	2,70ab	3,10	6,84b	12,0	5,62
	Coraline	3,00ab	2,75	3,57a	11,2	5,13
	Petrina	3,14ab	2,30	6,59b	11,8	5,87
	Średnio	3,08AB	3,14A	5,12A	10,6B	5,49A
60	Abelina	3,62a	5,94	4,92ab	4,99	4,94
	Sculptor	1,70a	2,84	2,59a	4,65	2,95
	Malaga	3,32a	4,27	6,34b	8,14	5,40
	Coraline	2,11a	2,79	6,71b	8,54	4,81
	Petrina	3,07a	4,04	6,23b	7,26	5,05
	Średnio	2,76A	3,98A	5,05A	6,71A	4,63A
Średnio	Abelina	4,10c	5,06b	5,96c	8,51b	5,92
	Sculptor	1,89a	2,94a	3,77a	6,96a	3,89
	Malaga	3,61bc	3,82ab	5,22bc	10,6c	5,82
	Coraline	3,12b	3,01a	4,37ab	10,4c	5,24
	Petrina	2,96b	3,20a	5,93c	10,6c	5,68
	Średnio	3,13	3,61	5,05	9,44	5,31
NIR ($\alpha=0,05$)	dawka N (I)	0,627	r.n.	r.n.	0,821	r.n.
	odmiana (II)	0,947	1,297	1,152	1,240	r.n.
	I×II	2,049	r.n.	2,492	r.n.	r.n.

4.1.4. Wskaźnik pokrycia gleby liśćmi (LAI)

Wskaźnik pokrycia liściowego, tzw. indeks LAI (Leaf area index) służy do określania dynamiki wzrostu oraz akumulacji biomasy przez rośliny. W trzyletnim okresie badań najwyższy indeks LAI zanotowano w 2019 r. (średnio 6,44), niższy w 2017 r. (średnio 5,74), a najniższy w 2018 r. (średnio 4,42) (Tabele 29-31).

W pierwszym roku badań, istotnie większy wskaźnik pokrycia liściowego wykazano na obiekcie N30 w porównaniu do N60 w fazach BBCH 65 i BBCH 77 (odpowiednio o 17,6% i 23,6%) (Tabela 29). W fazie BBCH 70 i w wartościach średnich nie wykazano różnic potwierdzonych statystycznie, a jedynie tendencję. Odmiana istotnie różnicowała wartość indeksu LAI w fazach BBCH 70 i BBCH 77. W obu fazach rozwojowych najmniejsze wartości tego indeksu zanotowano u Abeliny, a istotnie większe

– w fazie BBCH 70 u odmian Sculptor, Coraline i Petrina zaś w fazie BBCH 77 – u odmian Malaga, Coraline i Petrina. Największe wartości indeksu LAI, w obu fazach rozwojowych wykazano u odmiany Coraline.

W dwóch fazie rozwojowych wykazano istotne współdziałanie czynników doświadczenia i jego wpływ na wskaźnik pokrycia gleby liśćmi. W fazie BBCH 70 na obiekcie N30 Abelina charakteryzowała się istotnie niższą wartością tego wskaźnika w porównaniu do pozostałych odmian. Z kolei w fazie BBCH 77, na obiekcie N30 Abelina, Sculptor i Petrina odznaczyły się istotnie niższym indeksem LAI w porównaniu do Malagi i Coraline, a na obiekcie N60 – Abelina w porównaniu do pozostałych odmian, z wyjątkiem Sculptora.

W drugim roku prowadzenia doświadczenia istotny wpływ nawożenia azotem na wartość wskaźnika LAI odnotowano jedynie w fazie pełni kwitnienia (BBCH 65) (Tabela 30). Na obiektach N0 i N30 wykazano istotnie wyższą wartość wskaźnika pokrycia gleby liśćmi w porównaniu do obiektu N60 (odpowiednio o 29,6% i 38,3%). We wszystkich fazach rozwojowych, z wyjątkiem BBCH 70 wykazano istotny wpływ odmiany na wartość tego parametru. W fazie początku kwitnienia (BBCH 61) istotnie wyższą wartość indeksu LAI wykazano u odmiany Coraline w porównaniu do Sculptora, w fazie pełni kwitnienia (BBCH 65) – u odmian Coraline i Petrina w porównaniu do Abeliny, natomiast w fazie wypełniania strąków (BBCH 77) – u odmian Malaga, Coraline i Petrina w porównaniu do pozostałych odmian.

W 2018 r. istotne interakcje czynników doświadczenia wykazano we wszystkich fazach rozwojowych z wyjątkiem BBCH 70. Na obiekcie N30, istotnie wyższą wartością indeksu LAI odznaczyły się: w fazie BBCH 61 odmiany Coraline i Petrina w porównaniu do Sculptora, w fazie BBCH 65 – Petrina w porównaniu do Malagi, a w fazie BBCH 77 – Sculptor, Malaga, Coraline i Petrina w porównaniu do Abeliny. Z kolei na obiekcie N60, istotnie niższym wskaźnikiem pokrycia gleby w porównaniu do pozostałych odmian charakteryzowały się: Abelina w fazie BBCH 65 i Sculptor w fazie BBCH 77.

W 2019 r. nawożenie azotem istotnie wpłynęło na wartość indeksu LAI tylko w fazie początku kwitnienia (BBCH 61) (Tabela 31). Na obiektach N0 i N30 odnotowano istotnie wyższą wartość tego parametru w porównaniu do N60 (odpowiednio o 8,6% i 8,1%). W pozostałych fazach rozwojowych (z wyjątkiem BBCH 77) oraz w wartościach średnich zanotowano taką samą tendencję, ale nie potwierdzoną statystycznie. Istotny wpływ odmiany na wartość indeksu LAI wykazano jedynie w fazie BBCH 77. Odmiana Sculptor charakteryzowała się istotnie wyższą wartością wskaźnika pokrycia gleby liśćmi

w porównaniu z Abeliną. Taką samą tendencję, nieudowodnioną statystycznie zanotowano w pozostałych fazach rozwojowych (z wyjątkiem BBCH 65) oraz w wartościach średnich.

W 2019 r. istotne współdziałanie czynników doświadczenia wykazano tylko w fazie BBCH 77. Na obiekcie N30 Abelina odznaczyła się istotnie niższą wartością wskaźnika LAI w porównaniu do pozostałych odmian, natomiast na obiekcie N60 odmiana Sculptor charakteryzowała się istotnie wyższą wartością tego parametru w porównaniu do pozostałych odmian, z wyjątkiem Abeliny.

Tabela 29. Wskaźnik pokrycia gleby liśćmi (LAI) w zależności od odmiany i dawki azotu w 2017 r.

Dawka N (kg·ha ⁻¹)	Odmiana	Faza rozwojowa (wg BBCH)			Średnio
		65	70	77	
30	Abelina	6,71	4,52 a	3,44 a	4,89
	Sculptor	8,11	6,25 b	3,05 a	5,80
	Malaga	7,76	5,98 b	5,47 b	6,40
	Coraline	8,26	6,86 b	6,51 b	7,21
	Petrina	7,84	6,70 b	4,01 a	6,18
	Średnio	7,74 B	6,06A	4,50 B	6,10A
60	Abelina	6,34	6,00 a	2,24 a	4,86
	Sculptor	6,99	6,25 a	3,25 ab	5,50
	Malaga	6,12	5,62 a	4,11 bc	5,28
	Coraline	7,04	6,17 a	5,03 c	6,08
	Petrina	6,41	5,94 a	3,56 b	5,30
	Średnio	6,58 A	6,00 A	3,64 A	5,40A
Średnio	Abelina	6,53	5,26 a	2,84 a	4,88
	Sculptor	7,55	6,25 b	3,15 ab	5,65
	Malaga	6,94	5,80 ab	4,79 c	5,84
	Coraline	7,65	6,51 b	5,77 d	6,65
	Petrina	7,13	6,32 b	3,87 b	5,74
	Średnio	7,16	6,03	4,01	5,75
NIR ($\alpha=0,05$)	dawka N (I)	0,633	r.n.	0,364	r.n.
	odmiana (II)	r.n.	0,854	0,825	r.n.
	I×II	r.n.	1,190	1,150	r.n.

Tabela 30. Wskaźnik pokrycia gleby liśćmi (LAI) w zależności od odmiany i dawki azotu w 2018 r.

Dawka N (kg·ha ⁻¹)	Odmiana	Faza rozwojowa (wg BBCH)				Średnio
		61	65	70	77	
0	Abelina	2,97a	3,72a	6,19	4,19ab	4,27
	Sculptor	2,35a	4,28a	6,48	3,09a	4,05
	Malaga	2,78a	3,94a	5,47	6,62c	4,70
	Coraline	3,51a	4,50a	5,73	5,51bc	4,81
	Petrina	3,00a	4,56a	6,37	6,39c	5,08
	Średnio	2,92A	4,20 B	6,05A	5,16A	4,58A

30	Abelina	2,64ab	4,56ab	5,25	3,46a	3,98
	Sculptor	1,74a	3,82ab	4,79	6,36b	4,18
	Malaga	2,67ab	3,65a	6,06	5,88b	4,57
	Coraline	3,47b	4,97ab	6,11	6,37b	5,23
	Petrina	3,00b	5,41b	4,76	5,01b	4,55
	Średnio	2,71A	4,48 B	5,40A	5,42A	4,50A
60	Abelina	3,17a	1,27a	6,41	4,19ab	3,76
	Sculptor	3,33a	4,22b	5,50	3,09a	4,04
	Malaga	2,44a	3,86b	4,54	6,62c	4,37
	Coraline	2,83a	3,37b	5,80	5,51bc	4,38
	Petrina	2,44a	3,48b	5,18	6,39c	4,37
	Średnio	2,84A	3,24 A	5,49A	5,16A	4,18A
Średnio	Abelina	2,92 ab	3,18 a	5,95	3,95 a	4,00
	Sculptor	2,47 a	4,11 ab	5,95	4,18 a	4,09
	Malaga	2,63 ab	3,81 ab	5,36	6,38 b	4,54
	Coraline	3,27 b	4,28 b	5,88	5,80 b	4,81
	Petrina	2,82 ab	4,48 b	5,44	5,93 b	4,67
	Średnio	2,82	3,97	5,64	5,25	4,42
NIR ($\alpha=0,05$)	dawka N (I)	r.n.	0,618	r.n.	r.n.	r.n.
	odmiana (II)	0,697	0,939	r.n.	0,866	r.n.
	I×II	1,207	1,618	r.n.	1,494	r.n.

Tabela 31. Wskaźnik pokrycia gleby liśćmi (LAI) w zależności od odmiany i dawki azotu w 2019 r.

Dawka N (kg·ha ⁻¹)	Odmiana	Faza rozwojowa (wg BBCH)				Średnio
		61	65	70	77	
0	Abelina	4,60	6,90	6,86	6,79a	6,29
	Sculptor	5,49	7,01	7,79	6,77a	6,77
	Malaga	4,83	6,64	7,36	6,96a	6,45
	Coraline	4,79	6,63	6,62	7,22a	6,32
	Petrina	5,03	6,32	8,07	6,75a	6,54
	Średnio	4,95B	6,70A	7,34A	6,90A	6,47A
30	Abelina	5,19	5,92	6,89	5,65a	5,91
	Sculptor	5,33	6,63	7,75	7,71b	6,86
	Malaga	4,63	6,57	7,36	7,66b	6,56
	Coraline	4,99	7,28	7,31	7,96b	6,89
	Petrina	4,54	6,51	7,89	7,81b	6,69
	Średnio	4,93B	6,58A	7,44A	7,36A	6,58A
60	Abelina	4,19	5,88	6,71	7,30ab	6,02
	Sculptor	4,40	6,13	7,55	8,75b	6,71
	Malaga	4,75	6,70	7,08	6,44a	6,24
	Coraline	4,80	6,86	7,16	6,68a	6,38
	Petrina	4,66	6,21	7,11	6,13a	6,03
	Średnio	4,56A	6,36A	7,12A	7,06A	6,27A
Średnio	Abelina	4,66	6,23	6,82	6,58a	6,07
	Sculptor	5,07	6,59	7,70	7,74b	6,78
	Malaga	4,73	6,64	7,27	7,02ab	6,42
	Coraline	4,86	6,93	7,03	7,29ab	6,53
	Petrina	4,74	6,35	7,69	6,90ab	6,42
	Średnio	4,81	6,55	7,30	7,10	6,44

NIR ($\alpha=0,05$)	dawka N (I)	0,371	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.
	odmiana (II)	r.n.	r.n.	r.n.	0,842	r.n.
	I×II	r.n.	r.n.	r.n.	1,453	r.n.

4.1.5. Indeks zieloności liścia (SPAD)

Reakcję roślin na zmieniające się warunki środowiska można określić za pomocą oceny zawartości barwników chlorofilowych, które odpowiadają za procesy życiowe roślin oraz wpływają na ich skład chemiczny. W trzyletnim okresie badań najwyższą względną zawartość chlorofilu w liściach soi (indeks SPAD) zanotowano w 2019 r. (średnio 561), niższą w 2018 r. (średnio 411), a najniższą w 2017 r. (średnio 405) (Tabele 32-34).

W 2017 r., najwyższy indeks SPAD wykazano w fazie BBCH 70 (Tabela 32). Biorąc pod uwagę dawkę azotu, istotne różnice zanotowano tylko w fazie BBCH 77. Istotnie większy indeks zieloności liścia wykazano na obiekcie N60 w porównaniu do N30 (o 13,7 %). W fazie BBCH 65 oraz w wartościach średnich nie wykazano różnic potwierdzonych statystycznie, a jedynie taką samą tendencję. Odmiana różnicowała w sposób istotny wartość indeksu SPAD w fazach BBCH 70 i BBCH 77. W obu fazach rozwojowych najmniejsze wartości tego indeksu zanotowano u Abeliny, a w fazie BBCH 77 także u odmiany Sculptor, a istotnie większe – w fazie BBCH 70 u odmian Malaga i Petrina, natomiast w fazie BBCH 77 u odmian Malaga, Petrina i Coraline. Największe wartości indeksu SPAD, w obu fazach rozwojowych wykazano u odmiany Malaga. Podobną tendencję, nie potwierdzoną statystycznie, wykazano w fazie BBCH 65 i wartościach średnich.

Istotne współdziałanie czynników doświadczenia i ich wpływ na indeks zieloności liścia wykazano tylko w fazie BBCH 77. Na obiekcie N30 odmiany Malaga i Coraline charakteryzowały się istotnie wyższą wartością indeksu SPAD w porównaniu do pozostałych odmian, a na obiekcie N60 – odmiana Malaga w porównaniu do pozostałych odmian, z wyjątkiem Coraline.

W drugim roku prowadzenia doświadczenia istotny wpływ dawki azotu na wartość indeksu SPAD odnotowano w fazach BBCH 65 i BBCH 70 (Tabela 33). W fazie pełni kwitnienia (BBCH 65) na obiekcie N60 wartość SPAD była istotnie większa w porównaniu do obiektów N0 i N30 (odpowiednio o 5,7% i 6,5%). Podobną tendencję, ale nie udowodnioną statystycznie odnotowano w fazach BBCH 61, BBCH 77 oraz w wartościach średnich. W fazie BBCH 70 istotnie wyższą wartość indeksu SPAD odnotowano dla obiektu N30 w porównaniu do N0 i N60 (odpowiednio o 5,5% i 7,0%). We wszystkich

fazach rozwojowych oraz wartościach średnich odnotowano istotny wpływ odmiany na wartość indeksu SPAD. W fazie początku kwitnienia (BBCH 61) istotnie wyższą wartość tego indeksu wykazano u odmiany Malaga w porównaniu do pozostałych odmian, w fazie pełni kwitnienia (BBCH 65) – u odmiany Malaga w porównaniu do Abeliny i Coraline, w fazie początku rozwoju strąków (BBCH 70) – u odmian Abelina, Malaga i Petrina w porównaniu do pozostałych odmian, natomiast w fazie wypełniania strąków (BBCH 77) – u odmian Malaga i Coraline w porównaniu do pozostałych odmian. W wartościach średnich istotnie większą wartość indeksu SPAD osiągnęła Malaga w porównaniu do odmiany Sculptor. W fazach rozwojowych BBCH 61, BBCH 65 i BBCH 77 oraz wartościach średnich największą wartością indeksu zieloności liścia odznaczała się odmiana Malaga, a w fazie BBCH 70 Petrina.

Istotne interakcje czynników doświadczenia wykazano we wszystkich fazach rozwojowych z wyjątkiem BBCH 61. W fazie BBCH 65 przy dawce N60 odmiana Petrina charakteryzowała się istotnie wyższą wartością indeksu SPAD w porównaniu do Abeliny. W fazie BBCH 70 na obiekcie kontrolnym (N0) Petrina odznaczyła się istotnie wyższą wartością SPAD w porównaniu do pozostałych odmian, z wyjątkiem Malagi. Na obiekcie N30 istotnie niższą wartość indeksu zieloności liści odnotowano dla odmiany Sculptor w porównaniu do pozostałych odmian z wyjątkiem Coraline. Na obiekcie N60 istotnie wyższą wartością indeksu SPAD charakteryzowała się Abelina, w porównaniu do odmiany Sculptor. W fazie BBCH 77, niezależnie od dawki azotu istotnie wyższą wartością SPAD odznaczyły się Malaga i Coraline w porównaniu do pozostałych odmian.

W 2019 r. nie wykazano istotnego wpływu dawki azotu na względną zawartość chlorofilu w liściach soi (Tabela 34). Istotny wpływ odmiany na wartość indeksu zieloności liścia wykazano we wszystkich fazach rozwojowych oraz w wartościach średnich. Najniższą wartością indeksu SPAD charakteryzowały się: w fazach BBCH 61 i BBCH 65 – odmiana Sculptor, w fazie BBCH 70 – odmiana Coraline, natomiast w fazie BBCH 77 – odmiany Coraline i Abelina. Z kolei najwyższym indeksem zieloności liścia charakteryzowała się na ogół Petrina, zwłaszcza w późniejszych fazach rozwojowych (BBCH 70 i BBCH 77).

W ostatnim roku prowadzenia badań nie wykazano istotnego współdziałania czynników doświadczenia oraz ich wpływu na wartość indeksu SPAD.

Tabela 32. Indeks zieloności liścia (SPAD) w zależności od dawki azotu i odmiany w 2017 r.

Dawka N (kg·ha ⁻¹)	Odmiana	Faza rozwojowa (wg BBCH)			Średnio
		65	70	77	
30	Abelina	377	425	197a	333
	Sculptor	374	467	180a	340
	Malaga	395	514	469c	459
	Coraline	366	485	456c	441
	Petrina	385	464	308b	403
	Średnio	379A	482A	322A	395A
60	Abelina	412	451	191a	351
	Sculptor	379	493	269a	380
	Malaga	416	514	502c	477
	Coraline	377	464	493bc	445
	Petrina	400	482	376b	419
	Średnio	397A	481	366B	415A
Średnio	Abelina	394	438a	194a	342
	Sculptor	376	480ab	225a	360
	Malaga	405	514b	486c	468
	Coraline	372	475ab	474c	443
	Petrina	392	499b	342b	411
	Średnio	388	481	344	405
NIR ($\alpha=0,05$)	dawka N (I)	r.n.	r.n.	28,62	r.n.
	odmiana (II)	r.n.	50,07	64,93	r.n.
	I×II	r.n.	r.n.	90,50	r.n.

Tabela 33. Indeks zieloności liścia (SPAD) w zależności od dawki azotu i odmiany w 2018 r.

Dawka N (kg·ha ⁻¹)	Odmiana	Faza rozwojowa (wg BBCH)				Średnio
		61	65	70	77	
0	Abelina	308	405a	487bc	346b	387
	Sculptor	333	395a	423a	158a	327
	Malaga	412	427a	535cd	560c	484
	Coraline	358	381a	461ab	539c	435
	Petrina	338	400a	570d	238a	387
	Średnio	350A	402A	495A	368A	404A
30	Abelina	338	393a	553b	419b	426
	Sculptor	335	406a	467a	159a	342
	Malaga	407	433a	543b	551c	484
	Coraline	349	379a	494ab	544c	442
	Petrina	370	382a	552b	197a	375
	Średnio	360A	399A	522B	374A	414A
60	Abelina	338	383a	521b	356b	400
	Sculptor	339	417ab	448a	216a	355
	Malaga	413	440ab	505ab	538c	474
	Coraline	402	436ab	459ab	510c	452
	Petrina	375	452b	509ab	269ab	401
	Średnio	374A	425B	488A	378A	416A

Średnio	Abelina	328a	393a	520b	374c	404ab
	Sculptor	335ab	406ab	446a	178a	341a
	Malaga	411c	433b	528b	550d	480b
	Coraline	370b	399a	471a	531d	443ab
	Petrina	361ab	412ab	544b	235b	388ab
	Średnio	361	409	502	373	411
NIR ($\alpha=0,05$)	dawka N (I)	r.n.	19,46	19,00	r.n.	r.n.
	odmiana (II)	35,88	29,55	28,86	45,92	114,83
	I×II	r.n.	65,02	63,49	101,02	r.n.

Tabela 34. Indeks zieloności liścia (SPAD) w zależności od dawki azotu i odmiany w 2019 r.

Dawka N (kg·ha ⁻¹)	Odmiana	Faza rozwojowa (wg BBCH)				Średnio
		61	65	70	77	
0	Abelina	508	510	550	561	545
	Sculptor	475	448	545	586	545
	Malaga	530	497	550	626	583
	Coraline	541	496	517	581	554
	Petrina	534	497	575	630	589
	Średnio	518A	490A	547A	597A	563A
30	Abelina	524	531	534	587	562
	Sculptor	475	441	545	570	534
	Malaga	555	525	526	591	567
	Coraline	536	515	517	586	559
	Petrina	541	515	563	615	583
	Średnio	526A	505A	537A	590A	561A
60	Abelina	519	508	535	578	522
	Sculptor	460	445	532	592	503
	Malaga	554	507	557	595	553
	Coraline	551	502	524	565	519
	Petrina	572	503	562	597	553
	Średnio	531A	493A	542A	585A	558A
Średnio	Abelina	517b	516b	540b	575a	553ab
	Sculptor	470a	445a	541b	583ab	541a
	Malaga	546c	510b	545b	604bc	574ab
	Coraline	543c	505b	519a	577a	554ab
	Petrina	549c	505b	567c	614c	582b
	Średnio	525	496	542	591	561
NIR ($\alpha=0,05$)	dawka N (I)	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.
	odmiana (II)	21,70	26,68	20,22	25,16	38,11
	I×II	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.

4.1.6. Zależności pomiędzy plonem nasion a wybranymi wskaźnikami

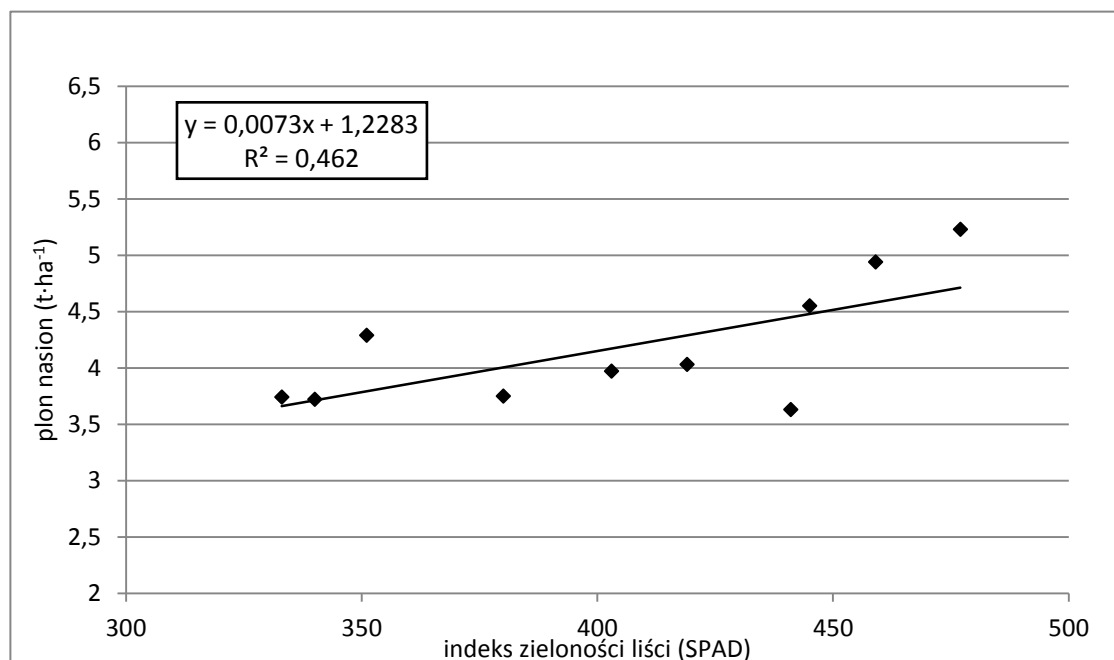
Analiza statystyczna wykazała istotną dodatnią korelację pomiędzy plonem nasion soi a indeksem zieloności liścia SPAD oraz wskaźnikami fluorescencji chlorofilu Fv/Fm i Pi.

Tabela 35. Współczynnik korelacji prostej pomiędzy plonem nasion soi a wskaźnikami LAI, SPAD, Fv/Fm i Pi

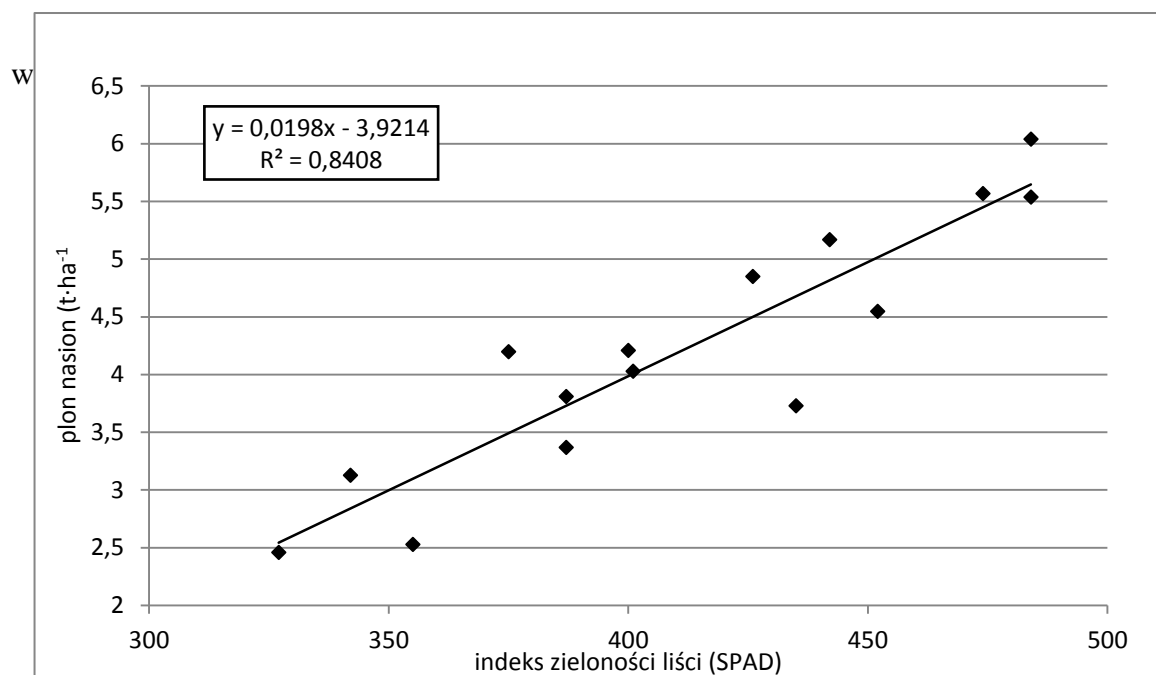
Cecha	LAI	SPAD	Fv/Fm	Pi
Plon nasion	0,013	0,485 ***	0,370 *	0,287 *
LAI		0,502 ***	0,588 ***	0,562 ***
SPAD			0,579 ***	0,546 ***
Fv/Fm				0,795 ***

Wyniki istotne statystycznie na poziomie istotności: *** $p \leq 0,0001$; ** $p \leq 0,001$; * $p \leq 0,05$.

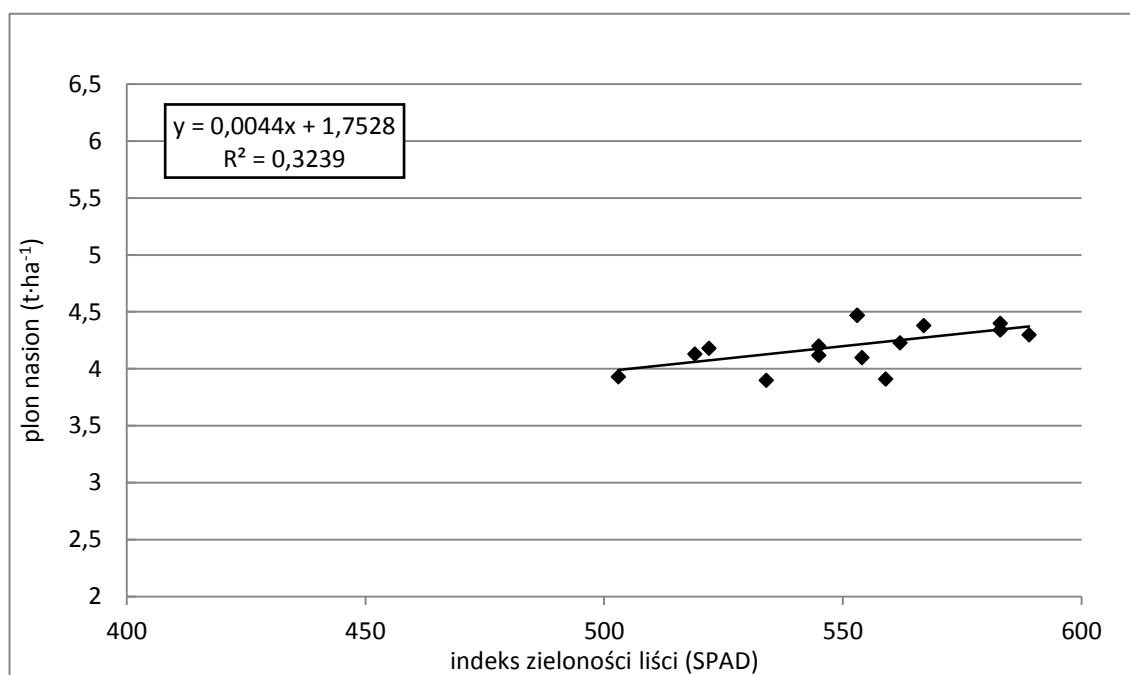
Obliczone współczynniki determinacji i równania regresji wykazały istotną, dodatnią zależność pomiędzy plonem nasion soi a indeksem zieloności liścia (SPAD) we wszystkich latach badań (Rys. 3-5). Wykazano silną, dodatnią zależność pomiędzy indeksem SPAD a plonem nasion soi w 2018 r. ($R^2 = 0,84$), a w 2017 i 2019 r. współczynnik determinacji wyniósł odpowiednio $R^2 = 0,46$ i $R^2 = 0,32$. Zależność ta była wprost proporcjonalna, co świadczy o wysoce istotnym, wpływie zawartości chlorofilu w liściach na plonowanie soi.



Rys. 3. Zależności między plonem nasion soi a indeksem zieloności liścia (SPAD) w 2017 r.

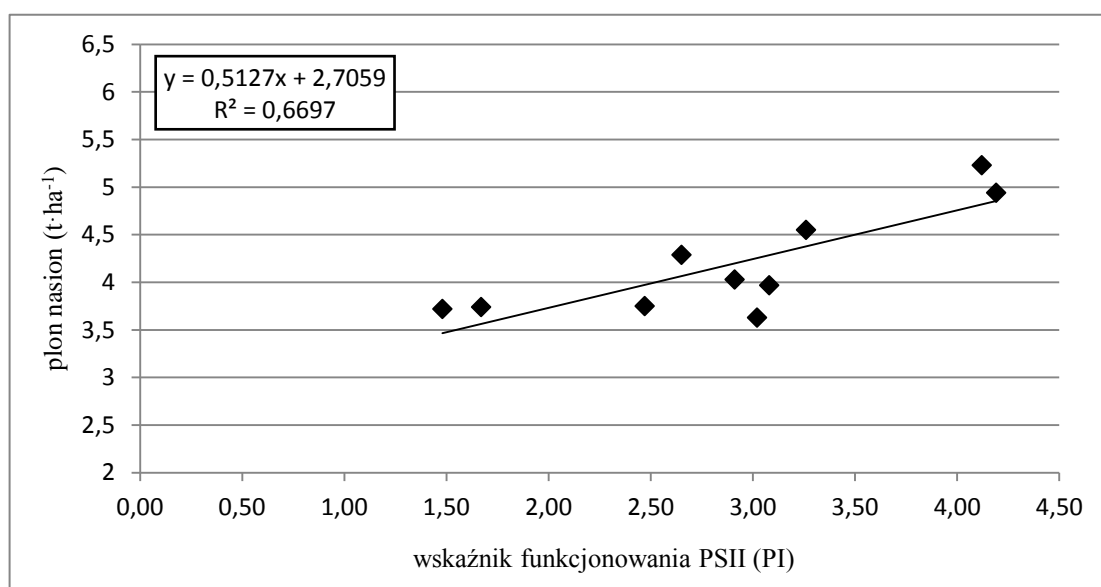


Rys. 4. Zależności między plonem nasion soi a indeksem zieloności liścia (SPAD) w 2018 r.

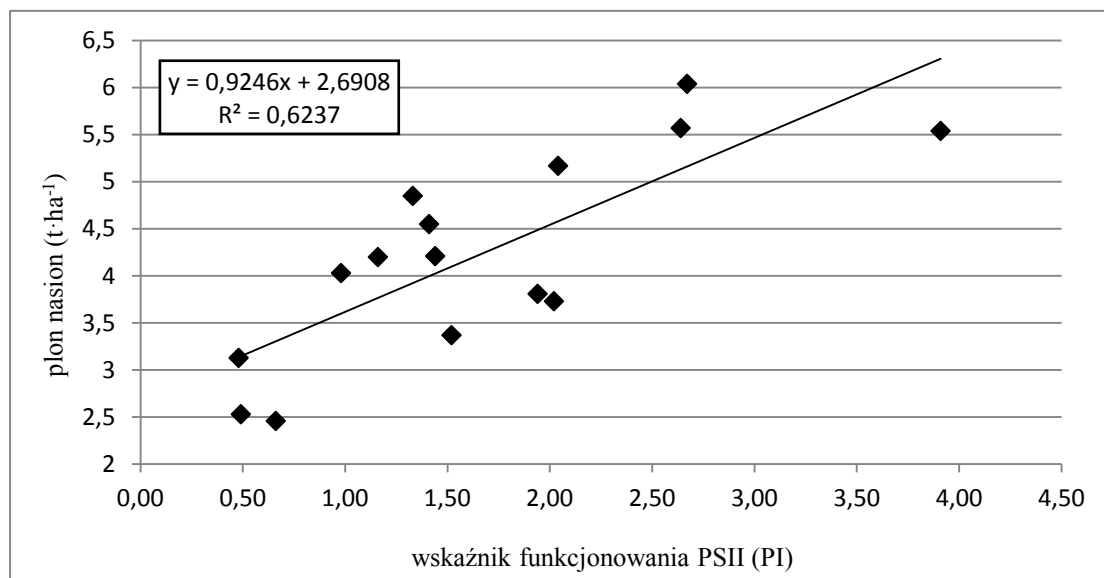


Rys. 5. Zależności między plonem nasion soi a indeksem zieloności liścia (SPAD) w 2019 r.

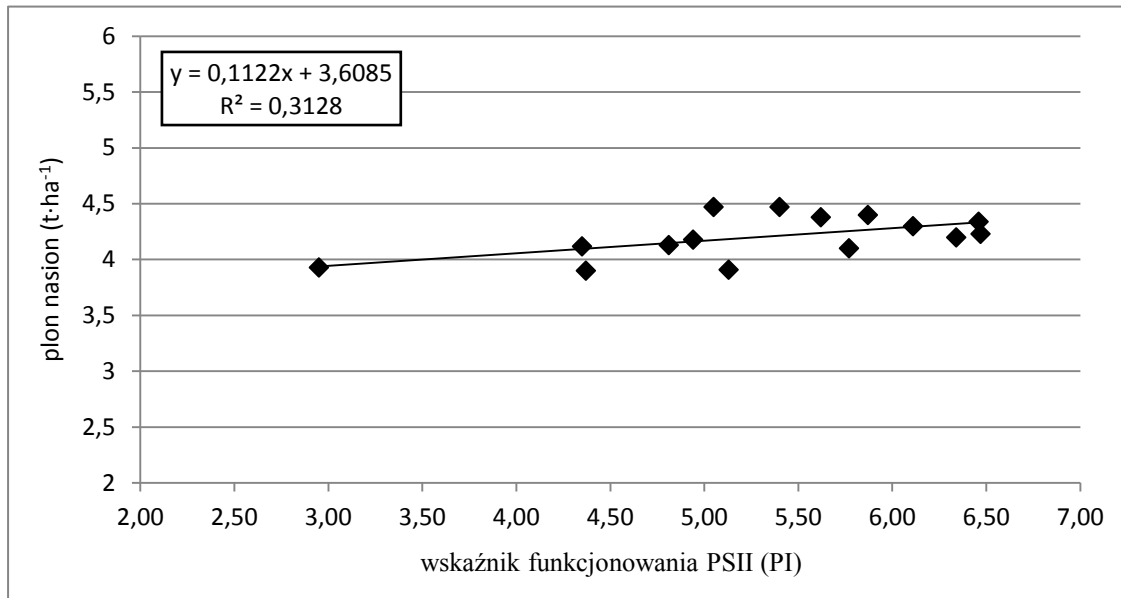
Obliczone współczynniki determinacji i równania regresji wykazały istotną, dodatnią zależność pomiędzy wskaźnikiem funkcjonowania PSII (PI), a plonem nasion soi we wszystkich latach badań (Rys. 6-8). W latach 2017-2019 współczynnik determinacji wyniósł, odpowiednio 0,67; 0,62 i 0,31. Zależność ta była wprost proporcjonalna, co świadczy o istotnym wpływie wskaźnika PI opisującego fluorescencję chlorofilu i sprawności całego aparatu fotosyntetycznego na plonowanie soi.



Rys. 6. Zależności między plonem nasion soi a wskaźnikiem funkcjonowania PSII (PI) w 2017 r.



Rys. 7. Zależności między plonem nasion soi a wskaźnikiem funkcjonowania PSII (PI) w 2018 r.



Rys. 8. Zależności między plonem nasion soi a wskaźnikiem funkcjonowania PSII (PI) w 2019 r.

4.1.7. Właściwości mikrobiologiczne gleby

Liczebność wolnożyjących asymilatorów azotu w glebie

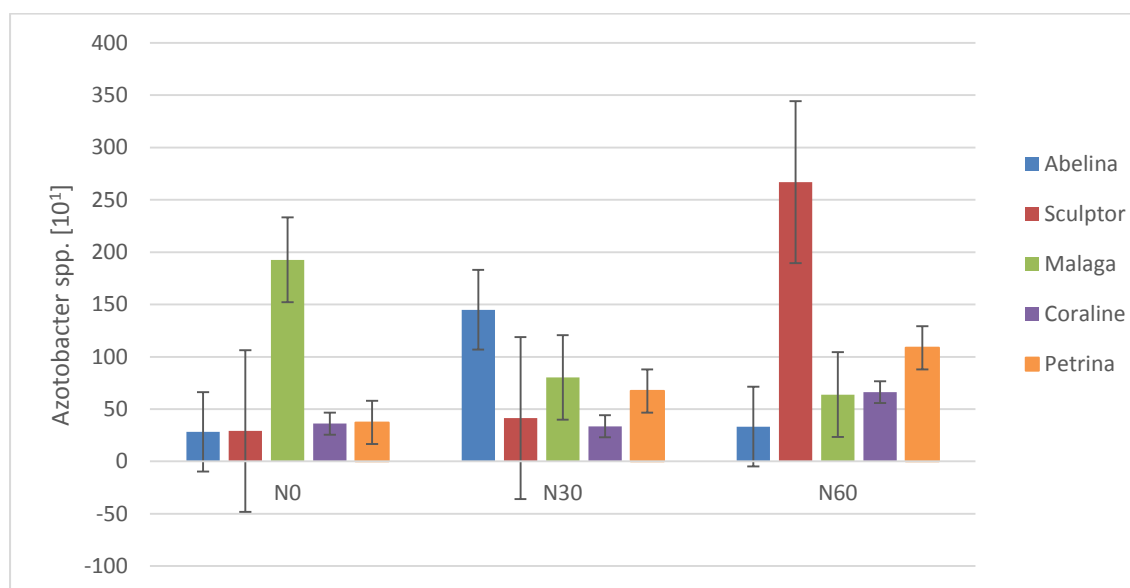
W 2019 r. uwzględniając dawkę azotu, najwyższe liczebności populacji bakterii glebowych oznaczono w glebie z obiektu N60 w porównaniu do N0 i N30 (odpowiednio o 66,6% i 46,7%) (Tabela 36).

Odmiana w sposób istotny różnicowała liczebność wolnożyjących asymilatorów azotu w glebie. Istotnie większą liczebnością omawianej grupy bakterii charakteryzowała się gleba, na której uprawiano odmiany Sculptor i Malaga w porównaniu do pozostałych odmian.

Wykazano istotną interakcję badanych czynników doświadczenia oraz ich wpływ na liczebność *Azotobacter* w glebie (Rys. 9). Na obiekcie bez nawożenia azotem (N0) najwięcej kolonii wolnożyjących asymilatorów N stwierdzono w glebie pod soją odmianą Malaga, w przypadku obiektu N30 była to odmiana Abelina, zaś na N60 – odmiana Sculptor.

Tabela 36 Średnia liczebność wolnożyjących asymilatorów azotu z rodzaju *Azotobacter* w glebie [10^1] w zależności od dawki azotu i odmiany

Czynniki	Rok 2019
Dawka azotu ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	
0	64,7A
30	73,5A
60	107,8B
Odmiana	
Abelina	68,8b
Sculptor	112,5c
Malaga	112,3c
Coraline	45,3a
Petrina	71,1b
Średnia	82,0
NIR ($\alpha=0,05$) I	12,98
NIR ($\alpha=0,05$) II	19,72
NIR ($\alpha=0,05$) I\timesII	43,38



Rys. 9. Liczebność wolnożyjących asymilatorów azotu z rodzaju *Azotobacter* w 2019 r. w zależności od dawki azotu i odmiany soi (słupki błędów oznaczają błąd standardowy)

Aktywność enzymatyczna dehydrogenaz

Aktywność dehydrogenaz w glebie świadczy o stopniu aktywności mikroorganizmów zasiedlających glebę oraz odzwierciedla wielkości puli ich biomasy. Większą aktywność dehydrogenaz odnotowano w 2019 r. w porównaniu do 2018 r. (średnio o 65,7%) (Tabela 37).

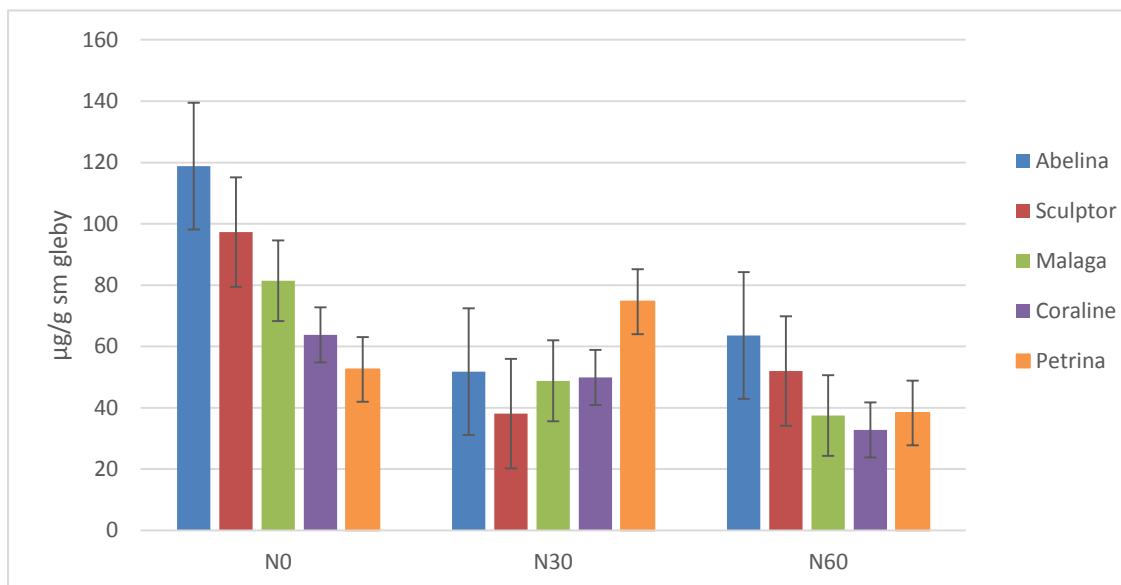
Biorąc pod uwagę dawkę azotu, istotne różnice w aktywności omawianej grupy enzymów pochodzenia drobnoustrojowego odnotowano w obu latach badań. W 2018 r. istotnie większą aktywność dehydrogenaz w glebie zaobserwowano na obiekcie kontrolnym, na którym nie stosowano nawożenia azotem (N0), w porównaniu do obiektów N30 i N60 (odpowiednio o 56,9% i 84,6%). W 2019 r. istotnie większą aktywność omawianej grupy enzymów odnotowano na obiekcie N30, w porównaniu do N0 i N60 (odpowiednio o 8,7% i 30,8%).

Odmiana w sposób istotny różnicowała aktywność dehydrogenaz w glebie tylko w 2018 r. Istotnie większą aktywnością tych enzymów charakteryzowała się gleba, na której uprawiano odmianę Abelina w porównaniu do Coraline (średnio o 60,0%).

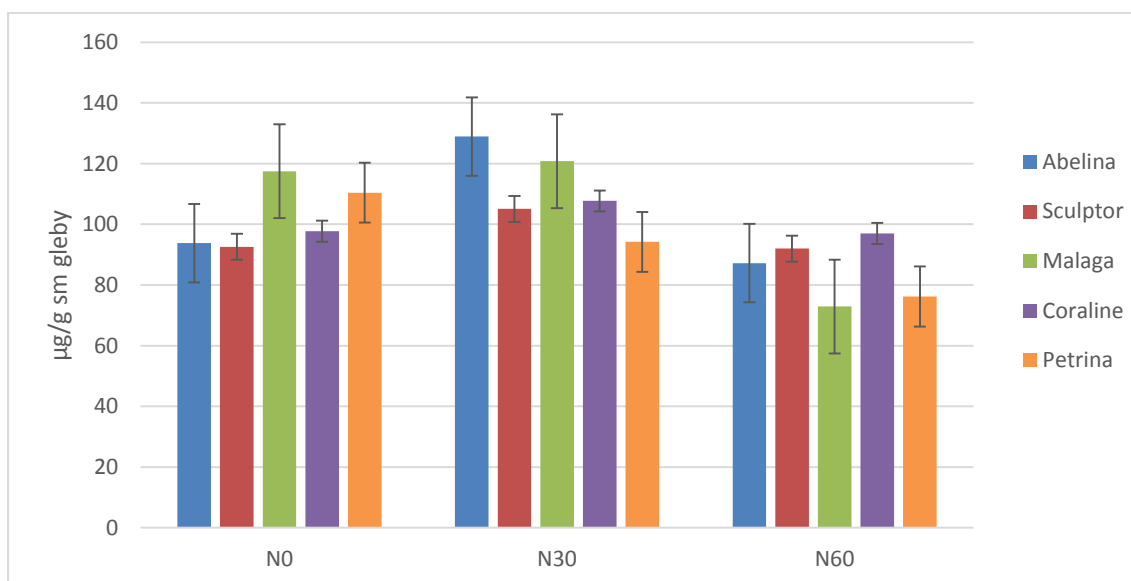
Interakcję badanych czynników doświadczenia oraz ich wpływ na aktywność tej grupy enzymów pochodzenia drobnoustrojowego stwierdzono w obu latach badań (Rys. 10,11). W 2018 r. na obiekcie kontrolnym (N0) gleba na której uprawiano odmianę Abelina charakteryzowała się istotnie większą aktywnością dehydrogenaz w porównaniu do odmian Coraline i Petrina (odpowiednio o 86,2% i 126,3%) (Rys. 10). W 2019 r. na obiekcie N30 najmniejszą aktywnością tej grupy enzymów charakteryzowała się gleba, na której uprawiano odmianę Petrina, zaś istotnie większą – odmiany Abelina i Malaga (odpowiednio o 26,9% i 22%) (Rys. 11).

Tabela 37. Średnia aktywność dehydrogenaz w glebie [$\mu\text{g/g}$]- 3% TTC w zależności od dawki azotu i odmiany

Czynniki	Rok		Średnio (2018-2019)
	2018	2019	
Dawka azotu ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) (I)			
0	82,7B	102,4B	92,6A
30	52,7A	111,3C	82,0A
60	44,8A	85,1A	65,0A
Odmiana (II)			
Abelina	78,1b	103,3a	90,7a
Sculptor	62,5ab	96,6a	79,5a
Malaga	55,9ab	103,8a	79,8a
Coraline	48,8a	100,8a	74,8a
Petrina	55,2ab	93,6a	74,4a
Średnia	60,1	99,6	79,8
NIR ($\alpha=0,05$) I	15,89	7,53	r.n.
NIR ($\alpha=0,05$) II	24,14	r.n.	r.n.
NIR ($\alpha=0,05$) I×II	53,10	25,15	r.n.



Rys.10. Aktywność dehydrogenaz w glebie w 2018 r. w zależności od dawki azotu i odmiany soi (słupki błędów oznaczają błąd standardowy)



Rys.11. Aktywność dehydrogenaz w glebie w 2019 r. w zależności od dawki azotu i odmiany soi (słupki błędów oznaczają błąd standardowy)

Aktywność enzymatyczna fosfataz

Inną grupą enzymów pochodzenia drobnoustrojowego są fosfatazy, które w glebie pełnią niezwykle ważną rolę w przemianach fosforu. Większą aktywność fosfatazy

zasadowej w glebie odnotowano w roku 2019 w porównaniu do 2018 (średnio o 57,5%) (Tabela 38).

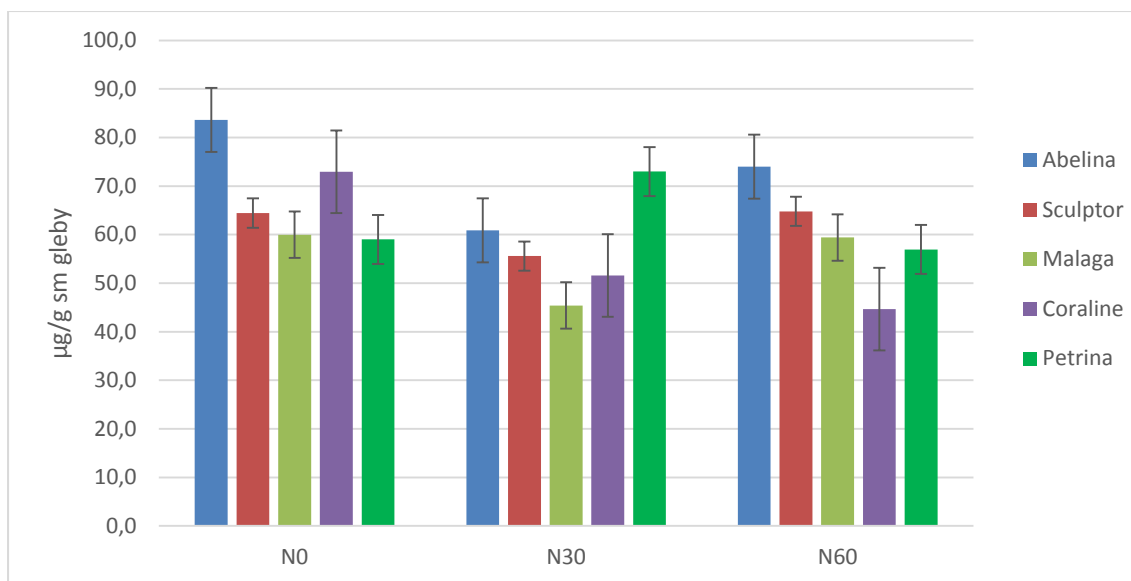
Biorąc pod uwagę dawkę azotu, istotne różnice w aktywności omawianej grupy enzymów pochodzenia drobnoustrojowego odnotowano w obu latach badań. W 2018 r. istotnie większą aktywność fosfatazy zasadowej w glebie zaobserwowano na obiekcie kontrolnym (N0) w porównaniu do obiektów N30 i N60 (odpowiednio o 44,3% i 37,8%). Z kolei w 2019 r. istotnie większą aktywność fosfatazy zasadowej odnotowano na obiekcie N30 w porównaniu do obiektów N0 i N60 (odpowiednio o 6,9% i 12,2%).

Odmiana w sposób istotny różnicowała aktywność fosfatazy zasadowej w glebie w 2018 i 2019 r. W obu latach badań istotnie większą aktywnością enzymatyczną charakteryzowała się gleba, na której uprawiano odmianę Abelina w porównaniu do odmian: Sculptor, Malaga i Coraline w 2018 r. oraz Malaga i Petrina w 2019 r.

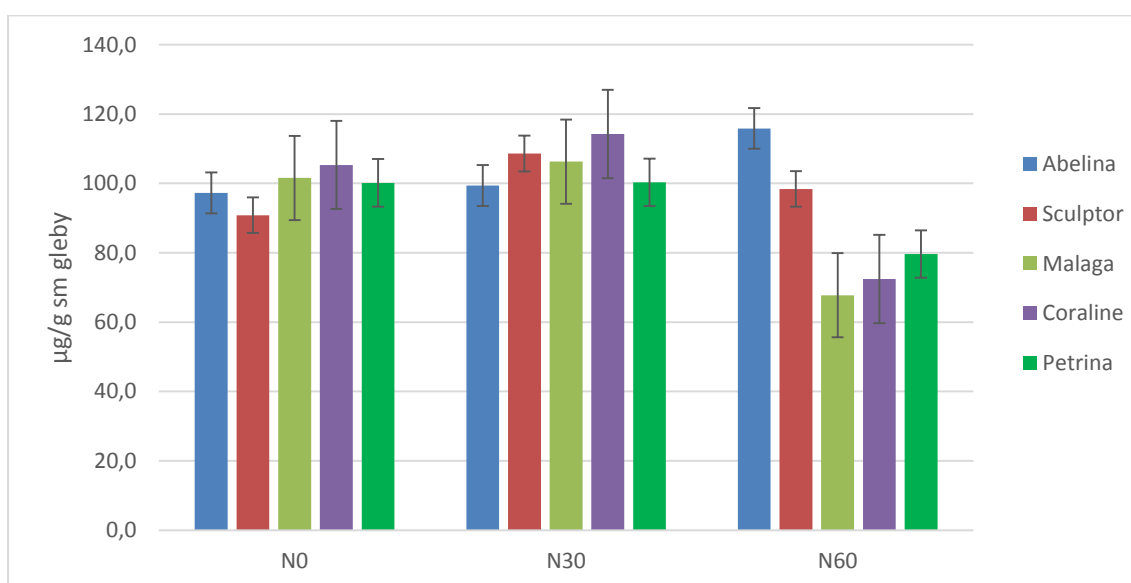
Interakcję badanych czynników doświadczenia oraz ich wpływ na aktywność omawianej grupy enzymów pochodzenia drobnoustrojowego stwierdzono w obu latach badań. (Rys. 12, 13). W 2018 r. na obiektach N0 i N60 największą aktywnością fosfatazy zasadowej charakteryzowała się gleba, na której uprawiano odmianę Abelina, natomiast na obiekcie N30 – Petrina. Z kolei w 2019 r. na obiekcie N60 istotnie większą aktywnością omawianej grupy enzymów charakteryzowała się gleba, na której rosła Abelina w porównaniu do pozostałych odmian, z wyjątkiem odmiany Sculptor.

Tabela 38. Średnia aktywność fosfatazy zasadowej w glebie [$\mu\text{g/g}$] w zależności od dawki azotu i odmiany

Czynniki	Rok		Średnio (2018-2019)
	2018	2019	
Dawka azotu ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) (I)			
0	68,0B	99,0B	83,5A
30	57,3A	105,8C	81,5A
60	60,0A	86,8A	73,4A
Odmiana (II)			
Abelina	72,8b	104,2b	88,5
Sculptor	61,6a	99,3ab	80,5
Malaga	54,9a	91,9a	73,4
Coraline	56,4a	97,3ab	76,9
Petrina	63,0ab	93,4a	78,2
Średnia	61,7	97,2	79,5
NIR ($\alpha=0,05$) I	7,09	6,48	r.n.
NIR ($\alpha=0,05$) II	10,77	9,84	r.n.
NIR ($\alpha=0,05$) I\timesII	23,69	21,64	r.n.



Rys.12. Aktywność fosfatazy zasadowej w glebie w 2018 r. w zależności od dawki azotu i odmiany soi (słupki błędów oznaczają błąd standardowy)



Rys.13 Aktywność fosfatazy zasadowej w glebie w 2019 r. w zależności od dawki azotu i odmiany soi (słupki błędów oznaczają błąd standardowy)

Większą aktywnością fosfatazy kwaśnej charakteryzowała się gleba w roku 2018 w porównaniu do 2019 (średnio o 32,7%) (Tabela 39).

Dawka azotu w sposób istotny różnicowała aktywność fosfatazy kwaśnej w obu latach badań. W 2018 r. istotnie większą aktywność omawianej grupy enzymów drobnoustrojowych zaobserwowano na obiekcie N30, w porównaniu do N0 i N60

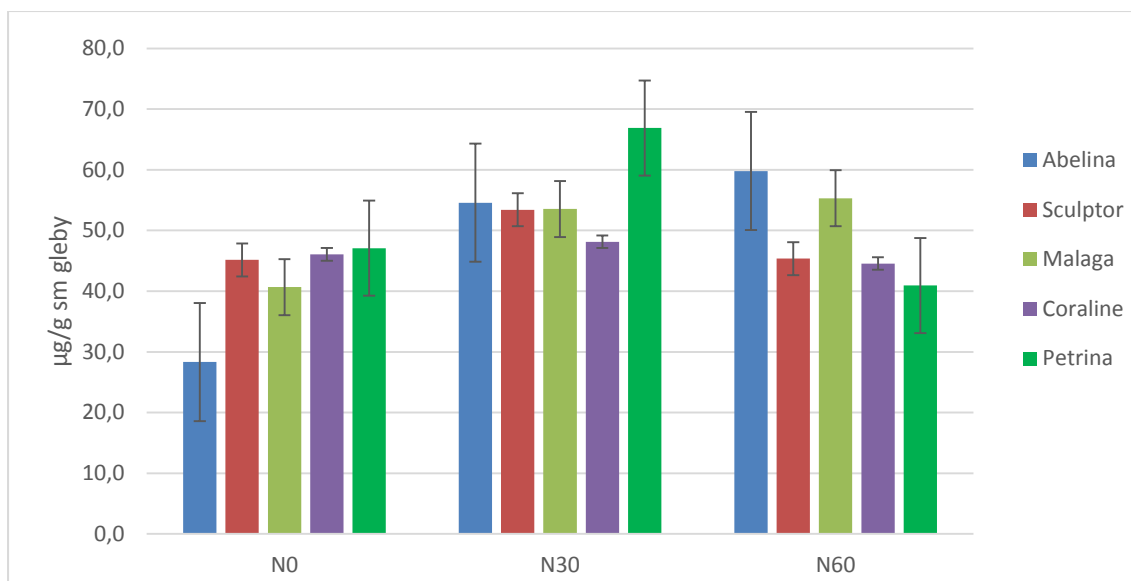
(odpowiednio o 33,3% i 12,4%). Z kolei w 2019 r. istotnie większą aktywność fosfatazy kwaśnej odnotowano na obiektach N0 i N30, w porównaniu do N60 (odpowiednio o 22% i 20%).

Odmiana w sposób istotny różnicowała aktywność fosfatazy kwaśnej w glebie tylko w 2019 r. Istotnie większą wartością omawianego parametru charakteryzowała się gleba, na której uprawiano odmianę Abelina, w porównaniu do odmiany Malaga (średnio o 18,2%).

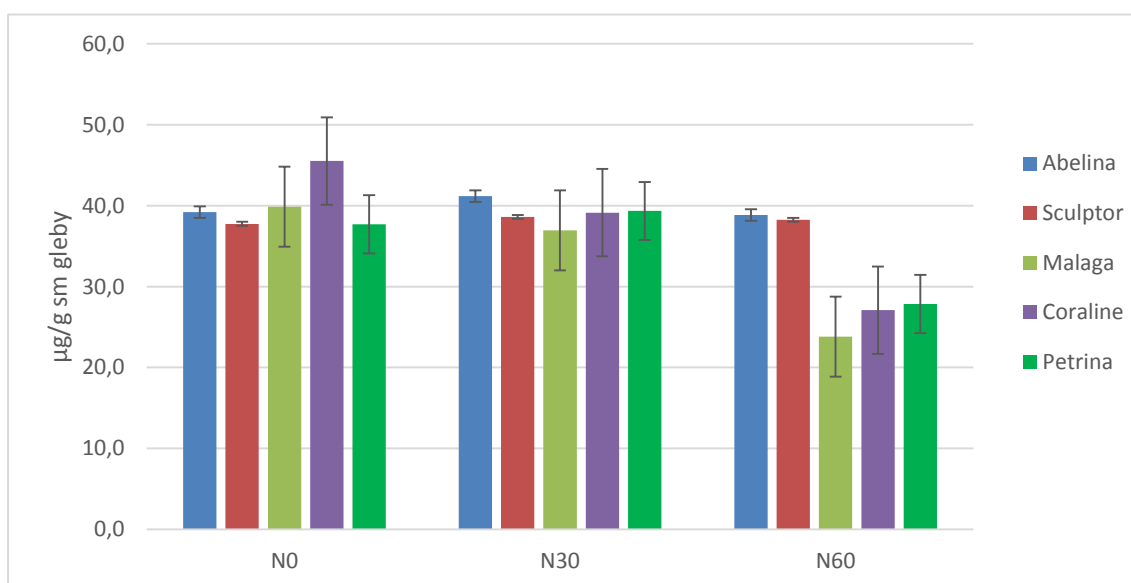
Interakcję badanych czynników doświadczenia oraz ich wpływ na aktywność fosfatazy kwaśnej stwierdzono tylko w 2019 r (Rys. 14, 15). Na obiekcie N60 istotnie większą aktywnością omawianej grupy enzymów charakteryzowała się gleba, na której uprawiano odmiany Abelina i Sulptor w porównaniu do Malagi (odpowiednio o 38,8% i 37,9%).

Tabela 39. Średnia aktywność fosfatazy kwaśnej w glebie [$\mu\text{g/g}$] w zależności od dawki azotu i odmiany

Czynniki	Rok		Średnio (2018-2019)
	2018	2019	
Dawka azotu ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) (I)			
0	41,5A	40,0B	40,7A
30	55,3C	39,0B	47,2A
60	49,2B	31,2A	40,2A
Odmiana (II)			
Abelina	47,6a	39,7b	43,7
Sulptor	48,0a	38,2ab	43,1
Malaga	49,8a	33,6a	41,7
Coraline	46,3a	37,2ab	41,8
Petrina	51,6a	35,0ab	43,3
Średnia	48,7	36,7	42,7
NIR ($\alpha=0,05$) I	5,65	4,02	r.n.
NIR ($\alpha=0,05$) II	r.n.	6,10	r.n.
NIR ($\alpha=0,05$) I×II	r.n.	13,42	r.n.



Rys.14 Aktywność fosfatazy kwaśnej w glebie w 2018 r. w zależności od dawki azotu i odmiany soi (słupki błędów oznaczają błąd standardowy)



Rys.15 Aktywność fosfatazy kwaśnej w glebie w 2019 r. w zależności od dawki azotu i odmiany soi (słupki błędów oznaczają błąd standardowy)

4.2. Badania uzupełniające

4.2.1. Cechy struktury roślin w fazie kwitnienia

Dawka azotu w sposób istotny różnicowała długość pędu, świeżą i suchą masę części podziemnej rośliny, a także liczbę oraz świeżą i suchą masę brodawek (Tabele 40, 41). Nie wpływała natomiast na świeżą i suchą masę części nadziemnej soi. Świeża masa

korzenia była istotnie większa na obiekcie N60, w porównaniu do obiektu N0 (o 41,3%), natomiast sucha masa części podziemnej była istotnie większa na obiektach N30 i N60 w porównaniu do N0 (odpowiednio o 26,7% i 37,9%). Istotnie dłuższym pędem odznaczały się rośliny na obiektach N0 i N60 w porównaniu do N30 (odpowiednio o 11,5% i 9,8%). W przypadku liczby brodawek istotnie większą wartość omawianej cechy zanotowano na obiekcie N0 w porównaniu do obiektów N30 i N60 (o 75,4%). Świeża i sucha masa brodawek także była istotnie większa na obiekcie N0 w porównaniu do obiektów N30 i N60: - świeża masa odpowiednio o 59,2% i 31,0%, - sucha masa odpowiednio o 32,1% i 48,0%.

Odmiana w sposób istotny wpływała na długość pędu i korzenia oraz liczbę i masę brodawek. Abelina odznaczyła się istotnie większą długością pędu w porównaniu do pozostałych odmian. Odmiany Sculptor i Malaga charakteryzowały się istotnie dłuższym korzeniem w porównaniu do Abeliny. Natomiast, istotnie większą liczbą brodawek korzeniowych odznaczała się odmiana Sculptor w porównaniu do Coraline i Petryny. Odmiany Sculptor i Petryna charakteryzowały się istotnie większą suchą masą brodawek w porównaniu do Malagi.

Wykazano interakcję czynników doświadczenia i ich wpływ na długość pędu i korzenia oraz liczbę i świeżą masę brodawek. Na obiektach N0 i N30 istotnie dłuższy pęd zanotowano u Abeliny w porównaniu do pozostałych odmian. Na obiekcie N60 istotnie większą wartość omawianej cechy odnotowano dla odmian Abelina i Sculptor w porównaniu do pozostałych odmian, z wyjątkiem Petryny. Biorąc pod uwagę długość korzenia, istotnie większą wartością omawianej cechy na obiekcie N60 charakteryzowała się odmiana Malaga w porównaniu do Abeliny i Petryny. Na obiekcie N60 odmiana Sculptor charakteryzowała się istotnie większą liczbą brodawek w porównaniu do Petryny oraz istotnie większą świeżą masą brodawek w porównaniu do pozostałych odmian, z wyjątkiem Abeliny.

Tabela 40. Masa części nadziemnej i podziemnej oraz długość pędu i korzenia roślin soi zebranych w fazie kwitnienia w zależności od dawki azotu i odmiany

Dawka N (kg·ha ⁻¹)	Odmiana	Część nadziemna		Część podziemna		Długość (cm)	
		z. m. (g)	s. m. (g)	św. m. (g)	s. m. (g)	pędu	korzenia
0	Abelina	25,1	5,60	10,3	1,04	86,1b	26,4a
	Sculptor	22,4	4,84	9,84	0,92	69,0a	35,0a
	Malaga	29,2	5,62	13,7	1,38	60,9a	27,0a
	Coraline	23,0	5,31	11,3	1,36	63,4a	31,0a
	Petrina	23,9	4,78	9,46	1,11	61,2a	33,0a
	Średnio	24,7A	5,23A	10,9A	1,16A	68,1B	30,5A
30	Abelina	25,0	5,52	13,4	1,39	75,7c	27,2a
	Sculptor	23,3	5,33	14,2	1,53	63,0ab	37,0a
	Malaga	28,4	4,83	14,6	1,53	51,5a	31,8a
	Coraline	22,5	5,01	12,5	1,41	51,5a	27,8a
	Petrina	28,8	5,43	10,6	1,51	63,8b	33,0a
	Średnio	25,6A	5,22A	13,1AB	1,47B	61,1A	31,4A
60	Abelina	26,3	5,82	13,7	1,56	74,3c	26,2a
	Sculptor	29,8	6,55	15,8	1,72	75,8c	30,0ab
	Malaga	26,8	5,58	15,8	1,70	61,5ab	39,2b
	Coraline	29,0	5,87	14,4	1,69	56,0a	29,8ab
	Petrina	26,6	5,24	17,4	1,34	67,8bc	27,4a
	Średnio	27,7A	5,81A	15,4B	1,60B	67,1B	30,5A
Średnio	Abelina	25,5	5,64	12,5	1,33	78,7c	26,6a
	Sculptor	25,2	5,57	13,3	1,39	69,3b	34,0b
	Malaga	28,1	5,34	14,7	1,54	58,0a	32,7b
	Coraline	24,8	5,40	12,7	1,49	57,0a	29,5ab
	Petrina	26,5	5,15	12,5	1,32	64,3b	31,1ab
	Średnio	26,0	5,42	13,1	1,41	65,4	30,8
NIR ($\alpha=0,05$)	dawka N (I)	r.n.	r.n.	3,23	0,296	3,54	r.n.
	odmiana (II)	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	5,35	4,94
	I×II	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	11,66	10,76

Tabela 41. Liczba oraz świeża i sucha masa brodawek na korzeniach soi zebranej w fazie kwitnienia w zależności od dawki azotu i odmiany

Dawka N (kg·ha ⁻¹)	Odmiana	Liczba brodawek (szt.)	Masa brodawek (g)	
			świeża	sucha
0	Abelina	57,4a	1,84a	0,34
	Sculptor	43,6a	1,91a	0,41
	Malaga	44,0a	2,18a	0,33
	Coraline	47,2a	2,04a	0,28
	Petrina	42,8a	2,38a	0,49
	Średnio	47,0B	2,07B	0,37B
30	Abelina	33,4a	1,68a	0,24
	Sculptor	33,8a	1,47a	0,28
	Malaga	23,8a	0,81a	0,16
	Coraline	18,0a	1,08a	0,30
	Petrina	25,2a	1,47a	0,41
	Średnio	26,8A	1,30A	0,28A
60	Abelina	23,2ab	1,70ab	0,20

	Sculptor	45,0b	2,52b	0,42
	Malaga	28,2ab	1,27a	0,19
	Coraline	22,2ab	1,22a	0,20
	Petrina	15,2a	1,19a	0,22
	Średnio	26,8A	1,58A	0,25A
Średnio	Abelina	38,0ab	1,74ab	0,26ab
	Sculptor	40,8b	1,97b	0,37b
	Malaga	32,0ab	1,42a	0,23a
	Coraline	29,1a	1,45a	0,26ab
	Petrina	27,7a	1,68ab	0,37b
	Średnio	33,5	1,65	0,30
NIR ($\alpha=0,05$)	dawka N (I)	7,04	0,333	0,081
	odmiana (II)	10,63	0,504	0,122
	I×II	23,16	1,097	r.n.

4.2.2. Cechy struktury roślin i plonu w fazie dojrzałości

Dawka azotu różnicowała w sposób istotny wysokość roślin oraz liczbę węzłów na pędzie głównym, natomiast nie wpływała znacząco na wysokość osadzenia pierwszego strąka oraz suchą masę łodyg i strączyn. Z kolei odmiana istotnie różnicowała wszystkie te cechy (tabela 42).

Niezależnie od odmiany, najwyższe rośliny zanotowano na obiekcie N60 (średnio 136,0 cm), natomiast istotnie niższe na obiekcie N30 (120,8 cm). Dawka azotu w sposób istotny wpłynęła także na liczbę węzłów na pędzie głównym. Istotnie więcej węzłów odnotowano na obiekcie N60 (15,7), w porównaniu do N0 i N30 (odpowiednio 14,4 i 13,8).

Czynnik genetyczny w sposób istotny wpływał na wysokość rośliny, wysokość osadzenia pierwszego strąka, liczbę węzłów oraz suchą masę łodyg i strączyn. Istotnie wyższe były odmiany Abelina, Coraline i Petrina w porównaniu do odmian Sculptor i Malaga. Abelina zawiązała pierwszy strąk istotnie wyżej w porównaniu do pozostałych odmian, z wyjątkiem Petriny. Najwięcej węzłów na pędzie głównym zanotowano u Petriny, natomiast istotnie mniej u odmian Sculptor i Malaga. Petrina charakteryzowała się także największą suchą masą łodygi, natomiast istotnie mniejszą wartość tej cechy wykazano u odmian Abelina, Sculptor i Malaga. Z kolei sucha masa strączyn była istotnie większa u Abeliny w porównaniu do odmiany Sculptor.

Nie wykazano istotnej interakcji badanych czynników doświadczenia i ich wpływu na omawiane cechy.

Dawka azotu nie wpływała w sposób istotny na liczbę strąków na roślinę oraz elementy struktury plonu (tabela 43). Liczba strąków oraz liczba i masa nasion na roślinę

były większe na obiekcie N60 niż N0 i N30, ale różnice nie zostały potwierdzone statystycznie.

Wykazano natomiast istotny wpływ odmiany na liczbę strąków i nasion na roślinę oraz MTN. Odmiana Sculptor wykształciła istotnie mniej strąków na pędzie głównym i nasion na roślinę w porównaniu do pozostałych odmian. Jedynie u odmiany Malaga liczba nasion była zbliżona. Z kolei MTN była istotnie większa u odmiany Sculptor, w porównaniu do wszystkich pozostałych odmian.

Nie wykazano istotnej interakcji badanych czynników doświadczenia i ich wpływu na elementy struktury plonu.

Tabela 42. Wybrane cechy struktury roślin soi w fazie dojrzałości, w zależności od dawki azotu i odmiany

Dawka N (kg·ha ⁻¹)	Odmiana	Wysokość rośliny (cm)	Wysokość do 1 strąka (cm)	Liczba węzłów na pędzie głównym (szt.)	Sucha masa (g)	
					lodygi	strączyn
0	Abelina	157,4	26,5	15,5	4,95	6,92
	Sculptor	80,3	16,8	10,3	2,42	4,30
	Malaga	115,7	14,7	13,8	3,98	5,86
	Coraline	141,0	14,3	16,5	5,97	5,65
	Petrina	151,9	21,4	15,9	5,67	5,33
	Średnio	129,2AB	18,8A	14,4A	4,60A	5,61A
30	Abelina	144,9	23,2	14,2	4,99	6,24
	Sculptor	86,1	18,0	10,9	2,90	4,96
	Malaga	108,1	15,8	13,4	4,12	5,65
	Coraline	122,3	14,0	14,5	5,78	6,68
	Petrina	142,4	17,9	16,1	7,15	5,90
	Średnio	120,8A	17,8A	13,8A	4,99A	5,88A
60	Abelina	154,0	19,3	16,5	5,37	6,73
	Sculptor	90,8	14,9	10,9	3,05	4,79
	Malaga	124,9	10,1	16,0	4,98	6,67
	Coraline	150,1	18,3	16,9	6,58	6,02
	Petrina	160,0	17,7	18,3	8,75	7,61
	Średnio	136,0B	16,1A	15,7B	5,74A	6,36A
Średnio	Abelina	152,1c	23,0c	15,4bc	5,10b	6,63b
	Sculptor	85,7a	16,6ab	10,7a	2,79a	4,68a
	Malaga	116,2b	13,6a	14,4b	4,36ab	6,06ab
	Coraline	137,8c	15,6ab	16,0bc	6,11bc	6,12ab
	Petrina	151,4c	19,0bc	16,8c	7,19c	6,28ab
	Średnio	128,7	17,5	14,7	5,11	5,95
NIR (α=0,05)	dawka N (I)	11,91	r.n.	1,22	r.n.	r.n.
	odmiana (II)	18,09	4,52	1,85	1,904	1,604
	I×II	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.

Tabela 43. Wybrane cechy struktury plonu soi w fazie dojrzałości, w zależności od dawki azotu i odmiany

Dawka N (kg·ha ⁻¹)	Odmiana	Liczba strąków na roślinę (szt.)	Liczba nasion na roślinę (szt.)	Masa nasion na roślinę (g)	MTN (g)
0	Abelina	34,8	78,0	14,1	179,9
	Sculptor	20,3	49,8	10,7	220,6
	Malaga	29,7	64,3	12,5	200,2
	Coraline	35,7	77,9	9,82	126,3
	Petrina	28,1	66,5	10,1	151,0
	Średnio	29,7A	67,3A	11,5A	175,6A
30	Abelina	32,1	74,9	12,7	170,1
	Sculptor	21,7	49,3	11,0	238,1
	Malaga	28,8	60,1	12,2	205,9
	Coraline	34,2	71,1	12,1	185,3
	Petrina	28,1	68,9	10,2	141,3
	Średnio	29,0A	64,9A	11,6A	188,1A
60	Abelina	31,9	74,3	11,4	152,4
	Sculptor	22,7	51,5	11,6	230,9
	Malaga	31,9	72,5	13,6	195,5
	Coraline	33,9	76,4	10,4	135,9
	Petrina	40,6	97,3	15,1	158,9
	Średnio	32,2A	74,4A	12,4A	174,7A
Średnio	Abelina	33,0b	75,7b	12,7a	167,5a
	Sculptor	21,6a	50,2a	11,1a	229,9c
	Malaga	30,1b	65,6ab	12,8a	200,5b
	Coraline	34,6b	75,1b	10,8a	149,1a
	Petrina	32,3b	77,5b	11,8a	150,4a
	Średnio	30,3	68,8	11,8	179,5
NIR ($\alpha=0,05$)	dawka N (I)	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.
	odmiana (II)	7,77	20,98	r.n.	26,7
	I×II	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.

4.2.3. Skład chemiczny nasion

Dawka azotu nie wpływała w sposób istotny na zawartość najważniejszych składników pokarmowych w nasionach soi (białko ogólne i tłuszcz surowy) (Tabela 44). Wykazano natomiast istotny wpływ odmiany na zawartość białka w nasionach soi. Istotnie więcej białka zgromadziły odmiany Sculptor i Coraline w porównaniu do Abeliny i Petryny.

Tabela 44. Zawartość białka ogólnego i tłuszczu surowego w nasionach soi w zależności od dawki azotu i odmiany

Dawka N (kg·ha ⁻¹)	Odmiana	Zawartość (%)	
		białka	tłuszczu
0	Abelina	37,8	22,6
	Sculptor	38,4	21,3
	Malaga	37,1	22,7
	Coraline	39,3	22,3
	Petrina	36,1	22,5
	Średnio	37,7 A	22,3A
30	Abelina	39,2	22,9
	Sculptor	40,8	22,4
	Malaga	37,1	22,1
	Coraline	42,6	21,4
	Petrina	35,3	22,3
	Średnio	39,0 A	22,2 A
60	Abelina	38,0	23,2
	Sculptor	38,3	22,5
	Malaga	37,6	22,1
	Coraline	38,2	22,3
	Petrina	35,4	22,9
	Średnio	37,5 A	22,6A
Średnio	Abelina	38,3 a	22,9 a
	Sculptor	39,2 b	22,1 a
	Malaga	37,3 ab	22,3 a
	Coraline	40,0 b	22,0 a
	Petrina	35,6 a	22,6 a
	Średnio	38,1	22,4
NIR (α=0,05)	dawka N (I) odmiana (II)	r.n. 3,149	r.n. r.n.

4.2.4. Indeks zieloności liścia (SPAD)

Najwyższą wartość indeksu zieloności liścia SPAD odnotowano w fazie BBCH 77, a najniższą w fazie BBCH 61 (Tabela 45). Biorąc pod uwagę dawkę azotu, istotne różnice zanotowano we wszystkich fazach rozwojowych, z wyjątkiem fazy BBCH 77 oraz wartości średnich. W fazie BBCH 61 istotnie wyższą wartość indeksu SPAD uzyskano na obiekcie N30 w porównaniu do N0 i N60 (odpowiednio o 8,6% i 5,6%). W fazie BBCH 65 istotnie wyższą wartość SPAD odnotowano na obiekcie N60 w porównaniu do N0 i N30 (odpowiednio o 3,2% i 7,9%). W fazie BBCH 70 istotnie wyższą wartość SPAD uzyskano na obiektach N0 i N60 w porównaniu do N30 (po 3,1%).

Odmiana różnicowała wartość indeksu SPAD we wszystkich fazach rozwojowych. W fazie BBCH 61 istotnie wyższą wartością omawianego parametru odznaczyła się odmiana Malaga w porównaniu do pozostałych odmian. W fazie BBCH 65 istotnie wyższą

wartość indeksu SPAD osiągnęła odmiana Sculptor w porównaniu do pozostałych odmian, z wyjątkiem Abeliny. W fazie BBCH 70 istotnie wyższy indeks zieloności liścia zanotowano u odmiany Abelina w porównaniu do pozostałych odmian, z wyjątkiem Petriny, a w fazie BBCH 77 dla odmiany Coraline w porównaniu do Sculptora i Malagi.

Istotne interakcje czynników doświadczenia wykazano we wszystkich fazach rozwojowych z wyjątkiem BBCH 70. W fazie BBCH 61 na obiekcie kontrolnym (N0) oraz N30 i N60 odmiana Sculptor odznaczyła się istotnie niższą wartością indeksu SPAD w porównaniu do: odmian Malaga i Coraline na obiekcie N0, odmiany Malaga na obiekcie N30 oraz pozostałych odmian, z wyjątkiem Petriny na obiekcie N60. W fazie BBCH 65 na obiekcie N0 istotnie niższą wartość indeksu zieloności liścia odnotowano u odmiany Malaga w porównaniu do pozostałych odmian, z wyjątkiem Abeliny. Na obiekcie N30 istotnie niższą wartość indeksu zieloności liścia odnotowano u odmiany Malaga i Coraline w porównaniu do pozostałych odmian. Na obiekcie N60 istotnie wyższą wartością indeksu SPAD charakteryzowała się odmiana Sculptor w porównaniu do Petriny. W fazie BBCH 77 na obiekcie N0 istotnie wyższą wartość indeksu SPAD odnotowano u odmiany Coraline, w porównaniu do odmian Sculptor i Malaga. Na obiekcie N30 istotnie niższą wartością omawianego parametru odznaczyła się odmiana Sculptor w porównaniu do Abeliny i Petriny. Na obiekcie N60 istotnie niższą wartość indeksu zieloności liścia odnotowano u odmian Sculptor i Petrina w porównaniu do odmiany Coraline.

Tabela 45. Indeks zieloności liścia (SPAD) w zależności od dawki azotu i odmiany

Dawka N (kg·ha ⁻¹)	Odmiana	Faza rozwojowa (wg BBCH)				Średnio
		61	65	70	77	
0	Abelina	31,0ab	34,5ab	44,8	45,9ab	39,1
	Sculptor	28,9a	35,4b	42,4	42,6a	37,3
	Malaga	33,5b	31,4a	42,1	44,0a	37,8
	Coraline	32,5b	34,3b	42,7	47,3b	39,2
	Petrina	31,9ab	36,1b	43,9	45,5ab	39,4
	Średnio	31,5A	34,3B	43,2B	45,1A	38,5A
30	Abelina	35,6bc	34,4b	44,4	46,5b	40,2
	Sculptor	31,0a	34,3b	40,7	42,2a	37,1
	Malaga	37,0c	31,7a	40,8	44,7ab	38,6
	Coraline	33,3abc	29,9a	40,7	45,0ab	37,2
	Petrina	33,8abc	33,5b	42,9	46,3b	39,1
	Średnio	34,2B	32,8A	41,9A	44,9A	38,4A
60	Abelina	32,5b	35,8ab	44,4	45,5ab	39,6
	Sculptor	29,2a	38,5b	42,0	42,5a	38,1
	Malaga	34,1b	34,4ab	43,4	45,4ab	39,3
	Coraline	34,2b	34,5ab	43,5	46,3b	39,6
	Petrina	32,1ab	33,6a	42,8	42,6a	37,8
	Średnio	32,4A	35,4C	43,2B	44,5A	38,9A

Średnio	Abelina	33,0b	34,9cd	44,6b	46,0bc	39,6a
	Sculptor	29,7a	36,1d	41,7a	42,4a	37,5a
	Malaga	34,9c	32,5a	42,1a	44,7b	38,5a
	Coraline	33,3b	32,9ab	42,3a	46,2c	38,7a
	Petrina	32,6b	34,4bc	43,2ab	44,8bc	38,8a
	Średnio	32,7	34,1	42,8	44,8	38,6
NIR ($\alpha=0,05$)	dawka N (I)	0,96	0,98	1,22	r.n.	r.n.
	odmiana (II)	1,45	1,48	1,86	1,45	r.n.
	I×II	3,17	3,23	r.n.	3,18	r.n.

5. DYSKUSJA

Powodzenie uprawy soi w Polsce zależy od wielu czynników, ale jednym z ważniejszych jest przebieg warunków pogodowych w trakcie wegetacji roślin. W latach prowadzenia badań (2017-2019) wzrost i rozwój roślin oraz plonowanie soi kształtowały zmienne warunki termiczno-wilgotnościowe. Lata te były wyjątkowo ciepłe, ze średnimi miesięcznymi temperaturami powietrza w okresie wegetacyjnym wyższymi w porównaniu ze średnimi z wielolecia, co było korzystne z punktu widzenia ciepłolubnej soi. Z kolei sumy opadów w trakcie okresu wegetacyjnego były zróżnicowane w latach. Niedoborowy pod względem ilości opadów, w porównaniu do sumy z wielolecia, był rok 2018, ale okresowe niedobory wody wystąpiły głównie na początku (czerwiec) i pod koniec wegetacji (sierpień-wrzesień), natomiast w okresie krytycznym, który przypada w czasie kwitnienia i zawiązywania strąków (lipiec) opady były optymalne, co pozwoliło uzyskać zadawalający plon nasion soi, na poziomie średnio 4,38 t ha⁻¹. W pozostałych latach plon był nieco niższy (średnio o 4%) w porównaniu do roku 2018, chociaż suma opadów była zbliżona (2019) lub wyższa (2017) od średniej sumy z wielolecia. Opady te były jednak bardzo nierównomiernie rozłożone w sezonie wegetacyjnym, co mogło wpłynąć na nieco niższy plon. W 2019 roku niedobory wody wystąpiły w okresie wschodów i rozwoju wegetatywnego roślin, z kolei w 2017 r. nadmiar opadów we wrześniu był przyczyną opóźnionego i nierównomiernego dojrzewania nasion. Podobne obserwacje w swoich badaniach poczynili Bury i Nawracała (2004), którzy stwierdzili, że warunki pogodowe w okresie wegetacji w znacznym stopniu wpływały na rozwój roślin i plonowanie soi. Borosa i in. (2021) potwierdzili wpływ warunków pogodowych w danym sezonie wegetacyjnym na wartość określonych cech nasion soi. Autorzy wykazali, że dobrej produkcji nasion sprzyjała ciepła wiosna i równomierny rozkład opadów w miesiącach letnich. W badaniach Faligowskiej i Szukały (2014) wykazano znaczący wpływ warunków pogodowych na plon nasion soi, ale również na kształtowanie się komponentów plonu oraz masę 1000 nasion.

O istotnym wpływie warunków pogodowych na plon nasion soi donoszą również Lorenc-Kozik i Pisulewska (2003) oraz Luboinski i Makarowicz (2017). Soja ma umiarkowane wymagania wodne i dość dobrze znosi krótkotrwałe okresy posuszne, do czego jest genetycznie przystosowana (głęboko sięgający korzeń, owłosione organy nadziemne, heliotropizm). Potwierdzają to badania Tabrizi i in. (2012), które wykazały, że zmniejszenie nawadniania soi o 25%, w porównaniu do optymalnie nawadnianej kontroli, pozwoliło na utrzymanie plonów na poziomie ponad 90%. Zmniejszenie produktywności na skutek niedoboru wody w glebie zależy od czasu trwania i nasilenia suszy oraz fazy fenologicznej roślin (Souza i in. 2013). Soja źle znosi długotrwałą suszę oraz niedobory wody w okresach krytycznych, zwłaszcza w fazie kwitnienia i wypełniania nasion (Desclaux i in. 2000). Badania wskazują, że strata plonu nasion soi spowodowana suszą w tym okresie może wynieść od 15 do nawet 50%, w zależności od długości i nasilenia stresu oraz temperatury powietrza (Sadeghipour i Abbasi 2012, Korte i in. 1983).

Azot (N) jest jednym z najważniejszych składników odżywczych, którego rośliny potrzebują w największych ilościach, a brak jego dostępności to główny czynnik ograniczający wzrost i rozwój roślin (LeBauer and Treseder 2008). Azot bierze udział w wielu procesach fizjologicznych i metabolicznych, ma też kluczowe znaczenie w budowie strukturalnej roślin. Jest składnikiem białek, enzymów, kwasów nukleinowych, chlorofilu, fitohormonów, niektórych witamin oraz wchodzi w skład metabolitów wtórnych (Maathuis 2009). Jest najważniejszym pierwiastkiem biorącym udział w procesach wzrostu roślin i produkcji biomasy, przez co ma decydujący wpływ zarówno na wielkości plonu, jak i jego jakość (Leghari et al. 2016, Anas et al. 2020, Kraiser et al. 2011, McAllister et al. 2012, Xu et al. 2012, Szpunar-Krok et al. 2021, Szpunar-Krok and Wondołowska-Grabowska 2022). Soja asymiluje duże ilości azotu, zarówno w czasie wzrostu wegetatywnego, jaki i generatywnego, a całkowita ilość pobranego azotu jest ściśle skorelowana z plonem nasion; na jedną tonę nasion potrzebuje około 70-90 kg N (Ohyama et al. 2013). Swoje zapotrzebowanie na ten pierwiastek zaspokaja korzystając z N związanego biologicznie (BNF) oraz pochodzącego z gleby i z nawozów mineralnych (Głowacka i in. 2023). Wyniki badań własnych wykazały, że poziom plonowania soi istotnie zależał od dawki N mineralnego w dwóch pierwszych latach badań. W pierwszym roku zastosowanie N w ilości 60 kg·ha⁻¹ (N60) w dwóch dawkach (50% przedsięwzięcia i 50% pogłównie) spowodowało wzrost plonu nasion o 10,0%, w porównaniu do obiektu, na którym wysiano tylko dawkę startową 30 kg N ha⁻¹ (N30). Z kolei w 2018 r. na obiektach N30 i N60 uzyskano podobny plon (średnio, odpowiednio 4,68 i 4,69 t ha⁻¹), który był istotnie większy

w porównaniu do obiektu kontrolnego (N0), odpowiednio o 23,8 i 24,1%. To oznacza, że efektywność pogłówniej dawki azotu na obiekcie N60 była bardzo mała, co najprawdopodobniej było związane z niedoborem opadów, który wystąpił w czasie nawożenia i słabym pobraniem azotu przez rośliny. Niekorzystne warunki pogodowe wystąpiły także w 2019 r. (czerwiec – bardzo suchy, lipiec – dość suchy), zarówno podczas wysiewu pierwszej (startowej), jak i drugiej dawki azotu. W warunkach suszy pobieranie N mineralnego przez rośliny jest mocno ograniczone, ponieważ gospodarka mineralna roślin jest ściśle związana z gospodarką wodną (Samarah i in. 2009). Według Sułek i Leszczyńskiej (2016), w warunkach niedoboru wody w glebie azot jest bardzo słabo wykorzystywany i pomimo jego obecności w roztworze glebowym, jest on niedostępny dla roślin. Podobne wnioski prezentują Kulig i in. (2023), którzy wykazali, że zastosowanie N mineralnego w ilości $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (50% przedsiewnie i 50% pogłównie) przyczyniło się do istotnego wzrostu plonu nasion soi (średnio o $0,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$), przy czym o efektywności nawożenia N decydowały warunki pogodowe, przede wszystkim ilość i rozkład opadów atmosferycznych. Niedobór opadów powodował, że rośliny słabiej się rozwijały, a efektywność działania N mineralnego dostarczonego w dawce pogłówniej była bardzo mała. Głowacka i in. (2023) w swoich badaniach dowiedli, że nawożenie N na poziomie $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ zwiększyło plon nasion soi, a najkorzystniejszy efekt uzyskano po zastosowaniu dawki dzielonej (50% przedsiewnie + 50% pogłównie oraz 75% przedsiewnie + 25% pogłównie). Uzyskano wówczas o 8-10 dt ha^{-1} plon wyższy, w porównaniu do obiektu kontrolnego (N0). Z kolei w badaniach Lorenc-Kozik i Pisulewskiej (2003) wykazano małą efektywność azotu zastosowanego przedsiewnie w dawce $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. W porównaniu do obiektu N0 plon nasion wzrósł o 14%, ale w porównaniu do obiektu N30 zanotowano wzrost tylko o 1%, co oznacza, że dawka startowa na poziomie $30 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ była wystarczająca. O tym, że plon nasion soi jest w znacznym stopniu determinowany przez nawożenie N mineralnym donoszą też inni autorzy (Bobrecka-Jamro i in. 2008, Głowacka i in. 2018, Głowacka i Kasiczak 2019, Mandić i in. 2020, Szostak i in. 2020).

Plon nasion uzależniony jest od elementów struktury roślin i plonu. Wyniki badań własnych wykazały, że zastosowanie azotu mineralnego wpłynęło na cechy biometryczne roślin i elementy struktury plonu. Zaobserwowano zwiększenie wysokości rośliny i wysokości osadzenia najniższego strąka, ale istotne różnice zanotowano tylko pomiędzy obiektami N30 i N60 w stosunku do obiektu kontrolnego N0. Biorąc pod uwagę wartości średnie, rośliny były wyższe, odpowiednio o 9,5 i 7,0%, natomiast pierwszy strąk osadzony był wyżej, odpowiednio o 10,2 i 9,3%. Z kolei nie wykazano istotnych różnic w

wartościach tych cech pomiędzy dawkami N30 i N60. Większa dawka azotu (N60) korzystnie wpłynęła na liczbę i masę strąków oraz liczbę i masę nasion na roślinę w porównaniu do obiektów N0 i N30, przy czym istotne różnice zanotowano głównie w 2018 r., zaś w 2019 r. była to jedynie tendencja. Biorąc pod uwagę wartości średnie z lat, w porównaniu do dawek N0 i N30, nawożenie dawką N60 pozwoliło na uzyskanie większej liczby strąków z rośliny (odpowiednio o 19,7 i 20,3%), masy strąków z rośliny (odpowiednio o 22,9 i 26,7%), liczby nasion z rośliny (odpowiednio o 20,5 i 21,7%) oraz masy nasion z rośliny (odpowiednio o 16,2 i 17,1%). Odwrotne zależności zanotowano w przypadku MTN; wyższa dawka nawozu N60 spowodowała spadek MTN, w porównaniu do dawek N0 i N30 (odpowiednio o 5,8 i 5,0%). Liczne badania potwierdzają korzystny wpływ nawożenia azotem na cechy biometryczne roślin. Faligowska i Szukała (2010), pod wpływem nawożenia azotem w dawce 35 kg N ha⁻¹, wykazali istotne zwiększenie: wysokości roślin soi (o 12,3%), liczby strąków na roślinie (o 61,3%) i liczby nasion z rośliny (o 60,4%). Lorenc-Kozik i Pisulewska (2003) udowodniły, że pod wpływem dawki 30 kg N ha⁻¹ liczba strąków soi wzrosła średnio o 9,7%, zaś dawka 60 kg N ha⁻¹ zwiększała wartość tej cechy średnio o 19,8%, w stosunku do obiektu kontrolnego. W przypadku liczby i masy nasion z rośliny, autorki wykazały efektywność tylko dawki 60 kg N ha⁻¹ (wzrost odpowiednio o 7,5 i 15,5%). Mandić (2020) wykazał istotny wzrost wartości cech biometrycznych soi: wysokości (o 4,2%), wysokości osadzenia pierwszego strąka (o 14,1%) i liczby strąków (o 3,3%), pod wpływem przedsięwziętego nawożenia azotem w dawce 30 kg ha⁻¹. Z kolei w innych badaniach Mandić (2015), zaaplikowanie azotu dolistnie w formie mocznika w dawce 46 kg ha⁻¹ powodowało wzrost liczby strąków na roślinie średnio o 12,8%. Popović i in. (2017) wykazali, że zwiększenie przedsięwziętej dawki azotu z 50 do 100 kg ha⁻¹ nie powodowało istotnego wzrostu wysokości roślin. Także Prusiński i in. (2020) nie stwierdzili istotnego wpływu przedsięwziętej dawki azotu (N30 i N60) liczbę strąków i masę 1000 nasion u dwóch odmian soi. Niektórzy autorzy wskazują, że czynnikiem wpływającym na cechy biometryczne roślin są warunki pogodowe, zwłaszcza wilgotnościowe (Faligowska i Szukała 2010). Basal i Szabó (2020a,b) wykazali, że w warunkach nawadniania i nawożenia N w dawce 35 kg ha⁻¹ rośliny soi były o 12,3% wyższe i miały o 30,4% większą liczbę strąków niż na obiektach nienawadnianych i nienawożonych.

Soja jako roślina bobowata, jest w stanie częściowo zaspokoić swoje zapotrzebowanie na N poprzez proces biologicznego wiązania N₂ (BNF). W optymalnych warunkach uprawy dzięki procesowi BNF rośliny soi pokrywają w około 50-70%

zapotrzebowanie na ten składnik pokarmowy (Salvagiotti et al. 2008, Ohyama et al. 2013). Zdaniem Mastrodomenico i Purcell (2012), w warunkach niskiej zawartości N w glebie, w sprzyjających warunkach BNF może dostarczyć nawet do 90% całkowitego zapotrzebowania soi na ten pierwiastek. Skuteczność symbiozy zależy jednak od szeregu czynników, które wpływają na efektywność procesu BNF. Bariery mogą być stropy abiotyczne spowodowane wysokimi temperaturami, niedoborem wody, niską żyznością gleby, niskim odczynem gleby lub nawożenie azotem mineralnym (Heitholt et al. 2007, Kinugasa et al. 2012, Dos Santos Cordeiro and Echer 2019, Bobrecka-Jamro and Szpunar-Krok 2020). Wyniki badań własnych (warunki częściowo kontrolowane) wykazały, że nawożenie azotem mineralnym zmniejsza brodawkowanie i efektywność BNF. W przeprowadzonych badaniach, w optymalnych warunkach wilgotnościowych, liczba oraz świeża i sucha masa brodawek korzeniowych były największe na obiekcie N0, natomiast istotnie mniejsze wartości tych cech zanotowano na obiektach N30 i N60. W badaniach Prusińskiego i in. (2020) zaobserwowano istotnie ograniczający wpływ N mineralnego zastosowanego przedsiwnie (N30 i N60) na liczebność *Bradyrhizobium japonicum* oraz suchą masę brodawek korzeniowych. O tym, że nawożenie azotem mineralnym ogranicza tworzenie się brodawek i zmniejsza aktywność BNF donoszą także inni autorzy (Ohyama i in. 2013, Korsak - Adamowicz i in. 2007, Fujikake i in. 2003).

Stosowanie azotu mineralnego często zalecane jest we wczesnych fazach rozwojowych soi, w celu przezwyciężenia niedoboru N w okresie, gdy źródło tego pierwiastka zawartego w liścieniach jest wyczerpane, a rośliny nie utworzyły jeszcze brodawek zdolnych do zaopatrywania roślin w BNF. Zalecane jest wówczas stosowanie dawki startowej w ilości około 30 kg N ha⁻¹, która pozytywnie wpływa na początkowy wzrost roślin, poprzez poprawę wzrostu korzenia jeszcze przed wykształceniem brodawek. Poprawa wzrostu roślin jest szczególnie ważna w regionach z niedoborami wody, ponieważ nawożenie azotem może ograniczać negatywne skutki suszy (Popović i in. 2017, Serafin-Andrzejewska i in. 2024). Potwierdzają to badania Sadeghipour i Abbasi (2012), którzy wykazali, że w warunkach silnego stresu wodnego, plon nasion soi uprawianej bez nawożenia N i inokulacji nasion był o 44% niższy niż po zastosowaniu startowej dawki N20 i inokulacji nasion *Azotobacter chroococcum*. Także Vollmann i in. (2000) oraz Gawęda i in. (2016) wykazali, że głównymi czynnikami determinującymi plon soi były: pogoda w okresie wegetacji, nawożenie N mineralnym oraz ochrona roślin. Niedobory wody w latach suchych znacznie ograniczyły plony w porównaniu do roku, kiedy rozkład opadów był optymalny. Dlatego według autorów, azot zastosowany przedsiwnie w

połączeniu z wcześniejszym terminem siewu to skuteczny sposób na zwiększenie produktywności soi, zwłaszcza w latach suchych.

Zdaniem Ohyama i in. (2013) soja przyswaja około 20% całkowitego N do fazy początku kwitnienia i około 80% w fazie reprodukcyjnej, dlatego dostępność azotu w późniejszych fazach rozwojowych jest niezbędna dla uzyskania satysfakcjonującego plonu nasion i wysokiej zawartości białka. Zdaniem wielu autorów, w przypadku słabego brodawkowania soi i niedoboru N związanego na drodze symbiozy, aby uzyskać satysfakcjonujący plon nasion należy zapewnić roślinom dostępność tego składnika poprzez nawożenie mineralne (Ghani et al. 2021, Purcell and King 1996). Wyniki badań własnych (warunki częściowo kontrolowane) wykazały, że w optymalnych warunkach wilgotnościowych dodatkowa dawka azotu zastosowana w fazie kwitnienia przyczyniła się do zwiększenia liczby strąków na roślinie (średnio o 8,4%), liczby nasion na roślinie (średnio o 10,5%) oraz masy nasion na roślinie (średnio o 7,8%), choć nie zostało to potwierdzone statystycznie. Luboiński i Markowicz (2017) wykazali zależność pomiędzy intensywnością brodawkowania, a zapotrzebowaniem soi na azot pochodzący z nawozów mineralnych. W warunkach słabego brodawkowania korzystniejsze okazało się zastosowanie dwóch dawek azotu ($32 + 48 \text{ kg N ha}^{-1}$) niż tylko jednej dawki startowej (32 kg N ha^{-1}), natomiast przy intensywniejszym zawiązywaniu brodawek korzeniowych, symbioza w dużym stopniu pokryła zapotrzebowanie na azot, dlatego bardziej korzystne było zastosowanie tylko startowej dawki N (32 kg ha^{-1}). Istotny wpływ dawki azotu na plonowanie soi wykazano także w badaniach Szostak i in. (2020). Największy plon nasion uzyskano przy zastosowaniu dawki N 60 kg ha^{-1} podzielonej na dwie części (50% przedsięwzięcie i 50% w fazie BBCH 73-75), w porównaniu z dawką 30 kg N ha^{-1} stosowaną tylko przedsięwzięcie lub tylko w fazie BBCH 73-75. Z kolei Bednarczyk i Pisarek (2018) wykazali, że korzystniejsze było nawożenie przedsięwzięcie N w ilości 30 kg ha^{-1} w porównaniu do obiektu z dawką 60 kg N ha^{-1} .

Ważnym czynnikiem produkcji, który poprawia wartość technologiczno-użytkową roślin jest postęp biologiczny. Nowe odmiany są bardziej plenne, mają lepsze cechy jakościowe, co korzystnie wpływa na wielkość i jakość produkcji roślinnej. Często są też lepiej przystosowane do zmian w środowisku naturalnym i bardziej odporne na stresy środowiskowe (Oleksiak i Arseniuk 2002). W przypadku soi prace hodowlane skupiają się głównie na tworzeniu odmian o względnie krótkim okresie wegetacji, które mogą być uprawiane w warunkach naszego kraju (Kotecki i Lewandowska 2020). Zróżnicowanie warunków klimatycznych w Polsce, związane z różną długością okresu wegetacyjnego

sprawia, że właściwe dopasowanie odmiany do rejonu uprawy ma kluczowe znaczenie. W województwie lubelskim warunki do uprawy soi są względnie dobre, ale w roku rozpoczęcia (2017 r.) i prowadzenia (2018) doświadczenia nie było jeszcze odmian soi zalecanych do uprawy na terenie Lubelszczyzny. Po raz pierwszy Lista Odmian Zalecanych pojawiła się w 2019 r. i obejmowała 6 odmian, z których 2 pochodziły z Krajowego rejestru: średnio wczesna Abelina i późna GL Melanie (COBORU 2024). W badaniach własnych wybrane odmiany były zróżnicowane pod względem długości okresu wegetacji (Abelina, Sculptor – odmiany średniowczesne, Coraline, Malaga i Petrina – odmiany bardzo późne), ale także pod względem poziomu plonowania i innych cech użytkowych. Niezależnie od poziomu nawożenia N, najlepiej plonującą odmianą była bardzo późna Malaga (średnio 5,05 t ha⁻¹), natomiast najmniejszy plon nasion uzyskano ze średnio wczesnej odmiany Sculptor (średnio 3,35 t ha⁻¹). Biorąc pod uwagę wartości średnie z lat poziom plonowania odmian bardzo późnych był średnio o 21,8% wyższy niż odmian średnio wczesnych. Czynniki genetyczne (odmiana) różnicował także cechy biometryczne roślin i elementy struktury plonu. Najwyższe były rośliny odmiany Coraline (średnio 114,4 cm), a najniższe – Sculptor (średnio 88,9 cm), z kolei odwrotne zależności charakteryzowały te odmiany pod względem wysokości osadzenia najniższego strąka (odpowiednio 7,54 i 9,07 cm). Sculptor wykształcił najwięcej strąków (średnio 56 szt.) oraz istotnie większą liczbę nasion (średnio 98,8 szt.) i masę nasion (średnio 18,4 g) na roślinę, natomiast Malaga charakteryzowała się największą MTN (225 g), w porównaniu z pozostałymi odmianami. Wyniki badań różnych autorów potwierdzają wpływ czynnika genetycznego na poziom plonowania oraz cechy morfologiczne soi. W badaniach Pisulewskiej i in. (1999, 2003) plon nasion odmiany Nawiko był o 3,2 dt ha⁻¹ większy niż Aldany, o czym zdecydowała większa o 26% liczba strąków. Staniak i in. (2021a) wykazali, że spośród 16 odmian soi, poziom plonowania odmian późnych i bardzo późnych (średnio dla 5 odmian) oraz średniowczesnych (średnio dla 5 odmian) był, odpowiednio o 22,5 i 20,0% wyższy niż odmian wczesnych i bardzo wczesnych (średnio dla 6 odmian). W grupie odmian wczesnych i bardzo wczesnych korzystnie pod względem plonowania wyróżniała się Erica, w grupie średnio wczesnych – Abelina, a w grupie późnych i bardzo późnych – Petrina i GL Melanie, zaś najslabiej plonowały, odpowiednio Annushka, Maja i Madlen. Z kolei w badaniach Prusińskiego i in. (2020) odmiana Annushka wykazała się istotnie większym plonem nasion, a także wysokością roślin, wysokością osadzenia najniższego strąka i masą 1000 nasion w porównaniu z Aldaną. Odmienne wnioski prezentował Bury i Nawracała (2004). W warunkach Polski północno-zachodniej (rejon

Szczecina) plon nasion odmian Nawiko, Gaj i Augusta nie różnił się istotnie w zależności od odmiany.

Fotosynteza jest najważniejszym procesem życiowym, w którym rośliny przekształcają energię promieniowania w energię chemiczną zawartą w związkach organicznych. W procesie fotosyntezy, fluorescencja chlorofilu stanowi około 3-5% całkowitej ilości pochłoniętego światła i wskazuje, ile energii świetlnej, niewykorzystanej w procesie fotosyntezy i nie wyemitowanej w postaci ciepła, zostało zaabsorbowane przez barwniki chlorofilowe (Kalaji i Łoboda 2010). Dla większości roślin parametr F_v/F_m jest uważany za najbardziej czuły wskaźnik charakteryzujący aparat fotosyntetyczny. W przeprowadzonych badaniach wykazano wpływ warunków pogodowych, zwłaszcza wilgotnościowych, dawki azotu i odmiany na wartość wskaźników F_v/F_m i PI. Największe wartości tych wskaźników zanotowano w 2019 r., w którym niedobory wody wystąpiły w okresie kwitnienia roślin, natomiast najmniejsze w 2018 r., w którym faza generatywna przypadła w okresie umiarkowanie wilgotnym. Biorąc pod uwagę dawkę azotu, największą maksymalną wydajnością kwantową PSII (F_v/F_m) i najwyższym wskaźnikiem vitalności PSII (PI) wykazały się na ogół rośliny na obiektach N0, zaś najmniejszą na obiektach N60. Pomiar fluorescencji chlorofilu pozwala na określenie sprawności aparatu fotosyntetycznego roślin. Za pomocą badanych wskaźników można przeanalizować współdziałanie fotochemicznych reakcji fazy świetlnej z wydajnością reakcji biochemicznych w fazie ciemniowej. Aby cały proces fotosyntezy był efektywny szybkość obu reakcji musi być odpowiednio dostosowana i ściśle powiązana. Przy sprawnym przebiegu fotosyntezy intensywność fluorescencji chlorofilu pozostaje niewielka, zaś wszelkie zakłócenia w przebiegu tego procesu powodują jej wzrost (Šestak i Šiffel 1997, Havaux i Twardy 1996). W przeprowadzanych badaniach wzrost wskaźników fluorescencji chlorofilu obserwowano w warunkach niedoboru wody w glebie oraz przy braku nawożenia azotem, co może oznaczać, że te czynniki stresowe spowodowały uszkodzenia w obrębie fotosystemu II i zakłóciły proces fotosyntezy. W badaniach Staniak i Bacy (2018) w warunkach długotrwałego niedoboru wody w glebie (40% polowej pojemności wodnej) wykazano istotny wzrost wartości wskaźnika PI u koniczyny białej w pierwszym i drugim roku badań, odpowiednio o 26,0 i 50,6%, co świadczyło o istotnych zakłóceniach w procesach fizjologicznych roślin, a odzwierciedleniem tego była redukcja plonu suchej masy, średnio o 40%. Wyniki te potwierdzają doniesienia innych autorów wskazujące, że fluorescencja chlorofilu jest miarą efektywności aparatu fotosyntetycznego,

która w dużym stopniu zależy od czynników środowiskowych (Tuba i in. 2010, Horon i in. 1996).

Wskaźnik powierzchni liści (LAI) jest czynnikiem ekofizjologicznym, który istotnie koreluje z potencjałem plonowania soi, zwłaszcza na obszarach niedoborowych pod względem ilości wody (Tagliapietra i in. 2018). Deficyt opadów ogranicza wzrost i rozwój roślin, co wpływa również na wielkość powierzchni liściowej, a w konsekwencji na poziom plonowania (Sentelhas i in. 2015, Zanon i in. 2016). Specht i in. [1999] wykazali, że aby uzyskać optymalny plon nasion soi (ok. 3 t ha⁻¹) rośliny w fazie kwitnienia powinny osiągnąć wskaźnik LAI na poziomie 3,5-4,0. Wyniki badań własnych wykazały, że we wszystkich latach badań (2017-2019) wartość wskaźnika LAI w fazie pełni kwitnienia była na podobnym poziomie lub wyższa (odpowiednio, średnio 7,16; 3,97; 6,55), co pozwoliło na uzyskanie plonu nasion na poziomie 4,2-4,4 t ha⁻¹. Tagliapietra i in. (2018) stwierdził, że niezależnie od odmiany, pokroju rośliny i ilości dostępnej wody maksymalne plony soi można uzyskać, gdy wskaźnik LAI przekroczy 3,5-4,5, co potwierdzają wyniki badań własnych. Biorąc pod uwagę wartości średnie z lat badań, nie wykazano jednoznacznego, istotnego wpływu dawki azotu ani odmiany na wartość tego wskaźnika, co koresponduje z wynikami badań Ślizowskiej (2023).

Zawartość chlorofilu w liściach to cecha genetyczna, która związana jest z gatunkiem i odmianą, ale w znaczącym stopniu uzależniona jest od warunków siedliskowych, m.in. rodzaju gleby, dostępności wody i składników pokarmowych (Rumasz-Rudnicka 2010, Michałek i Sawicka 2005, Staniak i Baca 2018). Indeks SPAD (indeks zieloności liścia) szacuje względną zawartość chlorofilu w liściach i powszechnie używany jest do oceny stanu odżywienia roślin azotem (Fritschi i Ray 2007), ale jest też wskaźnikiem żywotności roślin i ich reakcji na zmieniające się warunki środowiska (Kozłowski i in. 2001). Badania przeprowadzone przez Gregorczyk i Raczyńską (1997) wykazały ścisłą zależność między wartością SPAD a zawartością chlorofilu oznaczoną metodą laboratoryjną ($r = 0,947 - 0,973$, w zależności od gatunku rośliny uprawnej), co oznacza, że szacowanie zawartości chlorofilu za pomocą spadomierza można uznać za miarodajne. Wyniki badań własnych wykazały wzrost średniej wartości indeksu SPAD po zastosowaniu azotu w 2017 (o 5%) i w 2018 r. (o 3%), ale różnice nie zostały potwierdzone statystycznie. Istotne różnice wykazano natomiast w niektórych fazach rozwojowych: w 2017 r. w fazie wypełniania strąków i w 2018 r. w fazie pełni kwitnienia i początku wypełniania strąków. Wykazano także istotny wpływ odmiany na wartość indeksu zieloności liścia. Biorąc pod uwagę wartości średnie dla poszczególnych lat, istotne różnice

zanotowano w 2018 i 2019 r. W obu latach badań najmniejszy indeks SPAD zanotowano u średnio wczesnej odmiany Sculptor, zaś istotnie większy u późnych odmian: Malaga w 2018 r. i Petrina w 2019 r. Wykazano istotną, dodatnią zależność pomiędzy plonem nasion soi a indeksem zieloności liścia SPAD ($r = 0,485$). W badaniach Jareckiego i Bobreciej - Jamro (2016) wykazano, że zastosowanie startowej dawki azotu w ilości 25 kg ha^{-1} połączone z zaprawianiem nasion soi Nitraginą powodowało istotny wzrost indeksu SPAD w fazach BBCH 11 i 59, w porównaniu do obiektu kontrolnego. W innych badaniach Jarecki i in. (2016) udowodnili istotnie wyższe wartości indeksu zieloności liścia soi w fazach BBCH 61 i 72 po zastosowaniu dolistnego nawożenia i inokulacji nasion Nitraginą. Wyniki te potwierdzają, że dobre odżywienie roślin azotem przyczynia się do większej zawartości chlorofilu w liściach i poprawy stanu fizjologicznego roślin. Także Yokoyama i in. (2018) wykazali, że zastosowanie N w dawce 30 kg ha^{-1} przedświecnie zwiększyło indeks SPAD i LAI, w fazie wegetatywnej i podczas kwitnienia, ale nie wpłynęło istotnie na późniejszy plon ziarna.

W przeprowadzonych badaniach wykazano, że skład chemiczny nasion soi nie był zróżnicowany przez dawkę azotu, ale istotnie zależał od odmiany. Istotnie więcej białka zgromadziły odmiany Sculptor i Coraline w porównaniu do Abeliny i Petryny. Nie wykazano natomiast istotnego wpływu odmiany na zawartość tłuszczu w nasionach. Wyniki te nie korespondują z badaniami Książaka i Bojarszczuk (2022), którzy wykazali, że zastosowanie przedświecnie N mineralnego (w dawkach 30 i 60 kg ha^{-1}) zwiększyło zawartość białka w nasionach soi o około 14%, w porównaniu do obiektu kontrolnego. Ponadto, wykazano wpływ odmiany na skład chemiczny nasion soi. Odmiana Aldana zgromadziła więcej białka niż Annuska, natomiast podobna była zawartość tłuszczu. Odmienne wyniki z kolei prezentowali Prusiński i in. (2020), którzy uzyskali wyższy plon białka u odmiany Annushka niż u Aldany. O wpływie czynnika genetycznego na skład chemiczny nasion soi donoszą też inni autorzy. Piper i Boote (1999) wykazali zróżnicowanie zawartości składników pokarmowych u 20 odmian soi, przy czym zawartość białka zależała istotnie tylko od odmiany, natomiast zawartość tłuszczu od odmiany i temperatury związanej z szerokością geograficzną. Z kolei Kozak i in. (2008) wykazali, że skład chemiczny nasion soi w największym stopniu zależał od warunków klimatycznych, a w dalszej kolejności od czynnika odmianowego. W badaniach Biel i in. (2017) czynnik genetyczny istotnie wpływał na zawartość tłuszczu i popiołu surowego. Także badania Staniak i in. (2021b) pokazały, że odmiana była ważnym czynnikiem różnicującym zawartość podstawowych składników pokarmowych w nasionach 15 odmian

soi. Zawartość białka wahała się w granicach od 37,1 do 43,7%, a tłuszczu surowego od 19,4 do 22,6%. Z kolei Alsajri i in. (2020) udowodnili istotne współdziałanie temperatury i odmiany w odniesieniu do plonu nasion, zawartości białka, tłuszczu i węglowodanów.

Fauna glebowa charakteryzuje się ogromną różnorodnością gatunkową, lecz paradoksalnie, tylko niewielka pula mikroorganizmów glebowych została dotychczas zidentyfikowana. W różnorodności kryją się drobnoustroje, których obecność w istotny sposób wpływa na jej właściwości. Przykładem są bakterie *Azotobacter*. Posiadają one zdolność do wiązania azotu atmosferycznego i przekształcania go w formę dostępną dla roślin oraz stymulują wzrost i rozwój roślin. Jednak te mikroorganizmy wykazują dużą wrażliwość na zmiany chemiczne oraz fizyczne w glebie, co czyni je istotnym wskaźnikiem zmian zachodzących w środowisku glebowym (Gałązka i Gałązka 2015). W przeprowadzonych badaniach wykazano wpływ dawki azotu na liczebność wolnożyjących asymilatorów azotu w glebie. Zastosowanie N w ilości $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (N60) w dwóch dawkach (50% przedsiwennie i 50% pogłównie) spowodowało istotny wzrost liczebności bakterii glebowych w porównaniu do obiektu, na którym wysiano tylko dawkę startową $30 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (N30) oraz do obiektu kontrolnego (N0), odpowiednio o 46,7 i 66,6%. Jak donoszą Tabatabai i in. (1992) nawożenie N mineralnym może znacząco oddziaływać na mikroorganizmy glebowe oraz enzymy, wpływając na wyższy plon roślin, co przekłada się na większą ilość resztek poźniwnych. Ponadto od dawki i rodzaju stosowanego azotu zależy kształtowanie pH gleby. Według Kozaneckiej i in. (1996) zastosowanie N w ilości $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ działało stymulująco na rozwój bakterii, natomiast wysokie dawki wynoszące 240 kg N ha^{-1} hamowały ich ogólną liczebność w glebie. Spadek liczebności bakterii przy wysokiej dawce azotu wynikał prawdopodobnie z intensywnego zakwaszenia gleby spowodowanego nasileniem procesu nityfikacji. Wyniki badań własnych wykazały, że dawka azotu miała istotny wpływ na aktywność enzymów pochodzenia drobnoustrojowego, ale było to uzależnione od roku badań. W przypadku dehydrogenaz, aktywność była największa na obiekcie N0 w 2018 r., natomiast w 2019 największą aktywność wykazano na obiekcie N30. Taką samą tendencję wykazano w przypadku fosfatazy zasadowej, natomiast w przypadku fosfatazy kwaśnej, na obiekcie N30 największą aktywność wykazano w 2018 r. i 2019 r. Ponadto, wysoką aktywność fosfatazy kwaśnej w 2019 r. wykazano na obiekcie kontrolnym. Dawki azotu na poziomie 30 kg ha^{-1} mogą korzystnie wpływać na aktywność niektórych enzymów w glebie, jednak brak nawożenia tym pierwiastkiem może sprzyjać aktywności enzymatycznej, szczególnie w przypadku dehydrogenaz i fosfatazy zasadowej w niektórych latach. Lemanowicz i Koper

(2009) wykazali istotny wpływ nawożenia azotem w formie saletry amonowej na zmiany aktywności fosfatazy zasadowej oraz fosfatazy kwaśnej. Stwierdzono, że zastosowanie azotu w dawce 90 kg ha^{-1} ma działanie inhibujące w przypadku fosfatazy zasadowej, podczas gdy aktywuje fosfatazę kwaśną. Efekt ten wynika z zakwaszającego wpływu wysokich dawek azotu mineralnego na środowisko glebowe oraz różnych wymagań fosfataz pod względem odczynu pH gleby. Różnice w optymalnych wartościach odczynu pH odpowiednich dla omawianych enzymów glebowych tłumaczą ich odmienną reakcję na nawożenie azotem. Liczebność drobnoustrojów glebowych oraz aktywność enzymatyczna gleby może zależeć od wielu czynników, takich jak pH gleby, zawartość materii organicznej czy stosunki wodno-powietrzne panujące w glebie. Czynniki te kształtowane są w dużej mierze przez dawkę i rodzaj stosowanego nawozu (Bielińska i Mocek 2003; Gostkowska i in. 1998). Barabasz i Voříšek (2002) donoszą, że zabiegi agrotechniczne, w tym nawożenie organiczne i mineralne azotem mają znaczący wpływ na aktywność mikroorganizmów glebowych. W przeprowadzonych badaniach stwierdzono także istotne różnice w liczebności wolnożyjących asymilatorów azotu oraz aktywności enzymów glebowych w zależności od uprawianej odmiany soi. Gleba, na której uprawiano odmiany Sculptor i Malaga charakteryzowały się istotnie większą liczebnością wolnożyjących asymilatorów azotu w glebie w porównaniu do pozostałych odmian. W 2018 roku gleba, na której uprawiano odmianę Abelina wykazała istotnie wyższą aktywność dehydrogenaz w porównaniu do gleby na stanowisku z odmianą Coraline. Ponadto w latach badań 2018-2019 stanowisko z odmianą Abelina charakteryzowało się wyższą aktywnością fosfatazy zasadowej w porównaniu do innych odmian. Natomiast w 2019 roku uprawa tej odmiany spowodowała większą aktywność fosfatazy kwaśnej w porównaniu do odmiany Malaga.

6. WNIOSKI

Na podstawie uzyskanych wyników badań sformułowano następujące wnioski:

1. Pod względem długości okresu wegetacji, wszystkie badane odmiany soi były przydatne do uprawy w warunkach województwa lubelskiego. W warunkach prowadzonych doświadczeń, lepszą wydajnością (średnio o 21,8%) wykazały się odmiany bardzo późne w porównaniu do średnio wczesnych.

2. Poziom plonowania badanych odmian soi uzależniony był od dawki nawożenia azotem, ale był również związany z warunkami pogodowymi. W korzystnych warunkach wilgotnościowych umożliwiającą pobranie azotu przez rośliny, zastosowanie przewidzianej dawki (N30) istotnie zwiększyło plon nasion soi o 23,8% w stosunku do obiektu N0 (2018 r.), natomiast pogłówniej dawki (N60) – o 10% w stosunku do obiektu N30 (2017 r.). W warunkach niedoboru wody w glebie zastosowanie azotu mineralnego było nieefektywne, bez względu na termin aplikacji (2019 r.).
3. W warunkach prowadzonych doświadczeń polowych, najlepiej plonującą odmianą była bardzo późna Malaga, której średni za 3 lata plon nasion wynosił 5,06 t ha⁻¹ i był wyższy od średniego plonu odmian średnio wczesnych (Abelina, Sculptor) i pozostałych odmian bardzo późnych (Coraline, Petrina), odpowiednio o 33,2 i 14,7%. Najmniejszą wydajnością wykazała się odmiana średnio wczesna Sculptor (średnio 3,35 t ha⁻¹).
4. Zastosowanie przewidzianej dawki azotu (N30) istotnie zwiększyło wartości cech biometrycznych tj. wysokość roślin i wysokość osadzenia najniższego strąka (średnio, odpowiednio o 9,5 i 10,2%). Zastosowanie przewidzianej i pogłówniej dawki azotu (N60) korzystnie wpłynęło na elementy kształtujące plon: liczbę i masę strąków z rośliny (wzrost odpowiednio o 19,7 i 22,9%) oraz liczbę i masę nasion z rośliny (wzrost odpowiednio o 20,5 i 16,2%), ale spowodowało spadek MTN średnio o 5,8% w porównaniu do obiektu kontrolnego (N0).
5. Czynniki genetyczne (odmiana) istotnie różnicowały cechy biometryczne roślin i elementy struktury plonu. W warunkach polowych najwyższe rośliny charakteryzowały odmianę Coraline, która z kolei miała najniższy osadzony pierwszy strąk. Odwrotne zależności cechowały odmianę Sculptor, która dodatkowo wykształciła najwięcej strąków oraz liczbę i masę nasion z jednej rośliny. Z kolei odmiana Malaga charakteryzowała się największą MTN w porównaniu do pozostałych odmian.
6. Dawka azotu i warunki pogodowe istotnie wpływały na stan fizjologiczny roślin. W warunkach niedoboru wody w glebie oraz braku nawożenia azotem (N0) obserwowano wzrost wartości wskaźników fluorescencji chlorofilu (Fv/Fm, PI), co może oznaczać zakłócenia w przebiegu procesu fotosyntezy. Z kolei najniższe wartości wskaźników opisujących maksymalną wydajność kwantową fotosystemu II (Fv/Fm) i wskaźnik witalności PSII (Pi) wykazano na obiektach N60. Spośród badanych odmian,

najwyższe wskaźniki fluorescencji chlorofilu charakteryzowały odmianę Malaga, a najniższe – Sculptor.

7. Względna zawartość chlorofilu w liściach (indeks SPAD) zróżnicowany był głównie przez czynnik genetyczny. Najmniejszy indeks zieloności liścia SPAD zanotowano u średnio wczesnej odmiany Sculptor, zaś istotnie większy u późnych odmian: Malaga i Petrina (w zależności od roku). Wykazano również istotną, dodatnią zależność pomiędzy plonem nasion soi a indeksem SPAD. Biorąc pod uwagę wartości średnie z lat, dawka azotu nie różnicowała istotnie względnej zawartości chlorofilu w liściach soi.
8. Nawożenie azotem mineralnym zmniejszyło brodawkowanie soi i efektywność biologicznego wiązania azotu. W optymalnych warunkach wilgotnościowych, liczba oraz świeża i sucha masa brodawek korzeniowych były największe na obiekcie N0, natomiast istotnie mniejsze wartości tych cech zanotowano na obiektach nawożonych (N30 i N60).
9. Zawartość białka ogólnego w nasionach soi nie była zróżnicowana przez dawkę azotu, ale istotnie zależała od odmiany. Istotnie więcej białka zgromadziły odmiany Sculptor i Coraline w porównaniu do Abeliny i Petryny. Nie wykazano natomiast istotnego wpływu dawki azotu i odmiany na zawartość tłuszczu w nasionach.
10. Wykazano istotny wpływ dawki azotu na liczebność wolnożyjących asymilatorów azotu w glebie. Największą liczebnością *Azotobacter* wykazała się gleba nawożona największą dawką azotu (N60), z kolei aktywność enzymatyczna gleby była najmniejsza na tych obiektach. W przypadku aktywności dehydrogenaz istotne różnice zanotowano w obu latach badań, zaś w przypadku fosfatazy kwaśniej i zasadowej jedynie w 2019 r.
11. Przewidywane nawożenie soi azotem w dawce 30 kg N ha⁻¹ wydaje się optymalne z punktu widzenia plonowania oraz jest uzasadnione ekonomicznie i środowiskowo. Dodatkowa dawka azotu (pogłówna) może być zastosowana warunkowo (brak brodawek na korzeniach i wiązania N₂), ale tylko w korzystnych warunkach wilgotnościowych.
12. W warunkach woj. lubelskiego najlepiej sprawdziła się bardzo późna odmiana Malaga, która osiągnęła najwyższy plon nasion we wszystkich latach badań (średnio 5,06 t ha⁻¹), niezależnie od warunków pogodowych.

Literatura

1. Abdi N., Labuschagne M., Ullah A., Hemissi I., Biljon A.V., Amira H.A., Bouaziz S.B. 2021. Legume-rhizobia symbiosis under abiotic constraints: performance system. *Agrocencia*, 55(2), 37-61.
2. Adesemoye A., Kloepper J. 2009. Plant-microbes interactions in enhanced fertilizer-use efficiency. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85, 1-12.
3. Alsajri F.A., Wijewardana C., Irby J.T., Bellaloui N., Krutz L.J., Golden B., Gao W., Reddy K.R. 2020. Developing functional relationships between temperature and soybean yield and seed quality. *Journal of Agronomy*, 112, 194-204.
4. Anas M., Liao F., Verma K.K., Sarwar M.A., Mhmood A., Chen Z.-L., Li Q., Zeng X.-P., Liu Y., Li Y.-R. 2020. Fate of nitrogen in agriculture and environment: agronomic, eco-physiological and molecular approaches to improve nitrogen use efficiency. *Biological Research*, 53, 47.
5. Araus J.L., Amaro T., Voltas J., Nakkoul H., Nachit M.M. 1998. Chlorophyll fluorescence as a selection criterion for grain yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *Field Crops Research*, 55(3), 20-738.
6. Ashraf M. Y., Azhar N., Hussain M. 2006. Indole acetic acid (IAA) induced changes in growth, relative water contents and gas exchange attributes of barley (*Hordeum vulgare* L.) grown under water stress conditions. *Plant Growth Regulation*, 50, 85-90.
7. Atti S., Bonnell R., Smith D., Prasher S. 2004. Response of an indeterminate soybean (*Glycine Max* L. Merr) to chronic water deficit during reproductive development under greenhouse conditions. *Canadian Water Resources Journal*, 29, 209-222.
8. Baker N.R., Rosenqvist E. 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany*, 55, 1670-1621.
9. Barabasz W., Albińska D., Jaśkowska M., Lipiec J. 2002. Biological effects of mineral nitrogen fertilization on soil microorganisms. *Polish Journal of Environmental Studies*, 11(3), 193-198.
10. Barabasz W., Smyk B. 1997. Mikroflora gleb zmęczonych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 452, 37-50.

11. Barabasz W. (red.), Voříšek K. 2002. Bioróżnorodność mikroorganizmów w środowiskach glebowych. Aktywność drobnoustrojów w różnych środowiskach. W: Aktywność drobnoustrojów w różnych środowiskach. Kraków: AR s. 23–34.
12. Basal O., Szabó A. 2020a. The Combined Effect of Drought Stress and Nitrogen Fertilization on Soybean. *Agronomy*, 10(3), 384.
13. Basal O., Szabó A. 2020b. Physiormorphology of Soybean as Affected by Drought Stress and Nitrogen Application. *Scientifica*, 2020, 6093836.
14. Bednarczyk M., Pisarek I. 2018. Sustainable development for soya production based on the field research carried out at the Variety Assessment Experimental Station of Głubczyce in the years 2015-2017. *Economic and Environmental Studies*, 18, 4(48), 1219-1233.
15. Bellaloui N., Bruns H.A., Abbas H.K., Mengistu A., Fisher D.K., Reddy K.N. Agricultural practices altered soybean seed protein, oil, fatty acids, sugars, and minerals in the Midsouth USA. *Frontiers in Plant Science*, 2015, 6, 1-14.
16. Bellaloui N., Gillen A.M., 2010. Soybean seed protein, oil, fatty acids, N, and S partitioning as affected by node position and cultivar differences. *Agricultural Sciences*, 1, 110-118.
17. Bezdicsek D.F., Abede E.B., Evans D.W., Witters R.E. 1978. Evaluation of peat and granular inoculum for soybean yield and N fixation under irrigation. *Agronomy Journal*, 70, 865-868.
18. Biel W., Gawęda D., Jaroszewska A., Hury G. 2018. Content of minerals in soybean seeds as influenced by farming system, variety and row spacing. *Journal of Elementology*, 23(3), 863-873.
19. Biel W., Gawęda D., Łysoń E., Hury G. 2017. Wpływ czynników genetycznych i agrotechnicznych na wartość odżywczą nasion soi. *Acta Agrophysica*, 24(3), 395-404.
20. Bielińska E. J. 2005. Oznaczanie aktywności fosfataz. *Acta Agrophysica, Rozprawy Monografie*, 3, 63-74.
21. Bielińska E. J., Mocek A. 2003. Aktywność enzymatyczna gleby użytkowanej sadowniczo jako wskaźnik stanu środowiska wywołany stosowaniem ściółek z tworzyw sztucznych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 492, 25-37.

22. Binkowski M., Bujak H., Osiecka A., Stuczyńska E., Zych J. (red.). 2021. Lista opisowa odmian roślin rolniczych: bobowate, soja, wiechlinowate. COBORU, s. 61-63.
23. Björkman O., Demmig B. 1987. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77K among vascular plants of diverse origins. *Planta*, 170, 489-504.
24. Bobrecka-Jamro D., Pizło H. 1996. Wpływ czynników agrotechnicznych na plonowanie soi w warunkach Polski południowo-wschodniej. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*, 198, 31-44.
25. Boczar P. 2016. Znaczenie gospodarcze soi oraz możliwości rozwoju jej produkcji w Polsce. *Zeszyty Naukowe SGGW - Problemy Rolnictwa Światowego*, 16(3), 35-48.
26. Bordeleau L.M., Prévost D. 1994. Nodulation and nitrogen fixation in extreme environments. *Plant and Soil*, 161, 115-125.
27. Brevedan R.E., Egli D.B. 2003. Short period of water stress during seed filling, leaf senescence, and yield of soybean. *Crop Science*, 43, 6, 2083-2088.
28. Brzezińska A., Mrozek-Niećko A. 2019. Wpływ zaprawiania nasion nawozem mikroelementowym na zawartość chlorofilu w liściach i plon nasion soi. *Fragmenta Agronomica*, 36(1), 7-15.
29. Brzezińska A., Mrozek-Niećko A. 2021. Wpływ wybranych mikroelementowych nawozów nasiennych na przeżywalność bakterii *Bradyrhizobium japonicum*. *Progress in Plant Protection*, 61(1), 17-23.
30. Brzóska F., Śliwa J. 2016. Soja niemodyfikowana genetycznie – jej produkcja i możliwości wykorzystania w żywieniu zwierząt w Polsce. Część. I. Soja w bilansie paszowym i jej uprawa w kraju. *Wiadomości Zootechniczne*, 54, 4, 98-110.
31. Bury M., Nawracała J. 2004. Wstępna ocena potencjału plonowania odmian soi (*Glycine max* (L.) Merrill) uprawianych w rejonie Szczecina. *Rośliny Oleiste*, 25, 415-422.
32. Cai Y., Chen L., Zhang Y., Yuan S., Su Q., Sun S., Wu C., Yao W., Han T., Hou W. 2020. Target base editing in soybean using a modified CRISPR/Cas9 system. *Plant Biotechnology Journal*, 18(10), 1996-1998.
33. Câmara G.M.S., Sediya T., Dourado-Neto D., Bernardes M.S. Influence of photoperiod and air temperature on the growth, flowering and maturation of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). *Scientia Agricola*, 1997, 54, 149-154.

34. Carter T.E., Jr, Nelson R, Sneller C.H., Cui Z. 2004. Genetic diversity in soybean. Soybeans: Improvement, Production and Uses. W: Boerma HR, Specht JE, (ed.) Am Soc of Agro. Madison, Wisconsin, s. 303-416.
35. Casida L.E.J. Klein D.A. 1964. Soil dehydrogenase activity. Soil Science 98 (6), 371-376.
36. Center M. D., Dąbrowski P., Samborska I. A., Łukasik I., Swoczyna T., Pietkiewicz S., Bąba W., Kalaji H. M. 2016. Zastosowanie pomiarów fluorescencji chlorofilu w badaniach środowiskowych. Kosmos - Problemy Nauk Biologicznych, 65, 2(311), 197-2015.
37. Chaves M. M., Pereira J. S., Maroco J., Rodrigues M. L., Ricardo C. P. P., Osório M. L., Carvalho I., Faria T., Pinheiro C. 2002. How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. Annals of Botany, 89, 907-916.
38. Chmura K., Chylińska E., Dmowski Z., Nowak L. 2009. Rola czynnika wodnego w kształtowaniu plonu wybranych roślin polowych. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 9, 33-44.
39. Chowdhury J., Karim M., Khaliq, Q., Ahmed, A. 2017. Effect of drought stress on bio-chemical change and cell membrane stability of soybean genotypes. Bangladesh Journal of Agricultural Research, 42(3), 475-485.
40. Cohen I., Zandalinas S.I., Felix B., Fritschi F.B., Sengupta S., Fichman Y., Azad R.K., Mittler R. 2020. The impact of water deficit and heat stress combination on the molecular response, physiology, and seed production of soybean. Physiologia Plantarum, 172, 1 - 12.
41. Coleman L.W., Rosen B.H., Schwartzbach S.D. 1988. Preferential loss of chloroplast proteins in nitrogen deficient Euglena. Plant and Cell Physiology, 29,
42. Czopek K., Staniak M. 2018. Wpływ niedoboru wody w glebie na cechy morfologiczne oraz wielkość i jakość plonu nasion soi (*Glycine max* (L.) Merr.). Badania i Rozwój Młodych Naukowców w Polsce. Nauki Przyrodnicze, 3, 38-44.
43. Czopek K., Staniak M. 2020. Możliwości wykorzystania postępu biologicznego w uprawie soi w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 61(15), 65-77.
44. Czopek K., Staniak M. Wpływ niedoboru wody w glebie na cechy morfologiczne oraz wielkość i jakość plonu nasion soi (*Glycine max* (L.) Merr.). W: Badania i Rozwój Młodych Naukowców w Polsce. Nauki Przyrodnicze Cz. III, Poznań 2018, s. 38-44.

45. De Bruin J.L., Pedersen P. 2008. Soybean seed yield response to planting date and seeding rate in the upper Midwest. *Agronomy Journal* 2008, 100(3), 696-703.
46. Desclaux D., Huynh T.T., Roumet P. 2000. Identification of soybean plant characteristics that indicate the timing of drought stress. *Crop Science*, 40, 3, 716-722.
47. Doroszewski A., Jadczyzyn J., Kozyra J., Pudelko R., Stuczyński T., Mizak K., Łopata A., Koza P., Wróblewska E. 2012. Podstawy monitoringu suszy rolniczej. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 2(38), 77-91.
48. Egli D.B., Cornelius P.L. A regional analysis of the response of soybean yield to planting date. 2009. *Agronomy Journal*, 101(2), 330-335.
49. Faligowska A., Szukała J. 2010. Wpływ szczepienia nasion i nawożenia azotem na cechy biometryczne roślin strączkowych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 550, 201-209.
50. Fazeli F., Ghorbanli M., Niknam V. 2007. Effect of drought on biomass, protein content, lipid peroxidation and antioxidant enzymes in two sesame cultivars, 51, 98-103.
51. Fenglerowa W. 1965. Simple method for counting *Azotobacter* in soil samples. *Acta Microbiologica Polonica*, 14 (2), 203-206.
52. Fiolda G., Mrówczyński M. (Red.) 2016. *Metodyka integrowanej ochrony i produkcji soi dla doradców*. IOR-PIB Poznań, ss. 137.
53. Fiolda G., Mrówczyński M. (red.) 2016. *Metodyka integrowanej ochrony i produkcji soi dla doradców*. Instytut Ochrony Roślin – Państwowy Instytut Badawczy, Poznań, ss. 70.
54. Flexas J., Bota J., Loreto F., Cornic G., Sharkey T. D. 2004. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. *Plant Biology*, 6, 269-279.
55. Florek J. 2017. Możliwości wykorzystania roślin strączkowych do produkcji pasz w Polsce. *Roczniki Naukowe SERiA*, 19(4), 40-45.
56. Fotyma E. 1997. Wyznaczanie dawek nawozów azotowych na podstawie analizy gleby i roślin. *Zeszyty Edukacyjne IMUZ Falenty*, 4, 49-56.
57. Fritschi F. B., Ray J. D. 2007. Soybean leaf nitrogen, chlorophyll content, and chlorophyll a/b ratio. *Photosynthetica*, 45(1), 92-98.
58. Fujikake H., Yamazaki A., Ohtake N., Sueyoshi K., Matsushashi S., Ito T., Mizuniwa C., Kume T., Hashimoto S., Ishioka N. S., Watanabe S., Osa A., Sekine

- T., Uchida H., Tsuji A., Ohyama T. 2003. Quick and reversible inhibition of soybean root nodule growth by nitrate involves a decrease in sucrose supply to nodules. *Journal of Experimental Botany*, 54, 1379-1388.
59. Gajda A. M., Przewłoka B., Gawryjolek K. 2010. Ocena oddziaływania systemu uprawy roli na środowisko glebowe na podstawie zmian parametrów mikrobiologicznej aktywności gleby. *Nauka Przyroda Technologie*, 4(6), 1-11.
60. Gałązka A., Gałązka R. 2015. Phytoremediation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soils Artificially Polluted Using Plant-Associated-Endophytic Bacteria and *Dactylis glomerata* as the Bioremediation Plant. *Polish Journal of Microbiology*, 64, 3, 241-252.
61. Gałązka A., Łyszcz M., Abramczyk B., Furtak K., Grządziel J., Czaban J., Pikulicka A. 2016. Bioróżnorodność środowiska glebowego – przegląd parametrów i metod w analizach różnorodności gleby. *Monografie i rozprawy naukowe IUNG-PIB Puławy*, 49, ss. 104.
62. Gaspar A.P., Conley S.P. 2015. Responses of canopy reflectance, light interception, and soybean seed yield to replanting suboptimal stands. *Crop Science*, 2015, 55(1), 377-85.
63. Gass T., Schori A., Fossati A., Soldati A., Stamp P. 1966. Cold tolerance of soybean (*Glycine Max* (L.) Merr.) during the reproductive phase. *European Journal of Agronomy*, 5 (1-2), 71-88.
64. Gass T., Schori A., Fossati A., Soldati A., Stamp P. Cold tolerance of soybean (*Glycine Max* (L.) Merr.) during the reproductive phase. *European Journal of Agronomy*, 1996, 5(1-2), 71-88.
65. Gawęda D., Cierpiał R., Bujak K., Wesołowski K. 2014. Soybean yield under different tillage systems. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 13, 43-54.
66. Gawęda D., Cierpiał R., Harasim E., Haliniarz M. 2016. Effect of tillage systems on yield, weed infestation and seed quality elements of soybean. *Acta Agrophysica*, 23(2): 175-187.
67. Gawlik A., Matuszak-Slamani R., Gołębiowska D., Bejger R., Sienkiewicz M., Kulpa D. 2014. Ocena reakcji siewek soi na stres solny. *Acta Agrophysica*, 21(2), 143-152.

68. Gaynor L.G., Lawn R.J., Jame A.T. Agronomic studies on irrigated soybean in southern New South Wales. I. 2012. Phenological adaptation of genotypes to sowing date. *Crop and Pasture Science*, 62, 1056-1066.
69. Geissler D., Scow K. M. 2014. Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms – A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 75, 54-63.
70. Głowacka A., Kasiczak A. 2019. Efektywność rolnicza i ekonomiczna nawożenia azotem i siarką w uprawie soi. *Agronomy Science*, 74(1), 43-51.
71. Gostkowska K., Furczak J., Domżał H., Bielińska E.J., 1998. Suitability of some biochemical and microbiological tests for the degradation degree of podzolic soil on the background of its differentiated usage. *Polish Journal of Soil Science*, 30 (2), 69–78.
72. Gregorczyk A., Raczyńska A. 1997. Badania korelacji między metodą Arnona a pomiarami zawartości chlorofilu za pomocą chlorofilometru. *Zeszyty Naukowe AR Szczecin*, 181, 119-123.
73. Grieve C.M., Wang D., Shannon M.C. 2003. Salinity and irrigation method affect mineral ion relations of soybean. *Journal of Plant Nutrition*, 26, 901-913.
74. Grzesiak S., Filek W., Skrudlik G., Pieńkowski S. 1996. Między odmianowe zróżnicowanie reakcji na działanie suszy kilku gatunków roślin strączkowych. Materiały konferencyjne „Ekofizjologiczne aspekty reakcji roślin na działanie abiotycznych czynników stresowych”, Kraków 23 – 25 listopada, s. 275-277.
75. Guan X.-K., Song L., Wang T. C., Turner N. C., Li F. M. 2015. Effect of drought on the gas exchange, chlorophyll fluorescence and yield of six different – era spring wheat cultivars. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 201, 253-266.
76. Haegele J.W., Below F.E. 2013. The six secrets of soybean success improving management practices for high yield soybean production. Available at: <http://cropphysiology.cropsci.illinois.edu/documents/2012%20Six%20Secrets%20of%20Soybean%20Success%20report.pdf> (dostęp 16.08.2021)
77. Hartman G.L., West E.D., Herman T.K. 2011. Crops that feed the world. Soybean – worldwide production, use and constraints caused by pathogens and pests. *Food Security*, 3(1), 5-17.
78. Havaux M., Twardy F. 1996. Temperature-dependent adjustment of thermal stability of photosystem II in vivo: possible involvement of xanthophyll-cycle pigments. *Planta*, 198, 324-333.

79. Hinson, K.; Hartwig, E.E. 1982. Soybean production in the tropics. FAO Plant Production and Protection Paper, 4, 2-12.
80. Horton P., Ruban A.V., Walters R.G. 1996. Regulation of light harvesting in green plants. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 47, 655-684.
81. Howdhury J., Karim M., Khaliq Q., Ahmed A., Khan M. 2016. Effect of drought stress on gas exchange characteristics of four soybean genotypes. Bangladesh Journal of Agricultural Research , 41 (2), 195-205.
82. Hura T., Hura K., Grzesiak M., Rzepka A. 2007. Effect of long-term drought stress on leaf gas exchange and fluorescence parameters in C3 and C4 plants. Acta Physiologiae Plantarum, 29, 103-113.
83. Hymowitz T., Janick J., Simon J.E. 1990. Soybeans: The success story. Advances in new crops. Timber Press, Portland, OR, s. 159-163.
84. Ishizuka J. 1992. Trends in biological nitrogen fixation research and application. Plant and Soil, 141(1-2), 197-209.
85. Jakubus M., Tatuśko N., Nawracała J., Pluta M. 2015. Wpływ uprawy soi w monokulturze i zmianowaniu na skład chemiczny roślin i zasobność gleby w składniki pokarmowe. Annales UMCS, Secito E Agricultura, 70(3), 31-40.
86. Jarecki W., Bobrecka - Jamro D., Monich R., Kopania E., Korbecka – Glinka G. 2019. Porównanie przebiegu wegetacji roślin oraz wielkości i jakości plonu nasion wybranych odmian soi. Biuletyn IHAR – PIB, 285, 59-60.
87. Jarecki W., Bobrecka - Jamro D., Monich R., Kopania E., Korbecka-Glinka G. 2019. Porównanie przebiegu wegetacji roślin oraz wielkości i jakości plonu nasion wybranych odmian soi. Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, 285, 59-60.
88. Jarecki W., Bobrecka - Jarmo D. 2016. Reakcja roślin soi na szczepienie nasion nitraginą oraz nawożenie startowe azotem. Nauka Przyroda Technologie, 10(1), 1-2.
89. Jarecki W., Bobrecka-Jamro D. 2015a. Effect of fertilization with nitrogen and seed inoculation with nitragina on seed quality of soya bean (*Glycine max* (L.) Merrill). Acta Scientiarum Polonorum Agricultura, 14(3), 51-59.

90. Jarecki W., Bobrecka-Jamro D. 2015b. Wpływ nawożenia dolistnego na plon i skład chemiczny nasion soi (*Glycine max* (L.) Merrill). *Fragmenta Agronomica*, 32(4), 22-31.
91. Jarecki W., Bobrecka-Jamro D. 2016. Reakcja roślin soi na szczepienie nasion nitraginą oraz nawożenie startowe azotem. *Nauka Przyroda Technologie*, 10(1), 1-12.
92. Jarecki W., Bobrecka-Jamro D. 2021. Wpływ terminu siewu na plon i jakość nasion dwóch odmian soi zwyczajnej, 76(1), 39-48.
93. Jarecki W., Buczek J., Bobrecka-Jamro D. 2016. Response of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) to bacterial soil inoculants and foliar fertilization. *Plant Soil Environment*, 62(9), 422-427.
94. Jones H. G. 1998. Stomatal control of photosynthesis and transpiration. *Journal of Experimental Biology*, 49, 387-398.
95. Juzoń K., Skrzypek E., Dziurka M., Marcińska I. 2012. Zmiany wartości żywieniowej roślin bobowatych w warunkach suszy glebowej. *Episteme*, 15, 113-119.
96. Kalaji H. M. 2011. Oddziaływanie abiotycznych czynników stresowych na fluorescencję chlorofilu w roślinach wybranych odmian jęczmienia *Hordeum vulgare* L. *Rozprawy naukowe i monografie, SGGW Warszawa*, ss. 178.
97. Kalaji H. M., Oukarroum A., Alexandrov V., Kouzmanova M., Brestic M., Zivcak M., Samborska I. A., Cetner M. D., Allakhverdiev S. I., Goltsev V. 2014. Identification of nutrient deficiency in maize and tomato plants by in vivo chlorophyll a fluorescence measurements. *Plant Physiology Biochemistry*, 81, 16-25.
98. Kalaji M.H., Łoboda T. 2010. Fluorescencja chlorofilu w badaniach stanu fizjologicznego roślin. *Wydawnictwo SGGW, Warszawa*, ss. 116.
99. Kałuża T., Strzeliński P. 2009. Teledetekcyjne narzędzia w badaniach roślinności wysokopiennej do oceny warunków przepływu na terenach zalewowych. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej*, 112(21), 169-178.
100. Kapusta F. 2012. Rośliny strączkowe źródłem białka dla ludzi i zwierząt. *Nauki Inżynierskie i Technologie*, 1(4), 16-32.
101. Kocoń A. 2010. Wymiana gazowa liści zróżnicowanych morfologicznie odmian bobiku i grochu w warunkach niedoboru wody. *Nawozy i Nawożenie*, 41, 98-104.

102. Kołodziej J., Pisulewska E. 2000. Wpływ czynników meteorologicznych na plon nasion i tłuszczu oraz zawartość tłuszczu w nasionach dwóch odmian soi. *Rośliny Oleiste*, 21, 759-773.
103. Korsak-Adamowicz M., Starczewski J., Dopka D. 2007. Oddziaływanie niektórych zabiegów agrotechnicznych na brodawkowanie soi. *Fragmenta Agronomica*, 24, 3 (95), 232-237.
104. Korsak-Adamowicz M., Starczewski J., Dopka D. 2007. Oddziaływanie niektórych zabiegów agrotechnicznych na brodawkowanie soi. *Fragmenta Agronomica*, 3(95), 232-237.
105. Korte L.L., Williams J.H., Specht J.E., Sorensen R.C. 1983. Irrigation of soybean genotypes during reproductive ontogeny. I. Agronomic responses. *Crop Science*, 23, 3, 521-527.
106. Kotecki A. 2019. Soja – nowe wyzwania polskiego rolnictwa. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*, 285, 49-50.
107. Kozak M., Malarz W., Kotecki A., Cerný I., Serafin-Andrzejewska M. 2008. Influence of different amounts of sowing and Asahi SL biostimulator on the chemical composition of seeds and post-harvest residues of soybean. *Rośliny Oleiste*, 29, 217-230.
108. Kozanecka T., Rokosz-Burlaga H., Russel S. 1996. Aktywność mikrobiologiczna w sadzie jabłoniowym w zależności od sposobu jej utrzymania, nawożenia azotem i wapnowania. *Roczniki Gleboznawcze*, 47 (Supl.), 75-84.
109. Kozłowski S., Goliński P., Golińska B. 2001. Barwniki chlorofilowe jako wskaźniki wartości użytkowej gatunków i odmian traw. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 474, 215-223.
110. Kozyra J., Doroszewski A., Nieróbca A. 2009. Zmiany klimatyczne i ich przewidywany wpływ na rolnictwo w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, Puławy, 14, 243-257.
111. Kozyra J., Doroszewski A., Nieróbca A. 2009. Zmiany klimatyczne i ich przewidywany wpływ na rolnictwo w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 14, 243-257.
112. Kraiser T., Gras D.E., Gutiérrez A.G., González B., Gutiérrez R.A. 2011. A holistic view of nitrogen acquisition in plants. *Journal of Experimental Botany*, 62, 4, 1455-1466.

113. Krivosudska E., Filova A. 2013. Evaluation of selected soybean genotypes (*Glycine max* L.) by physiological responses during water deficit. *Journal of Central European Agriculture* 14(2), 691-706.
114. Kross A, Lapen D. R., McNairn H., Sunohara M., Champagne C., Wilkes G. 2015. Satellite and in situ derived corn and soybean biomass and leaf area index: Response to controlled tile drainage under varying weather conditions. *Agricultural Water Management*, 160, 118–213.
115. Krzywy J., Joniak K., Krzywy E., Krzywy-Gawrońska E. 2006. Wpływ kompostów i nawozów mineralnych na aktywność dehydrogenazy, fosfatazy kwaśnej i zasadowej oraz ureazy w glebie przed siewem i po zbiorze rzepaku jarego. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 512, 381-389.
116. Książak J. 2006. Badania naukowe jako podstawa technologii uprawy roślin pastewnych. *Pamiętnik Puławski*, 142, 225-242.
117. Książak J. Bojarszczuk J. 2022. The effect of mineral N fertilization and *Bradyrhizobiu japoanicum* seed inoculation on productivity of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). *Agriculture*, 12(1), 110.
118. Kucharski J., Panak H., Sienkiewicz S., Niewolak T. 1996. Aktywność mikroorganizmów glebowych w zależności od form, terminów sposobów stosowania nawozów azotowych. *Acta Academiae Agriculture ac Technicae Olstensis. Agricultura*, 62(514), 37-47.
119. Kwiatek K., Sieradzki Z., Mazur M. 2007. Prevalence of genetically modified crops in animal feeding stuffs in Poland – three years studies. *Bulletin of the Veterinary Institute in Puławy*, 51, 4, 609-613.
120. LeBauer D.S., Treseder K.K. 2008. Nitrogen limitation of net primary productivity in terrestrial ecosystems is globally distributed. *Ecology*, 89, 371-379.
121. Lee S.K., Sohn E.Y., Hamayun M., Yoon J.Y., Lee I. J. 2010. Effect of silicon growth and salinity stress of soybean plant grown under hydroponic system. *Agroforestry Systems*, 80(3), 333-340.
122. Leghari S.J., Wahocho N.A., Laghari G.M., Hafeez Laghari A., Mustafa Bhabhan G., Hussain Talpur K., Bhutto T.A., Wahocho S.A., Lashari A.A. 2016. Role of nitrogen for plant growth and development: A review. *Advances in Environmental Biology*, 10, 9, 209-219.
123. Lemanowicz J., Koper J. 2009. Zawartość wybranych form fosforu w glebie i koniczynie łąkowej oraz aktywność fosfataz glebowych na tle zróżnicowanego

- nawożenia mineralnego i organicznego. Woda Środowisko Obszary Wiejskie, 9, 4 (28), 119-139.
124. Lipiec J., Doussan C., Nosalewicz A., Kondracka K. 2013. Effect of drought and heat stresses on plant growth and yield: a review. *International Agrophysics*, 27, 463-477.
125. Lorenc-Kozik A.M., Pisulewska E. 2003. Wpływ zróżnicowanego nawożenia azotem i mikroelementami na plonowanie wybranych odmian soi. *Rośliny Oleiste-Oilseed Crops*, 24(1), 131-142.
126. Luboiński A., Markowicz M. 2017. Wpływ systemu nawożenia na plonowanie trzech odmian soi (*Glycine max* (L.) Merr.). *Fragmenta Agronomica*, 34 (3), 66-75.
127. Łykowski B. 1984. Warunki klimatyczne rozwoju i plonowania soi w Polsce. *Rozprawy Naukowe i Monografie, SGGW Warszawa*, s. 5-84.
128. Maathuis F. 2009. Physiological functions of mineral nutrients. *Current Opinion in Plant Biology*, 12, 250-258.
129. Machul M. 2001. Ocena stanu odżywienia roślin azotem z zastosowaniem testów roślinnych. *Postępy Nauk Rolniczych*, 3, 71-83.
130. Mafakheri A., Siosemardeh A., Bahramnejad B., Struik P.C., Sohrabi Y. 2010. Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. *Australian Journal of Crop Science*, 4, 580-585.
131. Mandić V., Đorđević S., Bijelić Z., Krnjaja V., Pantelić V., Simić A., Dragičević V. 2020. Agronomic Responses of Soybean Genotypes to Starter Nitrogen Fertilizer Rate. *Agronomy*, 10 (4), 535.
132. Mandić V., Simić A., Krnjaja V., Bijelić Z., Tomić Z., Stanojković A., Ruzić Muslić D. 2015. Effect of foliar fertilization on soybean grain yield. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 31(1), 133-143.
133. Marburger D.A., Smith D.L., Conley S.P. Revisiting planting date and cultivar effects on soybean sudden death syndrome development and yield loss. *Plant Disease*, 2016, 100(10), 2152-2157.
134. Martyniuk S. 2008. Znaczenie procesu biologicznego wiązania azotu atmosferycznego w rolnictwie ekologicznym. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 53(4), 9-14.
135. Martyniuk S. 2008. Znaczenie procesu biologicznego wiązania azotu atmosferycznego w rolnictwie ekologicznym. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 53(4), 9-14.

136. Martyniuk S. 2012. Naukowe i praktyczne aspekty symbiozy roślin strączkowych z bakteriami brodawkowymi. *Polish Journal of Agronomy*, 9, 17-22.
137. Martyniuk S. 2019. Biologiczne wiązanie N₂, bakterie symbiotyczne roślin bobowatych w glebach Polski i oszacowanie ich liczebności. *Polish Journal of Agronomy*, 38, 52-65.
138. Martyniuk S., Kozieł M., Gałązka A. 2016. Survival of rhizobia on seeds, nodulation and growth of soybean as influenced by synthetic and natural seed-applied fungicides. *Polish Journal of Agronomy*, 27, 96-99.
139. Martyniuk S., Oroń J. 2007. Bioróżnorodność mikrobiologiczna gleb na przykładzie bakterii wiążących azot atmosferyczny – oddziaływanie wybranych zabiegów agrotechnicznych. *Fragmenta Agronomica*, 24, 4 (96), 18-23.
140. Martyniuk S., Oroń J., Martyniuk M. 2005. Diversity and numbers of root-nodule bacteria (rhizobia) in Polish soils. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 74 (1), 83-86.
141. McAllister C.H., Beatty P.H., Good A.G. 2012. Engineering nitrogen use efficient crop plants: the current status. *Plant Biotechnology Journal*, 10, 9, 1011-1025.
142. Michałek S., Borowski E. 1998. Reakcja wybranych odmian soi (*Glycine max* L.) na suszę. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej im. H. Kołłątaja w Krakowie*, 333, 905-908.
143. Michałek S., Borowski E. 2006. Plonowanie oraz zawartość tłuszczu, kwasów tłuszczowych i białka w nasionach krajowych odmian soi w warunkach suszy. *Acta Agrophysica*, 8(2), 459-471.
144. Michałek W., Sawicka B., 2005. Zawartość chlorofilu i aktywność fotosyntetyczna średnio późnych odmian ziemniaka w warunkach pola uprawnego w środkowo-wschodniej Polsce. *Acta Agrophysica*, 6(1): 183-195.
145. Munns R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, 25, 239- 250.
146. Murkowski A. 2002. Oddziaływanie czynników stresowych na luminescencję chlorofilu w aparacie fotosyntetycznym roślin uprawnych. *Acta Agrophysica*, 61, 108-123.
147. Murkowski A. 2005. Ocena wrażliwości roślin uprawnych na wybrane stresy środowiska przy użyciu metody fluorescencyjnej. *Inżynieria Rolnicza*, 4(64), 37-45.

148. Mus F., Alleman A.B., Pence N., Seefeldt L.C., Peters J.W. 2018. Exploring the alternatives of biological nitrogen fixation. *Metallomics*, 2018, 10, 523.
149. Mus F., Crook M.B., Garcia K., Costas A.G., Geddes B.A., Kouri E.D., Paramasivan P., Ryu M-H., Oldroyd G.E.D., Poole P.S., Udvardi M.K., Voigt C.A., Ané J.M., Peters J.W. 2016. Symbiotic nitrogen fixation and the challenges to its extension to non-legumes. *American Society for Microbiology*, 82(13), 3698-3710.
150. Myśliwa-Kurdziel B., Gabruk M. 2011. Biosynteza chlorofilu: Dwa mechanizmy redukcji protochlorofilu. *Kosmos, Ser. A, Biologia* 60(3/4), 435-444.
151. Natywa M., Selwet M., Maciejewski T. 2014. Wpływ wybranych czynników agrotechnicznych na liczebność i aktywność drobnoustrojów glebowych. *Fragmenta Agronomica*, 31(2), 56-63.
152. Nawracała J. 2001. Efektywność kwitnienia zróżnicowanych genotypów soi (*Glycine max* (L.) Murrill) w warunkach środowiskowych Wielkopolski. *Rośliny Oleiste*, 22, 27-44.
153. Nawracała J. 2001. Efektywność kwitnienia zróżnicowanych genotypów soi (*Glycine max* (L.) Merrill) w warunkach środowiskowych Wielkopolski. *Rośliny Oleiste*, 26, 27-44.
154. Nowak A., Wróbel J. 2010. Wpływ egzogennych regulatorów wzrostu na zawartość barwników asymilacyjnych w liściach trzech odmian soi zwyczajnej (*Glycine max* L. Merr.). *Rośliny Oleiste*, 31, 351-359.
155. Ohaszi Y., Nakayama N., Saneoka H. 2006. Effects of drought stress on photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and stem diameter of soybean plants, 50, 138-141.
156. Olejnik P. 2020. Rola wybranych mechanizmów molekularnych w doborze partnerów symbiotycznych w interakcjach roślin bobowatych z bakteriami brodawkowymi. *Badania i Rozwój Młodych Naukowców w Polsce. Nauki Przyrodnicze - Flora i Ochrona Środowiska*, s. 25-30.
157. Oleksiak T., Arseniuk E. 2002. Postęp w hodowli roślin uprawnych. *Pam. Puł.*, 2002, 130, 509-521.
158. Olszewska M. 2003. Reakcja wybranych odmian kostrzewy łąkowej i tymotki łąkowej na stres wodny. *Acta Scientiarum Polonorum, sec. Agricultura*, 2, 141-148.

159. Osiecka A. 2017. Soja i jej potencjał na podstawie wyników PDO. Czas na soję. Dodatek specjalny, s. 40-43.
160. Paśmionka I. 2017. Mikrobiologiczne przemiany azotu glebowego. Kosmos - Problemy Nauk Biologicznych, 66, 2(315), 185-192.
161. Pedersen, P.; Lauer, J.G. 2004. Response of soybean yield components to management system and planting date. Agronomy Journal, 96(5), 1372-1381.
162. Piotrowska A. 2011. Enzymy jako biologiczne wskaźniki stanu środowiska glebowego. Ekologia i Technika, 5, 247-260.
163. Piotrowska-Cyplik A., Cyplik P., Czarnecki Z. 2007. Pomiar aktywności dehydrogenaz a tradycyjna metoda oznaczania liczby mikroorganizmów jako wskaźniki aktywności mikrobiologicznej kompostu z komunalnego osadu ściekowego. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 52(4), 22-26.
164. Piper E.L., Boote K.J. 1999. Temperature and cultivar effects on soybean seed oil and protein concentrations. Journal of the American Oil Chemists' Society, 76, 1233-1241.
165. Pisulewska E., Lorenc-Kozik A., Borowiec F. 1998. Porównanie plonu nasion oraz zawartości tłuszczu i kwasów tłuszczowych w krajowych odmianach soi. Rośliny Oleiste, 19(1), 97-104.
166. 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, 20, 511-520.
167. Popović V., Tatić M., Spalević V., Rajičić V., Filipović V., Šarčević Todosijević L., Stevanović P. 2017. Effect of nitrogen fertilization on soybean plant height in arid year. Congress Proceedings: 2nd International and 14th National Congress of Soil Science Society of Serbia, 25-28.09.2017, s. 65-73.
168. Praczyk T. (red.) 2017. Instrukcja uprawy soi. Instytut Ochrony Roślin – Państwowy Instytut Badawczy, Poznań, ss. 52.
169. Prusiński J., Borowska M., Kaszkowiak E. 2008. Wybrane wskaźniki produktywności roślin bobiku w warunkach wzrastającego nawożenia azotem. Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, 248, 105-115.

170. Prusiński J., Batur-Cieśniewska A., Borowska M. 2020. Response of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) to mineral nitrogen fertilization and *Bradyrhizobium japonicum* seed inoculation. *Agronomy*, 10, 1300.
171. Pyzik J. 1983. Badania nad agrotechniką nowych form soi uprawianej w Polsce. *Acta Agrobotanica*, 36 (1-2), 223-238.
172. Rahbarian R., Khavari-Nezad R., Ganjeali A., Bagheri A., Najafi F. 2011. Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water relations in tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*, 53(1), 47-56
- Rotundo, J.L., Westgate M.E. Meta-analysis of environmental effects on soybean seed composition. *Field Crops Research*, 2009, 110, 147-156.
173. Rumasz-Rudnicka E. 2010. Wpływ nawadniania i nawożenia azotem na asymilację i transpirację życicy westerwoldzkiej. *Acta Agrophysica*, 15(2), 395-408.
174. Rymuza K., Radzka E., Wysokiński A. 2020. Nitrogen uptake from different sources by non-GMO soybean varieties. *Agronomy*, 10(9), 1219.
175. Sadeghipour O., Abbasi S. 2012. Soybean response to drought and seed inoculation. *World Applied Sciences Journal*, 17, 1, 55-60.
176. Samarah N.H., Alqudah A.M., Amayreh J.A., McAndrews G.M. 2009. The effect of late-terminal drought stress on yield components of four barley cultivars. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195(6), 427-441.
177. Sandoval-Villa M., Wood C. W. Guertal E. A. 2002. Tomato leaf chlorophyll meter readings as affected by variety, nitrogen form and night time nutrient solution strength. *Journal of Plant Nutrition*, 25, 2129-2142.
178. Sarker A. M., Rahman M. S., Paul N. K. 1999. Effect of soil moisture on relative leaf water content chlorophyll, proline and sugar accumulation in wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 183, 225-229.
179. Sawicka B (red.) 2000. Agrotechnika i jakość cech roślin uprawnych. Wybrane zagadnienia. Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Lublinie, wydanie I, ss. 477.
180. 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. *Journal of Agricultural Science*, 153(8), 1394-1411.
181. Serafin-Andrzejewska M., Jama-Rodzeńska A., Helios W., Kozak M., Lewandowska S., Zalewski D., Kotecki A. 2024. Influence of nitrogen fertilization,

- seed inoculation and the synergistic effect of these treatments on soybean yields under conditions in south-western Poland. *Scientific Reports*, 14, 6672.
182. Šestak Z., Šiffel P. 1997. Leaf – age related differences in chlorophyll fluorescence. *Photosynthetica*, 33, 3/4, 347-369.
183. Shangguan Z. P., Shao M. G., Dyckmans J. 2000. Effects of nitrogen nutrition and water deficit on net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in winter wheat. *Journal of Plant Physiology*, 156, 1, 46-51.
184. Sharma S., Kaur M., Goyal R., Gill B.S., 2014. Physical characteristics and nutritional composition of some new soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) genotypes. *Journal of Food Science and Technology*, 51, 551-557.
185. Shcherbyna O.Z., Levchenko T.M., Holodna A.V., Baidiuk T.O., Kurhak V.H., Tymoszenko O.O., Romaniuk L.S., Lubchych O.H., Tkachenko N.V., Polishchuk S.V., Hurenko A.V. 2021. Evaluation of plasticity and yield stability in white lupin and soybean varieties. *Ukrainian Journal of Ecology*, 11(2), 360-365.
186. Silveira J.A.G., Costa R.C.L., Viégas R.A., Oliveira J.T.A., Figueredo M.V.B. 2003. N-compound accumulation and carbohydrate shortage on N₂ fixation in drought-stressed and rewatered cowpea plants. *Spanish Journal of Agricultural Research* 1, 1 (3), 231-239.
187. Souza G.M., Catuchi T.A., Bertolli S.C., Soratto R.P. Soybean under water deficit: physiological and yield responses. In: A comprehensive survey of international soybean research - Genetics, physiology, agronomy and nitrogen relationships. Board J. (Ed.), InTech, Croatia, 2013, p. 273-298.
188. Souza, R.P., Machado, E.C., Silva, J.A.B., Lagoa, A.M.M.A., Silveira, J.A.G. 2004. Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cow-pea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. *Environmental and Experimental Botany*, 51(1), 45-56.
189. Specht J. E., Hume D. J., Kumudini S. V. 1999. Soybean yield potential – a genetic and physiological perspective. *Crop Science*, 39(6), 1560–1570.
190. Staniak M., **Baca E.** 2018. Wpływ stresu suszy na wskaźniki fluorescencji chlorofilu u lucerny mieszańcowej (*Medicago × varia Martyn*), koniczyny łąkowej (*Trifolium pratense* L.) i koniczyny białej (*Trifolium repens* L.). *Łąkarstwo w Polsce*, 21, 127-138.

191. Staniak M., Czopek, K., Stępień-Warda A., Kocira A., Przybyś M. 2021b. Cold stress during flowering alters plant structure, yield and seed quality of different soybean genotypes. *Agronomy*, 1, 11, 2059.
192. 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.
193. Staniak M., Stępień-Warda A., Czopek K., Kocira A., **Baca E.** 2021a. Seeds quality and quantity of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cultivars in response to cold stress, *Agronomy*, 11, 520.
194. Starck Z. 2010. Wpływ warunków stresowych na kondycję wytwarzania i dystrybucji fotoasymilatów. *Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych*, 1, 9-26.
195. Starck Z. 2010. Wpływ warunków stresowych na koordynację wytwarzania i dystrybucji fotoasymilatów. *Postępy Nauk Rolniczych*, 1, 9-26.
196. Starck Z., Chołuj D., Niemyska B., 1995. Fizjologiczne reakcje roślin na niekorzystne czynniki środowiska. Warszawa, Wydawnictwo SGGW, s. 111-123.
197. Starck Z., Kopcewicz J. (red.), Lewak S. 1998. Podstawy fizjologii roślin. Fizjologiczne podstawy produktywności roślin. PWN, Warszawa.
198. Stasiak G., Mazur A., Koper P., Żebracki K., Skorupska A. 2016. *Postępy Mikrobiologii*, 55, 3, 289-299.
199. Stasiak G., Mazur A., Koper P., Żebracki K., Skorupska A. 2016. Symbioza rizobiów z roślinami bobowatymi (*Fabaceae*). *Postępy Mikrobiologii*, 55(3), 289-299.
200. Strasser R.J., Srivastava A., Tsimilli-Michael M. 2000. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. *Probing Photosynthesis: Mechanisms, Regulation and Adaptation* (Eds M. Yunus, U. Pathre, P. Mohanty), Taylor and Francis, London, p. 445-483.
201. Sulkiwicz M., Ciereszko I. 2016. Fluorescencja chlorofilu a - historia odkrycia i zastosowanie w badaniach roślin. *Kosmos - Problemy Nauk Biologicznych*, 1, 103-115.
202. Sułek A., Leszczyńska D. 2016. Nawożenie zbóż jarych w warunkach zmieniającego się klimatu. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 50(4): 53-64.

203. Szostak B., Głowacka A., Klebaniuk R., Kiełtyka-Dadasiewicz A. 2020. Mineral composition of traditional non-GMO soybean cultivars in relation to nitrogen fertilization. *The Scientific World Journal*, 1-15.
204. Szpunar-Krok E., Wondolowska-Grabowska A. 2022. Quality evaluation indices for soybean oil in relation to cultivar, application of N fertiliser and seed inoculation with *Bradyrhizobium japonicum*. *Foods*, 11, 762.
205. Szpunar-Krok E., Wondolowska-Grabowska A., Bobrecka-Jamro D., Jańczak-Pieniążek M., Kotecki A., Kozak M. 2021. Effect of nitrogen fertilisation and inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* on the fatty acid profile of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) seeds. *Agronomy*, 11, 941.
206. Szukała J. 2012. Nowe trendy w agrotechnice roślin strączkowych i sposoby zwiększania opłacalności uprawy. *Materiały Komisji Rolnictwa i Rozwoju Wsi*, Warszawa, 45, 8-10.
207. Śliwa J., Kania J., Dacko M., Zajac T. 2015. Rolniczo-ekonomiczne uwarunkowania uprawy soi w Polsce w aspekcie wszechstronności zastosowań i zrównoważonego rozwoju. *Zagadnienia Doradztwa Rolniczego*, 3, 71-82.
208. Śliwa J., Zajac T., Oleksy A., Klimek-Kopyra A., Lorenc-Kozik A., Kulig B. 2015. Comparison of the development and productivity of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cultivated in western Poland. *Acta Scientiarum Polonorum sec. Agricultura*, 14(4), 81-95.
209. Ślizowska A.M. 2023. Wpływ szczepionki bakteryjnej i rodzaju nawozu azotowego na plonowanie, architekturę łanu i wybrane wskaźniki wegetacyjne soi. *Rozprawa doktorska*, UR Kraków, ss. 126.
210. Tabatabai M. A., Bremner J.M. 1969. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 1, 301-307.
211. Tabatabai M.A., Fu M.H., Basta M.T. 1992. Effect of cropping systems on nitrification in soils. *Communications in Soil Science Plant Analysis*, 23, 1885-1891.
212. Tabrizi M.S., Parsinejad M., Babazadeh, H. 2012. Efficacy of partial root drying technique for optimizing soybean crop production in semi-arid regions. *Irrigation and Drainage*, 61, 1, 80-88.
213. Tagliapietra E. L., Streck N. A., da Rocha T. S. M., Richter G. L., Da Silva M. R., 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.

214. Tuba Z., Saxena D.K., Srivastava K., Singh S., Czobel S., Kalaji H.M. 2010. Chlorophyll a fluorescence measurement for validating the tolerant bryophytes for heavy metal (Pb) biomapping. *Current Science*, 98, 1505-1508.
215. Tyczewska A., Gracz J., Twardowski T., Małyska A. 2014. Soja przyszłością polskiego rolnictwa? *Nauka*, 4, 121-138.
216. Vetanovetz R., Peterson J. 1992. Effect of carbon source and nitrogen on urease activity in a sphagnum peat medium. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 23, 379-388.
217. Vollmann J., Fritz C.N., Wagentristl H., Ruckenbauer P. 2000. Environmental and genetic variation of soybean seed protein content under Central European growing conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 1300-1306.
218. Warzecha E. 1983. Przebieg wegetacji oraz charakterystyka wybranych cech soi w warunkach klimatycznych Polski. *Acta Agrobotanica*, 36(1-2), 191-202.
219. Wojcieszka U. 1993. Żywienie roślin azotem a przyrost masy i przebieg wybranych procesów fizjologicznych. *Fragmenta Agronomica*, 4, 173-174.
220. Wojcieszka U. 1994. Fizjologiczna rola azotu w kształtowaniu plonu roślin. Część II. Żywienie roślin azotem a fotosynteza, fotorespiracja i oddychanie ciemniowe. *Postępy Nauk Rolniczych*, 1(94), 127-143.
221. Wojcieszka-Wyskupajtis U. 1996. Fizjologiczna rola azotu w kształtowaniu plonu roślin. Część III. Żywienie roślin azotem a produktywność fotosyntezy, *Postępy Nauk Rolniczych*, 3(96), 29-43.
222. Wyniki porejestrowych doświadczeń odmianowych. Bobowate grubonasienne i soja. 2018-2021. COBORU Słupia Wielka.
223. Wysokiński A., Kalembasa S., Symanowicz B. 2013. Dynamika gromadzenia azotu z różnych źródeł przez groch siewny (*Pisum Sativum* L.). *Fragmenta Agronomica*, 30(2), 162-169.
224. Xu G., Fan X., Miller A. J. 2012. Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annual Review of Plant Biology*, 63, 153-182.
225. Yokoyama A.H., Ribeiro R.H., Balbinot A.A., Franchini J.C., Debiassi H., Zucareli C. 2020. Leaf area index and SPAD of soybean after offseason crops and nitrogen fertilization, and their relation to grain yield. *Revista de Ciências Agrárias*, 41(4), 953-962.

226. 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.
227. Żarski J., Kuśmierk-Tomaszewska R., Dudek S., Kropkowski M., Kledzik R. 2019. Identifying climatic risk to soybean cultivation in the transitional type of moderate climate in Central Poland identifying climatic risk to soybean cultivation in the transitional type of moderate climate in Central Poland. *Journal of Central European Agriculture*, 20(1), 143-156.

Źródła internetowe:

1. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (dostęp 10.07.2024).
2. COBORU, <https://coboru.gov.pl/PDO/porownanieodmian.aspx>, 2021 (dostęp 15.10.2021)
3. COBORU, <https://coboru.gov.pl/PDO/porownanieodmian.aspx>, 2 (dostęp 07.07.2024)
4. COBORU, https://coboru.gov.pl/pdo/rekomendacja_woj, 2021 (dostęp 18.10.2021)
5. COBORU https://www.coboru.gov.pl/pdo/rekomendacja_woj (dostęp 07.07.2024 r.)
6. <https://rejestrupraw.arimr.gov.pl/#> (dostęp 30.06.2024 r.)
7. <https://legislacja.rcl.gov.pl/projekt/12356404> (dostęp 01.07.2024 r.)
8. https://food.ec.europa.eu/plants/plant-reproductive-material/plant-variety-catalogues-databases-information-systems_en (dostęp 7.07.2024 r.)

Streszczenie

Uprawa soi w Polsce z roku na rok staje się coraz popularniejsza, co wynika z wysokiej wartości odżywczej nasion, względnej odporności na szkodniki i choroby oraz wzbogacaniu gleby w azot dzięki symbiozie z bakteriami brodawkowymi *Bradyrhizobium japonicum*. Ponadto, w ostatnich latach obserwuje się dynamiczny postęp w hodowli nowych odmian soi, o wczesności dostosowanej do uprawy w konkretnych warunkach siedliska i regionu. Odmiany soi różniące się wczesnością mogą wykazywać odmienne reakcje na pogłówną dawkę azotu, z uwagi na różnice w liczbie dni niezbędnych do osiągnięcia dojrzałości zniwnej. Celem badań była ocena reakcji wybranych odmian soi na zróżnicowane dawki azotu oraz ocena przydatności średnio wczesnych (Abelina, Sculptor) i bardzo późnych (Coraline, Malaga, Petrina) odmian do uprawy w warunkach województwa lubelskiego. W hipotezie badawczej założono, że zastosowanie drugiej dawki azotu (pogłównie) zwiększy potencjał plonowania soi i korzystnie wpłynie na skład chemiczny nasion, a późniejsze odmiany soi będą lepiej wykorzystywać azot mineralny, co przyczyni się do uzyskania większego plonu nasion o lepszych parametrach jakościowych.

Badania przeprowadzono w oparciu o doświadczenie polowe, realizowane w latach 2017-2019, na Polu Doświadczalno-Wdrożeniowym Lubelskiego Ośrodka Doradztwa Rolniczego w Końskowoli, zlokalizowanym w Pożogu II (woj. lubelskie, powiat puławski). Dwuczynnikowe doświadczenie polowe założono w układzie losowanych podbloków (split-plot), w 4 powtórzeniach. Pierwszy czynnik stanowiła dawka azotu ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$): 0 (N0), 30 (N30), 60 (N60), zaś drugi – odmiana soi zwyczajnej (*Glicynie max* (L.) Merrill): Abelina, Sculptor, Coraline, Malaga, Petrina. W fazach rozwojowych BBCH 61, 65, 70 i 77 wykonano pomiary wskaźników: fluorescencji chlorofilu (Fv/Fm, PI), pokrycia powierzchni gleby liśćmi (LAI) oraz indeksu zieloności liścia (SPAD). Przed zbiorem określono cechy biometryczne roślin (wysokość rośliny, wysokość osadzenia najniższego strąka, liczbę strąków i nasion na roślinę, masę strąków i nasion na roślinę, MTN). Określono plon nasion przy 14% wilgotności. Oceniano także właściwości mikrobiologiczne gleby w fazie kwitnienia soi, poprzez analizę liczebności *Azotobacter* i aktywności enzymatycznej gleby na podstawie aktywności dehydrogenaz oraz fosfataz (kwaśnej i zasadowej). Zebrane wyniki badań zostały opracowane statystycznie metodą analizy wariancji (ANOVA) zgodnie z układem doświadczenia. Do porównania różnic między średnimi dla czynników głównych oraz interakcji zastosowano wielokrotny test przedziałów ufności (Test Tukey'a) na poziomie istotności $\alpha=0,05$.

W 2019 roku, w hali wegetacyjnej IUNG-PIB w Puławach przeprowadzono dodatkowo ściśle, dwuczynnikowe doświadczenie wazonowe, w układzie kompletnie zrandomizowanym, w 4 powtórzeniach. Pierwszy czynnik badawczy stanowiła dawka azotu ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$): 0 (N0), 30 (N30), 60 (50% przedsiewnie i 50% pogłównie w fazie BBCH 61), zaś drugi czynnik – odmiana soi zwyczajnej (*Glicynie max* (L.) Merrill): Abelina, Sculptor, Coraline, Malaga, Petrina. Wazony podlewane były codziennie do warunków optymalnych. W trakcie prowadzenia doświadczenia wykonano pomiary względnej zawartości chlorofilu w liściach soi (indeks SPAD) w następujących fazach rozwojowych: BBCH 61, 65, 71 i 77. W fazie kwitnienia soi (BBCH 65) określono: długość pędu i korzenia, masę części nadziemnej i podziemnej oraz liczbę i masę brodawek. W fazie dojrzałości pełnej wykonano pomiary: wysokości roślin, wysokości osadzenia pierwszego strąka, liczby węzłów na pędzie głównym, liczby strąków na roślinie, liczby i masy nasion na roślinie, liczba nasion w strąku, suchej masy łodygi i strączyn. Określono także zawartość białka ogólnego i tłuszczu surowego w nasionach. Zebrane wyniki zestawiono i opracowano statystycznie metodą analizy wariancji (ANOVA) w programie Statgraphic Centurion XVI.

Badania wykazały, że wszystkie odmiany soi sprawdziły się w warunkach woj. lubelskiego, przy czym odmiany bardzo późne plonowały lepiej niż odmiany średnio wczesne, przewyższając je plonem średnio o 21,8%. Poziom plonowania soi zależał od dawki nawożenia azotem oraz warunków pogodowych. W warunkach optymalnego uwilgotnienia gleby przedsiewna dawka azotu (N30) zwiększyła plon nasion w porównaniu do obiektu kontrolnego (N0) o 23,8%, a dawka zastosowana pogłównie (N60) o 10% w porównaniu do obiektu N30. Przy niedoborze wody w glebie nawożenie azotem mineralnym okazało się nieefektywne. Największą wydajnością odznaczyła się bardzo późna odmiana Malaga, z plonem większym o 33,2% niż plon odmian średnio wczesnych (Abelina, Sculptor) i o 14,7% w porównaniu do pozostałych odmian bardzo późnych (Coraline, Petrina). Najmniejszą wydajnością odznaczyła się odmiana Sculptor. Wykazano wpływ azotu mineralnego na cechy biometryczne roślin. Nawożenie przedsiewne (N30) zwiększyło wysokość roślin średnio o 9,5% i wysokość osadzenia najniższego strąka średnio o 10,2%. Dawka przedsiewna i pogłówna (N60) korzystnie wpłynęła na liczbę i masę strąków oraz liczbę i masę nasion z rośliny (wzrost odpowiednio o 19,7 i 22,9% oraz 20,5 i 16,2%), ale obniżyła masę tysiąca nasion (MTN) średnio o 5,8% w porównaniu do obiektu N0. Wykazano wpływ czynnika genetycznego na cechy biometryczne roślin. Odmiana Coraline była najwyższa, ale miała najniżej osadzone strąki, podczas gdy

odmiana Sculptor miała najwięcej strąków i nasion. Z kolei odmiana Malaga miała największą MTN. Badania wykazały, że stan fizjologiczny roślin zależał w sposób istotny od dawki azotu i warunków pogodowych. W warunkach suszy i braku nawożenia azotem (N0) zaobserwowano wzrost wskaźników fluorescencji chlorofilu (Fv/Fm i PI), sugerujące zakłócenia fotosyntezy. Z kolei najniższe wartości tych wskaźników obserwowano na obiektach N60. Najwyższymi wartościami wskaźników fluorescencji chlorofilu odznaczyła się odmiana Malaga, a najniższymi Sculptor. Względna zawartość chlorofilu w liściach była determinowana przede wszystkim przez czynnik odmianowy. Najniższy indeks SPAD odnotowano u średnio wczesnej odmiany Sculptor, natomiast wyższy u późnych odmian Malaga i Petrina. Wykazano istotną, dodatnią korelację między plonem nasion a indeksem SPAD. Nawożenie azotem mineralnym zmniejszyło liczbę i masę brodawek korzeniowych. Odmiana różnicowała zawartość białka ogólnego w nasionach soi, natomiast nie miała istotnego wpływu na zawartość w nich tłuszczu. Dawka azotu miała istotny wpływ na liczebność wolnożyjących asymilatorów azotu w glebie. Największą liczebność *Azotobacter* stwierdzono w glebie nawożonej dawką N60, ale aktywność enzymatyczna była tam najmniejsza. Istotne różnice w aktywności dehydrogenaz zaobserwowano w obu latach badań, natomiast w przypadku fosfatazy kwaśnej i zasadowej różnice wystąpiły tylko w 2019 roku. W badaniach wykazano, że optymalne wykorzystanie nawożenia azotem wymaga uwzględnienia warunków pogodowych w celu maksymalizacji plonowania i efektywności fotosyntezy bez negatywnego wpływu na glebę i jej aktywność mikrobiologiczną.

W badaniach udowodniono, że odmiana soi Malaga sprawdziła się najlepiej w warunkach woj. lubelskiego. Jako odmiana bardzo późna osiągnęła najwyższy poziom plonu wynoszący 5,06 t ha⁻¹, czym przewyższyła plonowanie wszystkich pozostałych odmian. Cechowała się również większą MTN. Ze względu na swoje wyjątkowe osiągi pod względem plonowania, w katalogu firmy nasiennej określano ją mianem „perły południa”.

Summary

Soybean cultivation in Poland is becoming more and more popular every year, due to the high nutritional value of the seeds, relative resistance to pests and diseases, and enrichment of the soil in nitrogen thanks to *symbiosis* with the papillary bacteria *Bradyrhizobium japonicum*. In addition, recent years have seen rapid progress in breeding new soybean cultivars, with earliness adapted to cultivation under specific habitat and regional conditions. Soybean cultivars differing in earliness may show different responses to post-harvest nitrogen application due to differences in the number of days required to reach harvest maturity. The aim of this study was to evaluate the response of selected soybean cultivars to differentiated nitrogen doses and to assess the suitability of medium-early (Abelina, Sculptor) and very late (Coraline, Malaga, Petrina) cultivars for cultivation under the conditions of the Lubelskie voivodeship. The research hypothesis assumed that the application of a second nitrogen dose (post-harvest) would increase the yield potential of soybean and favourably influence the chemical composition of the seeds, while later soybean cultivars would make better use of mineral nitrogen, resulting in a higher seed yield with better quality parameters.

The research was based on a field experiment, carried out in 2017-2019, at the Experimental and Experimental Field belonging to the Lublin Agricultural Advisory Centre in Końskowola, located in Pozog II (Lubelskie Voivodeship, Puławy County). A two-factor field experiment was established in a randomized sub-block system (split-plot), in 4 replications. The first factor was the nitrogen dose ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$): 0 (N0), 30 (N30), 60 (N60), while the second was the soybean cultivar (*Glycine max* (L.) Merrill): Abelina, Sculptor, Coraline, Malaga, Petrina. The following indices were measured at developmental stages BBCH 61, 65, 70 and 77: chlorophyll fluorescence (F_v/F_m , PI), leaf area index (LAI) and leaf greenness index (SPAD). Plant biometric traits (plant height, height of setting of the lowest pod, number of pods and seeds per plant, pod and seed weight per plant, TSW) were determined before harvest. Seed yield at 14% moisture content was determined. The microbial properties of the soil at the flowering stage of the soybean were also assessed by analysing the abundance of *Azotobacter* and the enzymatic activity of the soil based on the activity of dehydrogenases and phosphatases (acid and alkaline). The collected results were statistically processed by analysis of variance (ANOVA) according to the experimental layout. A multiple confidence interval test (Tukey's test) at the significance level of $\alpha=0.05$ was used to compare differences between means for the main factors and interactions.

In 2019, a strict two-factor pot experiment was additionally carried out in the vegetation hall of IUNG-PIB in Puławy, in a completely randomised design, in 4 replications. The first research factor was the nitrogen dose ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$): 0 (N0), 30 (N30), 60 (50% pre-sowing and 50% post-sowing at the BBCH 61 stage), while the second factor was the common soybean cultivar (*Glycines max* (L.) Merrill): Abelina, Sculptor, Coraline, Malaga, Petrina. The vases were watered daily to optimum conditions. During the conduct of the experiment, the relative chlorophyll content of soybean leaves (SPAD index) was measured at the following developmental stages: BBCH 61, 65, 71 and 77. At the flowering stage of soybean (BBCH 65), the following were determined: shoot and root length, aboveground and underground weight, and number and weight of papillae. At full maturity, the following measurements were taken: plant height, height of setting of the first pod, number of nodes on the main shoot, number of pods per plant, number and weight of seeds per plant, number of seeds per pod, dry weight of the stem and pods. The total protein and crude fibre contents of the seeds were also determined. The collected results were collated and statistically processed using the analysis of variance (ANOVA) method in Statgraphic Centurion XVI software.

The study showed that all soybean cultivars performed well under the conditions of the Lubelskie Voivodeship, with very late cultivars yielding better than medium-early cultivars, outperforming them in yield by an average of 21.8%. The yield level of soybean depended on the dose of nitrogen fertilisation and weather conditions. Under conditions of optimum soil moisture, the pre-sowing nitrogen dose (N30) increased seed yield by 23.8% compared to the control (N0), and the dose applied post-harvest (N60) by 10% compared to the N30 object. With soil water deficiency, mineral nitrogen fertilisation proved ineffective. The very late cultivar Malaga showed the highest productivity, with a yield 33.2% higher than that of the medium-early cultivars (Abelina, Sculptor) and 14.7% higher than that of the other very late cultivars (Coraline, Petrina). The cultivar Sculptor showed the lowest yield. The effect of mineral nitrogen on plant biometric traits was demonstrated. Pre-sowing fertilisation (N30) increased plant height by an average of 9.5% and the height of setting of the lowest pod by an average of 10.2%. The pre-sowing and post-sowing dose (N60) had a favourable effect on the number and weight of pods and the number and weight of seeds per plant (increases of 19.7 and 22.9% and 20.5 and 16.2%, respectively), but decreased the thousand-seed weight (TSW) by an average of 5.8% compared to the N0 treatment. The effect of genetic factor on plant biometric traits was demonstrated. The Coraline cultivar was the tallest but had the lowest set pods, while the Sculptor cultivar had

the most pods and seeds. In contrast, the Malaga cultivar had the highest TSW. The study showed that the physiological status of the plants depended significantly on nitrogen dose and weather conditions. Under conditions of drought and no nitrogen fertilization (N0), an increase in chlorophyll fluorescence indices (Fv/Fm and PI) was observed, suggesting photosynthesis disruption. In contrast, the lowest values of these indices were observed on N60 sites. The highest values of chlorophyll fluorescence indices were found in the Malaga cultivar and the lowest in the Sculptor cultivar. The relative chlorophyll content of the leaves was mainly determined by the cultivar factor. The lowest SPAD index was recorded in the medium-early cultivar Sculptor, while higher SPAD index was recorded in the late cultivars Malaga and Petrina. A significant positive correlation was found between seed yield and SPAD index. Mineral nitrogen fertilisation reduced the number and weight of root papillae. Cultivar differentiated the total protein content of soybean seeds, but had no significant effect on their fat content. Nitrogen dose had a significant effect on the abundance of free-living nitrogen assimilators in the soil. The highest abundance of *Azotobacter* was found in soil fertilised with a dose of N60, but enzymatic activity was lowest there. Significant differences in dehydrogenase activity were observed in both years of the study, while for acid and alkaline phosphatase there were differences only in 2019. The study showed that optimal use of nitrogen fertilisation requires consideration of weather conditions to maximise yield and photosynthetic efficiency without adversely affecting the soil and its microbial activity.

The study proved that the Malaga soybean cultivar performed best under the conditions of the Lubelskie Voivodeship. As a very late cultivar, it reached the highest yield level of 5.06 t ha⁻¹, which exceeded the yield of all other cultivars. It was also characterised by a higher TSW. Due to its exceptional yield performance, it was referred to as the "pearl of the south" in the seed company catalogue.