



**RADA NAUKOWA DYSCYPLINY
ROLNICTWO I OGRODNICTWO**

ROZPRAWA DOKTORSKA

mgr inż. Maciej Kazek

WPŁYW ODMIANY, INOKULACJI I HYDROŻELU
NA PLONOWANIE I JAKOŚĆ NASION
KONWENCJONALNEJ SOI (*Glycine max* (L.) Merr)

*Effect of cultivar, inoculation and hydrogel
on the yield and quality of conventional soybeans
(Glycine max (L.) Merr.)*

DZIEDZINA: nauki rolnicze
DYSCYPLINA: rolnictwo i ogrodnictwo

PROMOTOR

PROF. DR HAB. INŻ. ANNA WENDA-PIESIK
PRACOWNIA PRODUKCJI ROŚLINNEJ I DOŚWIADCZALNICTWA
KATEDRA AGRONOMII, WYDZIAŁ ROLNICTWA I BIOTECHNOLOGII
UNIwersytet Technologiczno-Przyrodniczy IM. J. J. ŚNIADECKICH W BYDGOSZCZY

*Pragnę serdecznie podziękować wszystkim osobom
bez których niniejsza praca nie mogła by powstać.*

*Przede wszystkim mojemu promotorowi i mentorowi
Pani Prof. dr hab. inż. Annie Wenda-Piesik
za nieocenioną pomoc podczas przygotowania pracy,
cenne uwagi oraz sugestie,
a w szczególności za poświęcony czas i wsparcie merytoryczne
oraz niekończącą się cierpliwość.*

*Chciałem również podziękować rodzicom,
którzy stworzyli mi warunki do
nauki i potrafili zmotywować do
dalszej pracy*

Spis treści

1. WSTĘP	7
2. PRZEGLĄD LITERATURY	9
2.1. Charakterystyka biologiczna gatunku soja	9
2.1.1. Zróżnicowanie odmian soi	10
2.1.2. Produkcja soi	13
2.2. Soja genetycznie modyfikowana	15
2.3. Nowoczesne technologie hodowli soi	16
2.4. Soja w Polsce	16
2.5. Uprawa soi	17
2.6. Wymagania klimatyczne	18
2.7. Wymagania glebowe	20
2.8. Miejsce w płodozmianie	20
2.9. Nawożenie	21
2.10. Przygotowanie do siewu i siew soi	23
2.11. Środki ochrony roślin w uprawie soi	25
2.12. Zbiór i przechowywanie nasion	28
2.13. Właściwości nasion soi	29
2.13.1. Wykorzystanie w żywieniu zwierząt hodowlanych	31
2.13.2. Wykorzystanie soi na olej	31
2.13.3. Wykorzystanie soi w żywieniu ludzi	32
2.14. Soja w gospodarce paszowej	33
3. MATERIAŁY I METODY BADAŃ	35
3.1. Doświadczenie wazonowe	35
3.2. Doświadczenia polowe	38
3.2.1. Doświadczenie w SB WRiB w Mochełku	38
3.2.2. Doświadczenie w gospodarstwie rolnym w Grocholinie	40
3.3. Zakres badań – obserwacje i pomiary na soi w doświadczeniach polowych	40
3.4. Charakterystyka warunków pogodowych w latach prowadzenia badań w Mochełku i w Grocholinie	41
3.4.1. Doświadczenie polowe w Stacji Badawczej Wydziału Rolnictwa i Biotechnologii UTP w Bydgoszczy w Mochełku....	41
3.4.2. Doświadczenie polowe w Gospodarstwie w Grocholinie	44
3.5. Statystyczne opracowanie wyników	48

4. WYNIKI	49
4.1. Wyniki doświadczenia wazonowego.....	49
4.1.1. Wilgotność i temperatura podłoża.....	49
4.1.2. Cechy biometryczne soi pod wpływem hydrożelu i inokulacji.....	52
4.1.3. Opłacalność stosowania zabiegów inokulacji i hydrożelu w uprawie soi	59
4.2. Wyniki doświadczenia w Mochełku.....	60
4.2.1. Obsada do zbioru, wysokość roślin i wysokość osadzenia pierwszego strąka soi	60
4.2.2. Liczba brodawek korzeniowych i liczba strąków	61
4.2.3. Termin zbioru, plon nasion, dorodność nasion i cechy jakościowe nasion	62
4.2.4. Analiza wielocechowego zróżnicowania soi oraz klasyfikacja odmian soi na podstawie analizy skupień oraz analizy składowych głównych (PCA).....	74
4.3. Wyniki z doświadczenia w Grocholinie.....	78
4.3.1. Obsada po wschodach, obsada do zbioru oraz ubytki roślin w czasie wegetacji soi	78
4.3.2. Wysokość pędu oraz osadzenie pierwszego strąka na roślinie soi	86
4.3.3. Liczba brodawek korzeniowych, liczba strąków i liczba nasion w strąku.....	93
4.3.4. Plonowanie i masa tysiąca nasion soi	101
4.3.5. Zawartość białka i tłuszczu w nasionach soi.....	109
 5. DYSKUSJA	 118
5.1. Plon nasion	118
5.2. Wpływ inokulacji <i>Bradyrhizobium japonicum</i>	120
5.3. Zależności pomiędzy elementami struktury plonu, a plonowaniem soi	122
5.4. Kształtowanie się zawartości białka i tłuszczu w nasionach soi	124
5.5. Hydrożel i opłacalność	126
 6. WNIOSKI	 128
 BIBLIOGRAFIA	 131
 Streszczenie	 151
Summary	152

1. WSTĘP

Unikalny skład chemiczny nasion, które zawierają 18-22% oleju oraz 33-45% białka powoduje, że soja jest jedną z najcenniejszych roślin uprawnych (Kumar i in., 2006, FAOSTAT, 2018). Znajduje ona szerokie zastosowanie w żywieniu człowieka i zwierząt, a także jest surowcem dla wielu gałęzi przemysłu (Shanmugasundaram i Yan, 2010, Tyczewska i in., 2014). Światowa produkcja nasion soi w skali rocznej wynosi około 340 milionów ton (2020 r.), a śruty sojowej około 240 milionów ton, co stanowi prawie 70% produkcji wszystkich śrut roślinnych (Soystat, 2020). W Europie soja uprawiana jest w 22 krajach, w tym we wszystkich sąsiadujących z Polską.

Uprawa soi przynosi wiele korzyści. Oprócz dostarczenia cennego, wysoko-wartościowego białka roślinnego i oleju bogatego w pożądane nienasycone kwasy tłuszczowe (Liu, 1997), soja pozostawia bardzo dobre stanowisko pod uprawę innych roślin w kolejnych sezonach wegetacyjnych. Głęboki i obfity system korzeniowy poprawia fizyko-chemiczną strukturę gleby (Bengough i in., 2011). Bakterie żyjące w symbiozie z korzeniami soi nie tylko dostarczają roślinie azot w formie przyswajalnej, ale także zwiększają zawartość próchnicy w glebie, zwiększają przyswajalność fosforu i mikrośladników, poprawiają warunki wodno-powietrzne gleby.

Soja, tak jak i inne rośliny bobowate współżyje z bakteriami brodawkowymi *Bradyrhizobium japonicum*, wiążącymi azot z powietrza. Przy dobrym zaszczerpieniu gleby i obfitym brodawkowaniu, na korzeniach bakterie mogą dostarczyć z powietrza roślinom nawet 100 kg azotu w przeliczeniu na 1 hektar. Efektywna symbioza zależy od czynników środowiskowych, takich jak temperatura gleby, warunki wodno-powietrzne gleby, pH, zasolenie gleby, ilość N w glebie, jak i rodzaj zastosowanego szczepu *B. japonicum*, forma inokulacji i genotyp sojowy (Stephens i Rask, 2000). Ponieważ soja jest uprawiana stosunkowo rzadko, bakterie tego gatunku w polskich glebach nie występują i dlatego istotnie ważna jest inokulacja materiału siewnego (Bury i Nawracała, 2004). W miejscach ubogich w szczep bakterii *B. japonicum* zalecana jest wcześniejsza inokulacja nasion (Abbasi i in., 2008, Afzal i in., 2010). Europie występuje kilka szczepów bakterii *Bradyrhizobium japonicum*, jednakże szczepy te nie są dobrze przystosowane do warunków klimatycznych panujących na tym kontynencie, gdyż zostały stworzone pod potrzeby klimatyczne USA (Kadiata i in., 2012). Możliwe jest dopasowanie szczepów bakterii oraz odpowiednich odmian soi, do warunków klimatycznych panujących w rejonie uprawy, aby uzyskać wzrost wydajności wiązania azotu (Alves i in., 2003; Zhang i in., 2003).

Opady atmosferyczne są podstawowym źródłem uzupełnienia wody w glebie. Występujące zmiany klimatyczne objawiające się okresowymi posuchami, powodują pogorszenie jakości nasion i wahania wysokości plonów. Zmniejszyć deficyt wody w glebie można przez zastosowanie hydrożeli (Faligowska i Szukała, 2014).

Odmiana wybrana do uprawy w Polsce powinna osiągnąć w okresie wegetacji sumę temperatur 2000 i okres ten nie powinien trwać dłużej niż 130-150 dni. Wymienione wymagania oznaczają, że najbardziej pożądane są odmiany „000” (wczesna, np.: Merlin) oraz „0000” (bardzo wczesna np. Augusta) (Lewandowska, 2016). Rosnące zapotrzebowanie jest przyczyną zwiększonej ilości rejestrowanych nowych, lepiej przystosowanych do wzrostu w różnych rejonach Polski, odmian *Glycine max* (L.) Merr. (Jarecki i Bobrecka-Jamro, 2015). W 2015 roku w Krajowym Rejestrze wpisanych było jedynie 5 odmian tej rośliny. Obserwowany trend wzrostowy, jest krokiem w dobrą stronę, jednakże w porównaniu z Wspólnym Katalogiem Odmian Roślin Rolniczych Unii Europejskiej, który liczy 379 pozycji (Dz. Urz. UE 2014/C450/01), wymagana jest ciągła praca w tym temacie.

Celem naukowym pracy jest zbadanie wpływu zabiegów poprawiających wzrost i rozwój soi, w tym, doboru odmiany, inokulacji i hydrożelu na wielkość i jakość plonu nasion.

2. PRZEGLĄD LITERATURY

2.1. Charakterystyka biologiczna gatunku soja

Soja zwyczajna (*Glycine max* (L.) Merrill) zwana inaczej soją warzywną, należy do rzędu bobowatych z *lac. fabaceae*, podrodziny bobowatych właściwych *Faboideae*, w obrębie której należy do plemienia *Phaseoleae*. Według danych z FAOSTAT (2018) jest czwartą najważniejszą rośliną uprawną na świecie w odniesieniu do zajmowanego obszaru i produkcji, oraz jedną z najważniejszych roślin uprawnych biorąc pod uwagę wysoką zawartość zarówno białek jak i tłuszczu. Znajduje się w pierwszej dziesiątce roślin żywiących ludzkość (Tyczewska i in., 2014), m.in. dlatego, że 56% światowej produkcji oleju roślinnego pochodzi z nasion soi. W 2019 roku odnotowano zbiór 340 milionów ton metrycznych soi na świecie, z czego blisko 85% przeznaczana jest na paszę dla zwierząt (Soystat, 2020). Spożycie nasion soi w latach 2010-2015 wzrosło o 23% (OECD-FAO, Agricultural Outlook Edition, 2016). Roślina ta pochodzi z południowo-wschodniej i wschodniej Azji, gdzie początki jej uprawy sięgają 5000 lat wstecz. Na swoim rodzimym terenie, soja zyskała miano „cudownej rośliny” lub „krowy” (Hymowitz, 1990), przez wzgląd na swoje szerokie zastosowanie zarówno w żywieniu jak i produkcji leków (Helferich, 2008). Historia Soi w Europie zaczyna się w pierwszej połowie XVIII wieku. Początkowo uprawiano ją w Paryskich Ogrodach Botanicznych, a następnie w Anglii. Na skalę przemysłową soję zaczęto uprawiać w XIX wieku na terenie Austrii, Niemiec, Francji i Włoch (Karasek, 2015).

Budowa oraz dystrybucja systemu korzeniowego soi, jak i innych roślin, determinuje produktywność rośliny (Bengough i in., 2011). Głębokie drenowanie gleby przez rozbudowany system korzeniowy soi, pomaga roślinie w pobieraniu trudno dostępnych makro i mikroelementów, co pozytywnie wpływa na rozwój rośliny (Markowicz i Wieczorek, 2015). Uważa się, że zwiększenie odporności soi na suszę można osiągnąć dzięki zwiększeniu ekstrakcji wody glebowej przez jej system korzeniowy (Carter, 1989). Symbioza soi z bakteriami brodawkowymi (*Bradyrhizobium japonicum*) umożliwia roślinie wytworzenie brodawek na korzeniach wiążących azot atmosferyczny, dzięki czemu roślina nie wymaga intensywnego nawożenia tym pierwiastkiem. Dodatkowo, zdolność rośliny soi do symbiozy z bakteriami brodawkowymi sprawia, że soja zajmuje wysokie stanowisko wśród upraw w płodozmianie.

Wysokość roślin soi jest bardzo zróżnicowana, zakres wynosi od kilku centymetrów do nawet 2 m. Rozgałęzienia pędu głównego również występują w różnej długości. Liście są złożone z trójlistków (najczęściej trzy lub cztery listki składające się na liść) gdzie każdy listek jest od 6 do 15 cm długi oraz od 2 do 7 cm szeroki. Liścienie oraz hypokotyl są osłonięte przez twardą, wodoodporną łuskę (Borget, 1992). Zarówno strąki, łodygi jak i liście pokryte są

brązowymi i szarymi włoskami. Samopylne kwiaty soi, wyrastające z wierzchołków liści, są koloru białego, różowego oraz fioletowego (Kanchana i in., 2015). Charakterystyczny jest moment dojrzewania rośliny, podczas którego liście żółkną i opadają. Dzięki temu procesowi odkryte zostają strąki znajdujące się na łodydze. Liście najczęściej opadają zanim dojrzeją. W strąkach znajdują się najczęściej od dwóch do czterech nasion, rzadko więcej (Rienke i Joke, 2005). Najważniejsza część rośliny, nasiono, występuje w wielu rozmiarach oraz kolorach wliczając w to: czarny, brązowy, niebieski, żółty, zielony oraz marmurkowy (Kanchana i in., 2015).

2.1.1. Zróżnicowanie odmian soi

W związku z ogromnym znaczeniem dla gospodarki, w ostatnich latach duże zainteresowanie budzi sekwencjonowanie genomowe uprawianej rośliny (Schmutz i in., 2010). Obecnie znalezienie odmiany pasującej do klimatu występującego w regionie nie stanowi problemu. Odmiany soi różnią się tolerancją na wysokie i niskie temperatury otoczenia (Hoefl i in., 2000). Według Ashlock i in., (2000) oraz Heatherly i in., (1999) kluczem do osiągnięcia maksymalnej wydajności upraw jest dobranie odmiany do warunków klimatycznych panujących w danym regionie oraz rozważne podjęcie innych decyzji dotyczących uprawy, tj.: data wysiewu, rozstawa rzędów czy zagęszczenie nasion. Warto nadmienić, iż soja została zakwalifikowana do badań przed i po rejestracyjnych KR COBORU (2020), obecnie na tej liście znajdują się 26 odmiany. Jednakże, różnorodność odmian soi nie dotyczy jedynie wrażliwości na zróżnicowany klimat. Według Frederick i in., (1998) oraz Balko i in., (2014) odmiany soi cechuje różnorodny pokrój, wysokość rośliny, wysokość osadzenia pierwszego strąka oraz liczba strąków na jednym węźle. Fenologiczna odpowiedź na temperaturę otoczenia podczas okresu wschodów determinuje wybór odmiany soi w określonym miejscu (Setiyono i in., 2007, George i in., 1990), a fotoperiodyzm służy głównie jako podstawa do klasyfikacji odmian do poszczególnych grup dojrzewania (wczesności) (Heatherly i in., 2004). W związku z dużą wrażliwością soi na zasolenie gleby, ważna jest hodowla odmian odpornych na ten czynnik (Lee i in., 2009).

Obiektem badań ostatnich lat, jest tworzenie odmian przystosowanych do jak najefektywniejszego zbioru. Odpowiednia wysokość rośliny, w celu ograniczenia wylegania, osadzenie pierwszego strąka oraz duża liczba strąków, pomoże zminimalizować straty związane ze zbiorem, które sięgają od 5,5 do 12% (Philbrook i Oplinger, 1989, Ramteke i in., 2012). Obserwowana w ostatnich latach zmniejszająca się różnorodność genetyczna uprawianych odmian konwencjonalnych osiąga poziom krytyczny (Esquinas-Alcázar, 2005). Przyczyną takiego stanu rzeczy jest światowy trend uprawiania odmian o najwyższej wydajności ekonomicznej. Niski stopień genetycznego zróżnicowania odmian soi sprawia, że uprawy stają się wrażliwe na choroby oraz patogeny, co, biorąc pod uwagę ogromny areal upraw soi, stanowi zagrożenie dla bezpieczeństwa żywności na świecie (Tanksley, 1997).

Optymalny termin zbiorów soi w Polsce przypada na drugą połowę września do połowy października. Odmiana wybrana do uprawy w Polsce powinna osiągnąć w okresie wegetacji sumę temperatur 2000 i okres ten nie powinien trwać dłużej niż 130-150 dni. Wymienione wymagania oznaczają, że najbardziej pożądane są odmiany „000” (wczesna, np.: Merlin) oraz „0000” (bardzo wczesna np. Augusta, rys. 1) (Lewandowska, 2016).

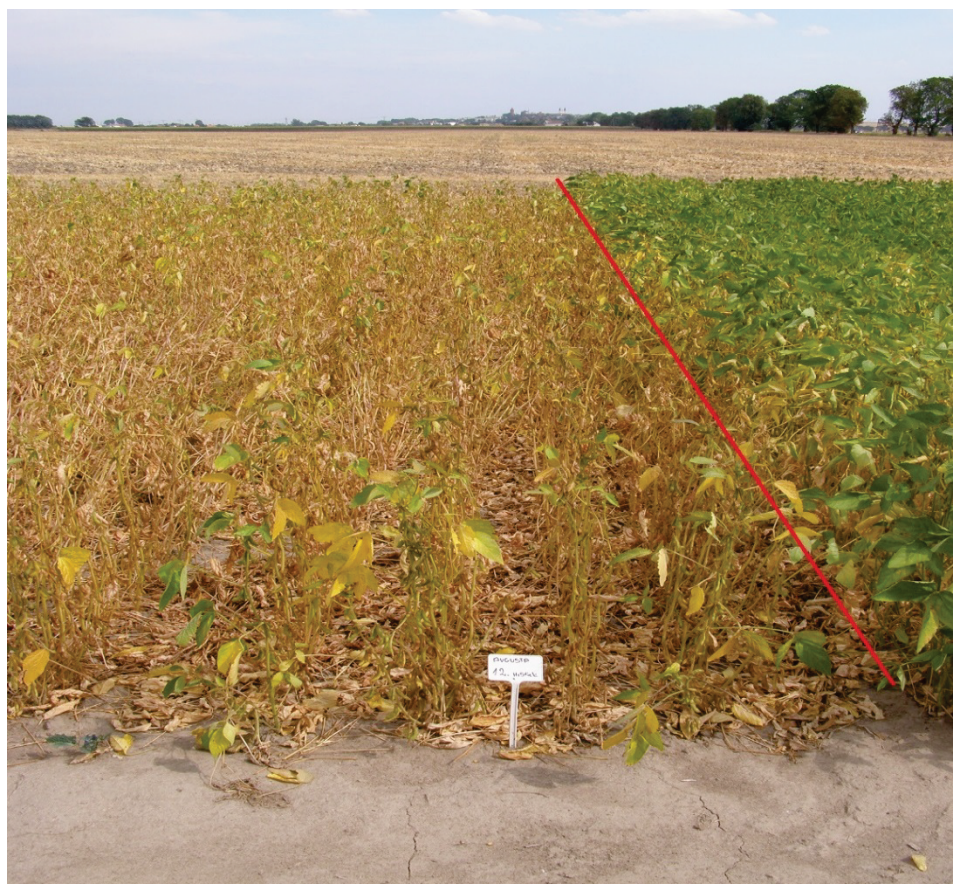
Rosnące zapotrzebowanie jest przyczyną zwiększonej ilości rejestrowanych nowych, lepiej przystosowanych do wzrostu w różnych rejonach Polski, odmian *Glycine max* (L.) Merr. (Jarecki i Bobrecka-Jamro, 2015). W 2015 roku w Krajowym Rejestrze wpisanych było jedynie 5 odmian tej rośliny. Obserwowany trend wzrostowy (tab. 1), jest krokiem w dobrą stronę, jednakże w porównaniu z Wspólnym Katalogiem Odmian Roślin Rolniczych Unii Europejskiej, który liczy 379 pozycji (Dz. Urz. UE 2014/C450/01), wymagana jest ciągła praca w tym temacie.

Tabela 1. Odmiany soi wpisane do Krajowego Rejestru. KR, COBORU 2020

Lp.	Nazwa Handlowa	Podmiot zgłaszający	Grupa wczesności	Data wygaśnięcia wpisu do KR
1	Abelina	Saatbau Polska sp. z o.o.	Średnio wczesna	31.12.2026
2	Adessa	Saatbau Polska sp. z o.o.	Wczesna	31.12.2029
3	Aldana	HR Strzelce	Wczesna	1.11.2020
4	Aligator	Euralis Semences	Późna	31.12.2025
5	Annushka	Naukowo Badawcze Centrum Rozwoju Soi "AgeSoya" sp. z o.o.	Bardzo wczesna	31.12.2029
6	Antigua	Saatbau Polska sp. z o.o.	Wczesna	31.12.2029
7	Augusta	UP Poznań	Bardzo wczesna	31.12.2029
8	Aurelina	Saatbau Polska sp. z o.o.	Późna	31.12.2029
9	Coraline	Saaten-Union Polska sp. z o.o.	Bardzo późna	31.12.2028
10	Erica	DANKO Hodowla Roślin sp. z o.o.	Wczesna	31.12.2027
11	ES Comandor	Euralis Nasiona sp. z o.o.	Późna	31.12.2028
12	ES Favor	Euralis Nasiona sp. z o.o.	Późna	31.12.2029
13	ES Governor	Euralis Nasiona sp. z o.o.	Późna	31.12.2020
14	GL Melanie	IGP Polska sp. z o.o. sp. k.	Późna	31.12.2027
15	Madlen	AgroYoumis	Późna	31.12.2025
16	Maja	Naukowo Badawcze Centrum Rozwoju Soi "AgeSoya" sp. z o.o.	Średniowczesna	31.12.2027
17	Marzena	PROGRAIN ZIA s.r.o. sp. z o.o. Oddział w Polsce	Wczesna	31.12.2030
18	Mavka	AgroYoumis	Średniowczesna	31.12.2023

cd. tabeli 1

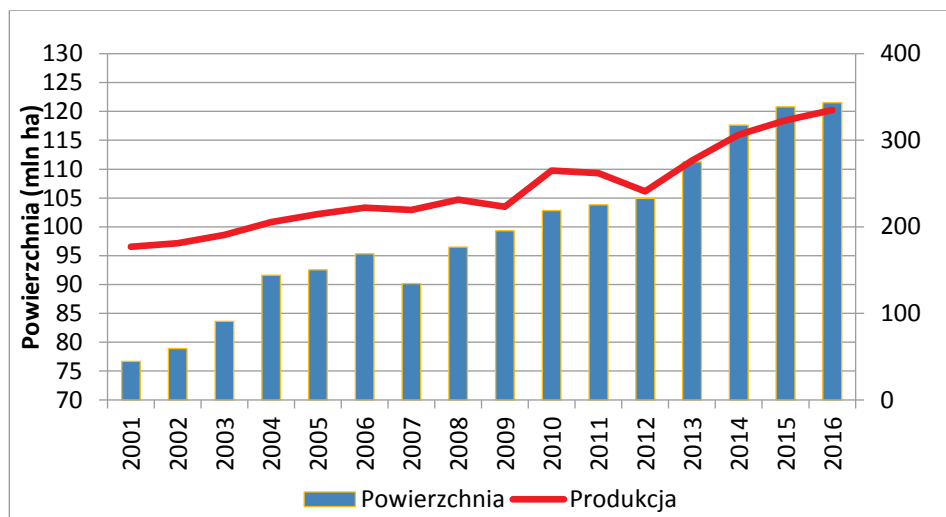
19	Oressa	DANKO Hodowla Roślin sp. z o.o.	Wczesna	31.12.2028
20	Orpheus	Naukowo Badawcze Centrum Rozwoju Soi "AgeSoya" sp. z o.o.	Bardzo późna	31.12.2030
21	Paradis	Saatbau Polska sp. z o.o.	Wczesna	31.12.2027
22	Petrina	DANKO Hodowla Roślin sp. z o.o.	Bardzo późna	31.12.2027
23	Regina	Saatbau Polska sp. z o.o.	Późna	31.12.2028
24	Sculptor	Saaten-Union Polska sp. z o.o.	Średniowczesna	31.12.2027
25	Trumpf	SZB Polska sp. z o.o. sp. k.	Bardzo późna	31.12.2020
26	Viola	DANKO Hodowla Roślin sp. z o.o.	Późna	31.12.2028



Rys. 1. Zróznicowanie wczesności odmian soi na dzień 22.09.2015; po lewej odmiana Augusta, po prawej odmiana Aligator

2.1.2. Produkcja soi

Wszelkie możliwości wykorzystania rośliny soi jako produktów spożywczych dla ludzi czy też paszy dla zwierząt hodowlanych, spowodowały, że soja zajmuje bardzo wysokie miejsce w rankingach ekonomicznych (Fenta i in., 2014). W 1970 r. powierzchnia uprawy soi zajmowała mniej niż 30 mln ha, w 1980 – 50,6 mln ha, w 2000 – 74,3 mln ha, a w 2016 ponad 120 mln ha na świecie (rys. 2). Główne państwa zajmujące się produkcją soi to: USA, Brazylia, Argentyna, Chiny. Kraje te odpowiadają za 89% światowej produkcji soi. Zdecydowana większość opiera się na uprawie GM.



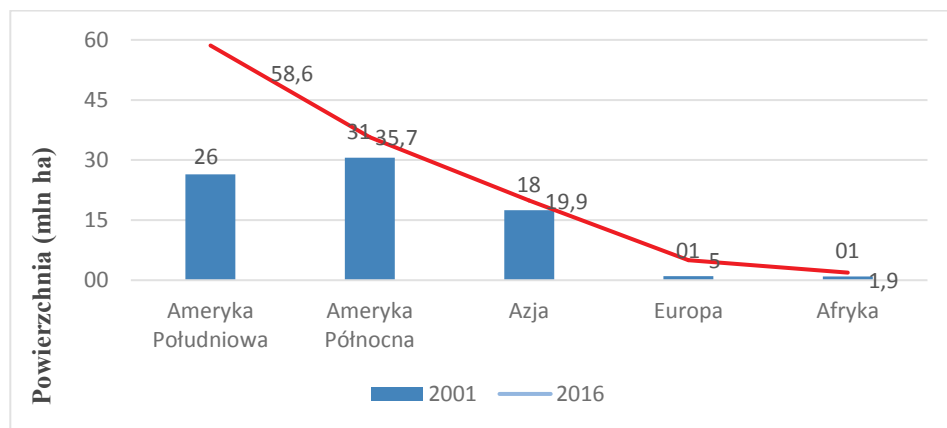
Rys. 2. Powierzchnia uprawy soi (mln ha) i produkcja nasion (mln t) na świecie w latach 2001-2016 (opracowanie własne na podstawie FAOSTAT)

Należy również nadmienić, iż Ukraina zajmuje stanowisko w pierwszej dziesiątce krajów o największym areale uprawy soi. W roku 2016 odnotowano zbiór ponad 340 ton metrycznych soi na świecie (FAOSTAT, 2017). Większość importowanych do Polski produktów pochodzących z soi pochodzi z upraw odmian GM, które w Unii Europejskiej są niedozwolone (Eapen, 2008).

W Europie, ze względu na warunki klimatyczne, zaleca się uprawę wcześniej dojrzewających konwencjonalnych odmian soi. W obrębie 42 i 50 szerokości geograficznej północnej, powinny być uprawiane odmiany „00” oraz „000” (Zając i in., 2017). Uprawa tych odmian trwa 120-130 dni (Pyziak, 2013).

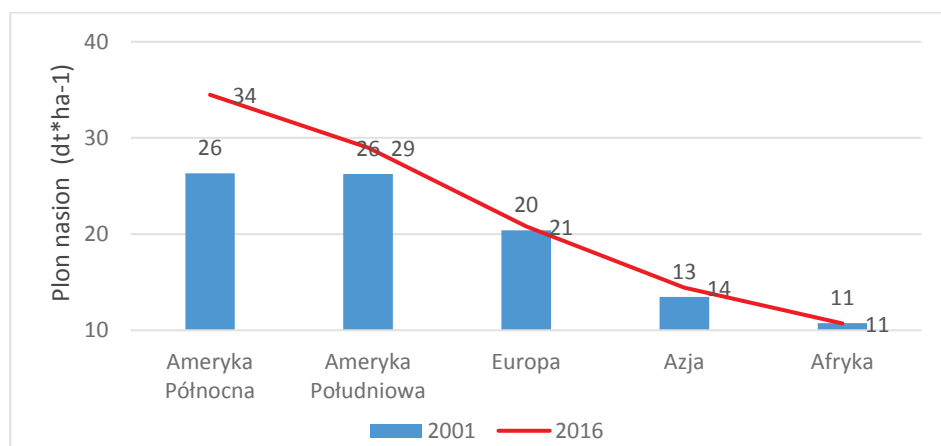
Pomimo, iż na świecie, czołowi producenci soi, uprawiają jej odmiany modyfikowane genetycznie, w Polsce oraz Unii Europejskiej, uprawa roślin GM jest zakazana i grozi sankcjami finansowymi oraz likwidacją uprawy. Zakaz ten jest umotywowany zrównoważonym rozwojem agronomii oraz wykorzystaniem w uprawach konwencjonalnych upraw soi (Niemirowicz-Szczytt, 2012). Czołowymi producentami roślin modyfikowanych genetycznie są: USA, Argentyna,

Brazylia oraz Kanada (James, 2008). Niestety, ze względu na fakt, iż uprawy GM są bardziej wydajne, powstała dysproporcja w ilości plonów, pomiędzy krajami z zezwoleniem na uprawy GM oraz tymi z zakazem (rys. 3).



Rys. 3. Powierzchnia zasiewów soi na kontynentach w latach 2001 i 2016 (opracowanie własne na podstawie FAOSTAT)

Na przełomie 15 lat odnotowano 30% wzrost plonów w Ameryce Północnej, gdzie USA oraz Kanada, to czołowi producenci roślin GM. W Ameryce Południowej, głównie w Argentynie oraz Brazylii, odnotowano niemalże 11% wzrosty plonowania. Inne kontynenty uzyskały: Azja 7% oraz Europa niecałe 2%. Wzrost plonowania w Ameryce Północnej oraz Południowej wynika z ciągłego doskonalenia odmian z linii GM, upraszczaniu uprawy, czego czynnikiem sprawczym jest ciągle rosnący popyt (rys. 4). W Unii Europejskiej rośnie, jednakże popyt na odmiany non-GMO (Rembeza, 2012).



Rys. 4. Średni plon (dt z ha) uzyskany na poszczególnych kontynentach w latach 2001 i 2016 (opracowanie własne na podstawie FAOSTAT)

2.2. Soja genetycznie modyfikowana

Według Dyrektywy Unijnej 2001/18/WE, organizm GM jest to: „organizm z wyjątkiem istoty ludzkiej, w którym materiał genetyczny został zmieniony w sposób niezachodzący w warunkach naturalnych wskutek krzyżowania i/ lub naturalnej rekombinacji” (Kancelaria Prezydenta RP, 2012). Głównym celem genetycznej modyfikacji roślin jest zwiększenie ich odporności na środki chwastobójcze oraz owadobójcze, których zastosowanie jest nadal niezbędne. Innymi ważnymi celami inżynierii genetycznej roślin są: uodpornienie ich na działanie szkodników, choroby bakteryjne, wirusowe oraz grzybicze, uniezależnianie rośliny od zmiennych warunkujących wzrost tj.: klimat oraz gleba; zmiana wartości użytkowych (Jurkiewicz, 2012, Sowa, 2007). W przypadku uprawy soi, największe znaczenie ma zwiększenie odporności rośliny na stosowane herbicydy. Zachwaszczenie może zredukować plony soi o nawet 93%, w zależności od gatunku chwastu, jego gęstości oraz czasu trwania zachwaszczenia (Bensch i in., 2003, Conley i in., 2003). Genetyczna modyfikacja soi pozwala na uproszczenie zabiegów odchwaszczających uprawy. Ułatwienie wiąże się głównie z poszerzeniem terminów, w których można stosować herbicydy oraz ograniczeniem ilości niezbędnych zabiegów (Townsend i in. 2009)

Najprawdopodobniej najsłynniejszą linią GM soi (*Glycine max* (L.) Merr jest RoundupReady®. Roślina, w wyniku wszczepienia genu CP4 EPSPS, kodującego syntazę EPSPS, jest odporna na najczęściej stosowany herbicyd – Roundup®. Składnikiem czynnym herbicydu jest glifosat, który w organizmie rośliny hamuje produkcję syntazy EPSPS. Bardzo często herbicydy zawierające glifosat nazywane są herbicydami totalnymi, ze względu na oddziaływanie na bardzo szerokie spektrum chwastów (Wojdas, 2017). Genetyczna modyfikacja, polegające na wszczepieniu genu, którego donorem jest bakteria glebowa – *Agrobacterium tumefaciens*, jest przyczyną całkowitej odporności rośliny na glifosat, podczas gdy inne (w tym chwasty) pozostają na herbicyd wrażliwe.

Według Blecharczyk i Małecka (2008) czynnikami przemawiającymi do rolników, wybierających odmiany GM zamiast odmian konwencjonalnych, są m.in. aspekty ekonomiczne idące za zwiększoną wydajnością plonowania. Jednakże, nie bez znaczenia pozostaje uproszczenie uprawy, poprzez zmniejszenie ilości koniecznych zabiegów ochrony roślin oraz wprowadzenie technologii zerowej zmniejszającej liczbę uprawek. Niski wskaźnik wiedzy konsumentów na temat inżynierii genetycznej spowodował brak społecznej akceptacji dla produktów spożywczych opartych na transgenicznym surowcach roślinnych (Małyska i Twardowski, 2011). Argumentami przeciwników uprawy oraz spożywania roślin GM są m.in.: powiązanie wzrostu zachorowania na alergię ze zwiększoną dostępnością produktów GM (Wiąckowski, 2008), powiązanie wzrostu zachorowania na nowotwory ze zwiększonym spożyciem produktów z linii RoundupReady (Jurkiewicz i Bujak, 2015). Jednak uprawy GM mogą stanowić realne zagrożenie dla ekosystemu, poprzez zmniejszenie jego bioróżnorodności. Z punktu widzenia agronomii, najniebezpieczniejsze wydaje się, powstanie gatunków

chwastów odpornych na glifosat, a tym samym trudnych lub niemożliwych do zwalczania. Idąca za tym konieczność zwiększania dawek aplikowanych preparatów staje w sprzeczności z jednym z głównych założeń wprowadzenia GM upraw, którym jest zmniejszenie konieczności stosowania herbicydów.

2.3. Nowoczesne technologie hodowli soi

Postęp biologiczny w rolnictwie jest konieczny ze względu na rosnący popyt oraz pojawiające się zmiany klimatyczne. Wprowadzone innowacje dotyczą podniesienia wartości użytkowej roślin poprzez ingerowanie w procesy hodowli oraz ulepszanie odmian (Mańkowski i in., 2012). Uważa się, że czynnikiem mającym największy wpływ na zwiększenie produktywności rolnictwa, jest postęp odmianowy (Wicki, 2008), który polega na tworzeniu odmian lepiej przystosowanych do pogarszających się warunków uprawy, zwiększonych oczekiwań konsumentów oraz nowoczesnych praktyk rolniczych. Technologie, które nie spełniają obecnie kryteriów organizmów GM są to: nukleaza z wykorzystaniem palca cynkowego (ZFN), mutageneza kierowana nukleotydami (ODM), zależna od RNA metylacja DNA, agro-infiltracja oraz szczepienie na podkładach GM. Wykorzystanie powyższych metod nie wymaga tak długotrwałego procesu rejestracji, jaki obserwowany jest w przypadku hodowli GM (EASAC, Policy Report 21., 2013). Spośród wyżej wymienionych technologii, nukleaza z wykorzystaniem palca cynkowego, znalazła najszerze zastosowanie w postępie biologicznym. Kierunki hodowli w soi konwencjonalnej to: skrócenie okresu wegetacji (fenotypowanie), które ma na celu dostosowanie odmian do długości okresu wegetacji (odmiany „0”, „00”, „000”, „0000”). Otrzymanie odmian o krótszym okresie wegetacji (125-135 dni) bardziej tolerancyjnych na długość dnia i niższe temperatury w początkowym okresie wzrostu i rozwoju (Boros i in., 1996, Nawracała i Konieczny, 1996, Szyrmer i Boros 1996 a i b).

2.4. Soja w Polsce

Historia soi w Polsce sięga lat 1870, kiedy to Antoni Sempołowski rozpoczął jej uprawę w Wyższej Szkole Rolniczej im. Haliny w Żabikowie (Herse i in., 1980). W związku z wieloletnim trendem importu pasz białkowych, które wypierały rodzimą produkcję (Jerzak i in., 2012), Polska, w przeciągu ostatnich lat importowała ponad 2 miliony śruty sojowej, której wartość wynosiła około miliard złotych rocznie (Kaczmarek i Pawlak, 2017). W całej Unii Europejskiej ujemny bilans pasz białkowych jest również głównym powodem importowania śruty sojowej. Przyczyną niskiego wskaźnika uprawy tej rośliny w Polsce są wysokie wymagania klimatyczne soi tj. siew w glebę o temperaturze 12 °C, średnia temperatura powietrza podczas wzrostu rośliny nie niższa niż 15 °C (Florek i in., 2012, Jerzak i in., 2012). Inną przyczyną niskiej popularności soi w Polsce jest

mała ilość przebadanych oraz zarejestrowanych herbicydów możliwych do użycia w jej uprawie (Bujak i Frant, 2009). Wysoki wskaźnik importu śruty sojowej do produkcji paszy w Polsce spowodował, że produkcja rodzimej soi utrzymuje się na niskim poziomie, pomimo rosnącego zapotrzebowania (Jerzak i in., 2012). Silnym argumentem przemawiającym za popularyzacją uprawy soi w Polsce jest przede wszystkim wzrastająca liczba odmian przystosowanych do uprawy w naszym klimacie oraz w porównaniu z innymi roślinami białkowymi, wyższa zawartość składników odżywczych i jej niższe wymagania glebowe (Gawęda i in., 2014). Ponadto, jej uprawa wpisuje się w trend uprawy konserwującej, który polega na pozostawieniu materii organicznej na powierzchni gleby oraz na zmniejszeniu intensywności uprawy gleby (Ball i in., 1994, Lopez-Fando i Almendros, 1995, Kęsik i in., 2007). Rejon południowo-wschodni, ze względu na warunki klimatyczne oraz glebowe, wydaje się być najbardziej odpowiedni to uprawy soi w Polsce (Borecka-Jamro i Pizło, 1996). Pomimo długiej historii uprawy soi w Polsce, powierzchnia jej upraw w przeciągu ostatnich lat wyglądała następująco: 2014 – 19 tys. ha, 2015 – 24 tys. ha, 2016 – 12 tys. ha, natomiast w 2017 – 16 tys. ha (polskasoja.pl). W roku 2006 zaproponowano ustawę mającą na celu zwiększenie rodzimej produkcji, przy jednoczesnym ograniczeniu importu. Szacuje się, iż rodzima produkcja soi, może zaspokoić jedynie 30% krajowego zapotrzebowania na białko paszowe, które obecnie w większości jest pochodzenia rzepakowego. Reszta krajowego zapotrzebowania dostarczana jest poprzez import, w tym jedynie kilka procent importowanej śruty pochodzi z upraw konwencjonalnych (non-GM), stanowiąca większość pochodzi z hodowli GM (Tyczewska i in., 2014). Obserwowane w Polsce silne obawy związane ze spożywaniem soi GM, zmuszają do większego uniezależnienia krajowego zapotrzebowania na śrutę paszową od surowców importowanych, których znaczna część pochodzi z upraw GM. Jak wiadomo, produkcja soi GM jest tańsza w stosunku do non-GM (Garrett, 2014). Szacuje się, że skarmianie zwierząt hodowlanych soją pochodzącą jedynie z upraw konwencjonalnych, zwiększy koszty produkcji żywca wieprzowego, drobiowego oraz jaj o 2-8% (Kowalski, 2012). Jednakże, w tych kalkulacjach nie bierze się pod uwagę innych korzyści z uprawy tego gatunku, takich jak zapewnienie dobrego przedplonu i ograniczenie zużycia azotu mineralnego.

2.5. Uprawa soi

Wymagania agrotechniczne soi są dość specyficzne a średnie roczne zbiory w poszczególnych latach bardzo się różnią i zależą głównie od warunków pogodowych (Podleśny i Bieniaszewski, 2012, Śliwa i in., 2015). Z uwagi na wysokie wymagania klimatyczne oraz ich wpływ na wzrost rośliny, soję zalicza się do roślin zmiennie plonujących (Faligowska i Szukała, 2014). Uważa się jednak, iż uprawa tej rośliny w Polsce, może być opłacalna pod względem ekonomicznym (Dobek i Dobek, 2008).

W związku z faktem, iż roślina soi zapewnia 56% światowej produkcji oleju roślinnego (Wilson, 2008), kluczowym wydaje się być poznanie dokładnych jej wymagań agrotechnicznych. Ze względu na znaczenie soi w światowej uprawie roślin, bardzo na czasie wydaje się temat zmniejszenia istniejącej różnicy, pomiędzy średnimi plonami pochodzącymi z upraw, a potencjalną możliwością produkcji pól (Cassman i in., 2003, van Ittersum, 2013). W tym celu został wyznaczony wskaźnik *yp* (ang. *yield potential*) potencjalna wydajność, która określa wydajność produkcyjną dobrze przystosowanej odmiany rośliny rosnącej w warunkach o nieograniczonej dostępności wody oraz składników odżywczych niezbędnych do wzrostu. Uważa się, że zdolność fotosyntezy liści, jest głównym czynnikiem determinującym wydajność uprawy (Jiang i in., 2002; Zhang i in., 2007). Coraz częściej obserwuje się konserwujące uprawy gleby. Uprawa soi bez orki występuje zarówno przy uprawie rotacyjnej (Duiker i Beegle, 2006; Kelley i Sweeney, 2007; Kimmell i in., 2001) oraz monokulturowej (Borges i Mallarino, 2000) niesie jednak za sobą konsekwencje niskiej stratyfikacji składników odżywczych poniżej powierzchniowej warstwy (Cade-Menun i in., 2010; Mallarino i Borges, 2006; Robbins i Voss, 1991).

2.6. Wymagania klimatyczne

Jednym z głównych czynników limitujących uprawę soi w Polsce są wymagania klimatyczne tej rośliny. Na *yp* soi wpływają między innymi: promieniowanie słoneczne, temperatura, przynależność do różnych grup wczesności dojrzewania oraz termin siewu. Dwa ostatnie czynniki wpływają na długość czasu wzrostu rośliny (Specht i in., 1999, Sinclair i Rufty, 2012). Nie bez przyczyny USA, Argentyna, Brazylia, Chiny oraz Indie odpowiadają za 90% światowej produkcji soi (How The Global Oil Seed And Grain Works, Soyatech), bowiem należy ona do grupy roślin o wysokich wymaganiach świetlnych oraz średnim zapotrzebowaniu na wodę, co jest charakterystyczne dla roślin dnia krótkiego. Podczas wegetacji, temperatura powietrza powinna utrzymywać się w zakresie 20–30°C, absolutnie, nie powinna spadać poniżej 15°C. Utrzymywanie temperatury gleby w zakresie pomiędzy 8 a 10°C jest szczególnie ważne z punktu widzenia czasu wschodu i młodych siewek (rys. 5), w tych okresach rozwoju rośliny są bardzo wrażliwe na występowanie niskich temperatur i mogą skutecznie limitować jej wzrost (Florek i in., 2012, Jerzak i in., 2012). Niska temperatura może spowodować osłabienie wschodów, gnicie nasion oraz zgorzel siewek. Z uwagi na wysokie wymagania klimatyczne (Śliwa i in., 2015) obserwowane od lat globalne ocieplenie może przyczynić się do zwiększenia wydajności produkcji soi w Polsce.



Rys. 5. Młode rośliny soi wykształcające pierwsze trójlistki (źródło: pixabay.com)

Uważa się, że okresowe susze mają najgorszy wpływ na kwitnienie oraz wykształcenie nasion. Roślina w tym czasie zrzuca kwiaty oraz młode strąki, a nasiona nie są jeszcze wystarczająco dobrze wypełnione (Janeczko i in., 2011). Kwitnienie, jest okresem rozwoju, w którym rośliny są szczególnie wrażliwe na spadek temperatury, który prowadzi do zahamowania przemian generatywnych, co konsekwentnie prowadzi do niezawiązania strąków (Markowicz i Wiczorek, 2015). Przewiduje się, że nadchodzące zmiany klimatyczne związane z globalnym ociepleniem będą miały ogromny wpływ na całe rolnictwo, w tym na uprawę soi. Przesunięcia średniej temperatury oraz opadów deszczu odcisną piętno na agroekologicznych strefach (Nelson, 2009). Mimo, iż podniesienie poziomu CO₂ może pozytywnie wpłynąć na efektywność fotosyntezy w uprawach, to zmiany dotyczące temperatury oraz opadów, mogą mieć negatywny wpływ na wydajność upraw, co potwierdza się w uprawie soi w Chinach (Zheng i in., 2009).

Niedostatek wody w klimacie półpustynnym oraz subwilgotnym, jest głównym czynnikiem limitującym wzrost upraw soi. Aby wykryć u rośliny stres spowodowany niedoborem wody, coraz częściej używa się termometrii na podczernień (IRT) (Testi i in., 2008). Indeks stresu wodnego (CWSI) opracowany przez Idso i in. (1981) polega na wyliczeniu różnicy temperatury pomiędzy łanem, powietrzem oraz deficytem ciśnienia pary wodnej. Największe zapotrzebowanie rośliny na wodę występuje podczas kiełkowania, wschodów, kwitnienia oraz gdy dochodzi do zawiązywania i wypełniania strąków (Candogana i in. 2013). W związku z nadchodzącymi zmianami klimatycznymi i ich zgubnym wpływem na rolnictwo, niezbędne może okazać się usprawnienie systemów irygacji, w związku ze wzrostem zapotrzebowania na wodę (Falloon i Betts, 2010).

2.7. Wymagania glebowe

Soja powinna być uprawiana na glebach przewiewnych i niezlewnych, ze względu na jej typ kiełkowania epigeicznego. W glebach zwięzłych wychodzenie liścieni ponad powierzchnię gleby jest utrudnione, co znacznie opóźnia wschody (Filody i Mrówczyński, 2016). Najlepsze plony uzyskuje się na czarnoziemach, czarnych ziemiach, lessach, glebach brunatnych. Sam rodzaj kompleksu glebowego nie powinien być czynnikiem decydującym o rozpoczęciu uprawy w danym miejscu. Ważny jest także rodzaj kultury gleby, fizykochemiczne parametry, areale wolne od wieloletnich chwastów oraz kamieni, których występowanie na polu utrudnia przejazd kombajnem. Gleby o klasyfikacji pszennej bardzo dobrej, dobrej wadliwej oraz klasy bonitacyjnej II-IIIb, są najlepiej przystosowane do uprawy soi. Roślina ta nie powinna być wysiewana na glebach zagęszczonych lub niestrukturalnych (Lynch, 1995). Aby uporać się z wysokim zagęszczeniem gleby, rolnicy często stosują głęboką uprawę, jednakże efekty tego zabiegu są nietrwałe, ponieważ zagęszczona warstwa z czasem znowu zaczyna się tworzyć (Busscher i in., 1986). Istotny jest również odczyn pH gleby, który powinien utrzymywać się w zakresie od 6,0 do 7,0. Jednakże, uprawianie na glebach o pH około 5,5 jest możliwe po uprzednim zwapnowaniu, najlepiej z dużą zawartością magnezu. Uprawa na polu, na którym czas od zastosowania obornika jest mniejszy niż 3 lata, nie jest zalecana, gdyż duża ilość materii organicznej wpływa niekorzystnie na wzrastanie rośliny (Patkowska, 2012). Ważnym czynnikiem limitującym prawidłowy wzrost soi jest zasolenie gleby, które powoduje zahamowanie rozwoju korzeni, chlorozę liści oraz mniejszy wigor (Katerji i in., 2003). Zasolenie gleby jest poważnym czynnikiem limitującym tworzenie brodawek u rośliny, poprzez uniemożliwienie inicjacji symbiozy z bakteriami (Duzan i in., 2004).

2.8. Miejsce w płodozmianie

Według Wenda-Piesik (2017), stanowisko po uprawie rzepaku, roślin zbożowych jarych oraz ozimych, najlepiej oddziałuje na wzrost i rozwój soi. Natomiast należy unikać wysiewu na stanowisku po innych bobowatych drobnonasiennych, gorczycy czy roślinach okopowych. W przypadku roślin okopowych, z uprawą soi należy zaczekać 3 lata. Dowiedziono, że znalezienie odpowiedniego miejsca w płodozmianie ma wpływ na koncentrację składników odżywczych w nasionach soi. Po trzech latach uprawiania soi na tym samym stanowisku koncentracja białek w nasionach uległa obniżeniu w stosunku do uprawy kukurydza-kukurydza-soja, natomiast zawartość tłuszczu nie uległa zmianie (Bellaloui i in., 2010). Dodatkowo wyżej wymienione badanie dowiodło, że większa koncentracja P, Fe oraz B w glebach była po uprawie rotacyjnej z kukurydzą, w przeciwieństwie do ciągłej uprawy soi. Również badania przeprowadzone przez Temperly i Borges (2005) dowiodło występowania tendencji wzrostowej zawartości tłuszczu w nasionach wraz ze wzrostem lat uprawiania jedynie soi na stanowisku.

W tym zakresie niezbędne są dalsze badania, gdyż wyniki stoją w sprzeczności do tych z doświadczeń przeprowadzonych przez Yusuf i in. (1999). Ważne jest, aby wybierać pola uprawy wolne od chwastów oraz o średniej zawartości azotu, którego nadmiar limituje powstawanie brodawek korzeniowych. Ze względu na palowy system korzeniowy, soja znacznie poprawia strukturę gleby, na której jest uprawiana (Bellaloui i in., 2014). Ze względu na zdolność wchodzenia w symbiozę z bakteriami wiążącymi azot, *Glycine Max* (L.) Merr. pozostawia po sobie glebę bogatą w resztki poźniwowe, które znacznie poprawiają zasobność gleby w materię organiczną. Mimo że dowiedziono, iż soja dobrze znosi uprawę monokulturową (Furczak i Turska, 2006), nie znalazło to odzwierciedlenia w rekomendacjach i zaleca się uprawę soi na jednym stanowisku maksymalnie 4 lata.

2.9. Nawożenie

Nawożenie powinno być zróżnicowane w zależności od zapotrzebowania poszczególnych gatunków na makro oraz mikroelementy. Największe, spośród makroelementów, jest zapotrzebowanie na azot, tj. 7,5 kg na wyprodukowanie 1 dt nasion (tab. 2). Soja, jak każda roślina bobowata, potrafi produkować azot dzięki symbiozie z bakteriami brodawkowymi z gatunku *B. japonicum*, jednakże jego ilość zależy od obfitości występowania bakterii w glebie, zawartości azotu przyswajalnego w glebie oraz uprawianej odmiany (Hardarson, i in., 1984). Według danych dostarczonych przez Salvagiotti i in. (2008), ilość wiążanego azotu waha się od 0 do 337 kg N x ha⁻¹, co średnio zapewnia 50-60% zapotrzebowania rośliny na ten pierwiastek. Wiązanie azotu w największej ilości ma miejsce w fazie od R3 – wczesnego zawiązywania strąków, do R5 – wypełniania strąków (Fehr i in., 1971). Azot w liściach rośliny występuje głównie w postaci karboksylazy/oksygenazy rybulozo-bisfosforanowej, a zależność między koncentracją tego pierwiastka w liściach, a procesem fotosyntezy rośliny jest bardzo silna (Sinclair, 2004). Nawożenie azotem pozytywnie wpływa na rozwój rośliny soi, jeżeli nie jest stosowane w wysokich dawkach startowych (Ray i in., 2006, Caliskan i in., 2008, Mehmet, 2008, Salvagiotti i in., 2008). Poprzez stosowanie zbyt wysokich dawek nawozu azotowego, rozwój brodawek korzeniowych zostaje zahamowany, co wiąże się ze zmniejszeniem wiązania azotu atmosferycznego (Hungria i in., 2006, Kaschuk i in., 2016). Jednakże, azot wiązany przez roślinę może nie zapewnić całego zapotrzebowania na ten pierwiastek niezbędnego do efektywnej produkcji nasion (Salvagiotti i in., 2008). Według Lorenc-Kozik i Pisulewska (2003) zastosowanie dawki startowej w wysokości 30 kg x ha⁻¹ N może zwiększyć plon nasion o 2 dt x ha⁻¹ (Valinejad i in. 2013, Ferreira i in. 2016).

Istotnym pierwiastkiem składającym się na cząsteczkę chlorofilu, regulującym proces fotosyntezy jest magnez, którego suplementację w granicach 40-60 kg x ha⁻¹ MgO, należy rozważyć mając do czynienia z podłożem ubogim w ten pierwiastek (Markowicz i Wieczorek, 2015).

Tabela 2. Zapotrzebowanie *Glycine Max* na poszczególne pierwiastki w przeliczeniu na 1 dt nasion (opracowanie własne oraz na podstawie IOR Metodyka integrowanej ochrony roślin)

Składnik pokarmowy	kg składnika na 1 dt nasion
N	6,8
P	1,7
K	3,3

Pierwiastek potasu, pobierany przez roślinę w formie jonowej jest niezbędny ze względu na liczne funkcje pełnione w roślinie (Gierth i Mäser, 2007), spośród których najważniejszymi są: wpływ na komórkowy potencjał osmotyczny, synteza cukrów i białek. Zapotrzebowanie soi na potas to około 20 kg x t⁻¹ nasion (Wendling i in., 2008). Niedobory pierwiastka potasu, objawiają się chlorozą oraz nekrozą na starszych liściach, limitują aktywność fotosyntezy rośliny. Odpowiednie nawożenie potasem zapewnia także zwiększenie tolerancji rośliny, na stres związany z zasoleniem oraz wiązanie i utrzymanie stanu wodnego rośliny (Capula-Rodríguez i in., 2016).

W wyniku uprawy bez orkowej, fosfor akumuluje się głównie w powierzchniowej warstwie gleby (do 5 cm), co jest skutkiem niemieszania nawozów stosowanych na powierzchniowo oraz pozostałości z glebą, minimalnego pionowego przemieszczania się P w glebach oraz przemieszczania P przez palowy system korzeniowy z głębokich warstw gleby do powierzchniowych (Borges i Mallarino, 2000). Niska zawartość fosforu w głębokich warstwach gleby wpływa negatywnie na plonowanie soi (Lupwayi i in., 2006), a wysoka jego koncentracja w warstwach powierzchniowych powoduje jego utratę poprzez rozpuszczenie (Sharpley i Smith, 1994). Z uwagi na dobre wykorzystywanie trudno dostępnych form fosforu, aplikowany nawóz powinien dostarczyć około 40-70 kg x ha⁻¹ P₂O₅ (Karssek, 2015). Nawożenie nalistne zajmuje coraz ważniejsze miejsce w dziedzinie suplementacji soi (Dragicevic i in., 2015, Filoda i Mrówczyński, 2012, Kobraee i Shamsi 2013, N'cho i in., 2013, Vinoth Kumar i in., 2013). Szczególnie wysokie korzyści można otrzymać stosując nalistną suplementację mikroelementów. Według Bujak i in. (2004) nawożenie to może znacząco podtrzymać powschodową obsadę roślin. Nalistne nawożenie borem oraz molibdenem ma potwierdzone pozytywne oddziaływanie na proces kwitnienia. Dowiedziono, że aplikacja tych mikroelementów może zwiększyć liczbę nasion w jednej roślinie. Zawiązywanie brodawek korzeniowych przez *Bradyrhizobium japonicum* oraz rozwój systemu korzeniowego, są stymulowane przez nawożenie molibdenem oraz cynkiem. Z drugiej strony, nawożenie miedzią oraz manganem jest stanowczo odradzane ze względu na hamowanie korzeni włośnikowych oraz brodawek korzeniowych (Filody i Mrówczyński, 2016). Suplementacja poprzez opryskiwanie niewielkich ilości pierwiastków Zn, Mn oraz Fe może znacząco zwiększyć produkcję soi (Sarkar i in., 2007, Wissuma i in., 2008). Dodatkowo pierwiastek cynku oraz żelaza zmniejszają podatność rośliny na stres związany z suszą

(Sultana i in., 2001; Khan i in., 2003, Cakmak, 2008). Dostarczony do rośliny Fe bierze udział w tworzeniu wielu enzymów odpowiedzialnych za reakcje oksydo-redukcji w procesach fotosntezy oraz oddychania. Niedobory żelaza najlepiej odzwierciedlają pojawienie się chlorozy na młodych liściach (Ghasemian, 2010) Jednakże, efektywność nalistnego nawożenia jest uzależniona od warunków atmosferycznych występujących podczas wzrostu rośliny (Odeleye i in., 2007, Kobraee i Shamsii, 2013).

2.10. Przygotowanie do siewu i siew soi

Pierwszym etapem przygotowywania nasion do siewu jest zaprawa nasienna. Szczególną uwagę należy poświęcić doborowi zaprawy, ponieważ niektóre związki chemiczne mogą być toksyczne dla bakterii brodawkowych. W przypadku zaprawy fungicydowej poleca się te oparte na tiuramie, gdyż nie stanowią one zagrożenia dla *Bradyrhizobium japonicum*. Drugim, niezwykle ważnym dla uprawy soi w Polsce etapem, jest zaszczepienie nasion bakteriami brodawkowymi (tab. 3). W miejscach ubogich w szczep bakterii *Bradyrhizobium japonicum* zalecana jest wcześniejsza inokulacja nasion (Abbasi i in., 2008, Afzal i in., 2010). Ponieważ soja jest uprawiana stosunkowo rzadko, bakterie tego gatunku w polskich glebach nie występują i dlatego istotnie ważna jest inokulacja materiału siewnego (Bury i Nawracała, 2004).

Tabela 3. Dostępne w Polsce produkty służące do inokulacji nasion soi.

Nazwa handlowa preparatu	Producent
Biofor Soya®	Biofor System
Fix Fertig®	Saatbau Linz
HiStick®	BASF
Nitragina®	BIOFOOD S.C.
Rhizobium	Biogen
Vitavax 200 FS®	Chemtura Corporation

Efekt inokulacji bakteriami brodawkującymi zależy od wielu czynników, do których zaliczamy między innymi: czynniki środowiskowe, w tym przede wszystkim promieniowanie słoneczne, zastosowaną do uprawy odmianę oraz wykorzystany szczep bakterii (Pan i in., 2002, Rodriguez-Navarro i in., 2011). W Europie występuje kilka szczepów bakterii *Bradyrhizobium japonicum*, jednakże szczepy te nie są dobrze przystosowane do warunków klimatycznych panujących na tym kontynencie, gdyż zostały stworzone pod potrzeby klimatyczne USA (Kadiata i in., 2012). Możliwe jest dopasowanie szczepów bakterii oraz odpowiednich odmian soi, do warunków klimatycznych panujących w rejonie uprawy, aby uzyskać wzrost wydajności wiązania azotu (Alves i in., 2003; Zhang i in., 2003).

Zgodnie z zaleceniami nasiona poddane inokulacji, powinny być wysiane w przeciągu 24 godzin i przechowywane w chłodnym i suchym miejscu. Największą efektywność inokulacji uzyskujemy przeprowadzając ten proces w zaprawiarce na ciemno. Bakterie brodawkowe zamierają na skutek działania promieni słonecznych. Wysuszenie nasion, jest jednym z czynników ograniczających przetrwanie bakterii na nasionach (Vincent i in., 1962). Zastosowanie roztworu sacharozy (20 g na 1 l wody) poprawia pokrycie nasion inokulantem. Inne czynniki limitujące przetrwanie żywych kultur bakterii na powłokach nasion to: ekspozycja na makroelementy, toksyczne stężenie O_2 , wysokie temperatury oraz substancje zawarte w okrywie nasiennej, które ograniczają wzrost (Deaker i in., 2004). Szczególnie ważny jest pierwszy rok uprawny na danym stanowisku. Można również zastosować opryskiwanie, które wydaje się być prostszym zabiegiem, jednakże jest wysoce zależne od warunków pogodowych, gdyż wysoka temperatura oraz nasłonecznienie negatywnie wpływają na bakterie (rys. 6). Oprysk należy wykonać dwukrotnie najlepiej przy pochmurnej pogodzie (<http://www.farmer.pl> z dn. 10.01.2019).



Rys. 6. Rozwój brodawek na systemie korzeniowym soi po inokulacji *Bradyrhizobium japonicum* (fot. Nawracała)

Czynnikiem bardzo silnie wpływającym na wybór terminu zasiewu jest temperatura gleby i powietrza. Rośliny ciepłolubne, do których należy soja, mogą zostać uszkodzone przez przymrozki wiosenne. Podczas wczesnego kiełkowania niskie temperatury mogą pogorszyć: wskaźnik pochłaniania, zdolność tkanki embrionalnej do rozrastania oraz oddychanie mitochondrialne (Duke i in., 1977, Vertucci i Leopold, 1983). Istotne jest odpowiednie przygotowanie gleby poprzez jej doprowadzenie na głębokość około 6 cm. Nasiona, wcześniej odpowiednio zaprawione, należy wysiać, gdy temperatura gleby osiągnie 8-10°C. Najlepszy

wpływ na wzrost rośliny ma temperatura od 20 do 30°C (Kanchana i in., 2015). Niskie temperatury podczas wschodów, spowalniają proces kiełkowania, a także zwiększają prawdopodobieństwo wniknięcia patogenów do roślin powodując zgorzel siewek. Najczęściej wysiew soi następuje w terminie od 20.04 do 5.05, jednakże w ostatnich latach warunki atmosferyczne pozwoliły na wcześniejsze wykonanie uprawek, przez co termin wysiewu przesunął się bliżej 20.04 (Czubiński, 2017). Opóźnienie terminu wysiewu może spowodować wydłużenie okresu wegetacji, co znacznie utrudni zbiór. Dodatkowo, liścienie soi wysianej z opóźnieniem, które wzejdą około 20.05, narażone są na szkody ze strony ptaków krukowatych (www.agropolska.pl).

Istotne jest określenie normy wysiewu soi. Obsada roślin soi może się wahać w granicach 40-100 roślin na 1 m². Optymalna obsada roślin na 1 m² powinna wynosić 80-100 sztuk (Filoda i Mrówczyński, 2012). Kolejnym czynnikiem wpływającym na normę wysiewu jest masa tysiąca nasion, która jest wysoce zależna od odmiany oraz zdolność kiełkowania wyrażona w procentach.

$$\text{norma wysiewu} = \frac{\text{obsada roślin na m}^2 \times \text{masa tysiąca nasion [g]}}{\text{zdolność kiełkowania [\%]}}$$

Do wysiewu można zastosować siewniki rzędowe oraz punktowe. Rozstawa powinna wynosić od 12 do 45 cm. Należy pamiętać, aby nasiona zasiewać na głębokość maksymalnie 4 cm, ponieważ wymaga tego epigeiczny typ kiełkowania rośliny (Filody i Mrówczyński, 2016).

2.11. Środki ochrony roślin w uprawie soi

Spośród środków ochrony roślin najważniejszą grupę stanowią środki chwastobójcze, gdyż potencjalne zmniejszenie plonów przy zachwaszczeniu sięga 34%. Rozwój chorób może zmniejszyć plony o 16%, a szkodników o 18% (Fernandez-Quintanilla i in., 2008). Powolny, początkowy wzrost soi wymaga efektywnego stosowania wszystkich metod ograniczających zachwaszczenie, bez czego nie osiągnie się ekonomicznej opłacalności uprawy tej rośliny (Vivian i in., 2013, Gugąła i in., 2014, Rychcik i in., 2015). Obecnie uważa się, iż zagrożenie ze strony agrofagów jest niewielkie, co jest główną przyczyną małego zainteresowania opracowywaniem metody chemicznej walki z agrofagami. Metodyka integrowanej ochrony składa się głównie z metod niechemicznych, tj.: metod agrotechniczne, biologiczne oraz hodowalne (Metodyka integrowanej ochrony i produkcji soi dla doradców). Jedną z podstawowych metod integrowanej uprawy soi jest odpowiedni dobór odmian, które cechuje odporność na agrofagi. Odmianę Augusta charakteryzuje szybsze tempo wzrostu, co może zapobiec zachwaszczeniu poprzez zakrycie powierzchni gleby. Mimo, iż odpowiednia rotacja upraw, podstawowa uprawa (Gawęda i in., 2015, Rychcik i in., 2015), ściółkowanie (Bakht i in., 2009) oraz pielęgnacja mechaniczna (Gugąła i Zarzecka,

2009) odgrywają istotną rolę w procesie ochrony plantacji soi, to za najważniejszy zabieg chwastobójczy uważa się stosowanie herbicydów bezpośrednio po siewie (Gugała i Zarzecka, 2011, Sepat i in., 2017), który może być uzupełniony odchwaszczaniem nalistnym (Szwejkowska, 2006, Sekutowski i Badowski, 2011, Younesabadi i in., 2013). Najbardziej newralgicznym momentem w ochronie soi, są pierwsze 3-4 tygodnie po wschodzie. W tym okresie wzrost rośliny jest najwolniejszy, co czyni roślinę podatną na „zagłuszanie” przez chwasty (Bujak i Frant, 2009). Zjawisko zagłuszania polega na konkutowaniu rośliny z chwastem o dostęp do składników pokarmowych, wody oraz światła. Dotychczas ważną rolę w ochronie soi odgrywały herbicydy doglebowe oparte na linuronie oraz chlomazonie. W zalecanej, a nawet w zredukowanej dawce nie tylko wysoce efektywnie oddziaływały na chwasty, ale także ich negatywny wpływ na środowisko był niewielki (Luboiński, 2017). Linuron jest fenylomocznikiem, udowodniono, że w zależności od rodzaju gleby jego degradacja różnie przebiega (Kucharski i Sadowski, 2009). Chlomazon należy do grupy izoksazolidionów, a jego działanie obserwujemy głównie w okresie kiełkowania chwastów.

Drugim, istotnym momentem w kontroli chwastów jest zachwaszczenie wtórne. Warunki klimatyczne sprzyjające pojawieniu się zachwaszczenia wtórnego to m.in.: sucha wiosna oraz duża ilość opadów w lecie. W przypadku walki z zachwaszczeniem wtórnym zaleca się stosowanie metrybuzyny (Sencor Liquid 600 SC w dawce $0,55 \text{ l x ha}^{-1}$) do maksymalnie trzech dni po siewie (Kajdan-Zysnarska, 2015). Preparat Plateen 41,5 G zawiera metrybuzynę (175 g x kg^{-1}) oraz flufenacet (240 g x kg^{-1}), również może być zastosowany po siewie (BBCH 00-07). W okresie powstodowym, zalecanym preparatem jest Corum 502,4 SL w jednej dawce $1,25 \text{ l x ha}^{-1}$, który może być stosowany od chwili pojawienia się trójlistka do fazy piątego pędu bocznego (BBCH 12-25). Można go także stosować w dawkach podzielonych $2 \times 0,625 \text{ l ha}^{-1}$, jednak należy pamiętać o konieczności zachowania odstępu pomiędzy dawkami, minimum 7 dni. W okresie powstodowym metody mechaniczne nie są wystarczające, a zastosowanie herbicydów daje lepsze efekty (Stupnicka-Rodzinkiewicz i in., 2003). Zwalczanie chwastów jednoliściennych posiada szersze okno czasowe. Można je stosować (w zależności od rodzaju) od momentu rozwinięcia dwóch lub trzech liści, do fazy rozwinięcia pąków kwiatowych. Podczas uprawiania soi, najczęściej występujące gatunki chwastów to: chwastnica jednostronna, komosa biała, ostrożeń polny, perz właściwy, rdestówka powojowata, szarłat szorstki, tasznik pospolity, tobołki polne.

W integrowanej produkcji soi duże znaczenie mają metody profilaktyczne oraz zabiegi mechaniczne. Należą do nich: wybór pól o niskim prawdopodobieństwie zachwaszczenia, stosowanie dużej ilości materiału siewnego, wybór właściwej odmiany, płytkie spulchnienie gleby przed siewem oraz stosowanie opielaczy w międzyrzędziach. W związku z faktem, iż w Polsce rzadko stosuje się uprawę monokulturową soi, a dominuje uprawa płuzna, redukcja dawki herbicydu nie przyczynia się do wzrostu oporności chwastów na substancję aktywną w nich zawartą (Vivian i in., 2013, Sepat i in., 2017). Ponadto, herbicydy są coraz częściej

negatywnie odbierane przez opinię publiczną, co wymaga dążenia do maksymalnej redukcji ich stosowania w rolnictwie integrowanym (Piekarczyk, 2006, Praczyk i Skrzypczak, 2011). Ochrona roślin w integrowanej produkcji polega na stosowaniu konwencjonalnych herbicydów oraz metod nie chemicznych. Stosowanie herbicydów (tab. 4), zarówno przedwzrostowych, jak i nalistnych jest efektywną i konwencjonalną metodą walki z zachwaszczeniem różnych odmian soi. Jednakże dowiedziono, iż stosowanie środków ochrony roślin może wpłynąć negatywnie poprzez np.: niszczenie upraw, opóźnienie wzrostu upraw, redukcję wydajności upraw, jeżeli nie zostaną zachowane środki ostrożności (Salzman i in., 1992, Johnson i in., 2002). Znamienne ograniczenie ilości stosowanych herbicydów można osiągnąć także dzięki stosowaniu uprawy międzyplonów oraz mechanicznej uprawy roli (Sommer i in. 1990, Cannell i Hawes 1994, Duer 1996).

Tabela 4. Herbicydy zarejestrowane w uprawie soi

Grupa zwalczanych chwastów	Substancja aktywna	Nazwa handlowa preparatu
Jednoliścienne	chizalofop-P etylu – 50 g	Achiba 05 EC
Jednoliścienne	cykloksydym – 100 g	Focus Ultra 100 EC
Jednoliścienne	fluazyfop-P butylu – 150 g	Fusilade Forte 150 EC
Jednoliścienne	chizalofop-P etylu – 100 g	Pilot 10 EC
Jednoliścienne	kletodym – 120 g	Select Super 120 EC
Jednoliścienne	chizalofop-P etylu – 50 g	Targa Super 05 EC
Jednoliścienne	fluazyfop-P butylu – 125 g	Trivko
Dwuliścienne	metrybuzyna – 600 g	Sencor Liquid 600 S.C.
Dwuliścienne	bentazon – 480 g, imazamoks – 22,4 g	Corum 502,4 SL
Jedno- i dwuliścienne	prosulfokarb – 800 g	Boxer 800 EC
Jedno- i dwuliścienne	metolachlor-S – 960 g	Dual Gold 960 EC
Jedno- i dwuliścienne	metolachlor-S – 960 g	Efica 960 EC
Jedno- i dwuliścienne	metobromuron – 500 g	Inigo 500 S.C.
Jedno- i dwuliścienne	flufenacet – 24%, metrybuzyna – 17,5%	Plateen 41,5 WG
Jedno- i dwuliścienne	metobromuron – 500 g	Proman 500 S.C.
Jedno- i dwuliścienne	glifosat – 720 g	Roundup PowerMax 720
Jedno- i dwuliścienne	metobromuron – 500 g	Soletto 500 S.C.
Jedno- i dwuliścienne	pendimetalina – 455 g	Stomp Aqua 455 CS

Źródło: Opracowanie własne na podstawie <http://www.minrol.gov.pl>

Pomimo iż występowanie chorób soi o podłożu grzybowym na terenie Polski jest niewielkie, to nadal istnieje dysproporcja pomiędzy ilością zarejestrowanych preparatów do walki w tymi chorobami, a ich występowaniem. Na dzień dzisiejszy preparaty z dwiema substancjami czynnymi zostały zarejestrowane, pierwsza z nich, tiofanat metylowy – występuje w czterech różnych preparatach: Sintop 500 SC, Tiofan 500 SC, Tiptop 500 SC oraz Topsin M 500 S.C. (<http://www.minrol.gov.pl>). Według Instytutu Ochrony Roślin Topsin powinien

być stosowany w dawce 500g na 1 litr środka. Drugi ze związków aktywnych tiuram występuje w zaprawie nasiennej T 75 DS/WS, jednakże zgodnie z rozporządzeniem wykonawczym Komisji (UE) 2018/1500 z dnia 9 października 2018 r, preparaty zawierające tę substancję czynną muszą zostać wycofane z obrotu. Według badań przeprowadzonych przez IOR, substancja czynna tebukonazol skutecznie działa wobec chorób grzybowych, jednakże preparaty oparte na tej substancji nie otrzymały jeszcze rejestracji. Za Filody i Mrówczyński (2016) w kraju obserwujemy głównie choroby spowodowane przez: antraknoza (*Colletotrichum* sp.), askochytoza (*Ascochyta* sp.), brązowa plamistość liści soi, cerkosporioza (chwościk soi), fuzaryjna zgorzel szyjki korzeniowej i podstawy łodygi (Fuzarioza zgorzelowa), fuzaryjne więdniecie strąków, mozaika soi (SMV – Soybean Mozaic Virus), septorioza (*Septoria glycines*), zgorzel siewek.

Niestety niewielki wybór substancji do walki z insektami, może być przyczyną mniejszej skuteczności zwalczania szkodników. Zarejestrowane są preparaty oparte na dwóch związkach czynnych: 1. Cypermetryna, który występuje w Cyperkill Max 500 EC, 2. Acetamipryd, występujący w Acet Guard, Kobe 20 SP, Ceta 20 SP, Lanmos 20 SP, Sekil 20 SP, Mospilan 20 SP. Szkodnikami najczęściej występującymi w Polsce są: Zmienik lucernowiec (*Lygus rugulipennis* Popp.), Tarczówkowate (Pentatomidae), Śmietka kielkówka (*Delia florilega* Zett.), Strąkowcowate (*Bruchinae*), Rolnice (*Agrostis* ssp.), Oprzędziki (*Sitona* sp.), Omacnica prosowianka (*Ostrinia nubilalis* Hübner), Mszyce (*Aphidoidea*) (Filody i Mrówczyński, 2016).

2.12. Zbiór i przechowywanie nasion

Zbiór należy rozpocząć, gdy soja osiągnie pełną dojrzałość strąków oraz nasion. Należy ostrożnie dobrać termin zbiorów, aby uniknąć strat wydajności plonu spowodowanej zbyt wczesnym lub zbyt późnym zbiorem. Najczęściej zbiór przypada od III dekady września do połowy października.

Wraz z dogłębnym poznaniem składu nasion soi, można zminimalizować straty związane ze zniwami, suszeniem oraz przechowywaniem nasion (Rybiński i in., 2009). Nasiona soi, ze względu na swoją budowę dwuliścienną, są bardziej podatne na urazy mechaniczne, np. złamania w pół (Shahbazi i in., 2011; Dobrzański i Stępniewski, 2013). Na występowanie mechanicznych uszkodzeń nasion silnie wpływa zawartość wilgoci, która może modyfikować elastyczność i oporność zarówno kotyledonu jak i okrywy nasiennej (Sosnowski i Kuźniar, 1999; Szwed i Łukaszuk, 2007; Shahbazi i in., 2011). Określone optimum wilgotności, w którym zniszczenia nasion były minimalne, a kiełkowanie maksymalne (Divsalar i Oskouei, 2011), wynosi 11-13%. Według Karaj i Müller (2010), Dobrzański i Stępniewski, (2013) oporność nasion na uszkodzenia mechaniczne jest mniejsza w przypadku cięższych nasion. Niska wilgotność ziaren powoduje utratę nasion poprzez ich roztrzaskanie (Tiwari i Bhatia, 1995). Dodat-

kowo wilgotność w przypadku uprawy roślin nasiennych, ma ogromne znaczenie, gdyż nie są one poddawane suszeniu w temperaturze powyżej 40°C, gdyż powoduje to denaturację białek. Nasiona są tracone, gdy znajdują się one poniżej linii cięcia. Według Ramteke i in., (2012) najmniejsze straty w zbiorach występują, gdy minimalna wysokość pierwszego strąka wynosi 12 cm (rys. 7). Dodatkowo, kombajny należy uposażyć w sita o średnicy otworów dopasowanej do wielkości nasion. Wysoka temperatura podczas zbiorów może skutkować osypywaniem nasion (Czubiński, 2017). Długie przechowywanie nasion wymaga obniżenia ich wilgotności do 13%. Temperatura ich przechowywania powinna wynosić od -5 do +5°C.



Rys. 7. Niskie osadzenie pierwszych strąków znacznie utrudnia zbiór kombajnowy

2.13. Właściwości nasion soi

Suche nasiona soi (rys. 8), składające się w 36% z białek, 35% z węglowodanów, 19% z tłuszczu oraz witamin i minerałów (Liu, 1997) stanowią bardzo dobre źródło tych składników odżywczych. Jest to jeden z powodów, dla których soja jest jedną z najczęściej uprawianych roślin (Kumar i in., 2006). Białko zawarte w nasionach soi ma wartość biologiczną zbliżoną do białka jajka kurzego, w 90%h składa się z dwóch globulin magazynujących: 11S Glicyna oraz 7S konglicyna (Saio i in., 1986). Wyżej wymienione białka zawierają aminokwasy niezbędne do życia tj.: izoleucyna, histydyna, leucyna, lizyna, metionina, fenyloalanina, treonina, tryptofan i walina, oraz warunkowo niezbędne aminokwasy tj.: arginina, cysteina, glutamina, tyrozyna, glicyna, ornityna, prolina, seryna. Razem wymienione aminokwasy stanowią 20% białka zawartego w nasionach soi (Tessari, 2016).

Środowisko oraz warunki klimatyczne głównie nasłonecznienie, dostępność wody, temperatura oraz zawartość składników odżywczych w glebie mają największy wpływ na kompozycję nasion (Carrera i in., 2011). Dodatkowo na skład chemiczny nasion wpływają także: metody nawodnienia (Bellaloui, 2009), genotyp, fenologia, rozmieszczenie brodawek oraz choroby (Huber i in., 2016).



Rys. 8. Różnorodność morfologiczna nasion soi

Głównym składnikiem oleju sojowego są triglicerydy, ponadto charakteryzuje się on dużą zawartością wielonienasyconych kwasów tłuszczowych, których organizm człowieka nie jest w stanie sam zsyntetyzować, co oznacza, iż niezbędne jest ich dostarczenie wraz z pokarmem (tab. 5). Kwas linolowy stanowi 55% wszystkich kwasów wielonienasyconych zawartych w nasionach soi (Kanchana i in., 2015).

Około 35% składu nasion to węglowodany, w większości są to: polisacharydy np.: celuloza, hemiceluloza oraz pektyny; disacharydy np.: sacharoza oraz oligosacharydy: stachioza i rafinoza (Grieshop i in., 2003). Nasiona soi stanowią dobre źródło witamin oraz minerałów. Są lepszym od zbóż źródłem witaminy z grupy B (za wyjątkiem witaminy B12), jednakże nie zawierają witaminy C. Zawierają także witaminy z grupy E, zwane inaczej tokoferolami, których głównym zadaniem w organizmie człowieka jest spowalnianie powstawania oraz usuwanie wolnych rodników (Sugano, 2006). 5% składu nasion soi stanowią minerały tj. sód, potas, fosfor, wapń, magnez, cynk oraz żelazo. Nawet 3mg/g suchej masy stanowią izoflawony, należące do grupy flawonoidów (Kudou i in., 1991). Obecność izoflawonów w nasionach pozwala na wykorzystywanie jej w profilaktyce chorób serca, nowotworów czy łagodzenia objawów menopauzy (Wilk,

2017). Nasiona soi zawierają 3 typy izoflawonów: daidzeina, genisteina, glyciteina. W skład biochemiczny nasion w mniejszej ilości wchodzi: fitosterole, fosfolipidy, saponiny i ferrytyna. Nasiona soi zawierają niezbędne do życia aminokwasy, tłuszcze, antyoksydanty, izoflawony, których działanie prewencyjne, zmniejsza prawdopodobieństwo wystąpienia zawału serca (Neha Nausheen i in., 2014).

Olej pochodzący z nasion soi jest najważniejszym olejem roślinnym oraz roślina ta jest jednym z najważniejszych oraz najtańszych źródeł białka na świecie (Soystat, 2020). Składniki odżywcze zawarte w soi są cenne nie tylko dla rolnictwa i przemysłu paszowego, ale także dla innych gałęzi tj.: przemysłu farmaceutycznego, spożywczego, chemicznego czy kosmetycznego (Dobek i in., 2009). Ze względu na szerokie zastosowanie nasion soi, należy je charakteryzować w osobnych grupach.

2.13.1. Wykorzystanie w żywieniu zwierząt hodowlanych

Obecnie większość światowej produkcji jest wykorzystywana do produkcji śrutu sojowej oraz oleju (Ali, 2010). Ze względu na wysoką zawartość białka, 98% śrutu sojowej wykorzystywane jest w żywieniu zwierząt hodowlanych (Shanmugasundaram i Yan, 2010). Wyjątkowość nasion soi polega na tym, iż dostarcza ona białka podobnego do białka pochodzenia mięsnego (Hartman, 2011).

2.13.2. Wykorzystanie soi na olej

95% oleju otrzymanego z soi wykorzystywana jest do produkcji jadalnego oleju roślinnego (Liu, 2008). Olej stosowany jest głównie do produkcji przetworzonego jedzenia, tj.: margaryny oraz przygotowywanie smażonych potraw. W ostatnich latach zaobserwowano wzrost wykorzystywania oleju roślinnego ze względu na powiązania tłuszczu odzwierzęcego ze wzrostem zachorowania na choroby sercowo-naczyniowe.

Szerokie zastosowanie soja znalazła w medycynie oraz profilaktyce. Już w starożytnych Chinach (Raghuvansh i Bisht, 2010) opisywano ją jako niezbędną do prawidłowego funkcjonowania organów oraz jako roślinę oczyszczającą. W 1999 roku FDA (Food and Drug Administration) potwierdziło, iż spożywanie 25 g białek sojowych dziennie, może obniżyć ryzyko chorób sercowo-naczyniowych. Niektóre z przypisywanych soi właściwości, zostały niedawno potwierdzone naukowo. Dowiedziono, iż nasiona soi stanowią ważny element diety diabetyków (Azadbakht i in., 2003; Villegas i in., 2008), pomagając im uniknąć powikłań związanych z chorobą. Udowodniono, iż roślina może mieć duży wkład w leczenie otyłości (Maskarinec i in., 2008); wspomaganie leczenia osteoporozy u kobiet (Chen i in., 2003); zmniejszaniu ryzyku transformacji nowotworowych (Guo i in., 2004; Hamilton-Reeves i in., 2007); redukowaniu poziomu złego oraz całkowitego cholesterolu we krwi (Rosell i in., 2004) oraz podnoszeniu poziomu żelaza we krwi, co ma kluczowe znaczenie przy leczeniu niedokrwistości niedoborowych (Murray-Kolb i in., 2003).

Spośród wyżej wymienionych właściwości nasion soi, niektóre wydają się być szczególnie ważne w profilaktyce, a także leczeniu wielu powszechnie występujących chorób:

- a) hamowanie transformacji nowotworowej
Sugeruje się, że to izoflawony odpowiadają za efekt przeciwnowotworowy soi (Barnes i in., 1996). Genisteina hamuje enzymy tj.: tyrozynowe kinazy białkowe, topoizomerazę DNA oraz kinazę S6, których aktywność wzrasta w transformacjach nowotworowych (Yamashita i in., 1990). Dowiedziono także, że zarówno świeże nasiona jak i te autoklawowane, posiadają zdolność hamowania transformacji nowotworowej.
- b) działanie hipoglikemizujące
Badania dowiodły, że wyciąg z nasion *Glycine Max* ma właściwości hipoglikemizujące. Zastosowanie wyciągu z nasion w dawce od 200 do 500 mg x kg⁻¹, wykazało zależny od dawki efekt hipoglikemizujący (Jibu i in., 2012).
- c) hamowanie powstawania postmenopauzalnej osteoporozy
W doświadczeniu na szczurach pozbawionych jajników, które przez 35 dni karmiono izolatem białka sojowego, dowiedziono, że Geinsteina spowodowała poprawę mineralizacji kości udowej, co jest niezwykle istotnym pozytywnym wskaźnikiem w leczeniu osteoporozy (Anderson i in., 1995, Arjmandi i in., 1996)
- d) działanie antyhiperlipidemizujące
Zaobserwowano obniżenie całkowitego cholesterolu, trójglicerydów, LDL oraz VLDL po trzy tygodniowym stosowaniu wyciągu z nasion w dawce od 200 mg x kg⁻¹ do 500 mg x kg⁻¹ (Jibu i in., 2012).

Dodatkowo, wysoka zawartość peptydów w nasionach soi może wspomóc zwalczanie otyłości, chorób związanych z układem krążenia i układem immunologicznym, chorób nowotworowych, które potocznie nazywamy chorobami cywilizacyjnymi (Borawska i in. 2014).

2.13.3. Wykorzystanie soi w żywieniu ludzi

Obliczono, że jedynie 2% z produkcji soi wykorzystywane jest do bezpośredniego żywienia ludzi (Goldsmith, 2008). O wiele mniejszy procent z białkowego użycia nasion soi, wykorzystany jest do produkcji mąki sojowej oraz białek do żywienia ludzi. Marginalne wydaje się być spożywanie rośliny soi jako świeże warzywo, zwane w Chinach jako „mao dou” „edamame” w Japonii. Soja jest niezbędna w tworzeniu diety wegetariańskiej i wegańskiej. Produkty na bazie nasion *Glycine max* L., dostarczają organizmowi białek o składzie oraz właściwościach niemalże równych białkom pochodzenia zwierzęcego (Hartman, 2011). Według badań, spożycie 50 g produktów sojowych, może być równoważne spożyciu 150 g mięsa wołowego. Dodatkowo, nasiona Soi zawierają wiele mikroelementów oraz witamin głównie z grupy B, których dostarczenie wraz z dietą jest równie istotne dla organizmu człowieka, co dostarczenie białek. Jednak nie tylko

osobom preferującym dietę bezmięsną, zalecane jest włączenie produktów Sojowych do jadłospisu. Z uwagi na szerokie pozytywne oddziaływanie na organizm człowieka, FDA zaleca spożywanie 25 g białka sojowego dziennie. Najpopularniejsze oraz najczęściej polecane produkty sojowe to:

- kasza sojowa,
- mąka sojowa, która nie zawiera glutenu,
- kotlety sojowe,
- mleko sojowe, dla osób cierpiących na nietolerancję laktozy,
- olej sojowy,
- sos sojowy,
- tofu.

Ze względu na coraz większe rozpowszechnienie nasion soi w różnych gałęziach przemysłu należy wziąć pod uwagę także negatywny wpływ ich stosowania. Nasiona soi zostały zakwalifikowane do wielkiej ósemki alergenów spożywczych (FDA, 2004, Cordle, 2004). Tematem budzącym jeszcze więcej kontrowersji, jest występowanie produktów modyfikowanych genetycznie w Polsce. Ingerencja w genom organizmów żywych, jest być może, jednym z największych osiągnięć nauki. Niestety skutki tego wynalazku są trudne do przewidzenia i prawdopodobnie nie do poznania przez najbliższe lata. Rośliny uprawne są obiektem najczęstszych badań oraz modyfikacji (Hałat, 2004).

Tabela 5. Składniki odżywcze zawarte w 100 g nasion soi (oprac. własne na podstawie Kowalska 2015)

Składnik	Zawartość
Białko	34,3 g
Węglowodany	32,7 g
Tłuszcze suma	19,6 g
Tłuszcz wielonienasycone	11,29 g
Tłuszcze jednonienasycone	4,07 g
Tłuszcze nasycone	2,82 g
Błonnik	15,7 g
Żelazo	8,9 mg
Fosfor	743 mg
Wapń	240 mg
Magnez	216 mg
Potas	2132 mg

2.14. Soja w gospodarce paszowej

Szacuje się, że krajowe zapotrzebowanie na śrutę białkową, jest w 80% uzależnione od importu. Dane z roku 2012 wskazują, iż 90% importowanej śruty pochodzi z Ameryki Południowej. Głównie z powodu wyjątkowej kompozycji

aminokwasów. Śruta sojowa jest niezawodnym źródłem białka wysokiej jakości (Jeziorny i in., 2010). Wysoka zawartość w śrucie sojowej aminokwasu lizyny, który w innych paszach występuje w niewystarczającej ilości, pozwala na zminimalizowanie ograniczenia wzrostu zwierząt skarmianych śrutą, tj.: świnię i kury, których rozwój jest silnie uzależniony od tego aminokwasu. Innymi aminokwasami, występującymi w dużej ilości w soi, istotnymi dla prawidłowego wzrostu kur oraz świń są odpowiednio arginina i tryptofan (Tyczewska i in., 2014). W skarmianiu zwierząt nie tylko nasiona znalazły zastosowanie. Pełnotłuste produkty sojowe oraz olej sojowy mogą być dodawane do paszy w celu podniesienia wartości energetycznej śruty (Li i Sauer, 1994; Albin i in., 2001). Przy podejmowaniu tematu skarmiania zwierząt śrutą sojową, należy pamiętać, iż istotną rolę odgrywa proces przetwarzania niezdatnych do spożycia substancji zawartych w nasionach. Głównym celem przetwórstwa nasion, jest eliminacja z nich substancji antyżywniowych, które mają zgubny wpływ na każdego konsumenta Soi, w jednoczesnym zachowaniu unikatowego składu chemicznego nasion. Podczas przetwarzania pełnych nasion przeznaczonych na paszę, wykorzystuje się procesy ekstruzji oraz ogrzewania połączonego z płatkowaniem. Natomiast podczas wytwarzania mieszanki paszowej oraz żywności, wykorzystuje się procesy: kondycjonowania, ekspandowania, ekstruzji oraz granulowania (Jaśkiewicz, 2010). Substancje antyżywniowe występują w roślinie naturalnie lub zostały do niej dodane wraz z nawozami, środkami ochrony roślin lub zanieczyszczeniami środowiska. Substancje te mogą negatywnie wpływać na procesy tj.: trawienie, wchłanianie, metabolizm substancji pokarmowych (Akande i in., 2010, Goluch-Koniuszy i Salmanowicz, 2017). Ze względu na skład chemiczny dzielimy je na białkowe oraz niebiałkowe, a ze względu na odporność na wyższe temperatury na termostabilne oraz termolabile. Białkowe substancje antyodżywcze należą najczęściej do grupy termolabilnej. Dzięki tej właściwości proces ogrzewania, usuwa negatywny wpływ substancji. W śrucie sojowej najczęściej spotykane są inhibitory proteazy, lektyny, glicyna, saponiny, oligosacharydy oraz kwas fitynowy (Yasohtai, 2016). Inhibitory trypsyny oraz lektyny są szczególnie niebezpieczne dla drobiu i trzody, ponieważ ich zawartość w śrucie może doprowadzić do skąłowaciałego wzrostu, przerostu trzustki oraz zmniejszonej wydajności skarmiania (Leiner, 1994). Dowiedziono jednak, iż obróbka termiczna skutecznie usuwa z nasion inhibitory trypsyny. Kolejną substancją antyodżywczą wrażliwą na działanie wysokich temperatur jest lektyna, która łączy się z komórkami błony śluzowej niszcząc ścianę przewodu pokarmowego przez co zmniejsza wchłanianie substancji odżywczych (Pusztai, 1991). Głównie ze względu na obecność wyżej wymienionych substancji, rodzaj zastosowanej obróbki jest bardzo istotny dla przetwórstwa paszowego (Szmigielski, 2012). Największa obawa w związku z obróbką termiczną nasion dotyczy uszkodzenia aminokwasów, a przede wszystkim lizyny (Gujska i Khan, 2002). Wysoka temperatura powoduje wejście lizyny w reakcję ze związkami redukującymi, co doprowadza do utraty jej grupy aminowej i uniemożliwia późniejszy proces trawienia (Naranjo i in., 1998, Ajandouz i in., 2001).

3. MATERIAŁY I METODY BADAŃ

Hipoteza badawcza

Główna hipoteza badawcza zakłada, że po zastosowaniu odpowiednio dobranych zabiegów agrotechnicznych konwencjonalna soja z powodzeniem może być uprawiana w województwie kujawsko-pomorskim. W szczególności założono hipotezy, że odpowiedni dobór odmiany soi konwencjonalnej, inokulantu jak i hydrożelu do gleby, mają oddziaływanie jako niezależne czynniki agrotechniczne. Ponadto założono współdziałanie tych czynników na plonowanie oraz jakość nasion soi.

Cel badań

Celem naukowym pracy jest zbadanie wpływu niezależnych zabiegów agrotechnicznych na wzrost i rozwój soi, w tym, doboru odmiany, inokulacji i hydrożelu na wielkość i jakość plonu nasion.

3.1. Doświadczenie wazonowe

Doświadczenie wazonowe prowadzone było w warunkach kontrolowanych, w tunelu foliowym, w gospodarstwie w Chlebnie, woj. wielkopolskim (rys. 11). W badaniach zastosowano jeden czynnik o charakterze stałym, tj. kombinację hydrożelu z inokulacją nasion. Zastosowano hydrożel pod nazwą handlową AgroAquaGel® (produkcji Artagro). Jest to usieciowany, poliakryloamidowy polimer żelowy, którego wysuszone, szczelnie zwinięte kłęбки mają postać krystalicznych białych ziaren o średnicy 0,1-4,0 mm, a ich zdolność do absorpcji wody wynosi do 600 ml/g. W badaniu uwzględniono dwa warianty: wariant z hydrożelem w podłożu, w ilości 0,5 g na wazon o pojemności 3 l lub jego brak (kontrola). Taka ilość hydrożelu odpowiada dawce 100 kg zastosowanej w polu na 1 ha, zgodnie z zaleceniem producenta. Warianty z i bez hydrożelu były powiązane z rodzajem inokulantu (3 warianty + kontrola). Do zaszczepienia nasion przed siewem użyto następujących produktów: HiStick® Soy, Biofor Soya, Biofixin-S, Nitragina Soja (tab. 6, rys. 9). Nasiona zaszczepione nitraginą pełniły rolę obiektu kontrolnego, podobnie jak w doświadczeniach polowych. Badania przeprowadzono na 8 obiektach doświadczalnych w 5 powtórzeniach (rys. 10). Do wysiewu użyto odmianę Amarak, w ilości 5 nasion żywych na wazon. Doświadczenie założono w drugiej dekadzie czerwca 2016 roku i prowadzono do końca fazy kwitnienia (druga dekada sierpnia). W doświadczeniu wazonowy wypełniono samą glebą średnio-gliniastą z pola, na którym nigdy wcześniej nie uprawiano soi, bądź glebą wymieszaną z hydrożelem. Rośliny w początkowych

fazach rozwoju były podlewane raz w tygodniu w ilości 300 ml, po wykształceniu pierwszej pary liść właściwych wodę dostarczano co drugi tydzień w ilości 300 ml. Wilgotność i temperaturę mierzono ręcznie sterowanym reflektometrem TDR Soil Multimetr FOM/mts działający z impulsem igłowym o czasie narastania 300 ps.

Zakres pomiarów w tym doświadczeniu obejmował:

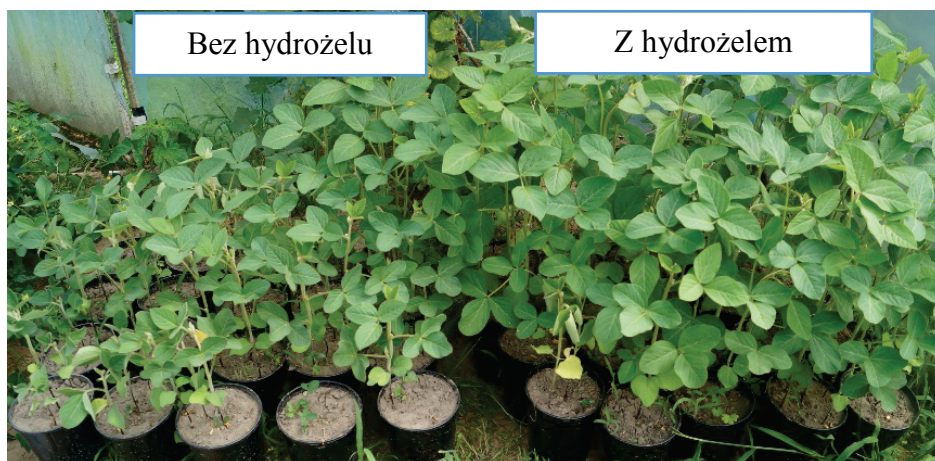
- wilgotność (%) oraz temperatura podłoża (°C),
- wysokość roślin (cm),
- powietrznie suchą masę korzeni z pojedynczej rośliny (g),
- powietrznie suchą masę pędu pojedynczej rośliny (g),
- długość korzenia (cm),
- liczbę brodawek korzeniowych na jednej roślinie (szt.),
- liczbę węzłów na roślinie (szt.).

Tabela 6. Charakterystyka zastosowanych w doświadczeniu preparatów do inokulacji nasion soi

Nazwa handlowa	Producent	Nośnik	Liczba żywych bakterii <i>Bradyrhizobium japonicum</i> w 1 gramie produktu
HiStick® Soy	Basf Agricultural Specialties Limited	Sterylny torf + polimer	2x10 ⁹
Biofixin-S	Sjemeservis agro doo Zagreb	Naturalny, sterylny torf	1x10 ⁹
Biofor Soya	Biofor System Ltd	torf	Dodatkowo bakterie wspomagające pobieranie P i K
Nitragina Soja	Zakład Przetwórczo-usługowo-handlowy „BIOFOOD” S.C.	torf	Brak danych



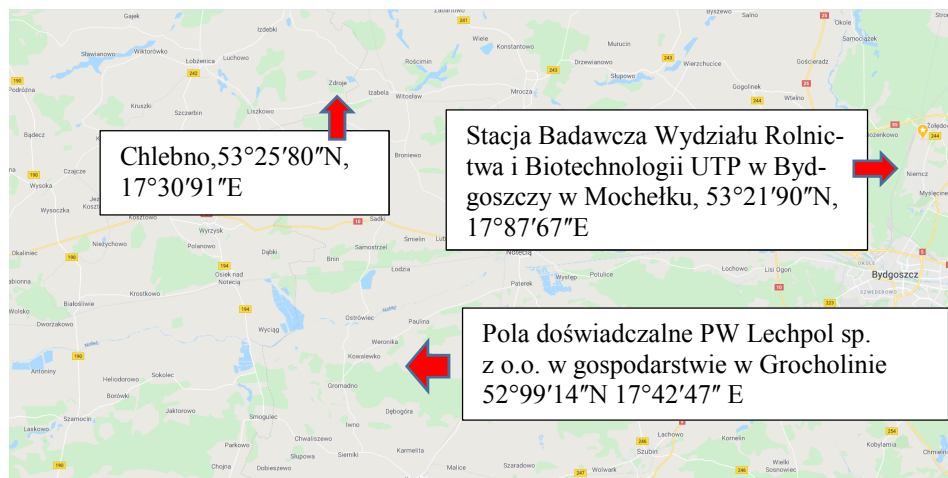
Rys. 9. Inokulacja nasion soi: A – HiStick® Soy, B – BiofixN-S, C – Biofor Soya, D – Nitragina Soja



Rys. 10. Doświadczenie wazonowe

3.2. Doświadczenia polowe

Badania nad doskonaleniem agrotechniki soi przeprowadzono w latach 2015-2017 w oparciu o polowe doświadczenia, które prowadzono w dwóch lokalizacjach na terenie województwa kujawsko-pomorskiego, tj. w Stacji Badawczej Wydziału Rolnictwa i Biotechnologii UTP w Bydgoszczy w Mochełku oraz na polach doświadczalnych PW Lechpol sp. z o.o. w gospodarstwie w Grocholinie (rys. 11).



Rys. 11. Mapa lokalizacji doświadczeń polowych

3.2.1. Doświadczenie w SB WRiB w Mochełku

Wybrane do badań odmiany soi należą do grupy odmian wczesnych oraz średnio wczesnych. Przy doborze odmian kierowano się cechami użytkowymi danej odmiany, które zostały ujęte w tabeli 7.

Tabela 7. Odmiany wytypowane do badań w latach 2015-2017 w SB w Mochełku

Odmiana	Pochodzenie	Hodowca	Rok wpisu do rejestru	Grupa wczesność	Cecha charakterystyczna
Annushka	U	Agro Youmis	2019	„0000”	bardzo wczesna
Aldana	PL	Danko HR	1992	„000”	wysoka MTN
Aligator	FR	Euralis Semences	2015	„000”	wysokie osadzenie I strąka
Amarok	DE	Agra BayWa		„000”	potencjał plonotwórczy
Augusta	PL	Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu	2002	„00”	niskie wymagania glebowe
Galice	CHE	Delley Semences et Plantes		„00”	potencjał plonotwórczy

cd. tabeli 7

Gallec	CHE	Delley Semences et Plantes		„000”	wysoka zawartość białka w nasionach
Klaxon	FR	Caussade Semences		„00”	wysoka zawartość białka
Layma	U	Agro Youmis		„000”	potencjał plonotwórczy
Lissabon	AU	Saatbau Linz		„000”	odporność wyleganie
Mavka	U	Agro Youmis	2013	„000”	duża liczba strąków
Merlin	AU	Saatbau Linz		„000”	stabilny plon, wczesny wigor
Petrina	FR	Caussade Semences	2017	„00”	potencjał plonotwórczy
Protina	FR	RAGT		„000”	wysoka zawartość białka
Senator	FR	Rustica Prograin		„000”	wysoka MTN
Violetta	U	Agro Youmis		„000”	odporność na osypywanie i choroby

W SD Mochelek doświadczenie prowadzono przez trzy sezony wegetacyjne, na glebie kompleksu rolniczego żytniego dobrego, należącej do klasy agromicznej IVa. Zasobność gleby w przyswajalne formy wyniosła: P 135,4 mg x 100 g⁻¹, K 179,2 mg x 100 g⁻¹, Mg 66,2 mg x 100 g⁻¹, pH gleby 6,7 w KCl. Przedplonem dla soi w każdym roku była pszenica ozima. Zastosowanym czynnikiem doświadczalnym była odmiana soi. W doświadczeniu badano 16 odmian soi konwencjonalnej, pochodzących z hodowli europejskich, które w trakcie rozpoczęcia badań zostały wpisane do Krajowego Rejestru Odmian (Aldana, Augusta, Mavka, Aligator) oraz wybrano takie, które nie były jeszcze wpisane do Rejestru Krajowego, natomiast były w Europejskim Katalogu Odmian, tj. Annushka, Amarak, Galice, Gallec, Klaxon, Layma, Lissabon, Mavka, Merlin, Petrina, Protina, Senator, Violetta. Soję wysiewano w następujących terminach: 30.04.2015r., 05.05.2016r., 06.05.2017r., na poletkach o powierzchni 6m² (3m x 2m) w rzędach o rozstawie 20 cm. Nasiona soi zostały bezpośrednio przed siewem zaszczipione preparatem HiStick® Soy. Obsada do siewu wynosiła 100 szt. x m⁻². Zastosowano nawożenie przedsiewne: P₂O₅- 80 kg x ha⁻¹, K₂O- 70 kg x ha⁻¹, N- 40 kg x ha⁻¹ w formie saletry amonowej. Po siewie wykonano zabieg herbicydami Afalon Dyspersyjny 450 SC 1,0 l x ha⁻¹ z Command 480 EC 0,15 l x ha⁻¹. W trakcie wegetacji dokonywano oględzin roślin pod kątem występowania chorób i szkodników. Nie stwierdzono żadnych agrofagów, których występowanie zagrażałoby zdrowotności roślin soi, dlatego nie podejmowano żadnej ochrony chemicznej. Natomiast, w roku 2015, ze względu na utrzymującą się suszę w miesiącach czerwiec-lipiec, zastosowano jednorazowo biostymulator na bazie aminokwasów Fylloton, w dawce 2,0 l x ha⁻¹. Zbioru nasion wykonano kombajnem poletkowym WINTERSTEIGER.

3.2.2. Doświadczenie w gospodarstwie rolnym w Grocholinie

W doświadczeniu prowadzonym w latach 2015-2017 w gospodarstwie w Grocholinie zastosowano dwa czynniki doświadczalne:

- A. Rodzaj inokulantu – 4 poziomy.
- B. Odmiana soi – 8 poziomów.

W sumie w doświadczeniu przetestowano 32 obiekty doświadczalne. Układ doświadczenia był losowanych bloków w 3 powtórzeniach.

Badania w Grocholinie przeprowadzono na 96 jednostkach eksperymentalnych (poletkach) o wielkości 28 m², na glebie kompleksu rolniczego pszennego bardzo dobrego (II klasa). Obsada nasion do siewu wynosiła 100 szt. x m⁻². Przedplonem dla soi w każdym roku był pszenica ozima. Nasiona wysiano w rzędy o rozstawie 20 cm na głębokość 2-3 cm. Zastosowano nawożenie przedsiewne: P₂O₅ – 80 kg x ha⁻¹, K₂O – 70 kg x ha⁻¹, N – 40 kg x ha⁻¹. Przed siewem nasiona soi w zależności od kombinacji zaszczipiono inokulantami: HiStick® Soy, Biofor Soya, Biofixin-S, Nitragina Soja (kontrola). Siew nasion wykonano w trzeciej dekadzie kwietnia. Badano 8 odmian konwencjonalnej soi: Annushka, Aldana, Amarok, Augusta, Klaxon, Layma, Merlin, Violetta (są to odmiany wczesne o wysokim potencjale plonotwórczym i stabilnym plonowaniu, odporne na osypywanie nasion oraz wyleganie). Po siewie wykonano zabieg herbicydem Afalon Dyspersyjny 450 SC 1,0 l x ha⁻¹ z Command 480 EC 0,15 l x ha⁻¹. Zbiór wykonano kombajnem poletkowym John Deer Zurn 150.

3.3. Zakres badań – obserwacje i pomiary na soi w doświadczeniach polowych

W każdym roku wykonano następujące pomiary na roślinach soi, z zaznaczeniem, w którym doświadczeniu, symbolami M – Mochełek, G – Grocholin:

- Obsada roślin po wschodach (szt. x m⁻²) – G,
- Obsada roślin do zbioru (szt. x m⁻²) – M, G,
- Wysokość pędu (cm) – M, G,
- Wysokość osadzenia pierwszego strąka (cm) – M, G,
- Liczba brodawek korzeniowych (szt. x roślina⁻¹) – M, G,
- Liczba strąków (szt. x roślina⁻¹) – M, G,
- Liczba nasion w strąku (szt.) – G,
- Masa tysiąca nasion po zbiorze (g) – M, G,
- Produkcyjność roślin przy wilgotności 14% (g/poletka) – M (t x ha⁻¹) – G,
- Termin zbioru nasion (data) – M,
- Zawartość białka (%) – M, G,
- Zawartość tłuszczu (%) – M, G.

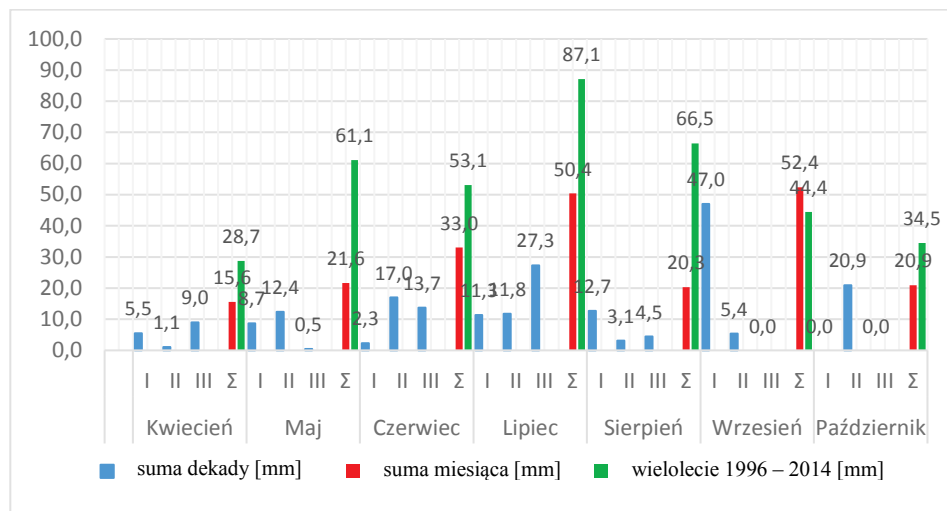
Białko i tłuszcz z badano spektrometrem bliskiej podczerwieni SupNIR-2700, który do analizy próbek stosuje metoda analizy rozproszonej, a zakres długości fal obejmuje 1000-2500 nm.

3.4. Charakterystyka warunków pogodowych w latach prowadzenia badań w Mochelku i w Grocholinie

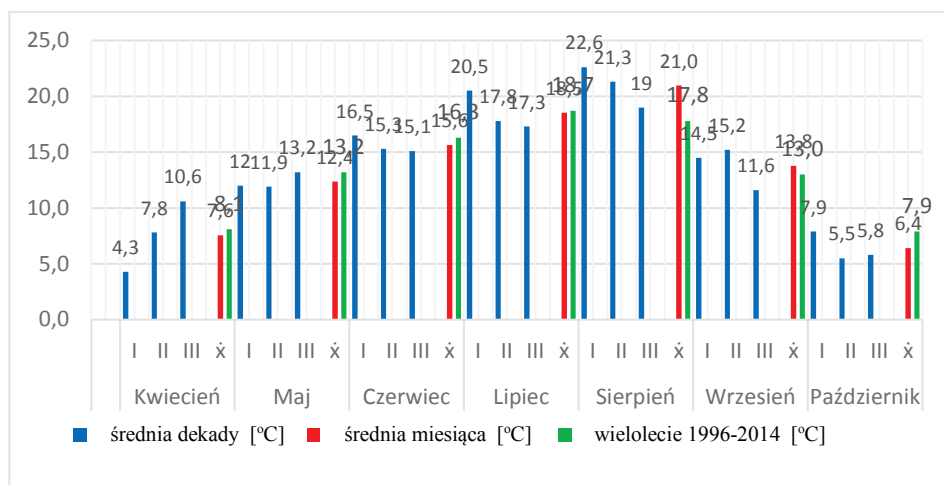
3.4.1. Doświadczenie polowe w Stacji Badawczej Wydziału Rolnictwa i Biotechnologii UTP w Bydgoszczy w Mochelku

Warunki meteorologiczne w trakcie prowadzenia doświadczenia w Mochelku były zróżnicowane w zależności od sezonu wegetacyjnego.

Rok 2015 był rokiem suchym, gdyż suma opadów w okresie od kwietnia do października wyniosła 214,2 mm i była niższa o 161,2 mm niż suma z wielolecia (od 1996 do 2014). Duże niedobory wody na początku wegetacji, tj. w maju o 2/3 mniejsze niż w wieloleciu (rys. 12), miały wpływ na zmniejszenie obsady roślin soi po wschodach. Średnia temperatura 13,5°C całego sezonu wegetacji 2015 roku była zbliżona do wielolecia. Jednakże rozkład temperatury w I dekadzie lipca (w fazie pełni kwitnienia roślin soi) nie był korzystny, ponieważ wysoka temperatura 20,5°C była ona o 2 stopnie wyższa niż średnia z danego miesiąca, co przy niskich opadach (11 mm) spowodowało, że rośliny były poddane silnemu stresowi cieplnemu (rys. 13).

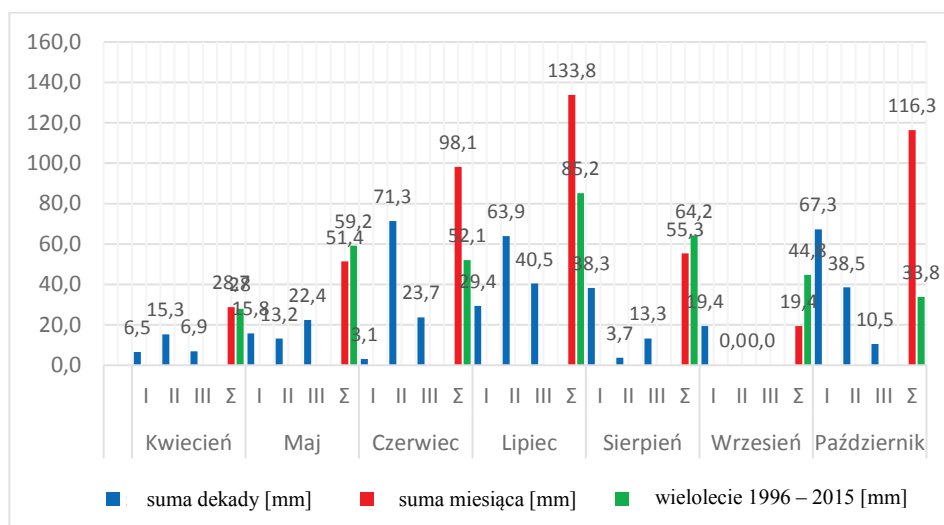


Rys. 12. Przebieg opadów w sezonie wegetacji soi zwyczajnej w 2015 roku w Mochelku

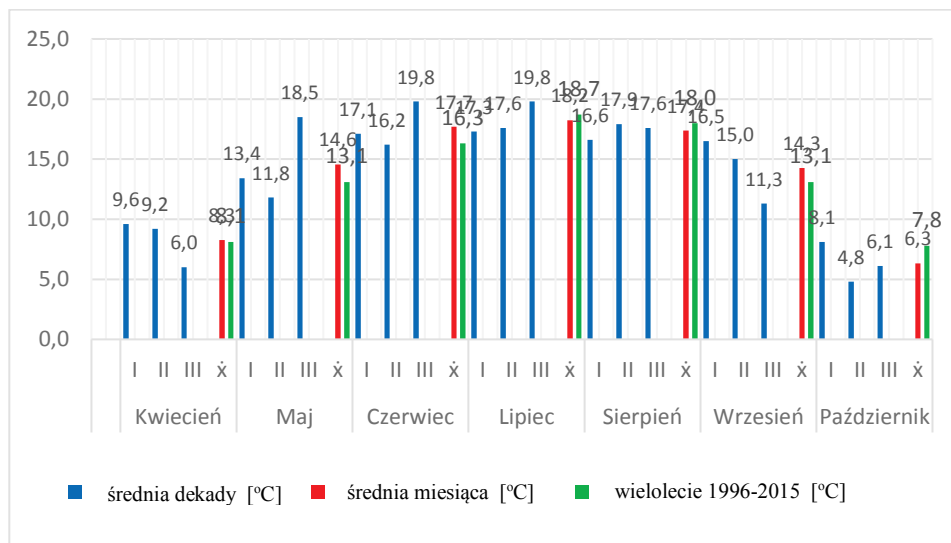


Rys. 13. Przebieg temperatury w sezonie wegetacji soi zwyczajnej w 2015 roku w Mochelku

Kolejny sezon wegetacyjny soi w roku 2016 rok w Mochelku cechował się bardzo dobrym rozkładem temperatury i opadów. Najwięcej opadów odnotowano w miesiącach czerwcu (98,1 mm) i lipcu (133,8 mm), co miało bardzo dobry wpływ na rozwój organów generatywnych soi (liczbę zawiązanych strąków) (rys. 14). Natomiast niska suma opadów we wrześniu (19,4 mm) spowodowała, że soja równomiernie dojrzewała, co pozwoliło zebrać suche nasiona bez potrzeby desykcji. Średnie miesięczne temperatury były zbliżone do tych z wielolecia (rys. 15), a średnia temperatura dla całego okresu wyniosła 13,8°C.

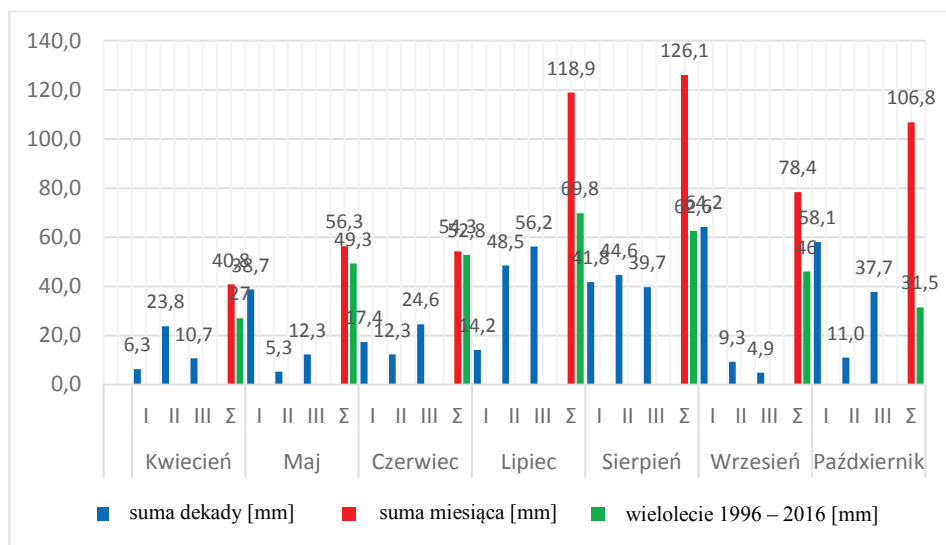


Rys. 14. Przebieg opadów w sezonie wegetacji soi zwyczajnej w 2016 roku w Mochelku.

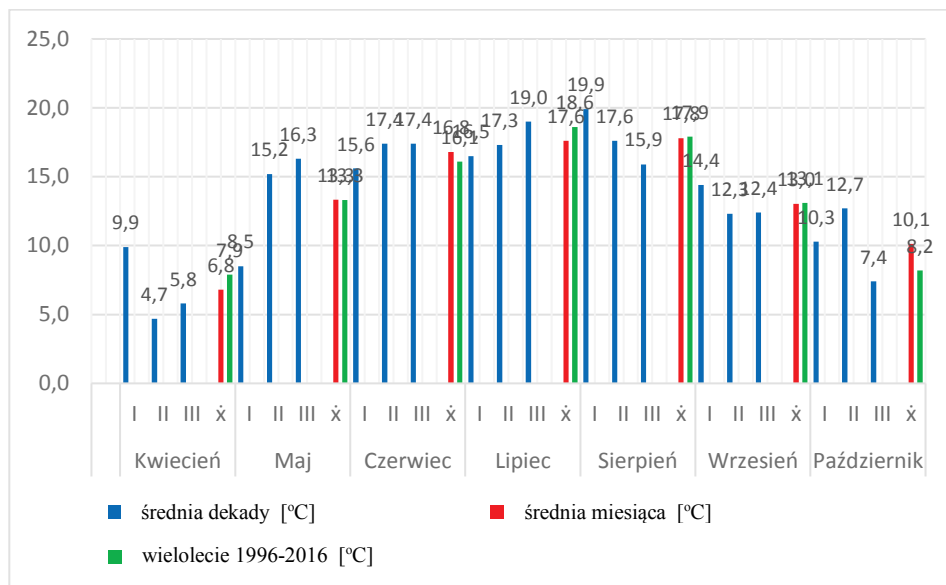


Rys. 15. Przebieg temperatury w sezonie wegetacji soi zwyczajnej w 2016 roku w Mochelku

Ostatni rok badań w Mochelku, 2017, charakteryzował się największą sumą opadów – 581,6 mm, tj. aż o 247 mm większą niż średnia z wielolecia 1996-2016 (rys. 16). Jednakże rozkład opadów nie był zbyt korzystny dla wzrostu i rozwoju soi jak w roku 2016. Najwyższe opady, prawie dwukrotnie przewyższające sumę dla wielolecia, odnotowano w okresie dojrznięcia strąków lipiec i sierpień, co miało wpływ na opóźnienie dojrznięcia i zbiorów nasion. Niska temperatura w I dekadzie maja 8,5°C przedłużyła okres wschodów soi (rys. 17).

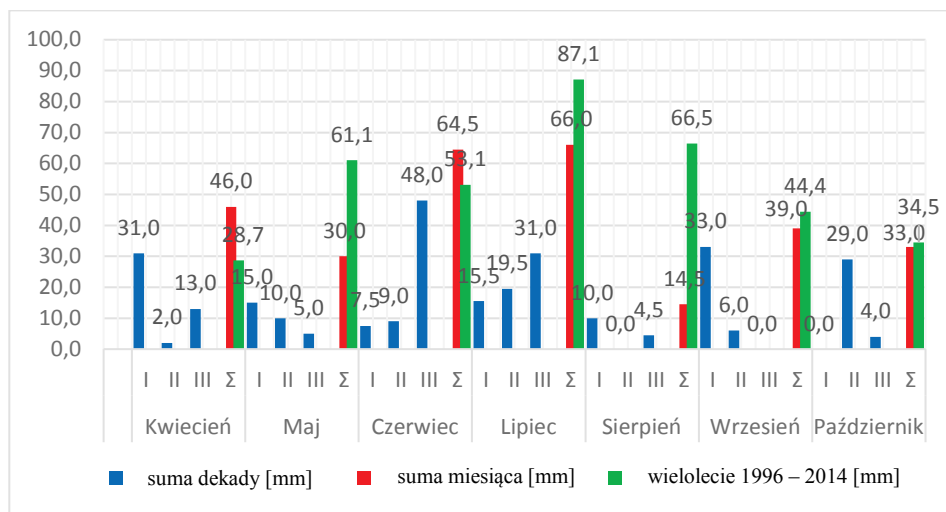


Rys. 16. Przebieg opadów w sezonie wegetacji soi zwyczajnej w 2017 roku w Mochelku



Rys. 17. Przebieg temperatury w sezonie wegetacji soi zwyczajnej w 2017 roku w Mochelku

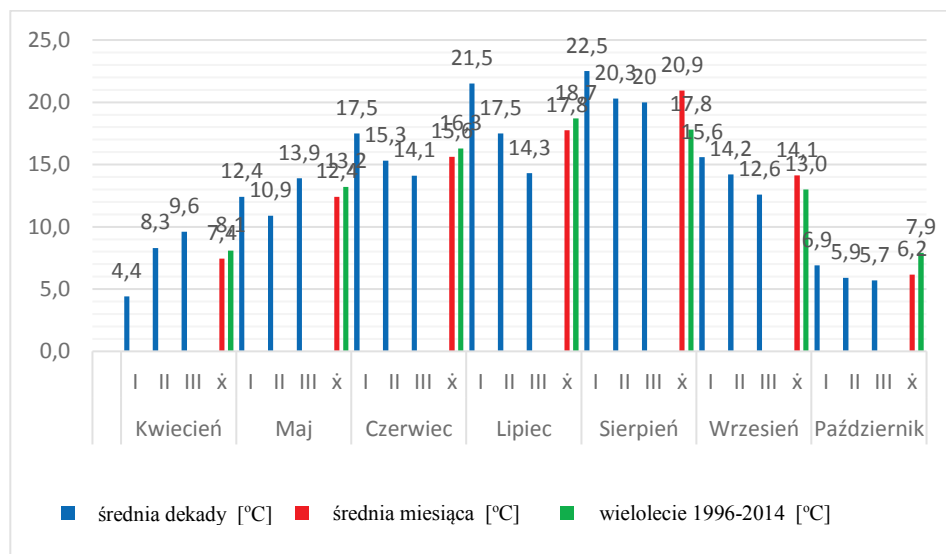
3.4.2. Doświadczanie polowe w Gospodarstwie w Grocholinie



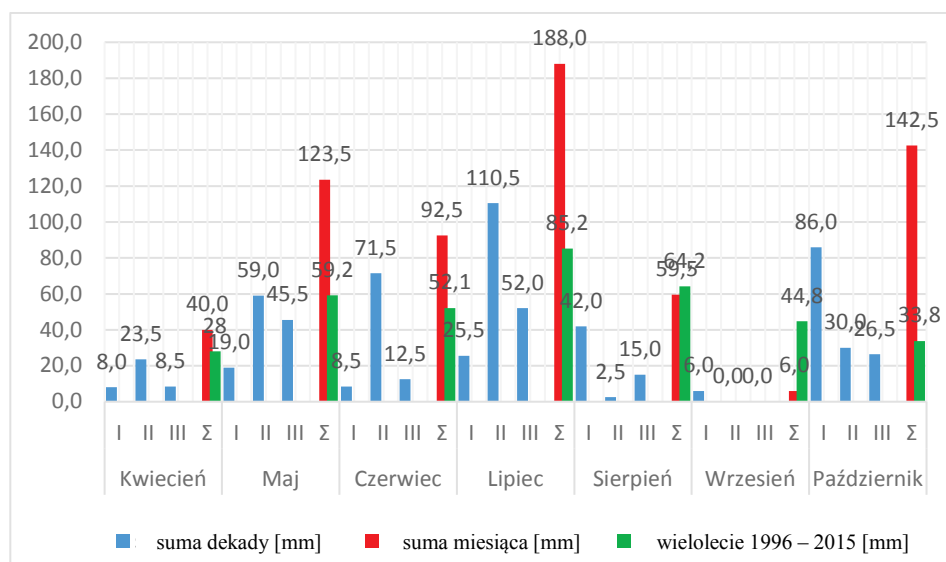
Rys. 18. Przebieg opadów w sezonie wegetacji soi zwyczajnej w 2015 roku w Grocholinie

W roku 2015 w Grocholinie zanotowano ponad 50% mniejszą sumę opadów w maju, aniżeli w wieloleciu (rys. 18). Bardzo mało opadów było w sierpniu, o 50 mm mniej niż w wieloleciu. Stosunkowo suchy był także lipiec, zwłaszcza 1 dekada, z sumą opadów 15,5 mm. Taki przebieg pogody był niekorzystny dla zawiązywania organów generatywnych soi.

Ponadto sierpień roku 2015 cechowały bardzo wysokie temperatury powietrza, o ponad 3°C wyższe niż w wieloleciu (rys. 19), co mogło spowodować zasychanie części straków przed osiągnięciem dojrzałości nasion.

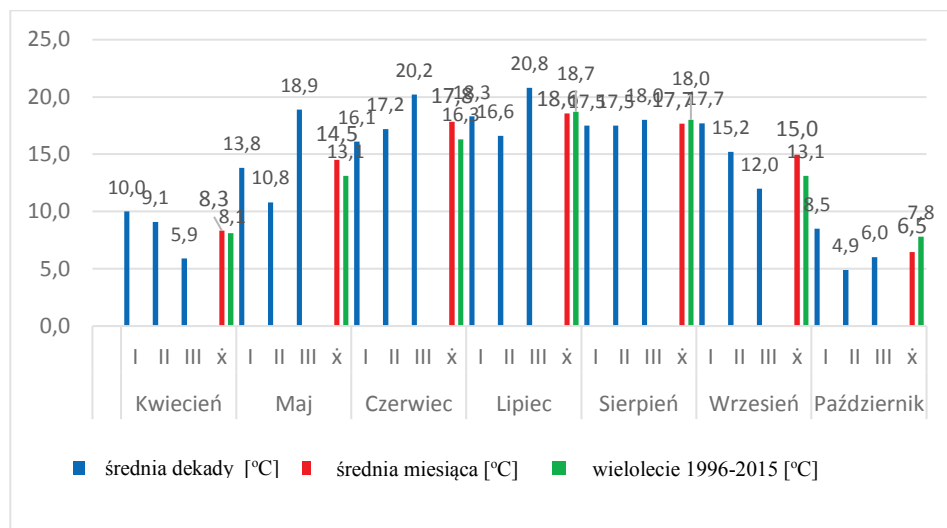


Rys. 19. Przebieg temperatury w sezonie wegetacji soi zwyczajnej w 2015 roku w Grocholinie



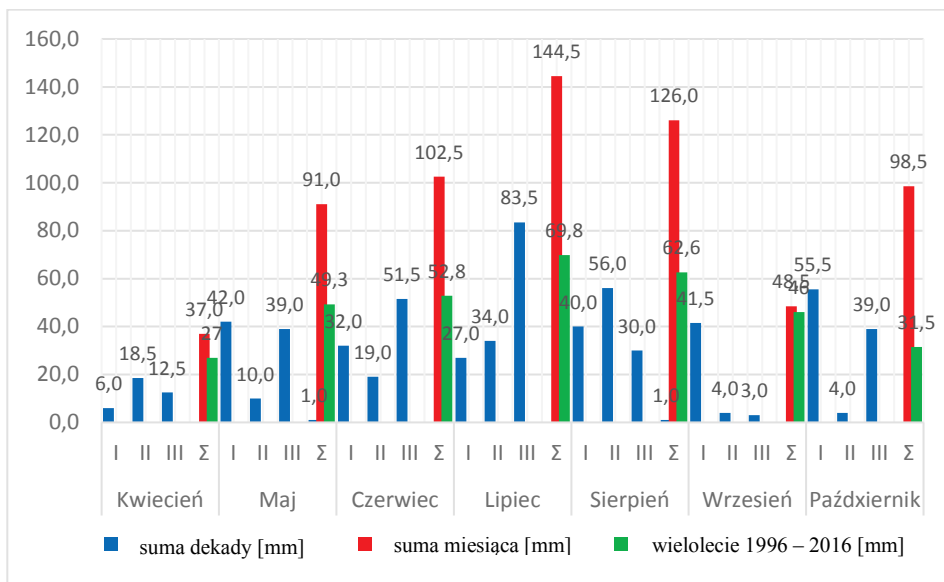
Rys. 20. Przebieg opadów w sezonie wegetacji soi zwyczajnej w 2016 roku w Grocholinie

Kolejny rok prowadzenia doświadczeń w Grocholinie, 2016, cechował się bardzo wysokimi sumami opadów w miesiącach maj-lipiec, co bardzo dobrze wpłynęło na wzrost wegetatywny i generatywny soi (rys. 20). Niska suma opadów we wrześniu i stosunkowa ciepła pogoda wpłynęły korzystnie na równomierne dojrzewanie nasion i optymalny termin zbioru. Przebieg temperatur powietrza w poszczególnych okresach wegetacji soi był bardzo korzystny, średnie temperatury dla dekad i miesięcy nie odbiegały od średnich z wielolecia dla tej miejscowości (rys. 21).

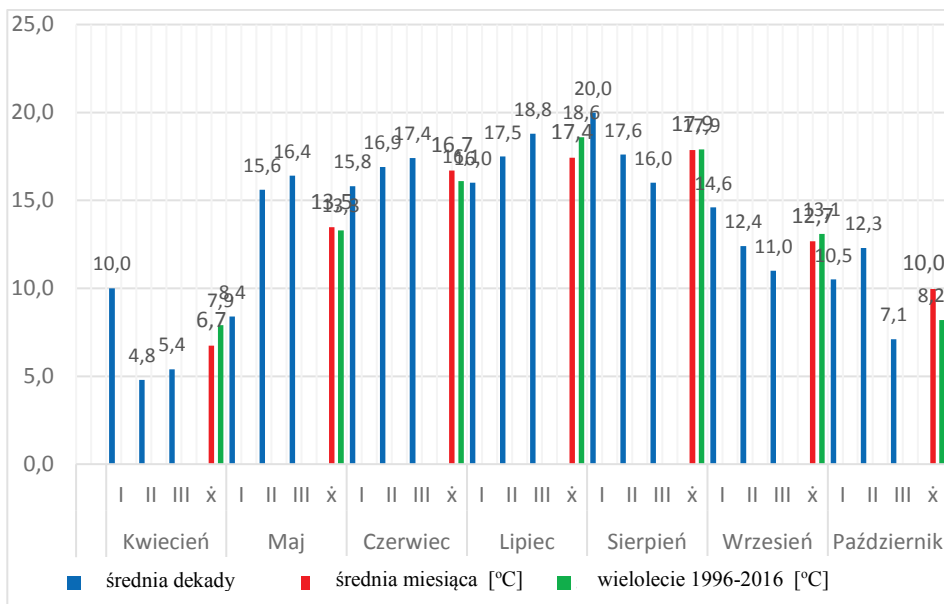


Rys. 21. Przebieg temperatury w sezonie wegetacji soi zwyczajnej w 2016 roku w Grocholinie

Ostatni rok prowadzenia doświadczeń w Grocholinie, 2017, był wyjątkowo obfity w opady atmosferyczne; od maja do końca sierpnia suma przewyższała dwukrotnie sumę opadów z wielolecia. Natomiast rozkład temperatur od drugiej dekady maja zaczął być odpowiedni dla startu wegetacji roślin soi (rys. 22 i 23). Temperatury w sierpniu były średnie, przy wysokich opadach, soja długo dojrzewała i opóźniła zasychanie strąków, co spowodowało, że zbiór opóźnił się do połowy października.



Rys. 22. Przebieg opadów w sezonie wegetacji soi zwyczajnej w 2017 roku w Grocholinie



Rys. 23. Przebieg temperatury w sezonie wegetacji soi zwyczajnej w 2017 roku w Grocholinie

3.5. Statystyczne opracowanie wyników

Dane dotyczące wszystkich pomiarów biologicznych zostały poddane testowi Shapiro-Wilka dla sprawdzenia normalności rozkładów empirycznych. Dane wyrażone w % zostały poddane przekształceniu kątowemu poprzez *arcsine* (metoda Freeman-Tukey) w celu normalizacji danych.

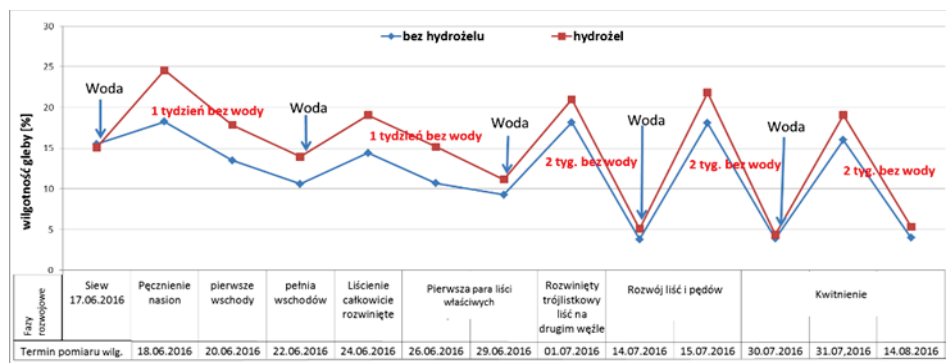
W celu weryfikowania hipotez zerowych o braku wpływu pojedynczego czynnika lub interakcji czynników, oraz interakcji z latami wykorzystano odpowiednie modele ANOVA. W doświadczeniu wazonowym (wpływ kombinacji hydrożelu i inokulantu) na wartości cech podłoża i soi wykonano obliczenia metodą analizy wariancji (ANOVA) pojedynczej w układzie całkowicie losowym. W opracowaniu wyników doświadczenia polowego w Mochełku wykorzystano model mieszany ANOVA (lata jako czynnik losowy, odmiana jako czynnik stały), w układzie losowanych bloków. Natomiast dla doświadczenia w Grocholinie wykorzystano model ANOVA dwuczynnikowy z syntezą z trzech lat doświadczeń wielokrotnych według modelu mieszanego (lata jako czynnik losowy, odmiana i rodzaj inokulantu jako czynniki stałe), oraz interakcje lata x odmiana, lata x inokulant, interakcja inokulant x odmiana, w układzie losowanych bloków. W sytuacjach odrzucenia hipotezy zerowej (dla F przy $p \leq 0,05$) do wyznaczenia grup obiektów istotnie się różniących pod względem określonych cech wykorzystano test *post-hoc* HSD Tukeya dla $p = 0,05$. Do wyliczenia zmienności plonowania soi zastosowano współczynnik zmienności Pearsona ($Cv\%$). Do obliczeń zależności pomiędzy cechami wzrostowo-rozwojowymi roślin soi w Grocholinie, zawartością białka i oleju a plonem nasion wykorzystano współczynnik korelacji liniowej r -Personna. Hierarchiczna analiza skupień w oparciu o dendrogram połączeń pomiędzy cechami soi przy założeniach, że odległości pomiędzy skupieniami są liczone za pomocą odległości Euklidesowych oraz metoda Warda jest wykorzystana do minimalizacji wariancji w centrach, była wykorzystana dla danych z 16 odmian soi w Mochełku. Wielowymiarowa technika eksploracyjna składowych głównych PCA (ang. *principle component analysis*) została wykorzystana do wyjaśnienia wielocechowego zróżnicowania tych samych odmian soi w oparciu o dwie składowe główne. Obliczenia wykonano w programie STATISTICA 13, Stat Soft Polska.

4. WYNIKI

4.1. Wyniki doświadczenia wazonowego

4.1.1. Wilgotność i temperatura podłoża

Na rysunku 24 przedstawiono wyniki pomiarów wilgotności gleby w różnych fazach rozwojowych soi.

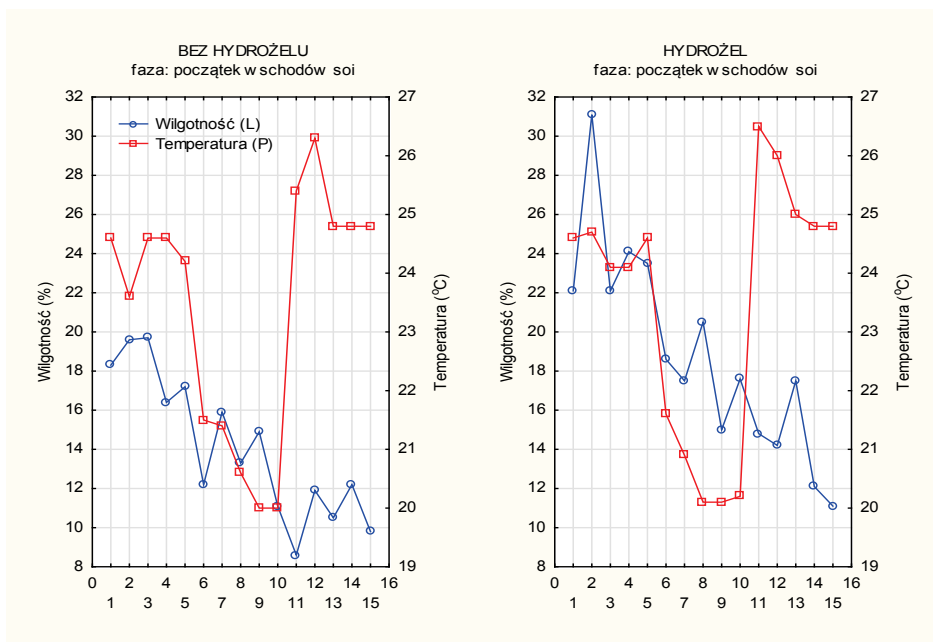


Rys. 24. Wilgotność gleby w wazonach w różnych fazach rozwojowych soi

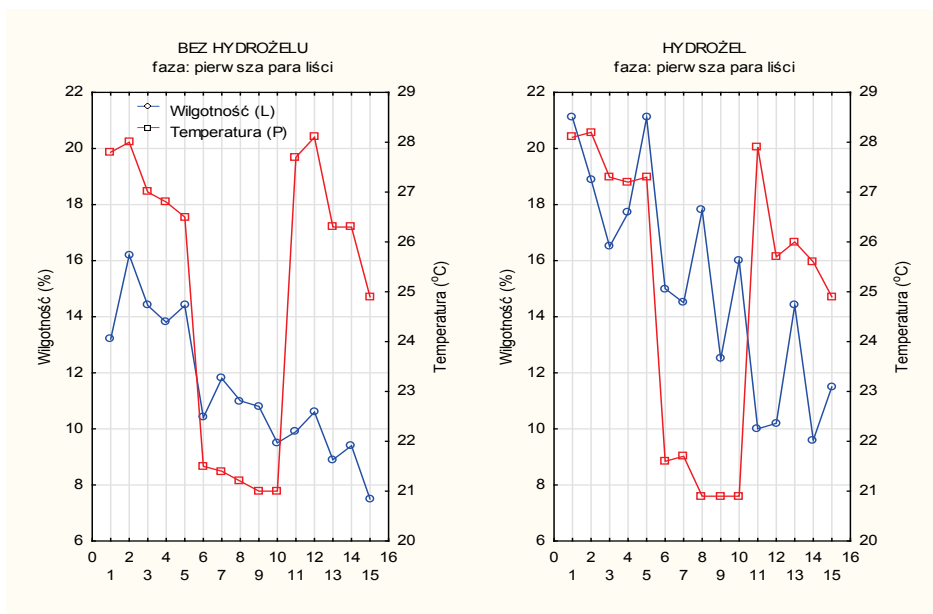
Zaobserwowano zwiększoną pojemność wodną gleby w wazonach, w których był zastosowany hydrożel. W wazonach w kombinacji z hydrożelem gleba miała średnią wilgotność w ciągu całego okresu badań na poziomie 14,87% a bez hydrożelu 11,33%. Wzrost wilgotności odnotowano po zaaplikowaniu wody. W pierwszych fazach rozwojowych soi woda był dostarczana co tydzień i w fazie wschodów różnica wilgotności między obiektami wyniosła średnio 4,17%, na korzyść hydrożelu (rys. 24 i 25).

Od fazy pierwszej pary liści właściwych rośliny były podlewane co dwa tygodnie. Po dłuższym okresie bez wody różnica między wazonami z hydrożelem a bez hydrożelu znacząco spadła i wyniosła średnio 2,13%. Zastosowanie hydrożelu nie miało wpływu na temperaturę gleby w początkowych dwóch fazach rozwojowych (rys. 26).

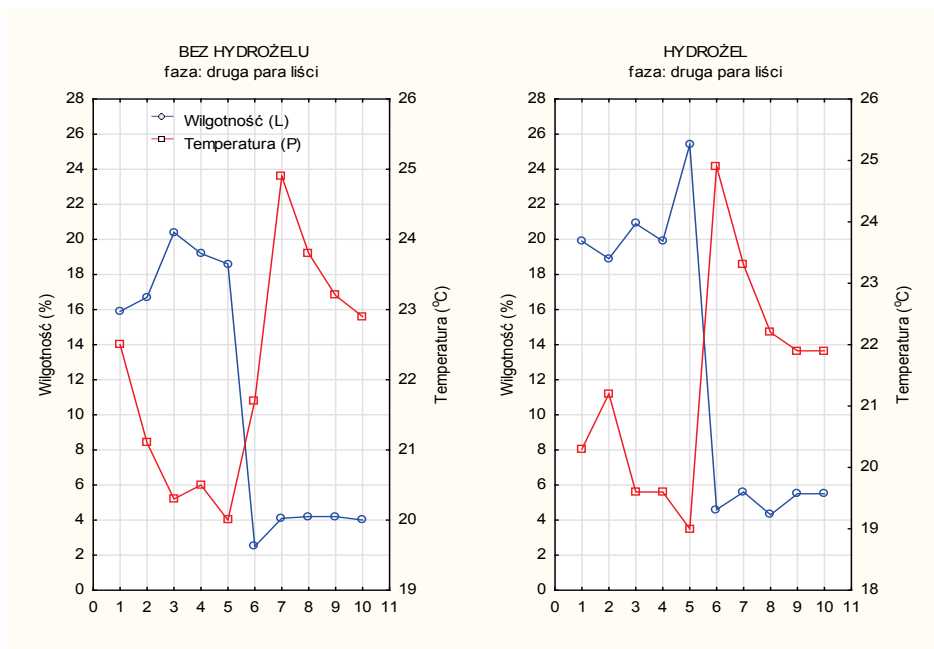
W miarę intensywnego wzrostu i rozwoju wegetatywnego soi od drugiej pary liści właściwych aż do końca kwitnienia roślin, bezwzględne różnice pomiędzy stosowaniem a brakiem hydrożelu stawały się coraz mniejsze w wilgotności gleby i ostatecznie po 6 dniach od nawadniania zbliżały się do jednakowego poziomu 5–6% w fazie drugiej pary liści (rys. 27) oraz do poziomu 4% w fazie początku kwitnienia soi (rys. 28). Pod koniec kwitnienia, kiedy rozwój wegetatywny stał się słabszy, wilgotność podłoża po zastosowaniu hydrożelu utrzymywała się na wyższym poziomie niż w kontroli o 4–5% do 3 dni, po czym wyrównała się do jednakowego poziomu (rys. 29). W ostatnim dniu, tj. 5 wszystkie wazoni zostały nawodnione do jednakowej wilgotności, w celu łatwiejszego wydostania roślin do wykonania pomiarów biometrycznych na soi.



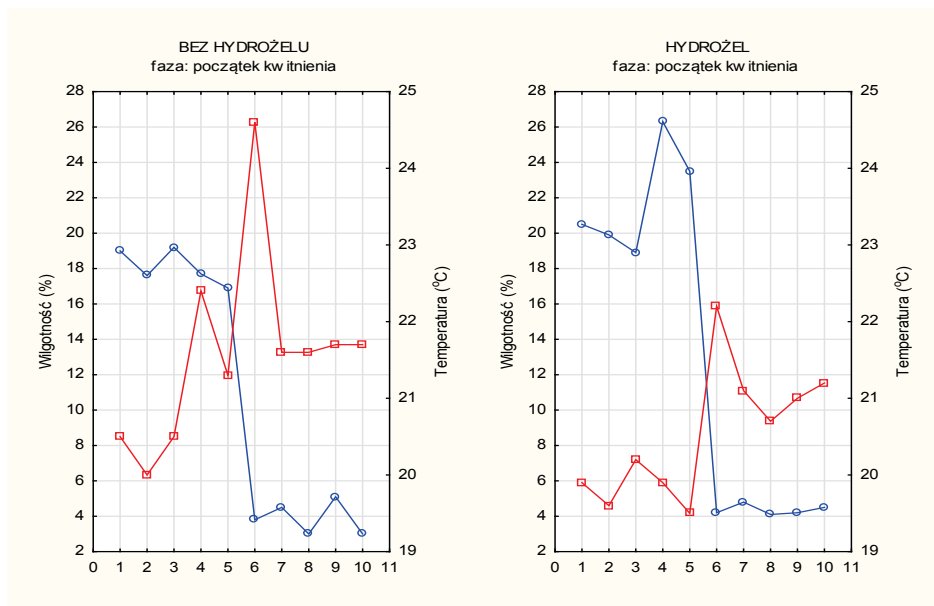
Rys. 25. Przebieg wilgotności i temperatury gleby w fazie wschodów soi po zastosowaniu hydrożelu i bez hydrożelu w podłożu



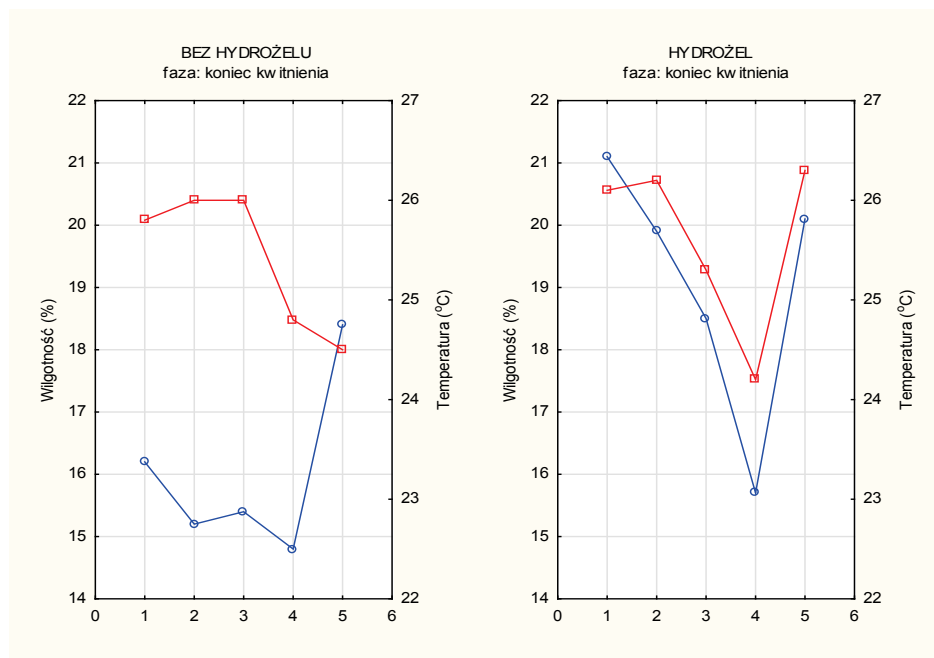
Rys. 26. Przebieg wilgotności i temperatury gleby w fazie pierwszej pary liści właściwych soi po zastosowaniu hydrożelu i bez hydrożelu w podłożu



Rys. 27. Przebieg wilgotności i temperatury gleby w fazie drugiej pary liści właściwych soi po zastosowaniu hydrożelu i bez hydrożelu w podłożu



Rys. 28. Przebieg wilgotności i temperatury gleby w fazie początku kwitnienia soi po zastosowaniu hydrożelu i bez hydrożelu w podłożu

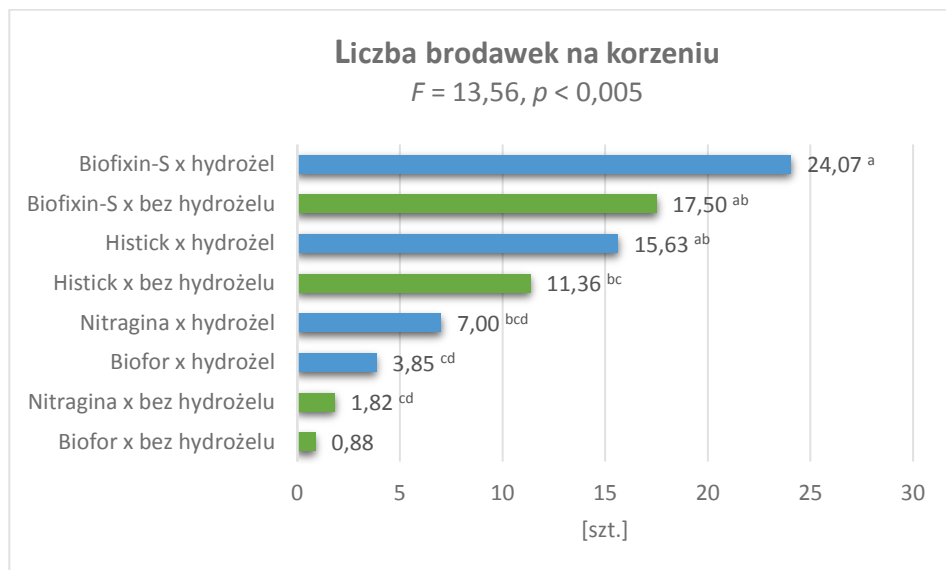


Rys. 29. Przebieg wilgotności i temperatury gleby w fazie końca kwitnienia właściwych soi po zastosowaniu hydrożelu i bez hydrożelu w podłożu

4.1.2. Cechy biometryczne soi pod wpływem hydrożelu i inokulacji

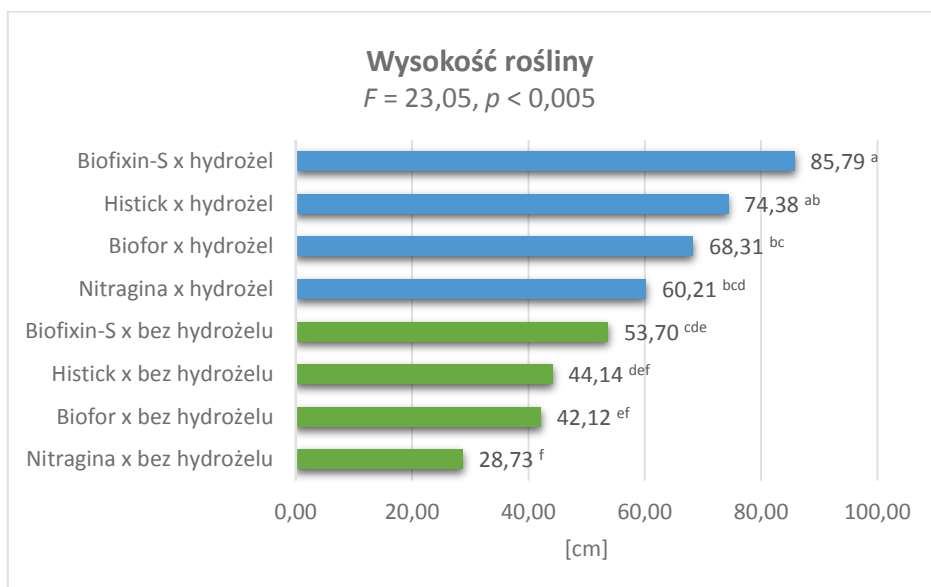
Zastosowanie hydrożelu wraz z inokulanem nasiona miało istotny wpływ na wszystkie badane cechy soi. Hydrożel wpłynął na wyższą liczbę brodawek korzeniowych, uzyskano średnio 12,9 szt., gdzie w przypadku niestosowania preparatu średnio - 7,1 szt. Największą liczbę brodawek odnotowano po inokulowaniu nasion preparatem Biofixin-S z hydrożelem, tj. 24,1 szt. nieco mniej na kombinacjach Biofixin-S x bez hydrożelu i HiStick z hydrożelem odpowiednio 17,5 szt. i 15,6 szt. Najmniej brodawek miały korzenie soi na roślinach w kombinacji Biofor x bez hydrożelu średnio 0,9 szt. (rys. 30).

Zastosowanie hydrożelu oraz inokulantu miało istotny wpływ na cechy wzrostowe soi. Rośliny, gdzie zastosowano hydrożel średnio osiągnęły wysokość 72,32 cm a bez hydrożelu rośliny były niższe o średnio 30 cm (rys. 31). Najwyższe rośliny były po zaszczepieniu nasion preparatem Biofixin-S i hydrożelem (85,79 cm). Najniższe rośliny zaobserwowano, gdzie nie zastosowano hydrożelu z inokulantem Biofor tj. 28,73 cm. Rodzaj preparatu bakteryjnego miał istotny wpływ na rozwój rośliny. W przypadku wazonów z hydrożelem i bez hydrożelu pokrój roślin zwiększył się w zależności od zastosowanego inokulantu w kolejność od najniższego: Nitragina, Biofor, Histick i Biofixin-S. Identyczna sytuacja był w przypadku masy pędu i liczby węzłów na pędzie głównym (rys. 32-33).



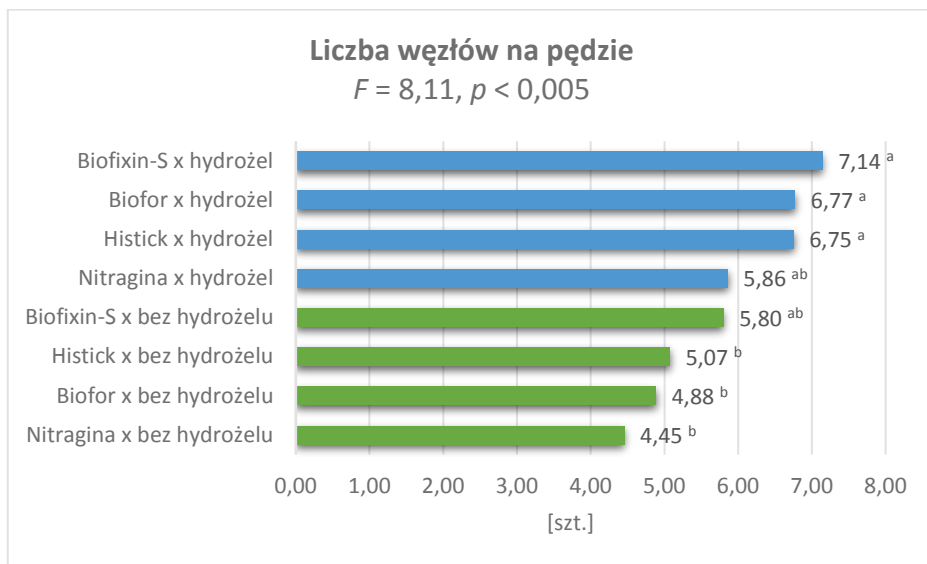
Objaśnienia: a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey'a dla $p = 0,05$.

Rys. 30. Liczba brodawek na korzeniu soi w zależności od zastosowanej kombinacji



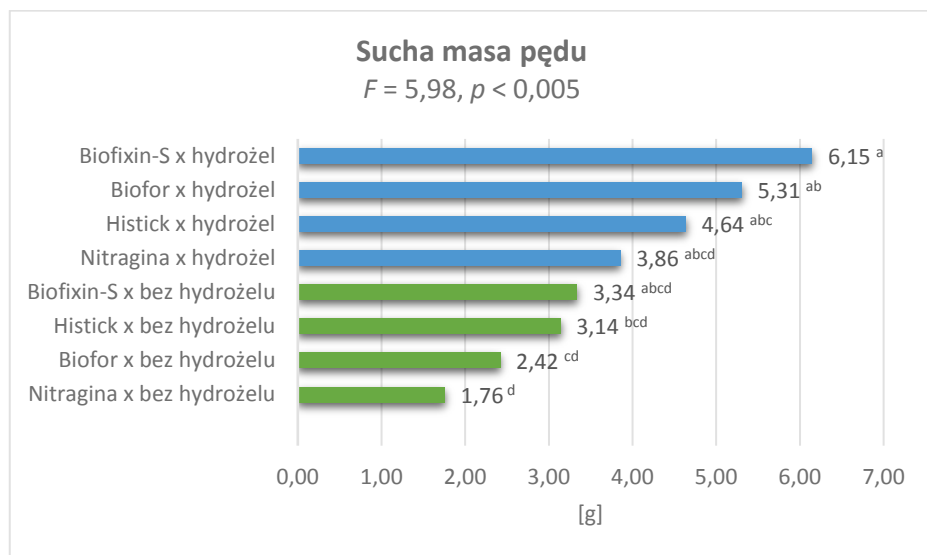
Objaśnienia: a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey'a dla $p = 0,05$.

Rys. 31. Wysokość rośliny soi w zależności od zastosowanej kombinacji



Objaśnienia: a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey'a dla $p = 0,05$.

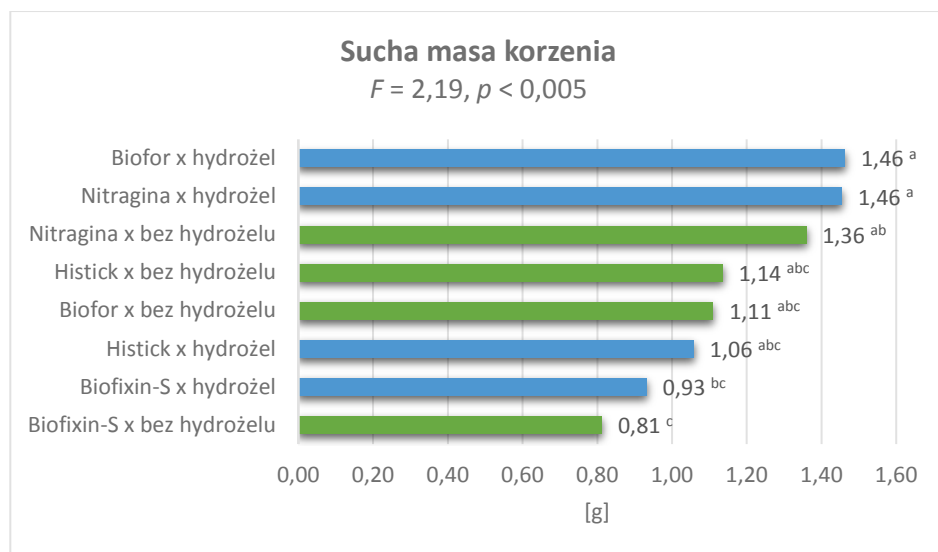
Rys. 32. Liczba węzłów na pędzie głównym soi w zależności od zastosowanej kombinacji



Objaśnienia: a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey'a dla $p = 0,05$.

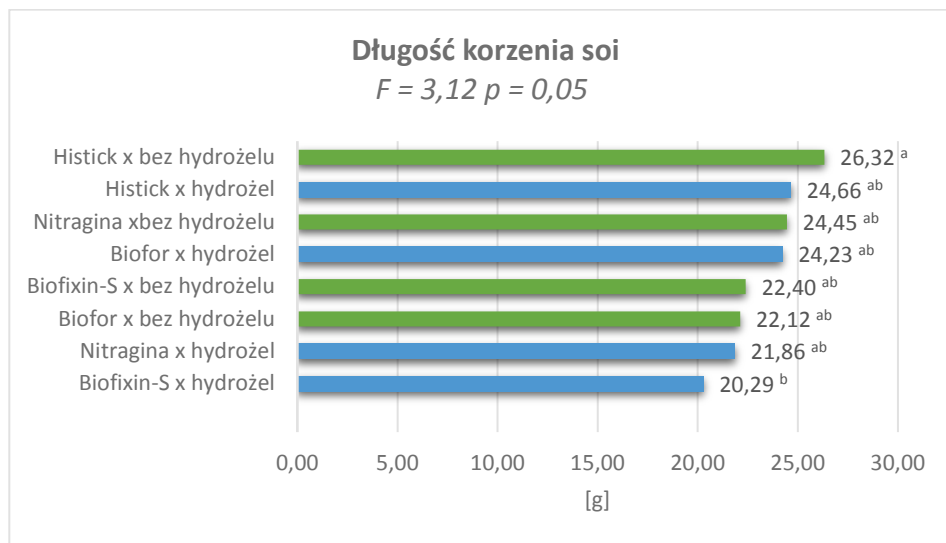
Rys. 33. Sucha masa pędu głównego w zależności od zastosowanej kombinacji

Badane czynniki doświadczalne miały wysoce istotny wpływ na rozwój systemu korzeniowego soi. Najdłuższe korzenie miały rośliny bez stosowania hydrożelu średnio 23,80 cm i były średnio 1 cm krótsze. Natomiast hydrożel wpłynął na masę korzenia. Soja, gdzie użyto hydrożelu miała większą średnią suchą masę korzenia o 0,11 g. (rys. 33–34). Największą masę korzeni uzyskano na roślinach z hydrożelem w kombinacji z Bioforem i Nitraginą średnio równą 1,46 g. natomiast najlżejsze korzenie miały rośliny w kombinacji Biofixin-S x hydrożel 0,81 g były one również najkrótsze 20,29 cm. Najdłuższe korzenie odnotowano w kombinacji HiStick x bez hydrożelu średnio 26,32 cm (rys. 35). Dokumentacja na zdjęciach (rys. 36–40) przedstawia podłoże z hydrożelem po zakończeniu badań, oraz rośliny soi w fazie pomiaru w poszczególnych kombinacjach inokulantów.



Objaśnienia: a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu NIR dla $p = 0,05$.

Rys. 34. Sucha masa korzenia soi w zależności od zastosowanej kombinacji



Objaśnienia: a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey'a dla $p = 0,05$.

Rys. 35. Długość korzenia soi w zależności od zastosowanej kombinacji



Rys. 36. Hydrożel wyciągnięty wraz z podłożem z wazonu po zakończeniu doświadczenia



Rys. 37. Soja w pełni kwitnienia po inokulacji nasion preparatem Nitraginą po lewej stronie rośliny wysiane bez hydrożelu po prawej z hydrożelem



Rys. 38. Soja w pełni kwitnienia po inokulacji nasion preparatem HiStick po lewej stronie rośliny wysiane bez hydrożelu po prawej z hydrożelem



Rys. 39. Soja w pełni kwitnienia po inokulacji nasion preparatem Biofor po lewej stronie rośliny wysiane bez hydrożelu po prawej z hydrożelem



Rys. 40. Soja w pełni kwitnienia po inokulacji nasion preparatem Biofixin-S po lewej stronie rośliny wysiane bez hydrożelu po prawej z hydrożelem

4.1.3. Opłacalność stosowania zabiegów inokulacji i hydrożelu w uprawie soi

Analizę opłacalności uprawy soi przedstawiono (tab. 8) w oparciu o kalkulację przychodów i kosztów z roku 2016 na podstawie doświadczeń własnych prowadzonych w Grocholinie.

Do kalkulacji kosztów uprawy soi przyjęto średni plon z doświadczenia polowego z roku 2016 – 39 dt x ha⁻¹ o wartości 150 zł/dt. Stawki dopłat bezpośrednich (jednolita płatność obszarowa, płatność za zazielenianie, płatność dodatkowa) płatność do roślin wysokobiałkowych oraz dopłaty do materiału siewnego przyjęto wartości za rok 2016. Całkowita wartość produkcji soi wraz z dopłatami wyniosła 7294 zł. Koszty bezpośrednie obejmowały zakup kwalifikowanego materiału siewnego, inokulowanie nasion, nawożenie mineralne oraz koszty związane z odchwaszczeniem uprawy bez hydrożelu wyniosły 1589 zł/ha. Koszt zakupu hydrożelu w ilość 100 kg x ha⁻¹ zwiększył koszt bezpośredni uprawy o 5000 zł/ha. Koszty pośrednie objęły usługi takie jak siew, orka, nawożenie mineralne, aplikację hydrożelu, zbiór, oprysk, transport nasion oraz koszty pozostałe (podatek, woda, energia, ubezpieczenie uprawy). Koszty te wyniosły 1410 zł/ha bez hydrożelu a z hydrożelem były o 180 zł wyższe. Możliwy jest obniżenie kosztów pośrednich przy stosowaniu własnych maszyn i urządzeń. Ogółem koszty uprawy soi z hydrożelem były wyższe o 5180 zł/ha. Przy uprawie soi bez hydrożelu osiągnięto dochód wraz dopłatami 4295 zł. W przypadku uprawy z hydrożelem wartość ta jest ujemna i wyniosła -885 zł/ha. Koszt produkcji 1 dt bez hydrożelu wyniósł 77 zł w uprawie z hydrożelem był prawie trzykrotnie wyższy (209 zł/dt).

Tabela 8. Kalkulacja kosztów uprawy soi bez hydrożelu i z hydrożelem dla 1 ha

Kalkulacja kosztów uprawy 1 ha soi					uprawa bez hydrożelu	uprawa z hydrożelem
Lp.	Wyszczególnienie	j.m.	cena zł	ilość	kwota zł	kwota zł
	Wartość produktu	dt	150	39	5850	5850
	dopłaty bezpośrednie*	zł/ha	906	1	906	906
	płatność do roślin wysokobiałkowych	zł/ha	426	1	427	427
	dopłata do materiału siewnego	zł/ha	111	1	111	111
A	Wartość produkcji	zł			7294	7294
1	materiał siewny					
	kwalifikowany materiał siewny	dt	500	1,8	900	900
2	inokulant					0
	Hi-Stick	opak.	75	1	75	75
3	nawożenie mineralne					0
	saletra amonowa	dt	95	1,18	112	112
	sól potasowa	dt	130	1,16	150	150
	superfosfat	dt	140	2	280	280

cd. tabeli 8

4	ochrona roślin					0
	Afalon Dyspersyjny 450SC	l	55	1	55	55
	Command 480EC	l	109	0,15	16	16
5	AgroAquaGel (Hydrożel)	kg	50	100		5000
B	koszty bezpośrednie	zł			1589	6589
1	usługi					
	orka	zł/ha	250	1	250	250
	nawożenie mineralne	zł/ha	50	1	50	50
	siew	zł/ha	180	1	180	180
	aplikacja hydrożelu	zł/ha	180	1	0	180
	oprysk	zł/ha	40	1	40	40
	Zbiór kombajnem	zł/ha	390	1	390	390
	transport (ciągnik + przyczepa)	zł/h	100	1	100	100
2	pozostałe koszty pośrednie związane z produkcją**				400	400
D	pozostałe koszty pośrednie	zł			1410	1590
E	ogółem koszty na 1 ha	zł			2999	8179
F	dochód z działalności z dopłatami	zł			4295	-885
G	dochód z działalności bez dopłat	zł			2851	-2329
H	Koszt produkcji 1 dt	zł			77	209

* jednolita płatność obszarowa, płatność za zazielenianie, płatność dodatkowa (stawki płatności bezpośrednich za rok 2016)

** podatek rolny (1 ha przeliczeniowy -131,1 zł) ubezpieczenie uprawy, energia, woda itp. dochód będzie wyższy, jeśli rolnik będzie uprawiał pole własnymi maszynami koszty podane brutto

4.2. Wyniki doświadczenia w Mochelku

4.2.1. Obsada do zbioru, wysokość roślin i wysokość osadzenia pierwszego strąka soi

Obsada roślin soi do zbioru wykazała istotne zróżnicowanie w zależności od odmiany i roku badań (rys. 41). Średnia obsada do zbioru z trzech lat badań wyniosła 50,8 szt. x m⁻². Istotnie najwyższą obsadę do zbioru rejestrowano w roku 2017 (średnio 61,2 szt. x m⁻²), natomiast najniższa była w roku 2015 (39,0 szt. x m⁻²). W roku 2016 obsada była zbliżona do średniej z trzech lat badań. Odmiany wysoce istotnie różniły się bod względem tej cechy. Najwyższą obsadę miały Amarak i Mavka, tj. odpowiednio 62,6 szt. x m⁻² i 60,2 szt. x m⁻², co stanowiło o 23,1 i 18,4% więcej od średniej ogólnej. Odmiany Augusta, Merlin, Senator, Klaxon, Galice, Aldana i Violetta miały obsadę również powyżej średniej z badań, istotnie większą od odmian takich jak Gallec (46,8 szt. x m⁻²), Lissabon (46,8 szt. x m⁻²), Protina (43,5 szt. x m⁻²), Lajma (43,4 szt. x m⁻²), Petrina

(42,9 szt. x m⁻²), Aligator (42,4 szt. x m⁻²) i Annushka (39,9 szt. x m⁻²), czyli tych które miały poniżej 50 szt. x m⁻² do zbioru (rys. 41).

Wysokość roślin soi istotnie różniła się w zależności od odmiany i roku badań (rys. 42). Średnio w przeciągu trzech lat badań rośliny osiągały wysokość około 100 cm. W 2016 i 2017 rośliny miały najdłuższe pędy odpowiednio 105,6 cm i 96,0 cm. Najniższe rośliny były w roku 2015, o długości 65 cm. Wysokość roślin soi różniła się w zależności od odmiany, sześć odmian wykształciło pędy powyżej średniej: Mavka, Senator, Amarak, Protina, Petrina, Annushka (od 100,1 do 120,1 cm). Pędy poniżej 90 cm wykształciły odmiany Galice, Lissabon, Aldana, Lajma, co stanowiło o 18,1 do 10% niższe niż średnia z wielolecia.

Odmiany soi wysoce istotnie różniły się wysokością osadzenia pierwszego strąka, co zaobserwowano również w latach badań (rys. 43). Soja średnio w ciągu trzech lat badań zawiązała strąki na wysokości 9,5 cm. Najwyżej osadzone strąki były w roku 2017, tj. średnio 13 cm nad ziemią, a najniżej w roku 2015 średnio 4,7 cm. Najwyżej osadzony pierwszy strąk odnotowano u Mavki – 15,2 cm, tj. aż o 60% wyżej od średniej ogólnej. U odmian Annushka, Augusta i Violetta, średnio w latach, uzyskano osadzenie pierwszego strąka powyżej 10 cm. Najniżej osadzony strąk rejestrowano u odmian Lajma i Klaxon odpowiednio 7,1 cm i 7,0 cm, tj. 25 – 26% mniej od średniej ogólnej (rys. 43).

4.2.2. Liczba brodawek korzeniowych i liczba strąków

Liczba brodawek korzeniowych istotnie różniła się w zależności od odmiany i roku badań. Średnio na korzeniu w trakcie trzyletnich badań odnotowano 9,3 brodawek korzeniowych. Najwyższą wartość badanej cechy zarejestrowano w roku 2016 (12 szt.), natomiast najniższą 2015 (5,0 szt.). Spośród 16 badanych odmian najwięcej brodawek zaobserwowano na korzeniach odmiany Petrina średnio 16 szt. Znacząco powyżej średniej z lat kształtuje się również liczba brodawek na korzeniach odmian Merlin, Protina, Mavka (11-12 szt.). Najmniej brodawek korzeniowych miały odmiany: Violetta, Layma, Aldana (rys. 44).

Analiza wariancji wykazała istotne różnice między odmianami i rokiem badań pod względem liczby zawiązanych strąków (rys. 45). Średnio w ciągu trzech lat badań rośliny zawiązywały 24,9 szt. strąków na roślinie. Najwyższą liczbę odnotowano w roku 2016 tj. 36,4 szt. a najniższą w 2015 11,4 szt. liczba strąków na roślinie w roku 2017 była zbliżona do średniej ogólnej. W grupie badanych odmian zaobserwowano duże zróżnicowanie pod względem produkcji strąków na pojedynczej roślinie. Najwięcej strąków produkowała odmiana Lajma – 36,3 szt., Annushka – 33,5 szt., Galice – 30,2 szt. oraz Petrina 29,1 szt. Należy zauważyć, że aż 9 z 10 odmian miało średnia liczba strąków mniejsza od średniej ogólnej, spośród nich zdecydowanie najmniej Lissabon – 18,6 szt., Aldana – 18,8 szt. i Mavka – 19,5 szt. (rys. 45).

4.2.3. Termin zbioru, plon nasion, dorodność nasion i cechy jakościowe nasion

Badane odmiany soi istotnie różniły się pod względem terminu zbioru nasion. Jako pierwsze, w grupie wczesności obliczonej w punktach od 1 do 3, te które uzyskały 1,3 punktu były odmiany Annushka i Merlin. Te dwie zbierano w terminie od 3 do 21 września każdego roku (rys. 46). Stosunkowo wcześniej (tj. 1,7 punktu wczesności) zebrano odmiany Aldana, Gallec, Lajma i Augusta, tj. od 12 do 21 września. Odmiany, u których dojrzewanie przesuwało się do końca września to: Violetta, Galice, Amarak, Petrina, Protina i Mavka (te miały 2,7 punktu wczesności). Należy jednak podkreślić, że w warunkach gleby średniej, klasy bonitacyjnej IV, kompleksu żytniego, większość odmian soi była gotowa do jednoetapowego zbioru we wrześniu. Wyjątek stanowił rok 2017, kiedy przy nadmiernych opadach termin zbioru przesunął się na 1 dekadę października u odmian Aligator, Mavka i Protina (rys. 46).

Plon nasion soi istotnie różnił się w zależności od odmiany i roku badań. Najwyższy plon zarejestrowano w roku 2016 tj. 74,6 g z rośliny, co odpowiada 6,17 t x ha⁻¹ (tj. o 39% wyżej od średniej ogólnej) istotnie najniższy plon był w roku 2015 średnio 26,9 g z rośliny, tj. 1,48 t x ha⁻¹ (mniejszy o 67%). Siedem odmian z 16 osiągnęło średni plon powyżej średniej z trzech lat (4,43 t x ha⁻¹). Odmiany najwyżej plonujące to: Amarak – 5,25 t x ha⁻¹, Aligator – 5,04 t x ha⁻¹ i Merlin – 5,00 t x ha⁻¹ Petrina 4,96 t x ha⁻¹, Galice 4,93 t x ha⁻¹ i Lissabon 4,91 t x ha⁻¹. Odmiany Gallec, Senator, Protina, Aldana i Lajma miały plon zbliżony do średniej. Poniżej średniej plonowały odmiany Annushka (3,91 t x ha⁻¹), Klaxon (3,86 t x ha⁻¹), Mavka (3,79 t x ha⁻¹), Violetta (3,68 t x ha⁻¹) i Augusta (3,44 t x ha⁻¹) – rys. 47. Plonowanie większości odmian było obciążone dużą i bardzo dużą zmiennością: Lajma 68,9%, Klaxon 64,9%, Protina 63,7%, Aldana 62%. Z kolei odmiany: Annushka i Aligator miały zmienność na poziomie umiarkowanym, tj. 11 i 22% (tab. 9).

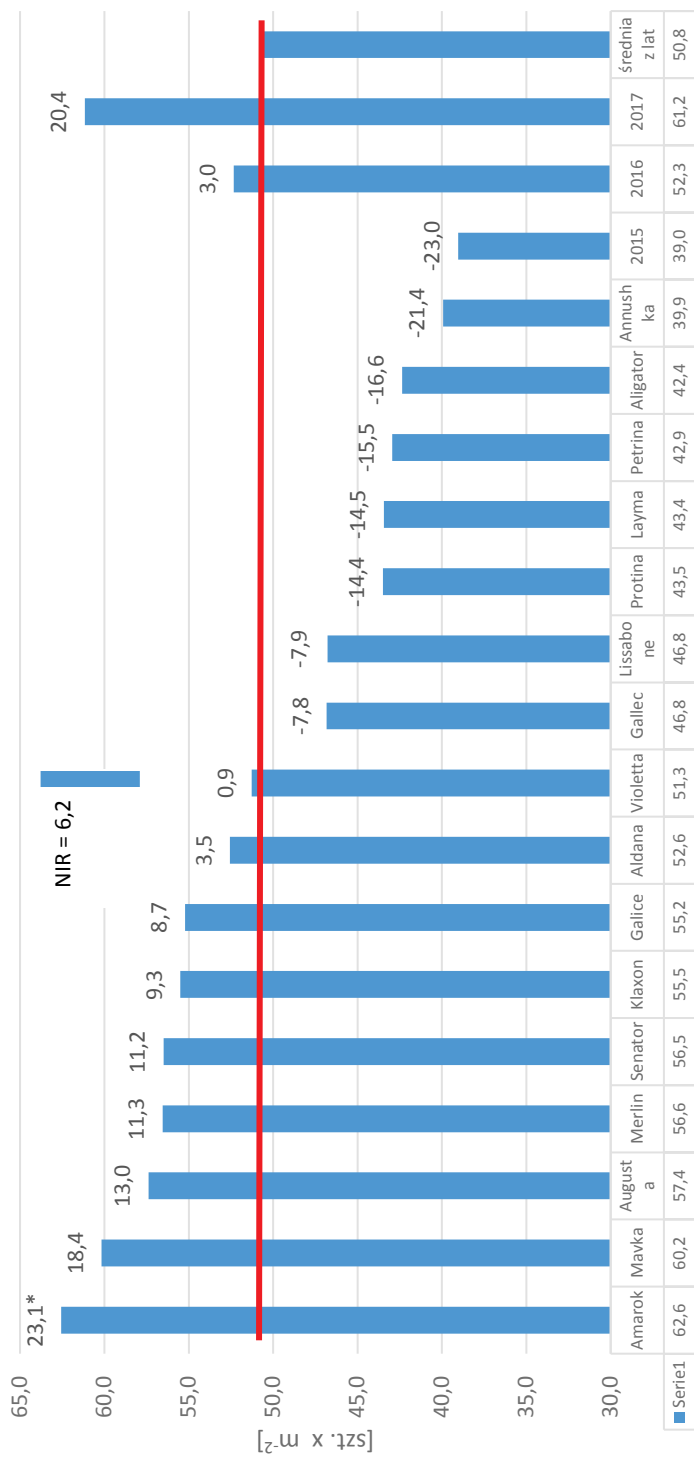
Dorodność nasion była zróżnicowana pomiędzy odmianami i latami badań. Średnio z lat rejestrowano masę tysiąca nasion na poziomie 169,6 g, najniższa była w roku 2015 tj. 145 g, natomiast najwyższa w 2016 średnio 195 g (rys. 48). Odmiany o masie tysiąca nasion powyżej średniej to: Aldana, Galice, Aligator, Gallec, Senator, Mavka, Petrina, Violetta. Odmiany Amarak, Lissabon, Klaxon, Lajma, Protina miały MTN zbliżoną do średniej z lat badań. Odmiany, których nasiona ważyły poniżej 150 g to Merlin, Annushka i Augusta.

Nasiona badanych odmian charakteryzowały się wysoką zawartością białka, średnia z lat wyniosła 39,5%. Najwyższą zawartość białka odnotowano u odmiany Galice średnio 45,6%, również wysoka wartość badanej cechy miały odmiany Petrina, Protina, Gallec, Aldana, Senator powyżej 40%. Najmniej białka w nasionach soi miały odmiany Aligator, Lissabon, Mavka, Lajma średnio 36% (rys. 49).

Tabela 9. Produkcja nasion soi (g z pojedynczej rośliny) na poletkach o powierzchni 6 m² w Mochełku.

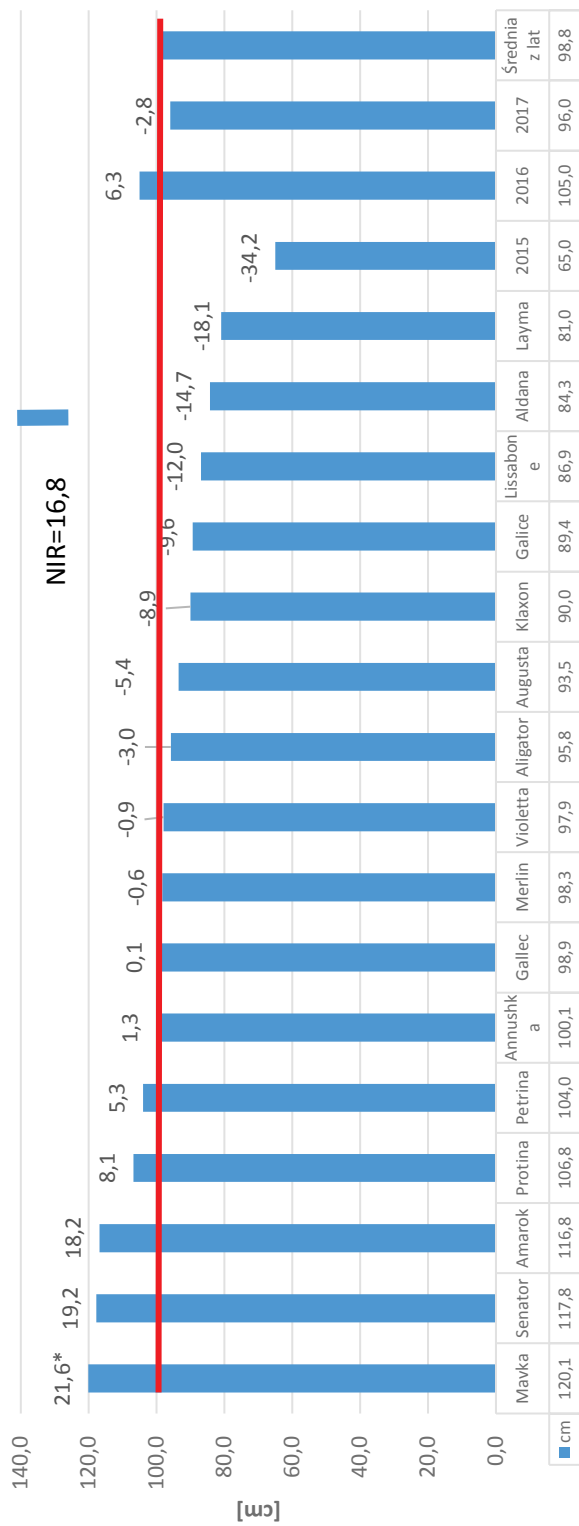
Odmiana	2015	2016	2017	Średnia z lat	CV (%)
Annushka	60,0	65,4	52,4	59,3	11,0
Violetta	16,4	58,7	50,3	41,8	53,6
Aldana	21,1	85,5	49,6	52,1	62,0
Aligator	55,3	85,4	64,8	68,5	22,5
Amarok	19,5	62,7	59,7	47,3	51,0
Galice	20,9	71,3	59,8	50,7	52,1
Gallec	38,6	85,0	50,2	57,9	41,7
Lajma	19,8	114,7	72,6	69,0	68,9
Lissabon	34,2	61,7	79,6	58,5	39,1
Mavka	16,5	48,4	42,9	35,9	47,5
Merlin	24,5	69,0	54,2	49,2	46,0
Petrina	32,1	114,0	58,3	68,1	61,4
Protina	16,1	84,7	81,2	60,7	63,7
Senator	26,1	64,6	42,5	44,4	43,5
Augusta	13,0	46,8	46,0	35,3	54,7
Klaxon	15,9	70,2	39,7	41,9	64,9
<i>średnia</i>	<i>26,9</i>	<i>74,3</i>	<i>56,5</i>	<i>52,5</i>	<i>49,0</i>

Zawartość tłuszczu w nasiona różniła się między odmianami i latami badań. Średnia zawartość tłuszczu w nasionach z lat badań wyniosła 19,81%. Najwięcej tłuszczu miały nasiona w roku 2015 średnio 21,4% najmniej w 2017r. – 18,60%. Nasiona odmiana Lissabon charakteryzowały się najwyższą zawartością tłuszczu średnio 22,4%. Nasiona odmian Violetta, Lajma, Amarok, Klaxon i Annushka zawierały tłuszcz powyżej średniej z lat badań około 20%. Najniższa wartość badanej cechy zaobserwowano u odmian: Protina Galice, Mavka, Petrina poniżej 19% (rys. 50).



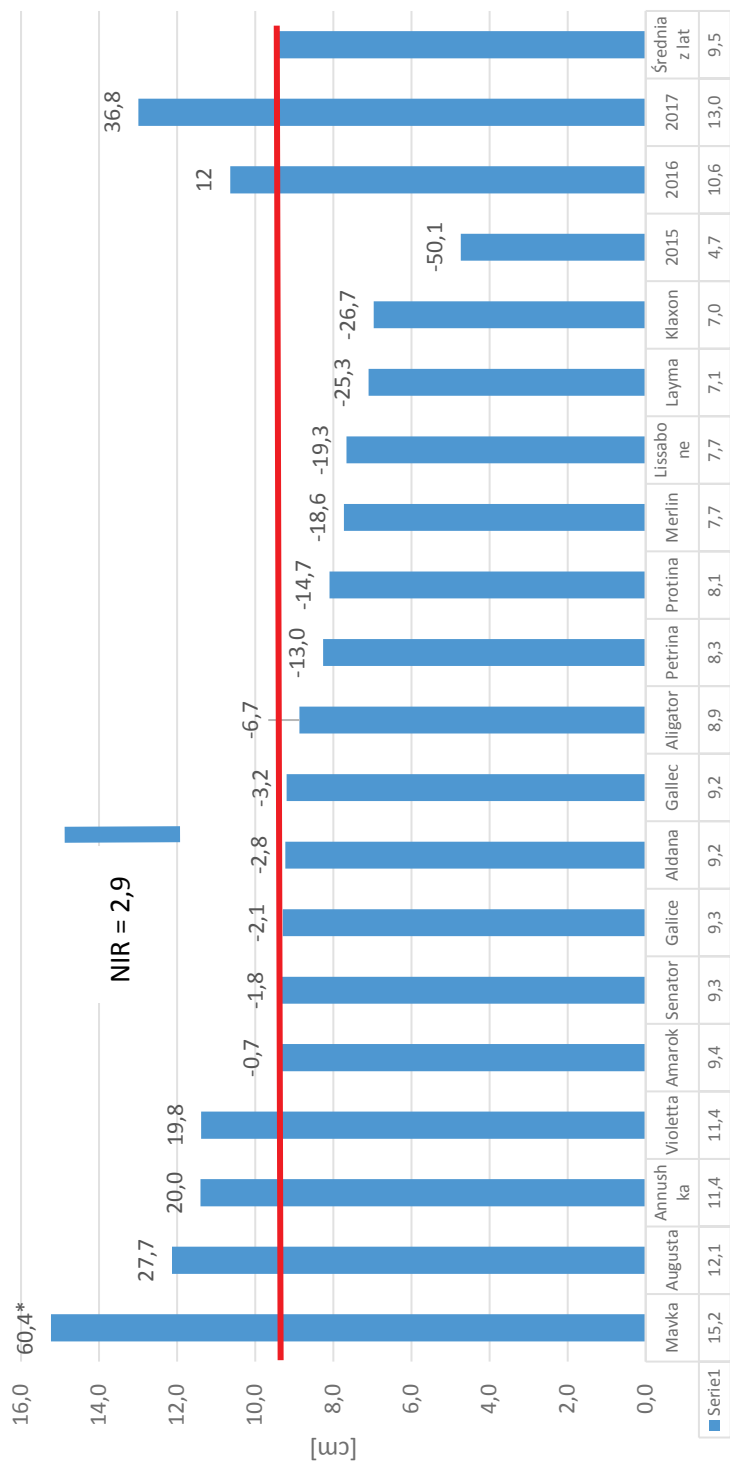
* - objaśnienia: odchylenia wartości od średniej ogólnej z lat w %

Rys. 41. Obsada roślin soi do zbioru w zależności od odmiany. Mochetek 2015-2017



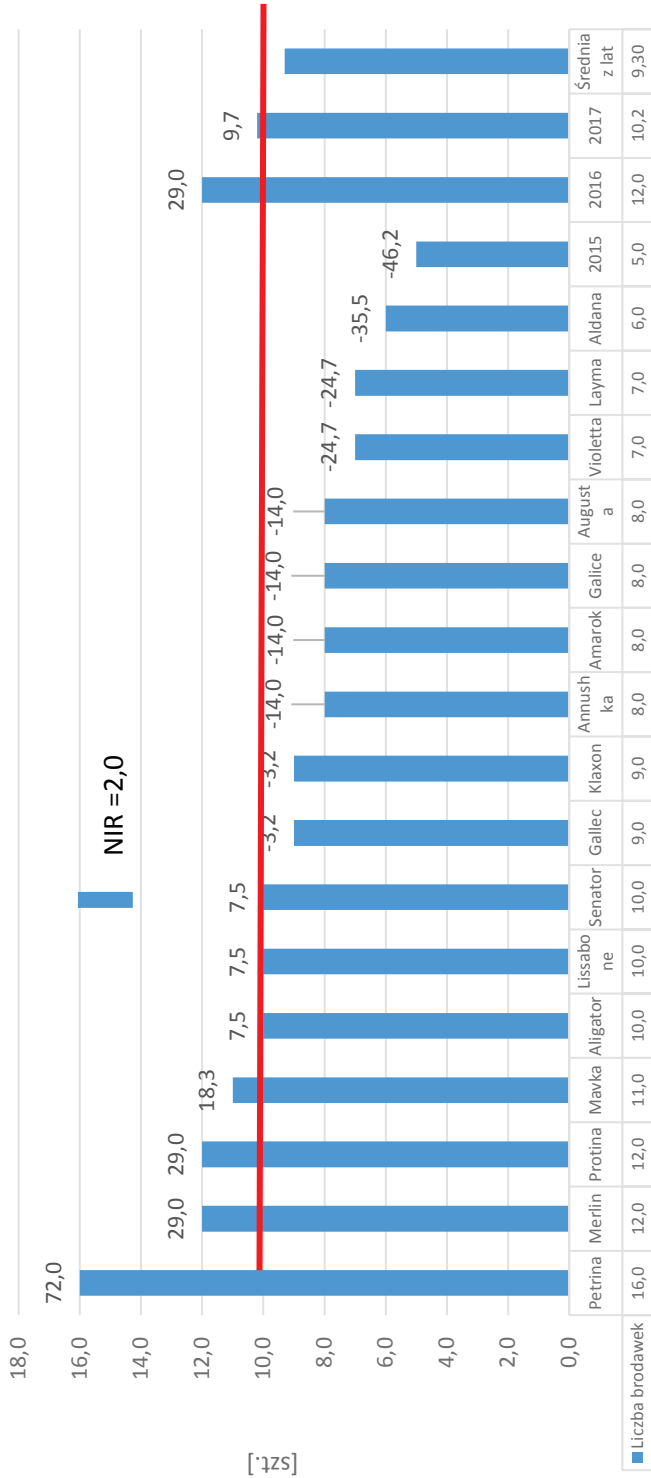
* - objaśnienia: odchylenia wartości od średniej ogólnej z lat w %

Rys. 42. Wysokość roślin soi w zależności od odmiany. Mochetek 2015-2017



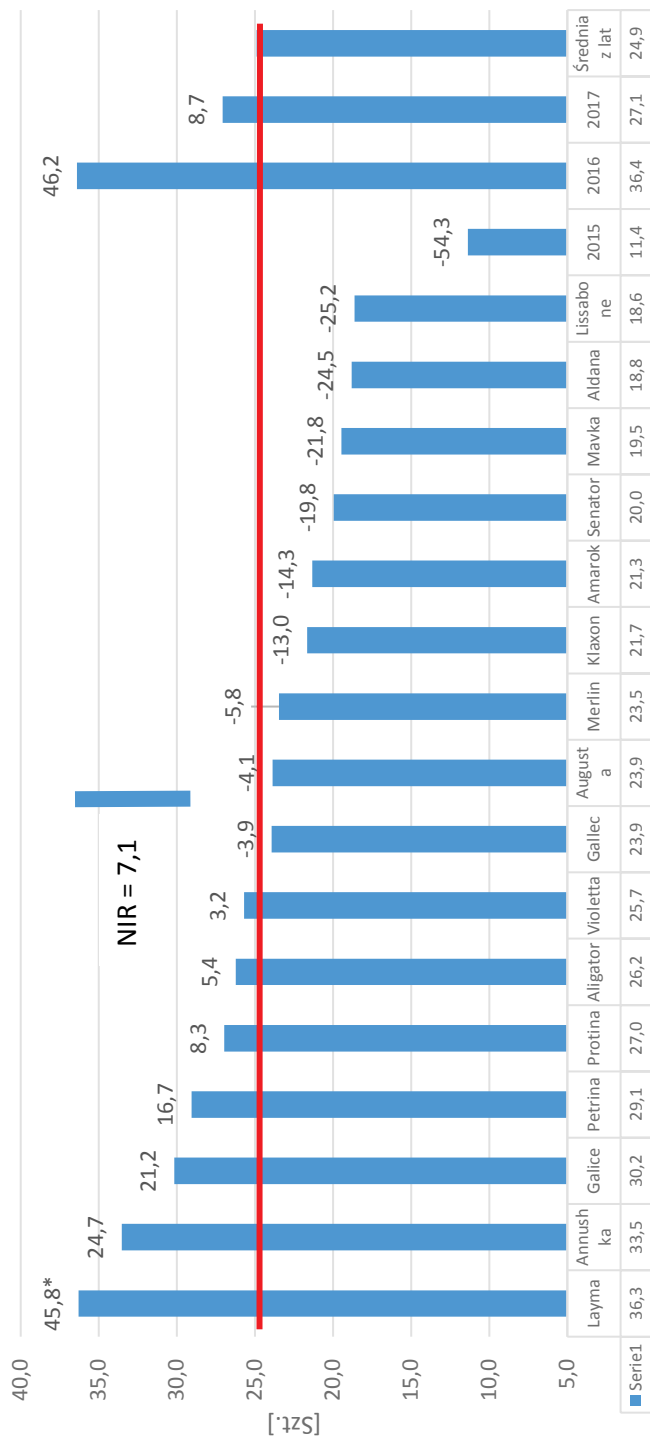
* - objaśnienia: odchylenia wartości od średniej ogólnej z lat w %

Rys. 43. Wysokość osadzenia pierwszego strąka soi na pędzie w zależności od odmiany. Mochelek 2015-2017



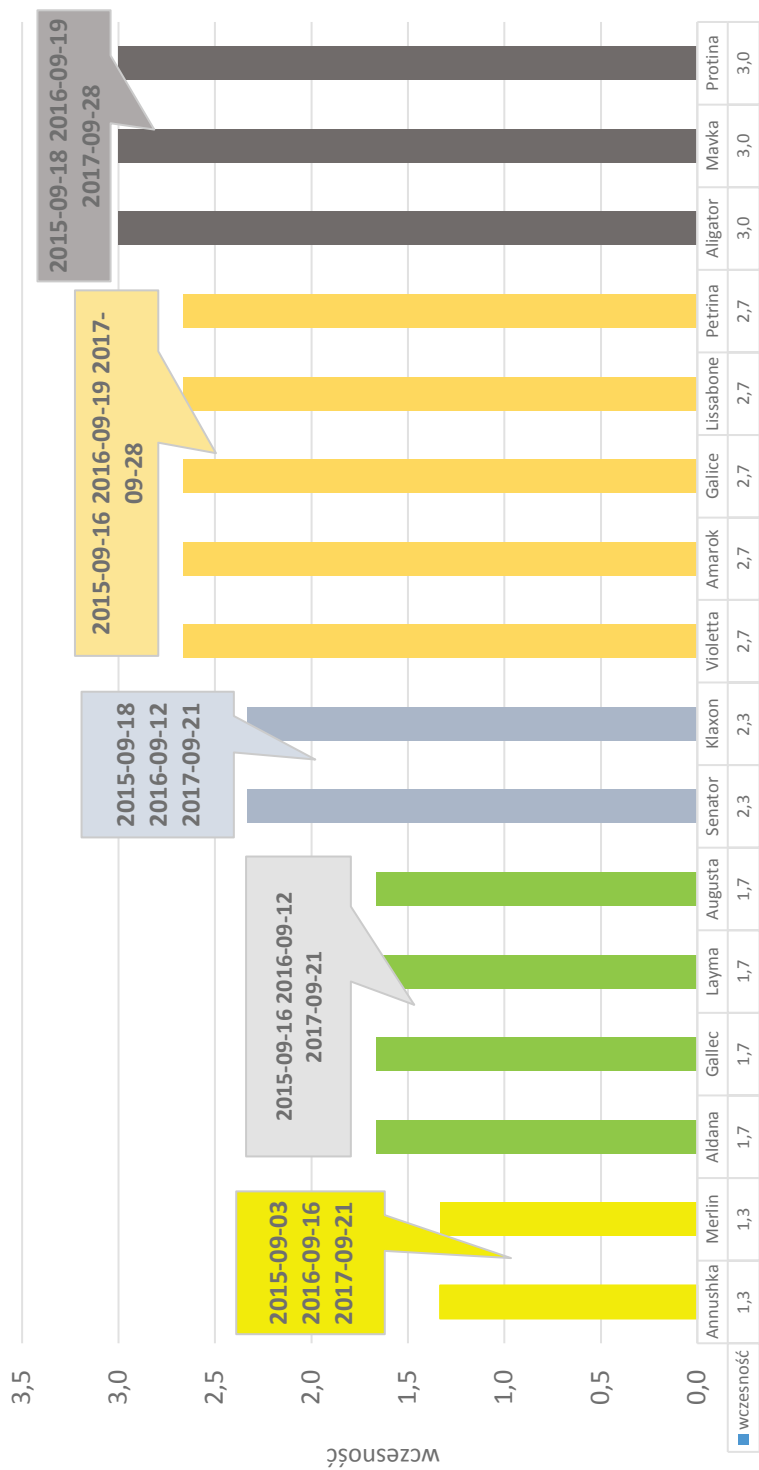
* - objaśnienia: odchylenia wartości od średniej ogólnej z lat w %

Rys. 44. Liczba brodawek na korzeniu soi w zależności od odmiany. Mochełek 2015-2017

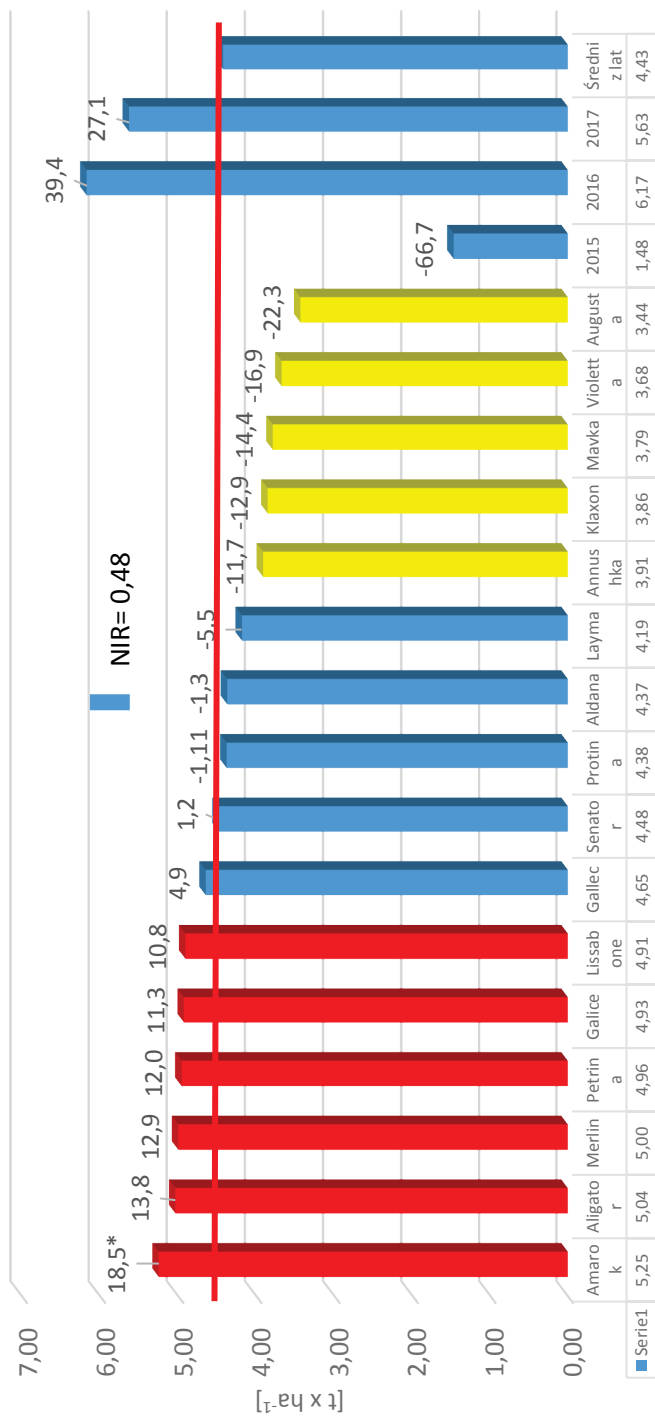


* - objaśnienia: odchylenia wartości od średniej ogólnej z lat w %

Rys. 45. Liczba strąków na roślinie soi w zależności od odmiany. Mochetek 2015-2017

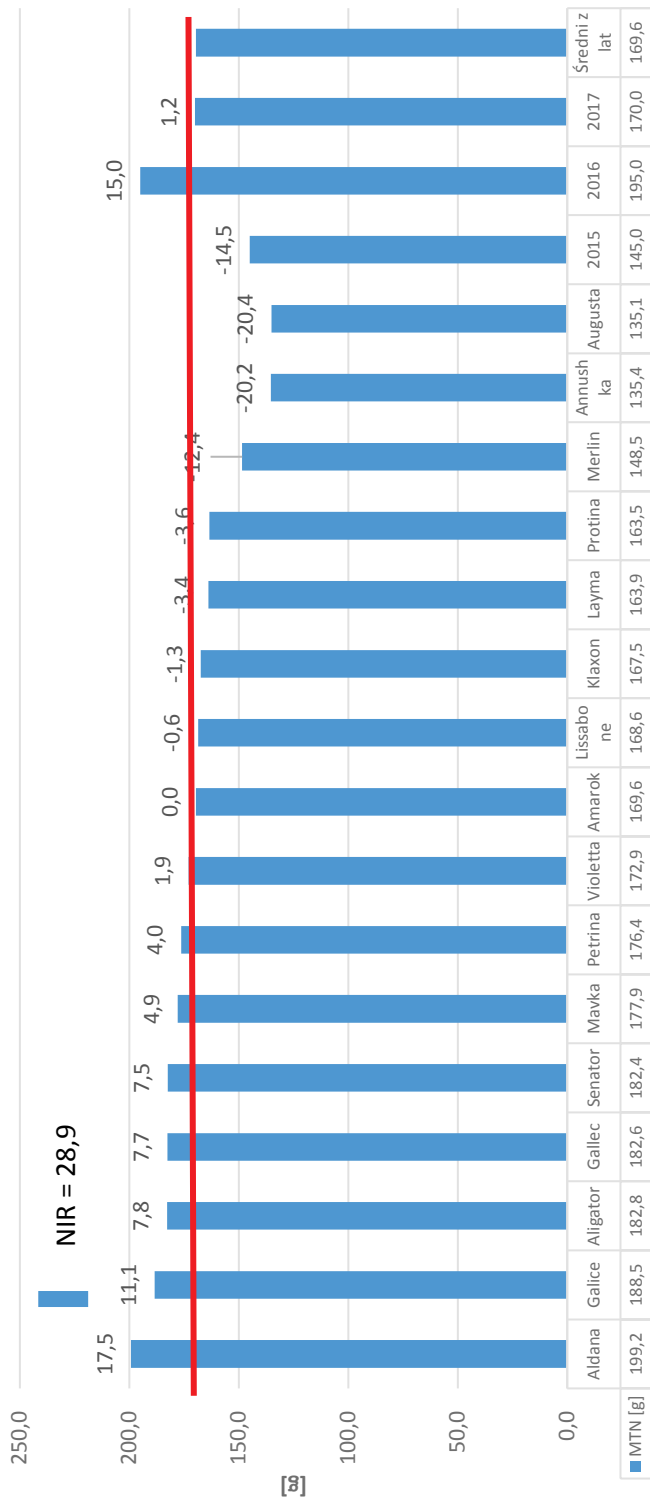


Rys. 46. Wczesność i terminy zbioru nasion soi. Mochelek 2015-2017



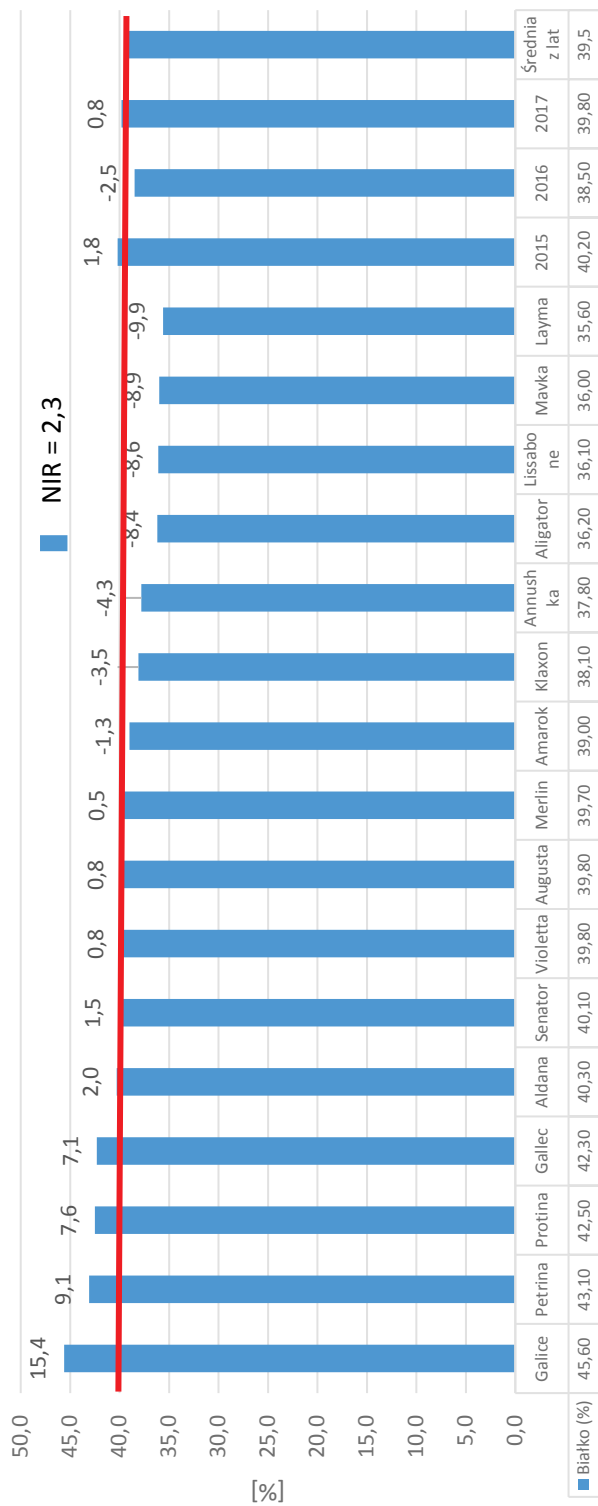
* - objaśnienia: odchylenia wartości od średniej ogólnej z lat w %

Rys. 47. Plon nasion soi przy wilgotności 14% w zależności od odmiany. Mochelek 2015-2017



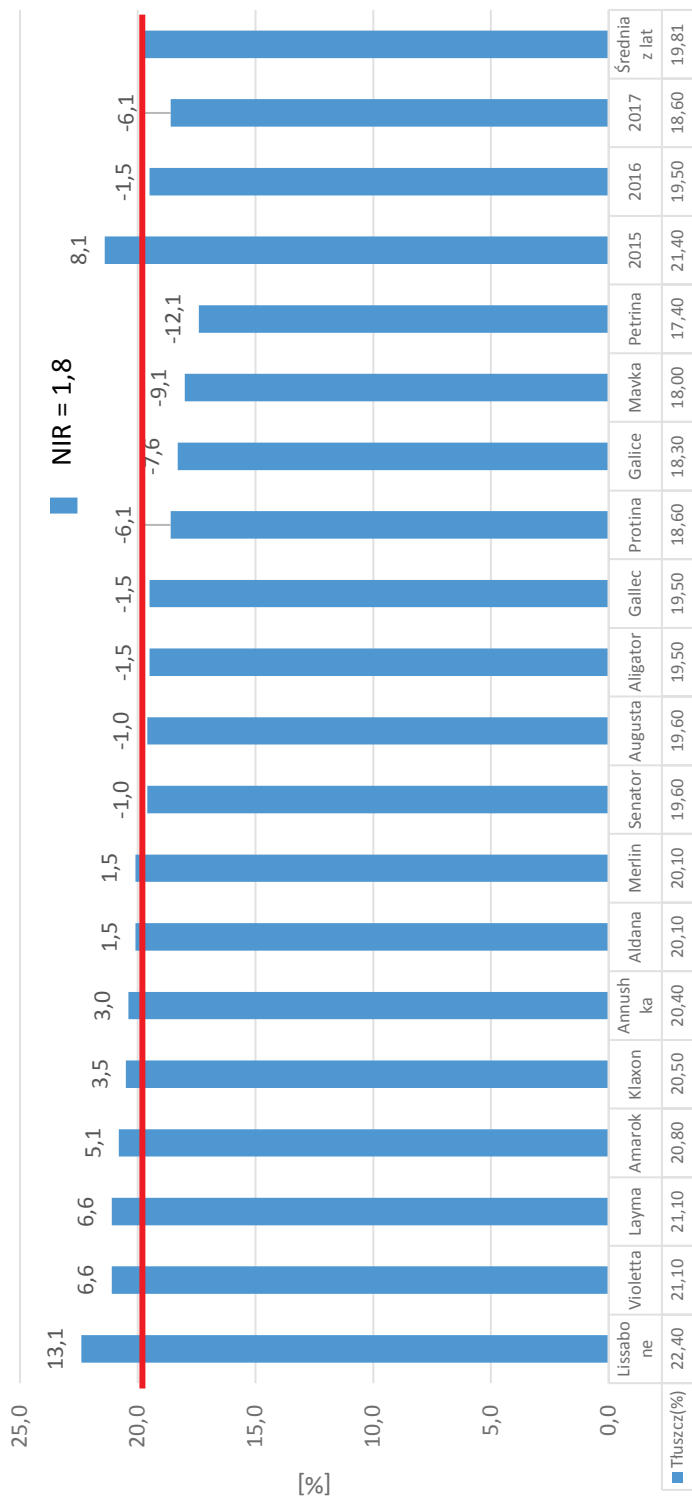
* - objaśnienia: odchylenia wartości od średniej ogólnej z lat w %

Rys. 48. Masa tyjąca nasion soi przy wilgotności 14% w zależności od odmiany. Mochetek 2015-2017



* - objaśnienia: odchylenia wartości od średniej ogólnej z lat w %

Rys. 49. Zawartość białka w nasionach soi, przy wilgotności 14% w zależności od odmiany. Mochetek 2015-2017



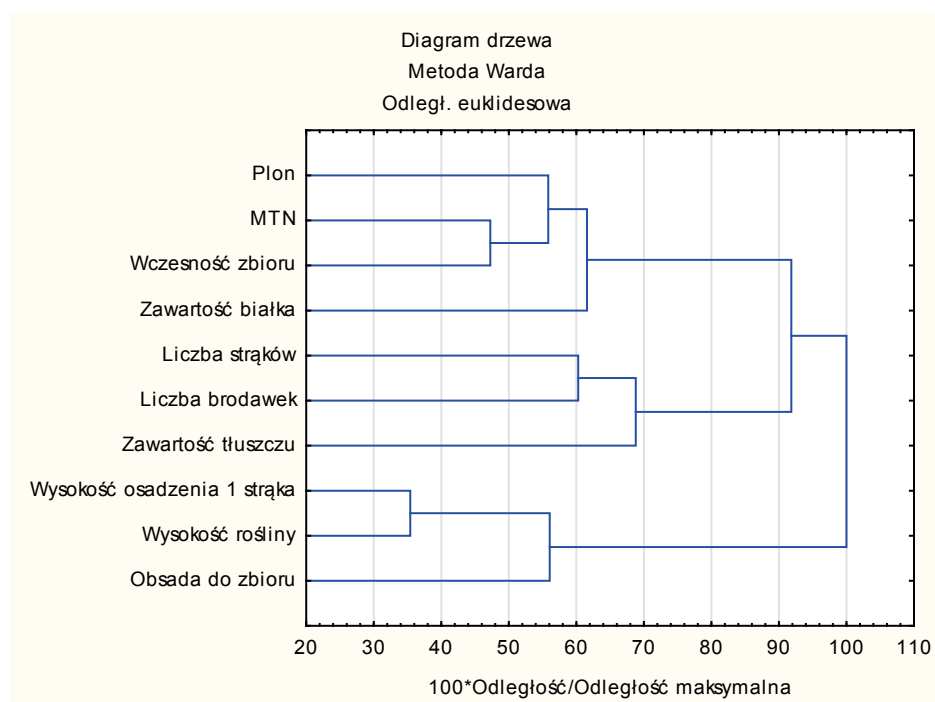
* - objaśnienia: odchylenia wartości od średniej ogólnej z lat w %

Rys. 50. Zawartość tłuszczu w nasionach soi, przy wilgotności 14% w zależności od odmiany. Mochelek 2015-2017

4.2.4. Analiza wielocechowego zróżnicowania soi oraz klasyfikacja odmian soi na podstawie analizy skupień oraz analizy składowych głównych (PCA)

Dendrogram, na którym zobrazowano bliskość połączeń pomiędzy cechami soi, powstał w oparciu o analizę skupień wykonaną na podstawie odległości euklidesowych pomiędzy cechami i metody ich aglomeracji według Warda. Odległości zostały zaprezentowane na drzewie w odległościach do 100 punktów, zgodnie z przeliczeniem w formule podanej na skali odciętej (rys. 51). Czytając wykres od najbliższego do najdalszego sąsiedztwa (na skali rzędnej od dołu), należy stwierdzić, że pomiędzy wysokością całkowitą roślin soi a wysokością osadzenia pierwszego strąka jest największe podobieństwo. Następnie do tych dwóch cech podobieństwem zbliża się obsada do zbioru. Te trzy cechy stanowią grupę cech, które bardzo są mało podobne do innych, w tym do elementów struktury plonu, samego plonowania i do jakości nasion.

Wczesność zbioru jest zbliżona do masy tysiąca nasion i te dwie charakterystyki są najbardziej powiązane z plonem nasion soi. Do tych cech dołącza zawartość białka. To skupienie czterech cech soi stanowi grupę najdalszego sąsiedztwa z grupą opisaną jako pierwsza. Pośrednie położenie na dendrogramie znalazły cechy takie jak: liczba strąków, liczba brodawek korzeniowych oraz zawartość tłuszczu.



Rys. 51. Dendrogram połączeń pomiędzy cechami soi, na podstawie 16 odmian

Dziesięć zmiennych (charakterystyk) uzyskanych jako średnie dla 16 odmian soi wykorzystano do wielowymiarowej analizy składowych głównych (PCA), nadając im symbole od x_1 do x_{10} według następującego porządkowania:

Y_1 i Y_2 – składowa pierwsza i składowa druga (rys. 52),

x_1 – Plon nasion

x_2 – Masa tysiąca nasion

x_3 – Wczesność zbioru

x_4 – Wysokość osadzenia pierwszego strąka

x_5 – Liczba strąków

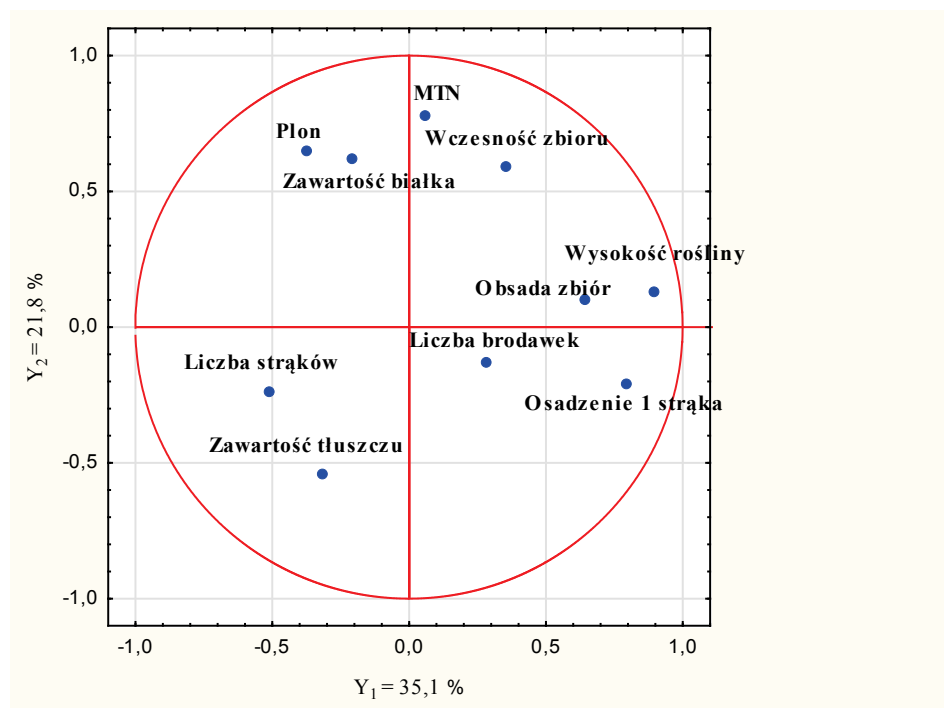
x_6 – Obsada do zbioru

x_7 – Wysokość rośliny

x_8 – Liczba brodawek

x_9 – Zawartość białka

x_{10} – Zawartość tłuszczu



Rys. 52. Projektacja cech soi na płaszczyznę czynników

PCA dla 16 odmian soi wykazała, że pierwsza składowa (Y_1), która wygenerowała 35,1% całkowitej wariancji ma następujące ładunki czynnikowe dla poszczególnych cech:

$$Y_1 = -0,372 x_1 + 0,058 x_2 + 0,359 x_3 + \mathbf{0,800} x_4 - 0,505 x_5 + \mathbf{0,642} x_6 + \mathbf{0,899} x_7 + 0,286 x_8 - 0,203 x_9 - 0,314 x_{10}$$

Jest to składowa, która odpowiada istotnie za wysokość rośliny soi, osadzenie strąka na pędzie i obsadę podczas zbioru soi, a dodatnie wartości tych ładunków oznaczają, że im większe natężenie tych cech, tym większą rolę pełni ich udział w Y_1 . Ujemne wartości, aczkolwiek nie potwierdzone statystycznie, mają w składowej Y_1 takie cechy jak: plon nasion, liczba strąków, zawartości białka i tłuszczu.

Druga składowa (Y_2), która wyodrębniła 21,8% całkowitej wariancji ma następujące ładunki dla poszczególnych cech:

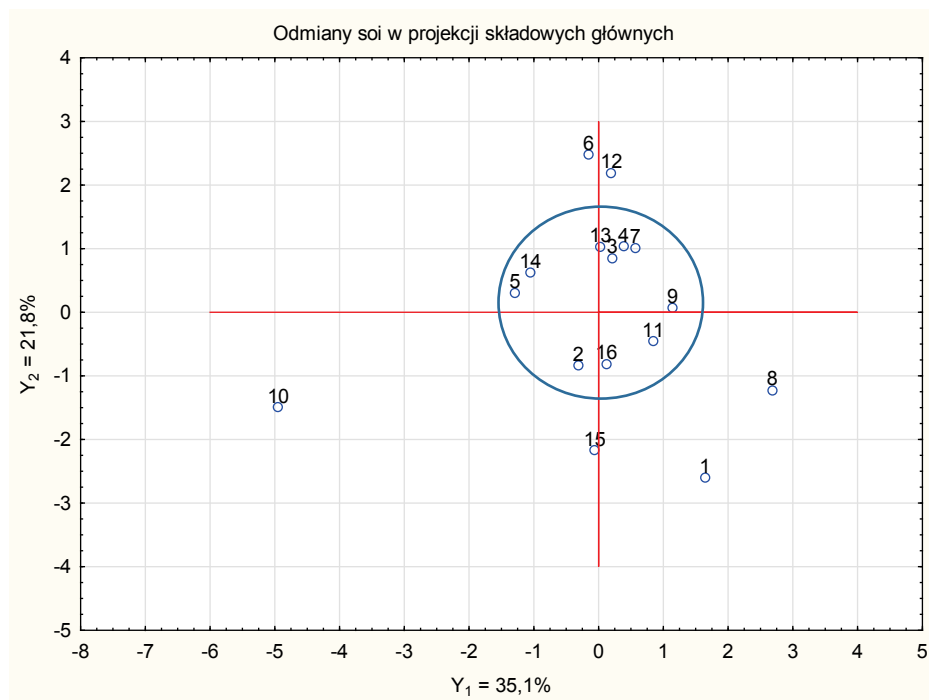
$$Y_2 = \mathbf{0,646} x_1 + \mathbf{0,778} x_2 + \mathbf{0,586} x_3 - 0,211 x_4 - 0,239 x_5 + 0,099 x_6 + 0,124 x_7 - 0,132 x_8 + \mathbf{0,615} x_9 - \mathbf{0,546} x_{10}$$

Składowa druga jest istotnie i dodatnio powiązana z plonem nasion, masą tysiąca nasion oraz ze wczesnością do zbioru. Ponadto dla tej składowej ładunkowo dodatnio jest powiązana zawartość białka, natomiast przeciwnie z nią jest powiązana zawartość tłuszczu. Oznacza to, że odmiany soi mają przeciwny kierunek wpływu na zawartość białka i tłuszczu. Pozytywnie z dorodnością nasion i jego produktywnością nasion jest powiązane białko, natomiast tłuszcz ujemnie. Warunki PCA – rotację czynników wykonano metodą *varimax* znormalizowana, wyodrębniono dwie składowe główne, które wygenerowały.

Składowa	Wartości własne			
	Wartość własna	% ogółu wariancji	Skumulowana Wartość własna	Skumulowana %
1	3,51	35,1	3,51	35,1
2	2,18	21,8	5,69	56,9

Obliczone na podstawie korelacji, współrzędne czynnikowe dla odmian soi wykazują największe dodatnie znaczenie składowej Y_1 dla odmian takich jak Anushka i Lajma. Dla przypomnienia jest to składowa istotnie dodatnio powiązana z wysokością rośliny, z osadzeniem pierwszego strąka i obsadą do zbioru (rys. 53).

Znaczenie składowej drugiej (która odpowiada istotnie i dodatnio za plon nasion, masę tysiąca nasion oraz za wczesność do zbioru) miało największe znaczenie dla odmian Galice i Petrina. Najwięcej odmian znalazło bardzo neutralne położenie w klasyfikacji obydwu składowych (zaznaczone w kole na rys. 53).



Objaśnienia: 1 – Annushka; 2 – Violetta, 3 – Aldana; 4 – Aligator; 5 – Amarak; 6 – Galice; 7 – Gallec; 8 – Lajma, 9 – Lissabon; 10 – Mavka; 11 – Merlin; 12 – Petrina; 13 – Protina; 14 – Senator; 15 – Augusta; 16 – Klaxon

Rys 53. Klasyfikacja odmian soi według składowych głównych

4.3. Wyniki z doświadczenia w Grocholinie

4.3.1. Obsada po wschodach, obsada do zbioru oraz ubytki roślin w czasie wegetacji soi

Obsada roślin soi zarówno po wschodach jak i do zbioru była pod wysokim wpływem badanych czynników doświadczalnych oraz wykazywała istotne zróżnicowanie w latach badań, a także w interakcji lata x odmiana (tab. 10 i 11). Istotnie najwyższą obsadę po wschodach rejestrowano w roku 2016 i 2017, średnio odpowiednio 58,6 szt. x m⁻² i 57,6 szt. x m⁻² (rys. 54A). Ubytki wegetacyjne w latach badań były nierównomierne, w 2015 wyniosły 22,6%, w 2016 8,7%, a w 2017 24,8% (tab. 12), co spowodowało, że w roku 2016 obsada do zbioru była istotnie wyższa niż w pozostałych latach i wyniosła 53,5 szt. x m⁻² (rys. 54B).

Tabela 10. Wyniki ANOVA dla obsady soi po wschodach

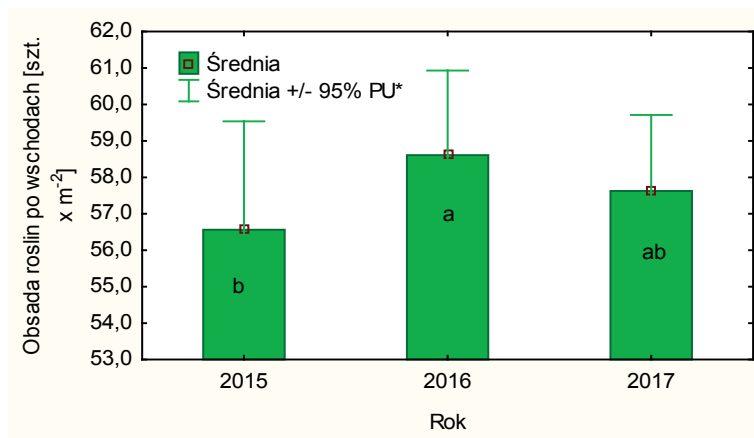
Efekt	Statystyki obliczone			
	df _{efekt}	MS _{efekt}	F	p
Rok	2	67,1	4,49	< 0,01
Odmiana	7	1421	65,1	< 0,001
Inokulant	3	55,8	3,74	< 0,01
Odmiana x inokulant	21	53,4	3,57	< 0,001
Rok x odmiana	14	362	24,2	< 0,001
Rok x inokulant	6	22,1	1,68	> 0,05
Rok x odmiana x inokulant	42	21,4	1,44	> 0,05

Tabela 11. Wyniki ANOVA dla obsady soi do zbioru

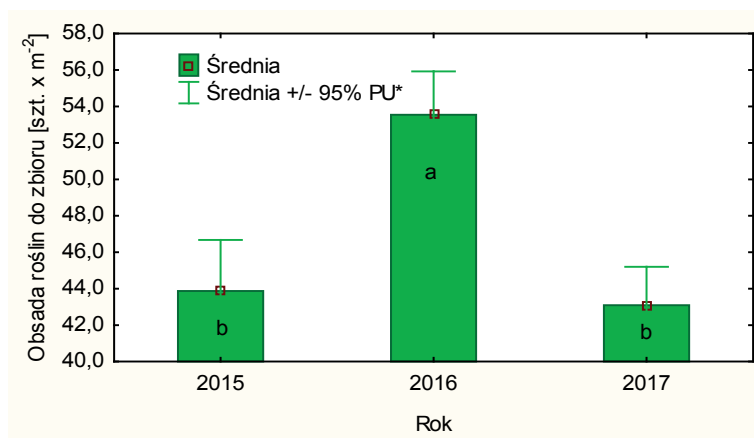
Efekt	Statystyki obliczone			
	df _{efekt}	MS _{efekt}	F	p
Rok	2	2169	154,7	< 0,001
Odmiana	7	1050	74,9	< 0,001
Inokulant	3	59,9	4,27	< 0,01
Odmiana x inokulant	21	43,3	3,09	< 0,001
Rok x odmiana	14	504,6	35,9	< 0,001
Rok x inokulant	6	23,8	1,7	> 0,05
Rok x odmiana x inokulant	42	26,6	1,9	< 0,05

Odmiany soi wysoce istotnie różniły się pod względem obsady roślin po wschodach i do zbioru. Najwyższą obsadę po wschodach miały Aldana i Amarak, odpowiednio – 67,2 i 65,8 szt. x m⁻². Nieco mniejszą odmiana Annushka – 63,7 szt. x m⁻². Poniżej 60 szt. na m² miały odmiany Augusta, Klaxon, Lajma i Violetta (rys. 55A).

A



B

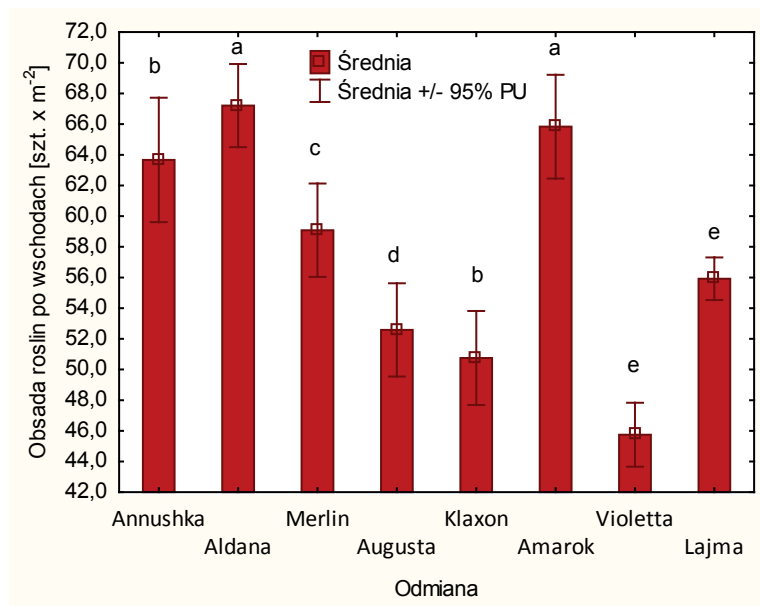


Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey'a dla $p = 0,05$.

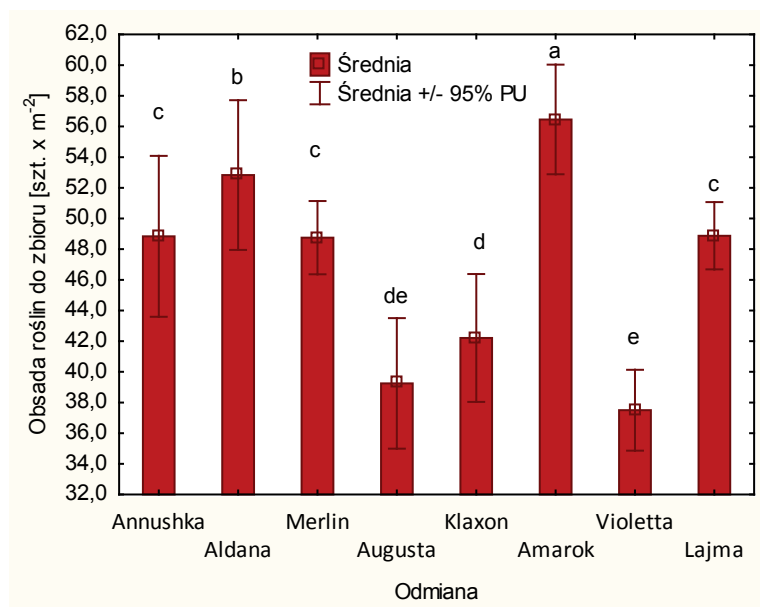
Rys. 54. Obsada roślin soi w latach badań w Grocholinie

W latach badań obsada poszczególnych odmian po wschodach była nierównomierna. Odmiany Annushka, Lajma i Merlin miały najwyższą obsadę w roku 2015, podczas gdy pozostałe odmiany najwyższą miały w latach 2016 i 2017 (rys. 55A). Ubytki w trakcie wegetacji roślin również były nierównomierne dla odmian soi. W najmniejszym stopniu dotyczyły one takich odmian jak Lajma i Amarak, odpowiednio 12,7% i 14,2% (tab. 12). Natomiast w największym stopniu dotyczyły odmian: Augusta, Annushka i Aldana – powyżej 25%.

A



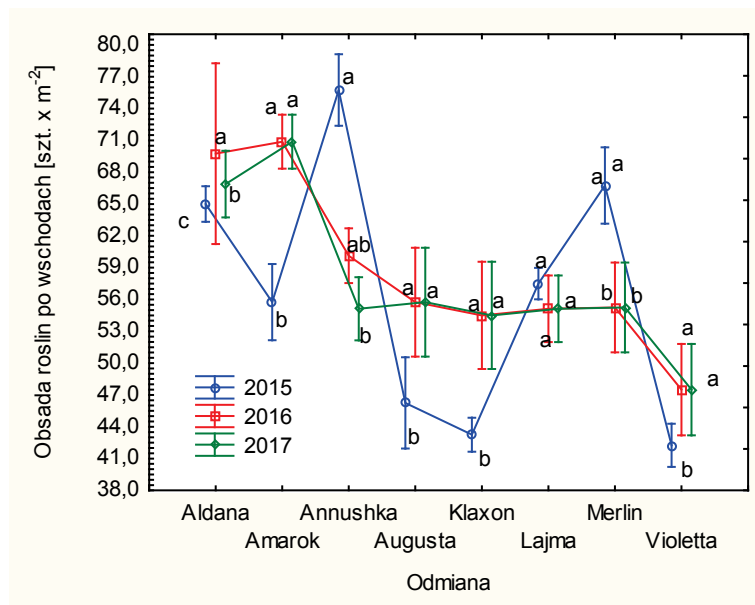
B



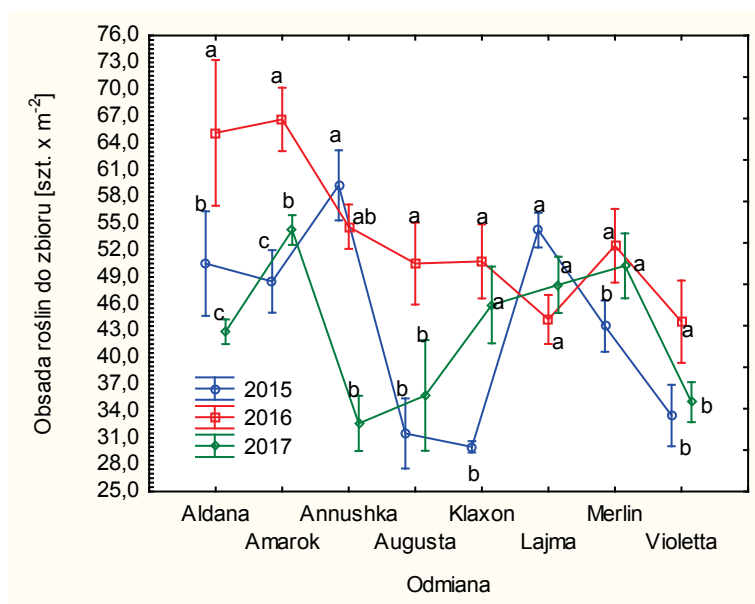
Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey'a dla $p = 0,05$.

Rys. 55. Obsada roślin soi w zależności od odmiany w Grocholinie

A



B



Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey’*a* dla $p = 0,05$.

Rys. 56. Obsada roślin soi w zależności od odmiany w latach badań w Grocholinie

Obsada roślin soi do zbioru kształtowała się na poziomie od 37,5 na m² dla Violetta do 56,6 na m² dla Amaroaka (rys. 55B).

W poszczególnych latach badan odmiany miały różną obsadę do zbioru. W roku 2016 sześć odmian miało istotnie najwyższą obsadę tj. Aldana, Amarak, Augusta, Klaxon, Merlin i Violetta (rys. 56B).

Zastosowane inokulanty do szczepienia nasion soi miały istotny wpływ na obsadę roślin po wschodach, obsadę do zbioru, jednakże nie spowodowały różnic w latach badań (tab. 10 i 11).

Średnio najwyższą obsadę po wschodach miała soja po zastosowaniu HiStick i Biofixin-S – odpowiednio 58,5 i 58,3 na m² (rys. 57A). Istotnie najmniejszą obsadę miała soja po wschodach (56,1 na m²), gdy jej nasiona były pokryte Nitraginą (jako kontrola).

Obsada do zbioru również wykazywała zróżnicowanie pod wpływem zastosowanego inokulanta. Pod wpływem HiStick i Biofixin-S, uzyskano najwyższą obsadę roślin do zbioru, tj. 47,9 i 47,6 na m² (rys. 57B), co stanowiło o 2 rośliny więcej niż w kontroli z Nitraginą.

Odmiany zareagowały współdziałająco z inokulantem na wschody, co wyraźnie w analizie wariancji zostało potwierdzone ($F = 3,57, p < 0,001$).

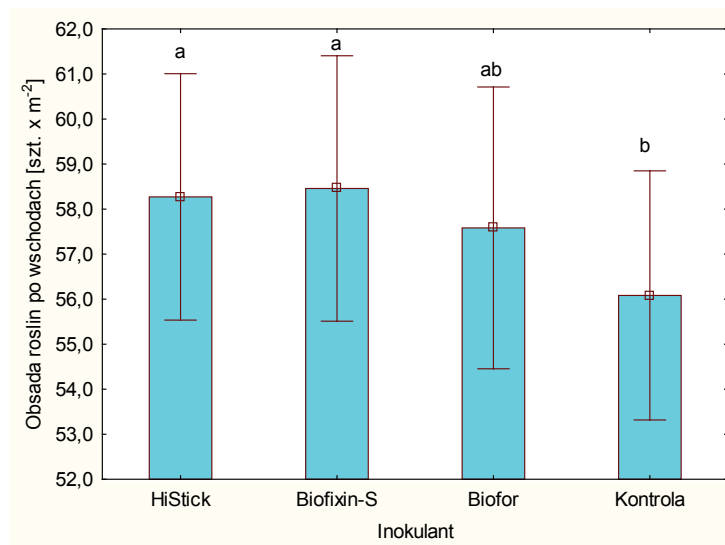
Średnia obsada po wschodach była najwyższą po zastosowaniu Biofor lub Biofixin-S w przypadku takich odmian jak Amarak i Merlin, natomiast w przypadku Lajma, Augusta i Aldana – po zastosowaniu HiStick (rys. 58A). W przypadku Annushki wszystkie inokulanty miały jednakowy wpływ na obsadę powschodową.

Ubytki w trakcie wegetacji soi dotyczyły wszystkich odmian w interakcji z inokulantem, którego użyto do szczepienia.

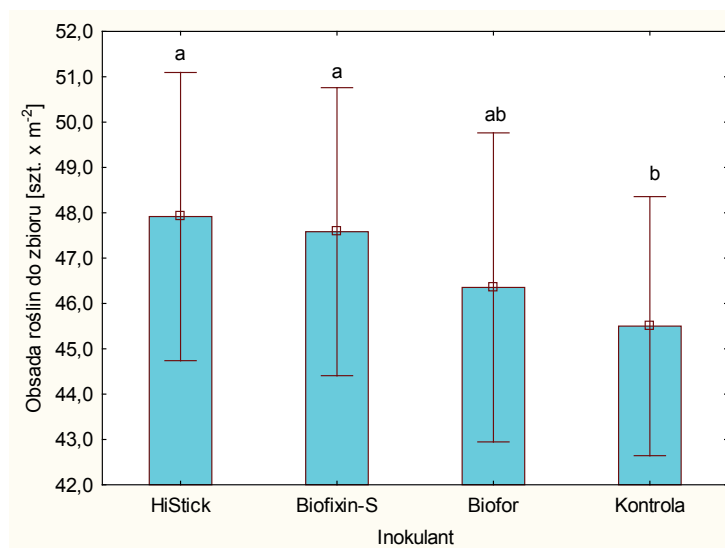
W przypadku takich odmian jak Annushka, Augusta czy Aldana ubytki były na poziomie około 25%, podczas gdy u odmian Amarak i Lajma około 15%, i wystąpiły w stopniu równomiernym przy różnych inokulantach (tab. 12).

Obsada do zbioru w odniesieniu do reakcji odmian na inokulanty miała podobny obraz do tej opisanej dla obsady po wschodach. Jednakże należy zauważyć, że różnice były mniejsze pomiędzy inokulantami (rys. 58B).

A



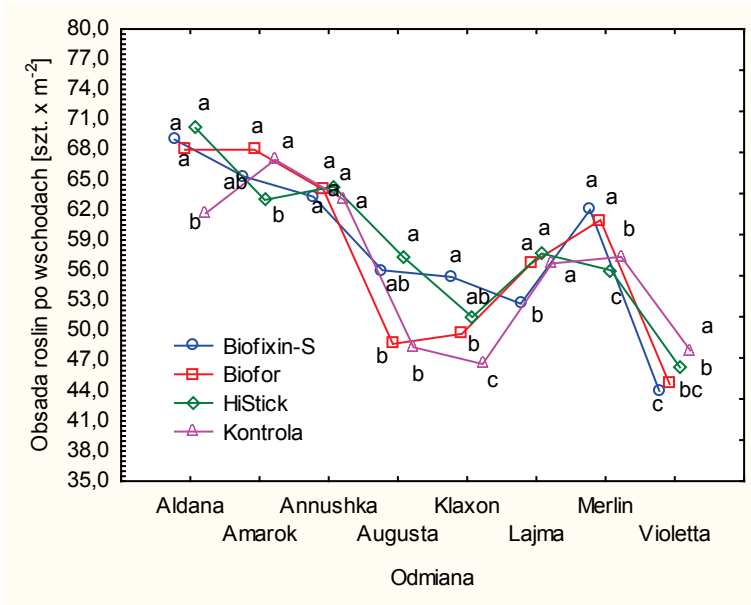
B



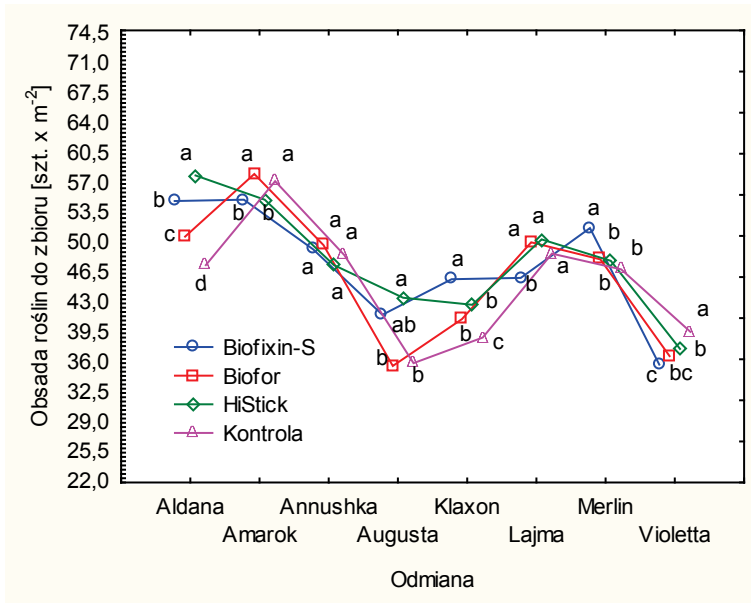
Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey'a dla $p = 0,05$.

Rys. 57. Obsada roślin soi w zależności od inokulanta w Grocholinie

A



B



Objaśnienia: a, b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey’a dla $p = 0,05$.

Rys 58. Obsada roślin soi w zależności od odmiany i inokulantu w Grocholinie

Tabela 12. Ubytki roślin soi w czasie wegetacji (%) w latach badań 2015-2017 w zależności od odmiany i inokulanta.

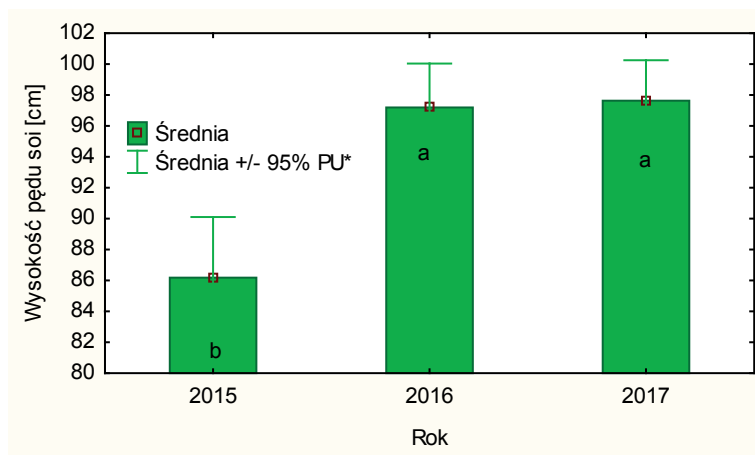
Odmiana	Rok	Biofixin-S	Biofor	HiStick	Kontrola
Annushka	2015	17,3	18,8	29,5	21,4
	2016	12,3	8,6	8,1	7,4
	2017	39,7	41,2	43,2	39,4
	<i>Średnia</i>	<i>23,1</i>	<i>22,9</i>	<i>26,9</i>	<i>22,7</i>
Aldana	2015	20,0	33,3	11,8	25,0
	2016	10,0	5,5	5,3	5,7
	2017	32,2	38,2	36,8	35,7
	<i>Średnia</i>	<i>20,8</i>	<i>25,7</i>	<i>18,0</i>	<i>22,1</i>
Merlin	2015	32,3	44,3	29,5	32,4
	2016	4,0	5,3	4,6	6,0
	2017	11,4	7,9	6,6	9,8
	<i>Średnia</i>	<i>15,9</i>	<i>19,2</i>	<i>13,6</i>	<i>16,1</i>
Augusta	2015	30,0	40,5	30,8	26,8
	2016	12,7	9,5	8,4	6,7
	2017	34,5	30,1	32,2	43,3
	<i>Średnia</i>	<i>25,7</i>	<i>26,7</i>	<i>23,8</i>	<i>25,6</i>
Klaxon	2015	28,6	35,6	31,1	26,8
	2016	8,7	6,7	4,6	7,0
	2017	17,8	11,7	16,5	17,1
	<i>Średnia</i>	<i>18,3</i>	<i>18,0</i>	<i>17,4</i>	<i>17,0</i>
Amarok	2015	14,3	11,3	11,8	14,8
	2016	8,0	7,1	5,8	3,4
	2017	24,3	24,6	19,5	25,2
	<i>Średnia</i>	<i>15,5</i>	<i>14,3</i>	<i>12,4</i>	<i>14,5</i>
Violetta	2015	22,0	25,0	23,8	13,0
	2016	9,0	3,1	6,4	11,1
	2017	24,4	24,0	26,3	27,7
	<i>Średnia</i>	<i>18,4</i>	<i>17,4</i>	<i>18,9</i>	<i>17,3</i>
Lajma	2015	8,9	3,6	5,2	5,0
	2016	14,6	18,3	19,1	26,4
	2017	14,8	12,2	13,0	10,8
	<i>Średnia</i>	<i>12,8</i>	<i>11,4</i>	<i>12,4</i>	<i>14,1</i>
<i>Średnia</i>		<i>18,8</i>	<i>19,4</i>	<i>17,9</i>	<i>18,7</i>

4.3.2. Wysokość pędu oraz osadzenie pierwszego strąka na roślinie soi

Tabela 13. Wyniki ANOVA dla wysokości pędu soi

Efekt	Statystyki obliczone			
	df _{efekt}	MS _{efekt}	F	p
Rok	2	2694	60,0	< 0,001
Odmiana	7	1164	25,9	< 0,001
Inokulant	3	262	5,83	< 0,05
Odmiana x inokulant	21	106	2,36	= 0,05
Rok x odmiana	14	859	19,3	< 0,01
Rok x inokulant	6	50,0	1,11	> 0,05
Rok x odmiana x inokulant	42	66	1,46	> 0,05

Badane czynniki doświadczalne miały wysoki wpływ na długość pędu roślin soi, Zaobserwowano również zróżnicowanie badanej cechy w latach badań oraz w interakcji rok x odmiana (tab. 13). W roku 2015 rośliny wykształciły istotnie mniejsze pędy o długości średnio 86,2 cm, w pozostałych latach 2016 i 2017 soja miała zbliżoną wysokość średnio 97,2 cm i 97,6 cm (rys. 59).



Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey'a dla $p = 0,05$.

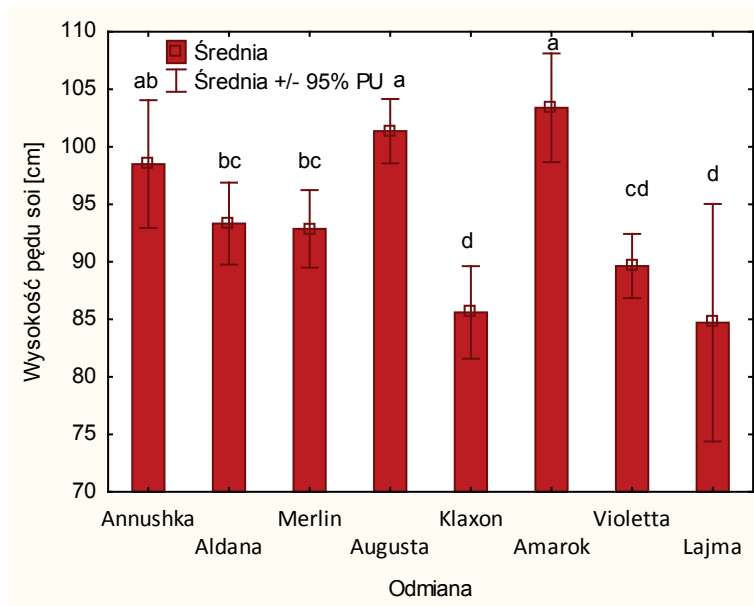
Rys. 59. Wysokość pędu roślin soi w latach badań w Grocholinie

Wysokość roślin istotnie różniła się w zależności od odmiany. Najdłuższe pędy miały odmiany Amarak 103,4 cm i Augusta 101,4 cm, nieco niższa była odmiana Annushka 98,5 cm. Odmiany Aldana, Merlin, Violetta wykształciły pęd o długości około 90 cm. Najkrótszy pęd miały odmiany Klaxon i Lajma odpowiednio – 85,6 cm i 84,7 cm (rys. 60).

Rodzaj zastosowanego inokulanta miał istotny wpływ na wysokość soi. Rośliny, gdzie nasiona inokulowano preparatem HiStick były najwyższe średnio 96,9 cm, wysokość soi zaszczeplonej Biofixin-S oraz Biofor była zbliżona około 93 cm, istotnie najniższe były rośliny, gdzie nasiona pokryto Nitraginą (kontrolna) 91,5 cm (rys. 61).

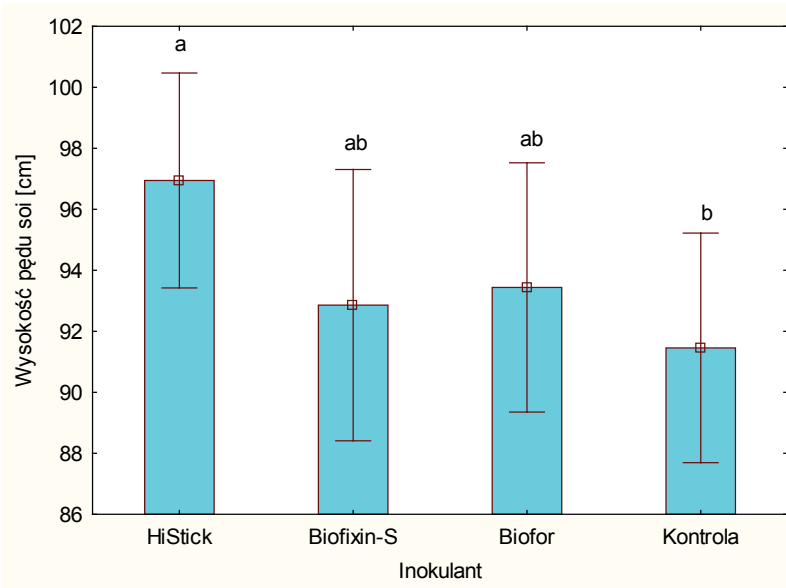
Istotny wpływ na wysokość poszczególnych odmian miał rok badań co zostało potwierdzone przez analizę wariancji ($F = 19,3, p < 0,01$). W 2015 roku na odmianach Amarak, Augusta, Klaxon, Lajma i Merlin zaobserwowano istotnie krótsze pędy niż w pozostałych latach badań, natomiast odmiany Aldana oraz Annushka miały pierwszym roku pędy dłuższe niż 2016 i 2017 roku (rys. 62).

Wysokość poszczególnych odmian soi różniła się w zależności od zastosowanego inokulanta. Z pośród czterech badanych preparatów istotny wpływ na wysokość roślin miał HiStick po którym odnotowano u wszystkich badanych odmian najdłuższe pędy (rys. 63). Najkrótsze pędy miały rośliny kontrolne odmiany Lajma i po zastosowaniu preparatu Biofor odmiana Klaxon.



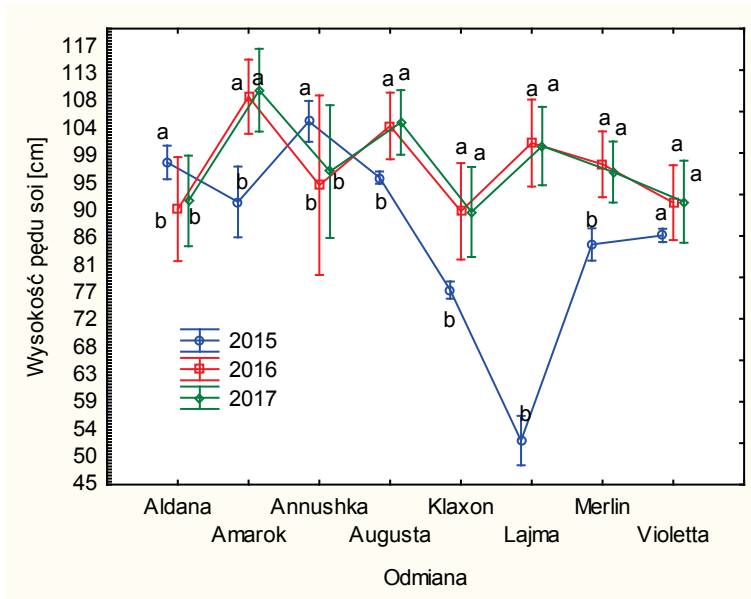
Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey'a dla $p = 0,05$.

Rys. 60. Wysokość pędu roślin soi w zależności od odmiany w Grocholinie



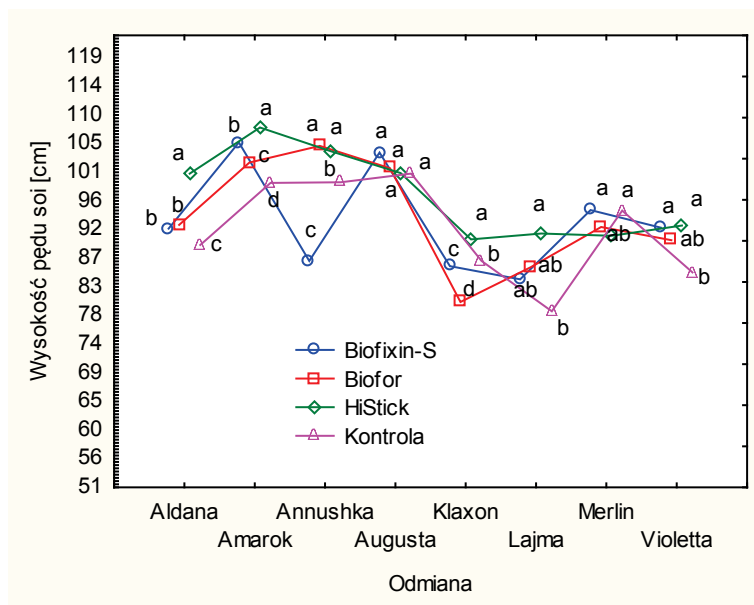
Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey’a dla $p = 0,05$.

Rys. 61. Wysokość pędu roślin soi w zależności od inokulanta w Grocholinie



Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey’a dla $p = 0,05$.

Rys. 62. Wysokość pędu roślin soi w zależności od odmiany w latach badań w Grocholinie



Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey’a dla $p = 0,05$.

Rys. 63. Wysokość pędu roślin soi w zależności od odmiany i inokulanta w Grocholinie

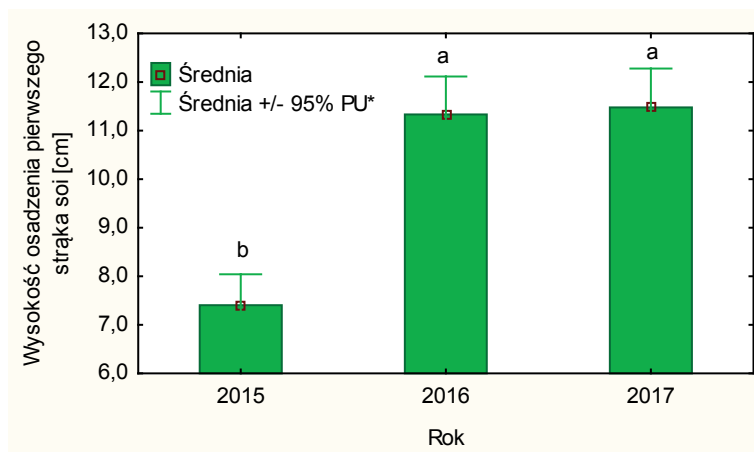
Tabela 14. Wyniki ANOVA dla wysokości osadzenia pierwszego strąka soi

Efekt	Statystyki obliczone			
	df _{efekt}	MS _{efekt}	F	p
Rok	2	341	187	< 0,001
Odmiana	7	102	56,4	< 0,001
Inokulant	3	9,04	4,98	< 0,05
Odmiana x inokulant	21	4,66	2,57	< 0,01
Rok x odmiana	14	36,6	20,1	< 0,01
Rok x inokulant	6	6,91	3,80	> 0,05
Rok x odmiana x inokulant	42	2,35	1,29	> 0,05

Osadzenie pierwszego strąka jest bardzo ważną cechą ułatwiającą zbiór roślin. Wszystkie badane czynniki wykazały wysoki wpływ na badaną cechę, odnotowano również zróżnicowanie w latach a także w interakcji rok x odmiana oraz rok x inokulant (tab. 14). W latach 2016 i 2017 zarejestrowano najwyżej osadzone strąki odpowiednio 11,3 cm i 11,5 cm. W 2015 roku strąk był najniżej usadowiony na wysokości 7,4 cm (rys. 64).

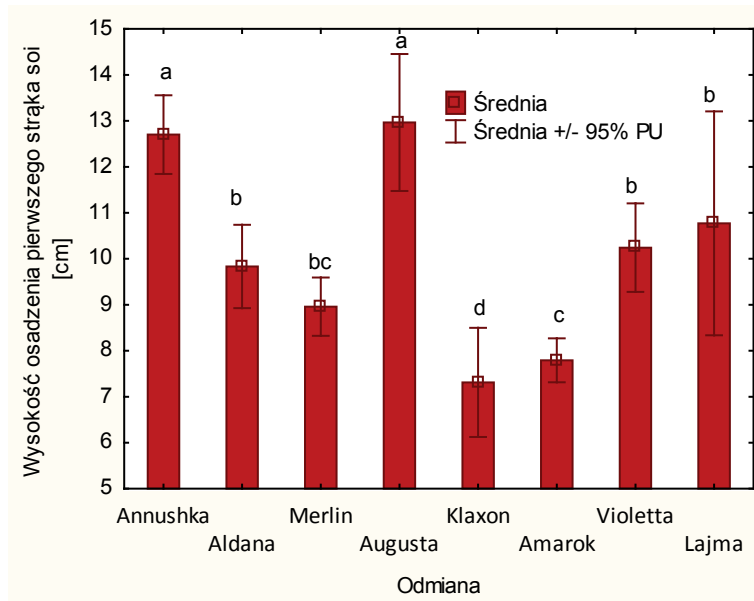
W trakcie prowadzenia doświadczenia zaobserwowano istotne różnice między odmianami pod względem wysokości osadzenia pierwszego strąka. Średnia badanej cechy z trzech lat badań wyniosła 10,1 cm. Najwyżej strąki zawiązały

dwie odmiany Augusta 13,0 cm i Annushka 12,7 cm, najniżej usadowiony strąk był na odmianach Klaxon 7,3 cm i Amarak 7,8 cm. Pozostałe odmiany były zbliżone do średniej z badań (rys. 65).



Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey’a dla $p = 0,05$.

Rys. 64. Wysokość osadzenia pierwszego strąka soi w latach badań w Grocholinie



Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey’a dla $p = 0,05$.

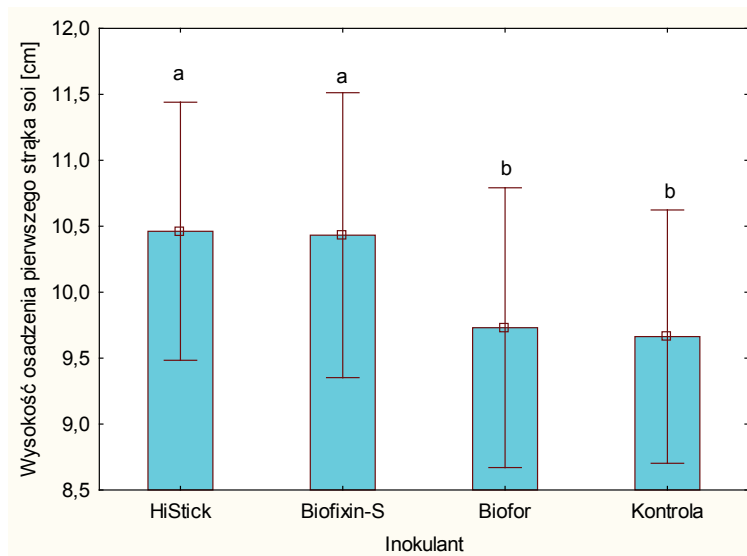
Rys. 65. Wysokość osadzenia pierwszego strąka soi w zależności od odmiany w Grocholinie

Rodzaj zastosowanego preparatu z bakteriami brodawkowymi miał istotny wpływ na wysokość osadzenia pierwszego strąka. Średnio najwyższe strąki posadzone były po inokulacji preparatem HiStick (10,5 cm) i Biofixin-S (10,4 cm), na roślinach, gdzie nasiona były zaprawione Bioforem oraz Nitraginą (kontrola) odnotowano prawie o 1 cm niższe strąki (rys. 66).

Większość odmian w 2015 roku osadziła strąki niżej niż w pozostałych latach badań. Cecha ta nie zmieniła się u odmiany Amarak który zawiązywał pierwsze strąki co roku na wysokości około 8 cm. Największe różnice wysokości odnotowano u odmiany Lajma wyniosły około 10 cm między pierwszym rokiem badań a rokiem 2016 lub 2017 (rys. 67).

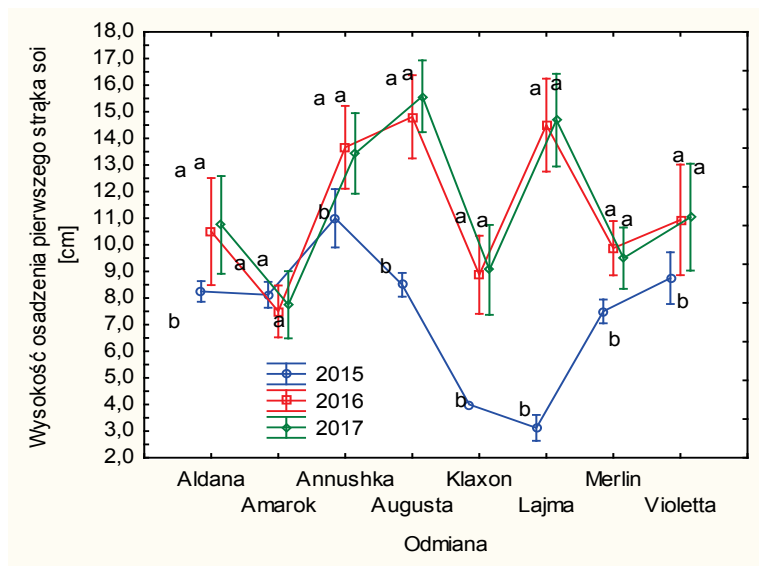
Osadzenie pierwszego strąka w odniesieniu do rodzaju zastosowanego inokulum a roku badań było zróżnicowane. W 2015 roku strąki były osadzone na podobnym poziomie niezależnie od zastosowanego inokulum, natomiast w latach o korzystniejszych warunkach meteorologicznych zaobserwować można różnice między inokulantami w 2016 roku najwyższe osadzone strąki były na roślinach zaszczerpionych Biofixin-S na pozostałych roślinach strąki były na zbliżonej wysokości. W roku 2017 najwyższe osadziły strąk rośliny, gdzie nasiona zaszczerpieno preparatem HiStick (rys. 68).

Odmiany zadziały współdziałająco z inokulantem na wysokość osadzenia pierwszego strąka. Największe różnice wykazały odmiany ukraińskie: Annushka, Lajma oraz Violetta, gdzie różnica między preparatem HiStick lub Biofixin-S w stosunku do kontroli wyniosła około 3 cm (rys. 69).



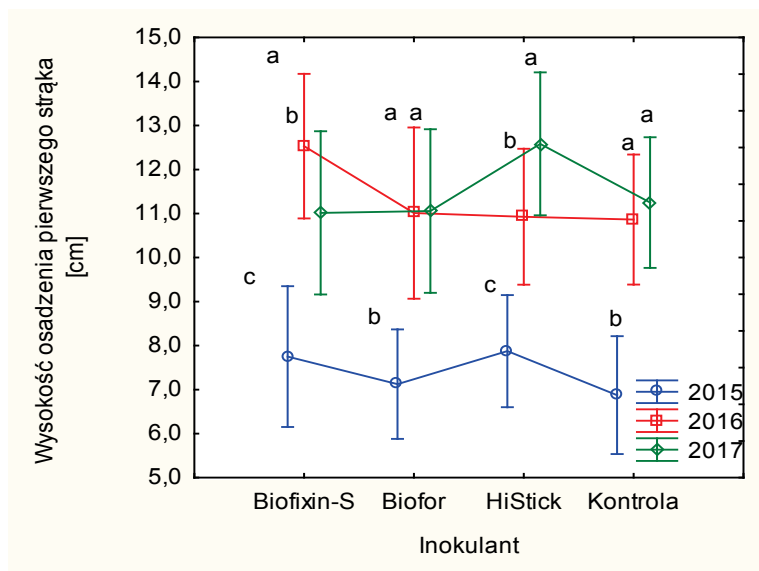
Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey'a dla $p = 0,05$.

Rys. 66. Wysokość osadzenia pierwszego strąka soi w zależności od inokulanta w Grocholinie



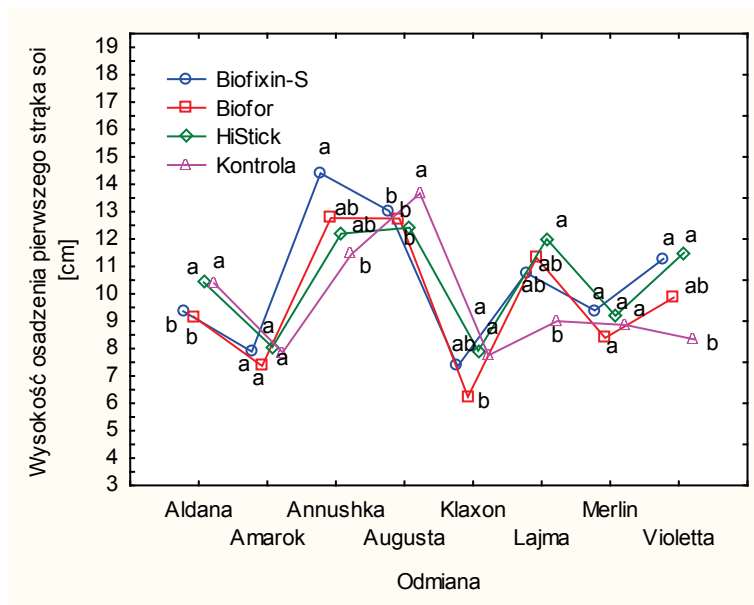
Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey’*a* dla $p = 0,05$.

Rys. 67. Wysokość osadzenia pierwszego strąka soi w zależności od odmiany w latach badań w Grocholinie



Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey’*a* dla $p = 0,05$.

Rys. 68. Wysokość osadzenia pierwszego strąka soi w zależności od inokulantu w latach badań w Grocholinie



Rys. 69. Wysokość osadzenia pierwszego strąka soi w zależności od inokulantu i odmiany w Grocholinie

4.3.3. Liczba brodawek korzeniowych, liczba strąków i liczba nasion w strąku

Tabela 15. Liczba nasion w strąku soi (szt.) w latach badań 2015-2017 w zależności od odmiany i inokulantu.

Odmiana	Rok	Biofixin-S	Biofor	HiStick	Kontrola
Annushka	2015	2,5	2,8	3,0	2,1
	2016	2,0	2,1	1,9	2,0
	2017	2,3	1,9	2,1	2,1
	<i>Średnia</i>	2,3	2,3	2,3	2,1
Aldana	2015	2,2	2,0	3,0	2,0
	2016	2,0	2,1	2,1	1,9
	2017	2,1	2,1	2,1	2,0
	<i>Średnia</i>	2,1	2,1	2,4	2,0
Merlin	2015	2,5	2,0	2,5	2,0
	2016	2,2	2,3	2,3	2,3
	2017	2,0	2,1	2,1	2,3
	<i>Średnia</i>	2,2	2,2	2,3	2,2
Augusta	2015	2,2	2,0	2,5	2,0
	2016	2,0	2,0	1,9	2,0
	2017	2,1	1,9	1,9	1,9
	<i>Średnia</i>	2,1	2,0	2,2	2,0

cd. tabeli 15

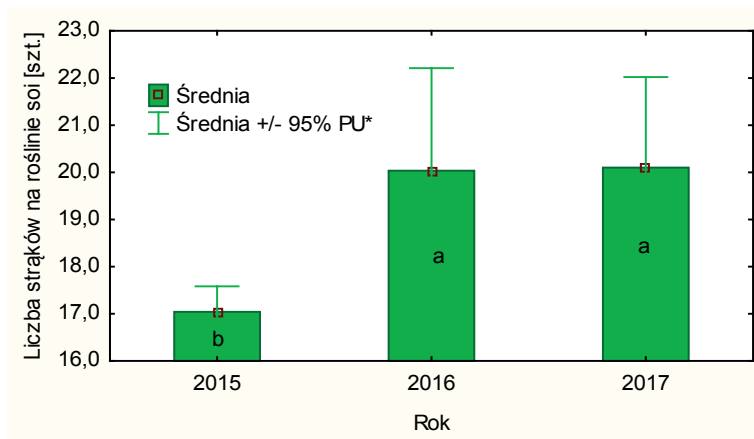
Klaxon	2015	2,5	2,0	2,5	2,0
	2016	1,9	2,5	1,6	2,2
	2017	2,0	2,1	1,8	2,2
	<i>Średnia</i>	<i>2,1</i>	<i>2,2</i>	<i>2,0</i>	<i>2,1</i>
Amarok	2015	2,5	2,5	2,5	2,2
	2016	2,2	2,4	2,4	2,1
	2017	2,0	2,2	2,1	2,2
	<i>Średnia</i>	<i>2,2</i>	<i>2,3</i>	<i>2,2</i>	<i>2,2</i>
Violetta	2015	3,0	2,5	3,0	2,5
	2016	1,9	2,1	2,0	1,9
	2017	1,9	1,9	1,9	2,0
	<i>Średnia</i>	<i>2,3</i>	<i>2,2</i>	<i>2,3</i>	<i>2,1</i>
Lajma	2015	2,4	2,2	2,2	2,0
	2016	2,0	2,1	1,9	1,9
	2017	1,8	1,9	1,9	1,9
	<i>Średnia</i>	<i>2,1</i>	<i>2,0</i>	<i>2,0</i>	<i>1,9</i>
<i>Średnia</i>		<i>2,2</i>	<i>2,2</i>	<i>2,2</i>	<i>2,1</i>

Tabela 16. Wyniki ANOVA dla liczby strąków na roślinie soi

Efekt	Statystyki obliczone			
	df efekt	MS efekt	F	p
Rok	2	195	13,8	< 0,001
Odmiana	7	524	36,9	< 0,001
Inokulant	3	58,0	4,08	< 0,05
Odmiana x inokulant	21	27,3	1,92	= 0,02
Rok x odmiana	14	152,2	10,7	< 0,01
Rok x inokulant	6	24,9	1,74	> 0,05
Rok x odmiana x inokulant	42	17,5	1,23	> 0,05

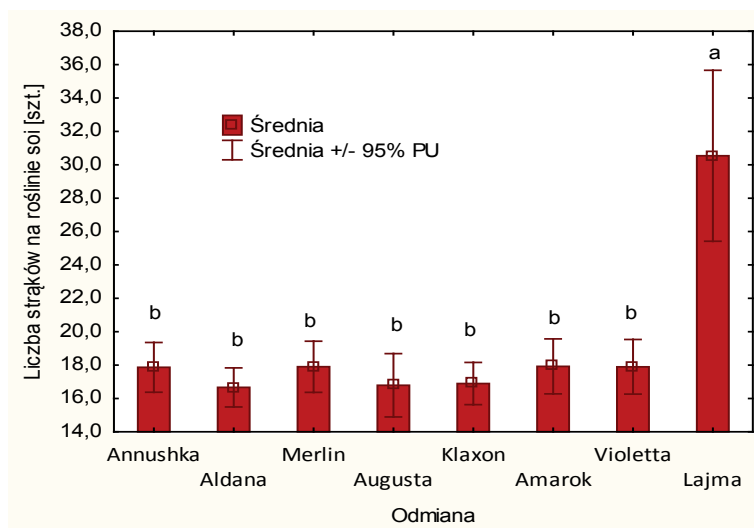
Liczba strąków na roślinie soi była pod wysokim wpływem badanych czynników doświadczalnych oraz wykazywała istotne różnice między rokiem badań a także w interakcji rok x odmiana (tab. 16). W roku 2015 rośliny nawiązały najmniej strąków średnio 17 szt., jednakże był to rok o największej ilości nasion w strąku średnio 2,4 szt.. W latach 2016 i 2017 odnotowano średnio 20 szt. strąków na roślinie i odpowiednio 2,1 szt. oraz 2,0 szt. nasion w strąku (rys. 70, tab. 15). Najmniej nasion w strąku wykształciły odmiany Augusta (2,0 szt.), Lajma (2,0 szt.) i Klaxon (2,1 szt.), pozostałe odmiany miały taką samą ilość tj. 2,2 szt.. Rośliny inokulowane Nitraginą miały o 0,1 szt. mniej nasion od pozostałych inokulantów (tab. 15). Spośród wszystkich odmian istotnie najwyższą liczbę strąków zaobserwowano na Lajmie, średnio 30 szt., pozostałe odmiany miały zbliżoną liczbę około 20 szt. (rys. 71).

Liczba strąków wykazała zróżnicowanie po zastosowaniu inokulanta. Pod wpływem HiStick i Biofixin-S uzyskano najwyższą liczbę tj. 20,1 szt. i 19,7 szt. co stanowiło o 2,5 strąka więcej niż w kontroli z Nitraginą (rys. 72). Większość odmian reagowało zmniejszeniem liczby strąku po zaszczepieniu nasion Nitraginą (rys. 74).



Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey’*a* dla $p = 0,05$.

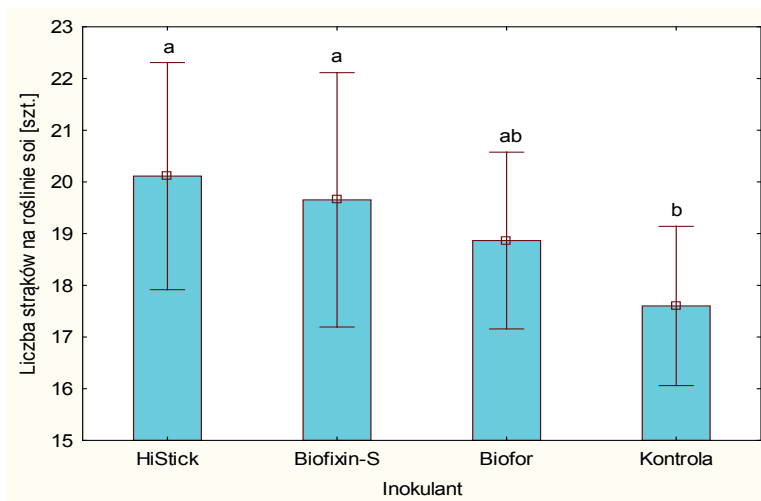
Rys. 70. Liczba strąków na roślinie soi w latach badań w Grocholinie



Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey’*a* dla $p = 0,05$.

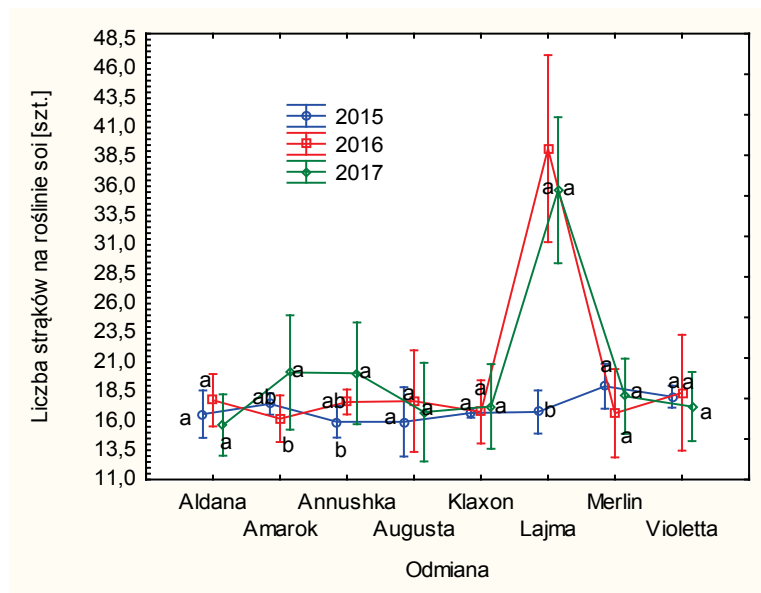
Rys. 71. Liczba strąków na roślinie w zależności od odmiany soi w latach badań w Grocholinie

Zaobserwowano różnicę w liczbie nawiązania strąków między latami badań. W latach badań 2016 i 2017 najwięcej strąków nawiązała odmiana Lajma odpowiednio 39,2 szt. i 35,7 szt. Amarak i Annushka zawiązały 20,1 strąka, pozostałe odmiany miały poniżej 20 szt. (rys. 73). W 2015 roku wszystkie odmiany miały zbliżoną liczbę strąków.



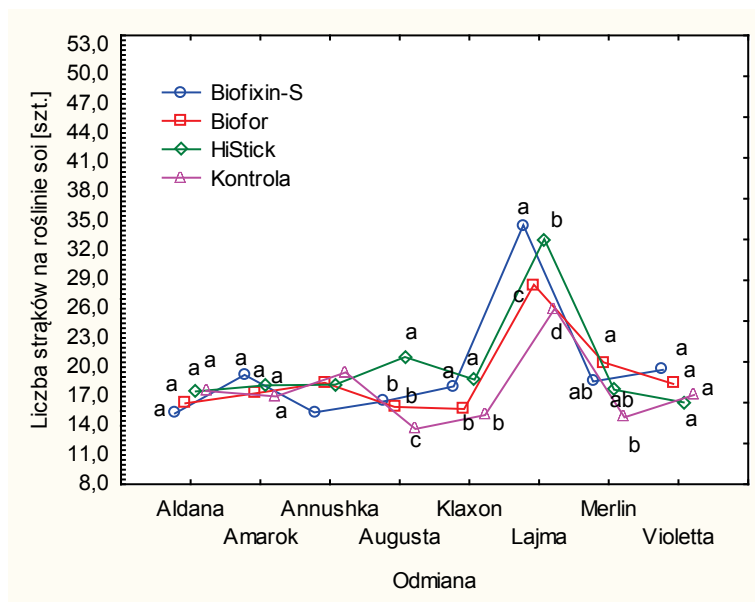
Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey'a dla $p = 0,05$.

Rys. 72. Liczba strąków na roślinie w zależności od inokulanta w latach badań w Grocholinie



Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey'a dla $p = 0,05$.

Rys. 73. Liczba strąków na roślinie w zależności od odmiany w latach badań w Grocholinie



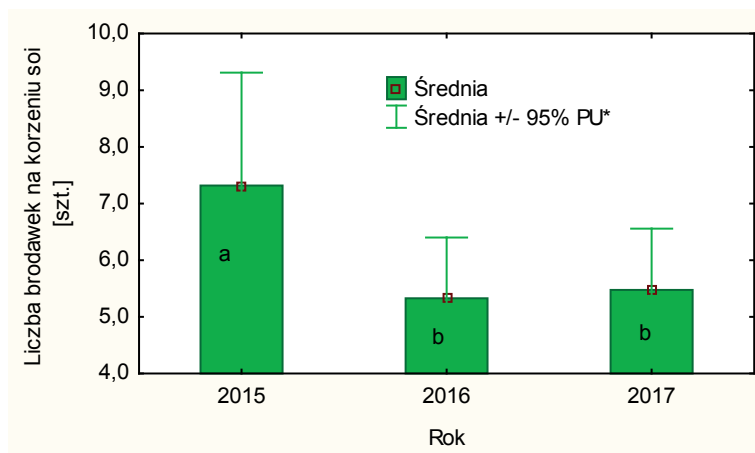
Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey’a dla $p = 0,05$.

Rys. 74. Liczba strąków na roślinie w zależności od odmiany i inokulantu w latach badań w Grocholinie

Tabela. 17. Wyniki ANOVA dla liczby brodawek na korzeniu

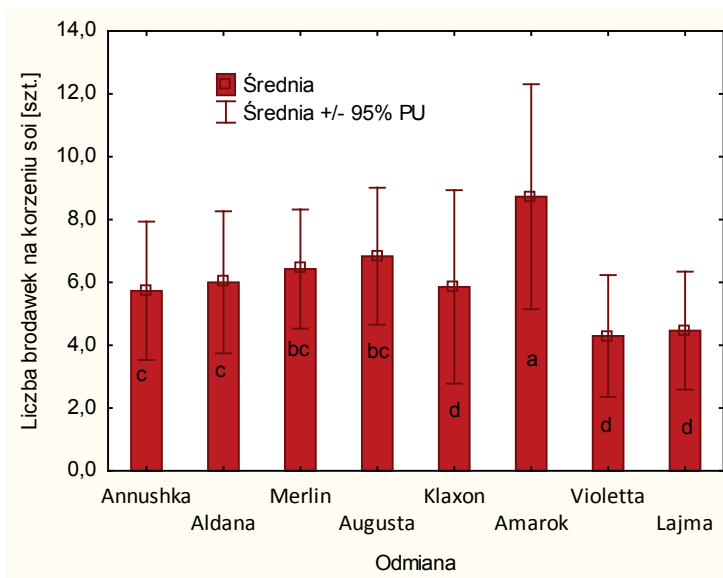
Efekt	Statystyki obliczone			
	df efekt	MS efekt	F	p
Rok	2	78,7	18,4	< 0,001
Odmiana	7	46,8	10,9	< 0,001
Inokulant	3	833	195,6	< 0,05
Odmiana x inokulant	21	19,5	4,58	= 0,02
Rok x odmiana	14	46,5	10,9	< 0,01
Rok x inokulant	6	221,1	51,8	> 0,05
Rok x odmiana x inokulant	42	17,3	4,05	> 0,05

Badane czynniki doświadczalne miały wysoki wpływ na liczbę brodawek na korzeniach soi. Wykazano również istotne różnice między latami badań a także w internacki lata z odmianą lub inokulantem (tab. 17). W 2015 roku odnotowano największą liczbę brodawek korzeniowych – 7,3 szt. w pozostałych latach wynik ten był o 2 szt. mniejszy (rys. 75). Badane odmiany soi różniły się istotnie pod względem liczby brodawek. Najwięcej brodawek odnotowano na korzeniach odmiany Amarok (średnio 8,7 szt.), najmniej ich było na roślinach Lajma (4,5 szt.) i Violetta (4,3 szt.). Pozostałe odmiany miały około 6 szt. (rys. 76).



Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey'a dla $p = 0,05$.

Rys. 75. Liczba brodawek korzeniowych na roślinie soi w latach badań w Grocholinie



Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey'a dla $p = 0,05$.

Rys. 76. Liczba brodawek korzeniowych na roślinie soi w zależności od odmiany w Grocholinie

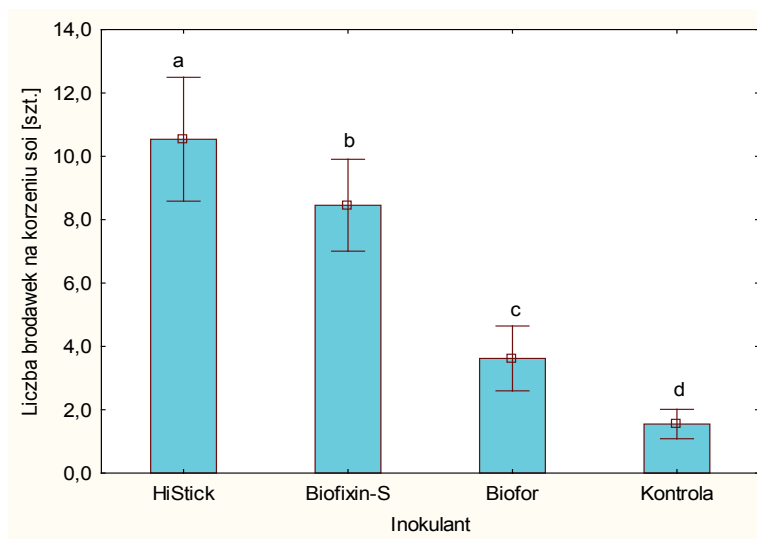
Zastosowane inokulanty do szczepienia nasion soi miały istotny wpływ na liczbę brodawek korzeniowych. Najwięcej brodawek miały rośliny zaszczepione preparatem HiStick 10,5 szt. Istotnie najmniejszą liczbę brodawek (1,5 szt.) miała

soja, gdzie jej nasiona były pokryte Nitraginą (kontrola). Po zastosowaniu Biofixinu-S zaobserwowano średnio 8,5 szt. a Bioforu 3,6 szt. (rys. 77).

Względem poszczególnych lat badane odmiany soi różniły się istotnie liczbą brodawek korzeniowych. W 2015 roku u odmian Amarak (13,8 szt.) i Augusta (12,7 szt.) odnotowano dwukrotnie więcej brodawek niż w latach późniejszych. W przypadku takiej odmiany jak Annushka odnotowano spadek liczby brodawek (3,8 szt.) w 2015 roku o połowę w porównaniu z pozostałymi latami. Pozostałe odmiany nie wykazały istotnych różnic (rys. 78).

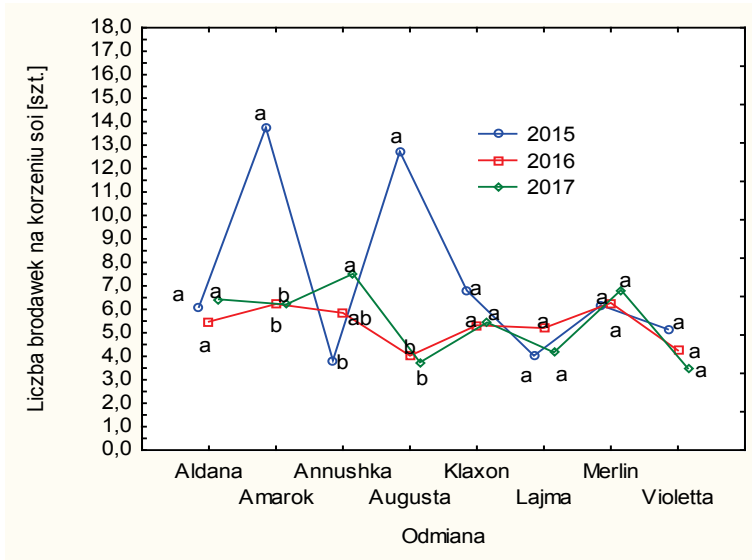
Zaobserwowano istotne różnice między inokulantem a rokiem badań. W 2015 roku w porównaniu do pozostałych lat badań istotnie zwiększyła się liczba korzeni brodawkowych po preparacie HiStick o 10 szt. Soja, gdzie nasiona zaszczipiono Biofixn-S w 2015 roku miała o 5 szt. mniej niż latach pozostałych. Pozostałe inokulanty nie wykazały istotnych zmian (rys. 79).

Zastosowany inokulant bardzo mocno zróżnicował wszystkie odmiany pod względem liczby brodawek. Wszystkie odmiany miały najwięcej brodawek po zaprawieniu nasion preparatem HiStick i Biofixin-S w przypadku Nitraginy tych brodawek było najmniej (rys. 80).



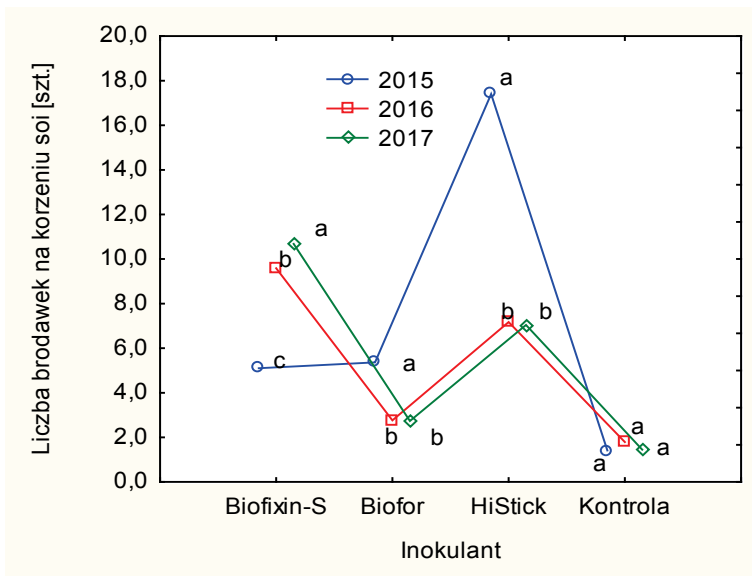
Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey’*a* dla $p = 0,05$.

Rys. 77. Liczba brodawek korzeniowych na roślinie soi w zależności od inokulanta w Grocholinie



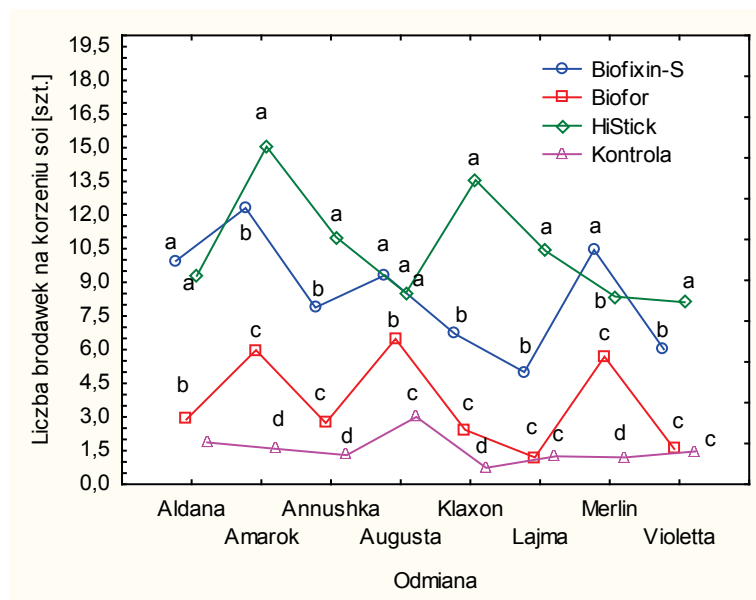
Objaśnienia: a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey’a dla $p = 0,05$.

Rys. 78. Liczba brodawek korzeniowych na roślinie soi w zależności od odmiany w latach badań w Grocholinie



Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey’a dla $p = 0,05$.

Rys. 79. Liczba brodawek korzeniowych na roślinie soi w zależności od inokulantu w latach badań w Grocholinie



Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey’a dla $p = 0,05$.

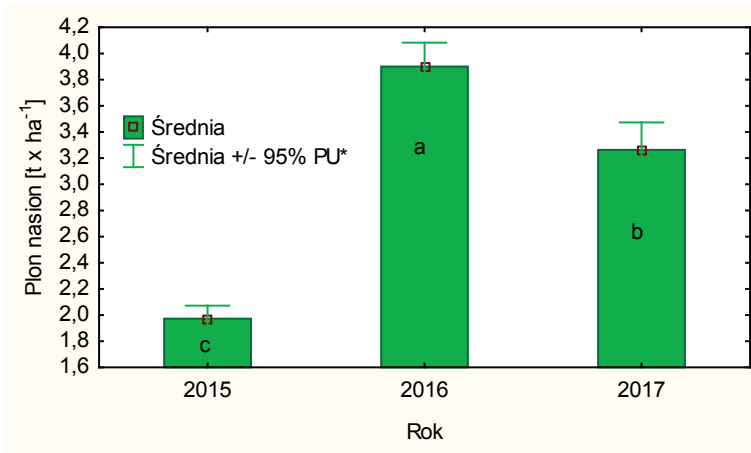
Rys. 80. Liczba brodawek korzeniowych na roślinie soi w zależności od odmiany i inokulanta w Grocholinie

4.3.4. Plonowanie i masa tysiąca nasion soi

Z pośród badanych czynników odmiana miała wysoki wpływ na plon nasion soi a także wykazała zróżnicowanie w interakcja z inokulantem jednak sam inokulant nie miał wpływu na różnice w plonie. Plon soi istotnie różnił się między latami badań oraz w interakcji lata x odmiana (tab. 18). Średni plon w latach badań wyniósł $3,05 \text{ t x ha}^{-1}$. Rok 2016 odnotowano największy plon – $3,90 \text{ t x ha}^{-1}$, natomiast najmniejszy średni plon odnotowano w rok 2015 wyniósł $1,97 \text{ t x ha}^{-1}$ (rys. 81)

Tabela 18. Wyniki ANOVA dla plonowania soi

Efekt	Statystyki obliczone			
	df efekt	MS efekt	F	p
Rok	2	103,5	29,4	< 0,001
Odmiana	7	48,0	36,5	< 0,001
Inokulant	3	12,4	1,51	> 0,05
Odmiana x inokulant	21	28,9	3,68	= 0,05
Rok x odmiana	14	12,8	4,85	< 0,01
Rok x inokulant	6	6,21	1,68	> 0,05
Rok x odmiana x inokulant	42	5,71	0,85	> 0,05



Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey’*a* dla $p = 0,05$.

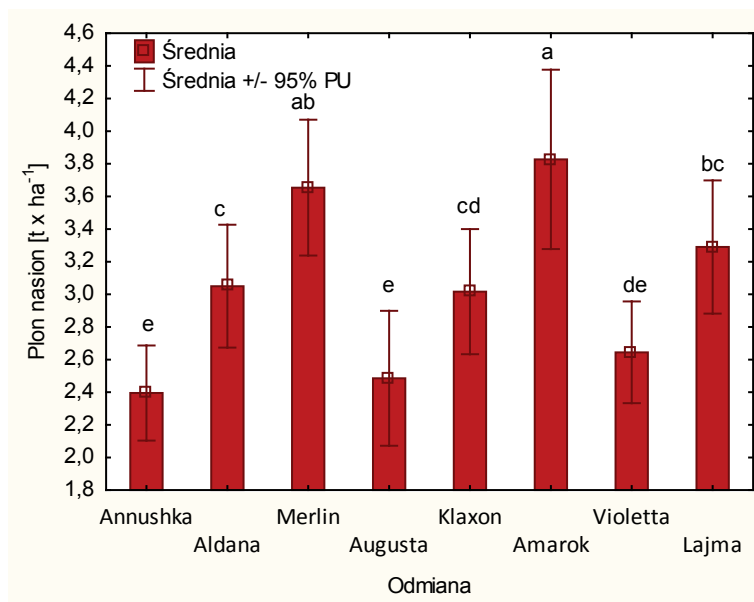
Rys. 81. Plonowanie nasion soi w latach badań w Grocholinie

Odmiany soi wysoce istotnie różniły się pod względem plonu. Najwyżej plonowały odmiany Amarok i Merlin odpowiednio – $3,83 \text{ t x ha}^{-1}$ i $3,65 \text{ t x ha}^{-1}$. Powyżej średniej plonowała Lajma ($3,39 \text{ t x ha}^{-1}$). Odmiany Aldana, Klaxon, osiągnęły plon około 3 t x ha^{-1} . Najmniejszy plon zebrano na odmianach Violetta ($2,64 \text{ t x ha}^{-1}$), Augusta ($2,49 \text{ t x ha}^{-1}$), Annushka ($2,40 \text{ t x ha}^{-1}$), (rys. 82).

Nie zaobserwowano istotnej różnicy w plonie między zastosowanymi inokulantami (tab. 9) Soja wyżej plonowała po inokulacji Biofixin-S i HiStick odpowiednio – $3,13 \text{ t x ha}^{-1}$ i $3,11 \text{ t x ha}^{-1}$, w przypadku Bioforu i kontroli plon był w granicach 3 t x ha^{-1} (rys. 83).

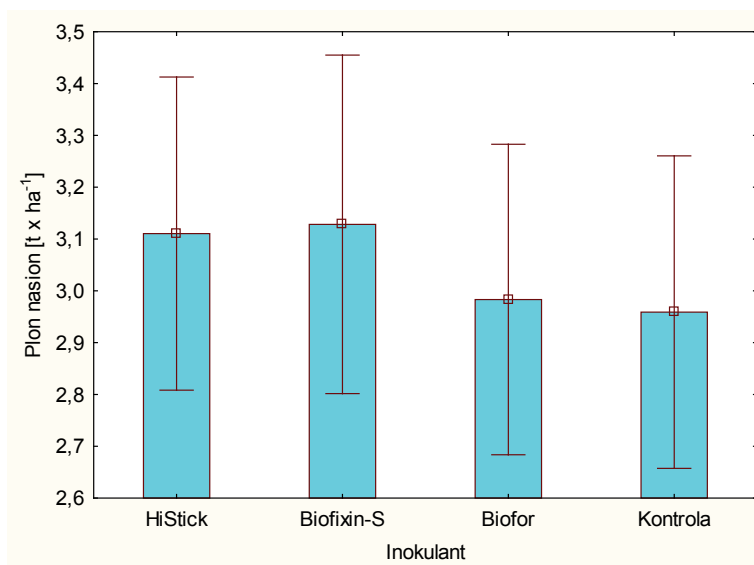
Plon poszczególnych odmian był zróżnicowany w zależności od roku badań. Rok 2015 charakteryzował się najmniejszym średnim plonem, w którym najwyżej plonowała odmiana Merlin - $2,45 \text{ t x ha}^{-1}$, odmiana ta w pozostałych latach badań podobnie jak Lajma charakteryzowała się stabilnym plonem około 4 t x ha^{-1} . Najwyższy plon zebrano 2016 r. na odmianie Amarok $5,11 \text{ t x ha}^{-1}$ w kolejnym roku badań plonowała również wysoko $4,11 \text{ t x ha}^{-1}$ (rys. 84).

Odmiany zareagowały współdziałająco z inokulantem na plon co wyraźnie w analizie wariancji zostało potwierdzone ($F = 3,68 \text{ } p = 0,05$). Po zaszczepleniu nasion preparatem Biofixin-S lub HiStick zebrano istotnie wyższy plon u odmian Aldana, Klaxon, Lajma, Violetta niż na kontroli (rys. 32) W przypadku pozostałych odmian plon był bardziej wyrównany.

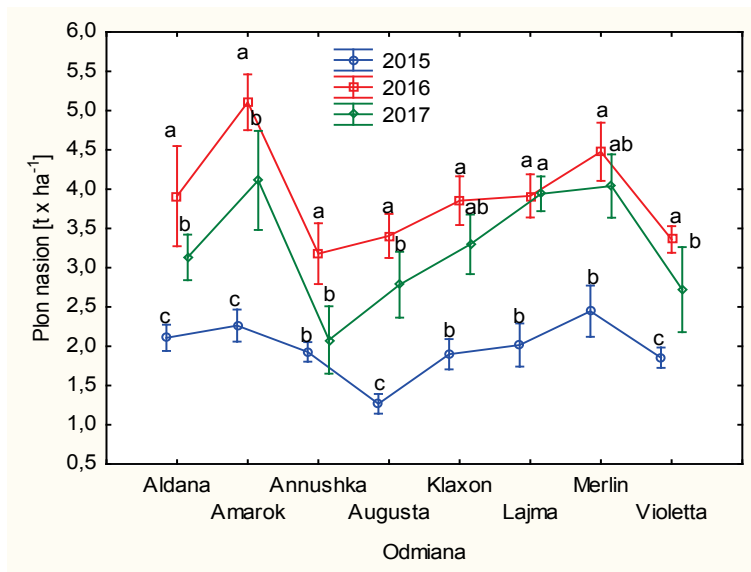


Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey’*a* dla $p = 0,05$.

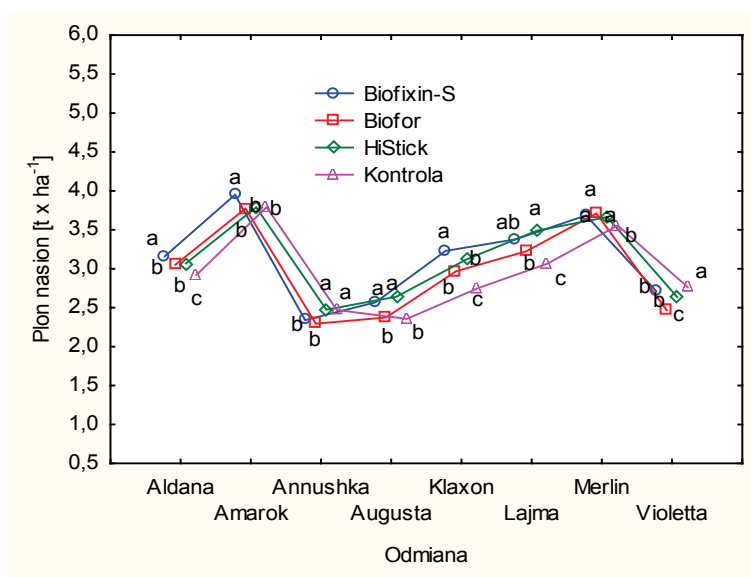
Rys. 82. Plonowanie nasion soi w zależności od odmiany w Grocholinie



Rys. 83. Plonowanie nasion soi w zależności od inokulanta w Grocholinie



Rys. 84. Plonowanie nasion soi w zależności od roku i odmiany w Grocholinie

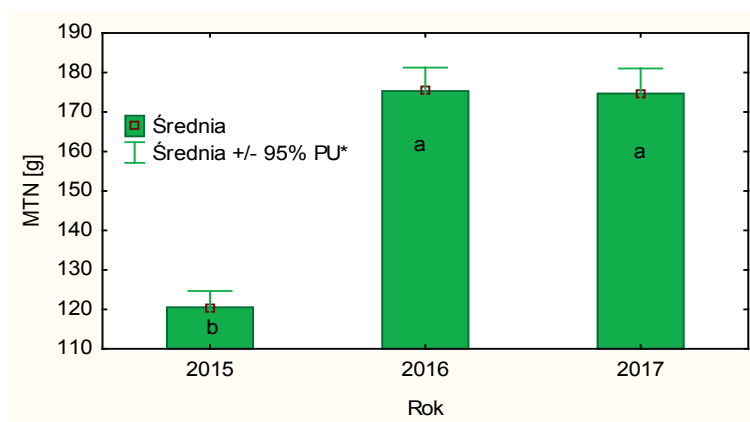


Rys. 85. Plonowanie nasion soi w zależności od odmiany i inokulanta w Grocholinie

Masa tysiąca nasion soi była pod wysokim wpływem zastosowanej odmiany i inokulum, wykazała również istotne zróżnicowanie między latami badań a także interakcji roku z obydwoma czynnikami doświadczalnymi (tab. 19). Istotnie najniższą MTN soi rejestrowano w roku 2015 średnio 120,50 g, w latach 2016 i 2017 była znacznie wyższa i średnio wyniosła 175,30 g i 174,7 g (rys. 86).

Tabela. 19. Wyniki ANOVA dla MTN soi

Efekt	Statystyki obliczone			
	df efekt	MS efekt	F	p
Rok	2	63326	128,1	< 0,001
Odmiana	7	9933	201,1	< 0,001
Inokulant	3	440	8,91	< 0,001
Odmiana x inokulant	21	62	1,25	> 0,05
Rok x odmiana	14	823	16,65	< 0,001
Rok x inokulant	6	264	5,34	< 0,01
Rok x odmiana x inokulant	42	75	1,51	= 0,05



Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey'a dla $p = 0,05$.

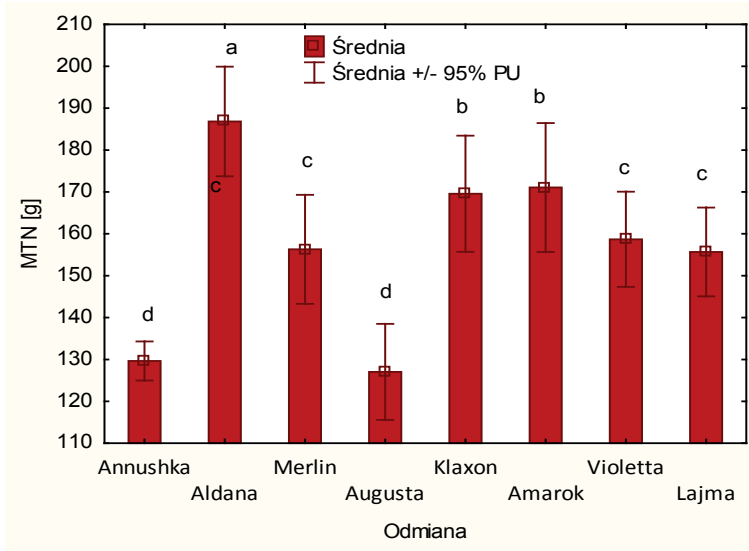
Rys. 86. Masa tysiąca nasion soi w latach badań w Grocholinie

Odmiany soi wysoce różniły się pod względem MTN. Najwyższą masę miały nasiona Aldany 186,8 g. Nieco mniejszą miały Amarok i Klaxon odpowiednio – 171,7 g i 169,6 g. Violetta, Lajma, Merlin miały nasiona o masie około 160 g. Najlżejsze nasiona miały Annushka i Augusta 129,6 g i 127,0 g (rys. 87). Badana cecha wykazała istotne różnice w zależności od zastosowanego inokulum. Największą masę miały nasiona, gdzie rośliny były zaszczerpione preparatem HiStick (160,9 g). MTN po zastosowaniu Bioforu i Biofixin-S była zbliżona około 155 g. Najniższą masę miały nasiona na roślinach kontrolnych 153,9 g (rys. 88). Odmiany nie zareagowały znacznie po zastosowaniu różnych preparatów bakteryjnych (rys. 89).

Masa tysiąca nasion różniła się w zależności od roku badań i odmiany. W 2015 roku wszystkie odmiany charakteryzowały się niższą masą nasion w porównaniu do pozostałych lat badań. Najmniejszą różnicę MTN zaobserwowano u odmian Annushka i Augusta (rys. 90).

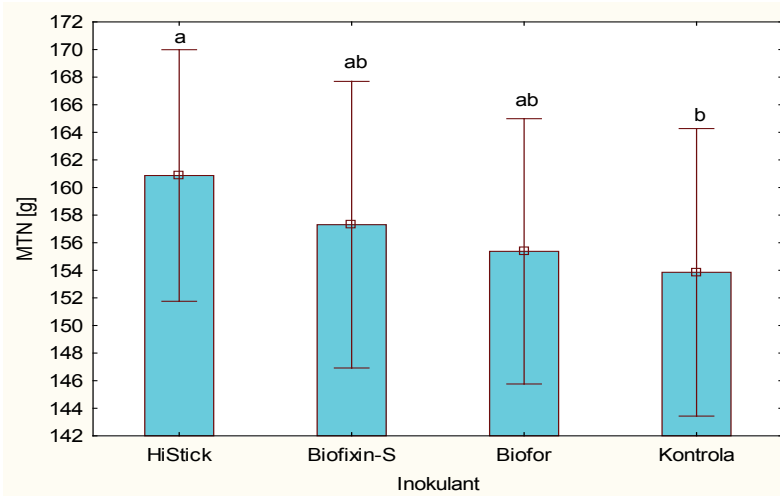
Zaobserwowano istotne różnice między rodzajem zastosowanego inokulum a rokiem badań. Największa różnica MTN między inokulantami odnotowano

w roku 2015 największą MTN u roślin zaprawionych preparatem HiStick 129,30 g gdzie kontrola miała tylko 113,80 g (rys. 91). W latach 2016 i 2017 najwyższą MTN miały rośliny inokulowane Biofixin-S 179,8 g,



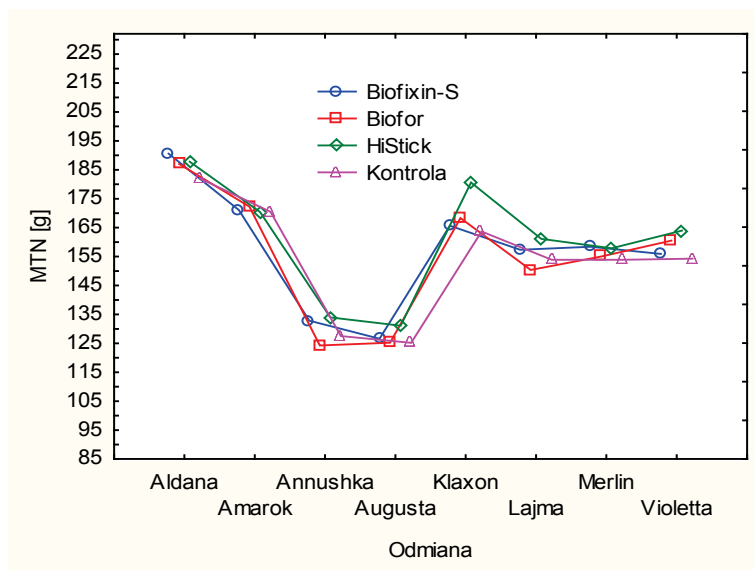
Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey’a dla $p = 0,05$.

Rys. 87. Masa tysiąca nasion soi w zależności od odmiany w Grocholinie

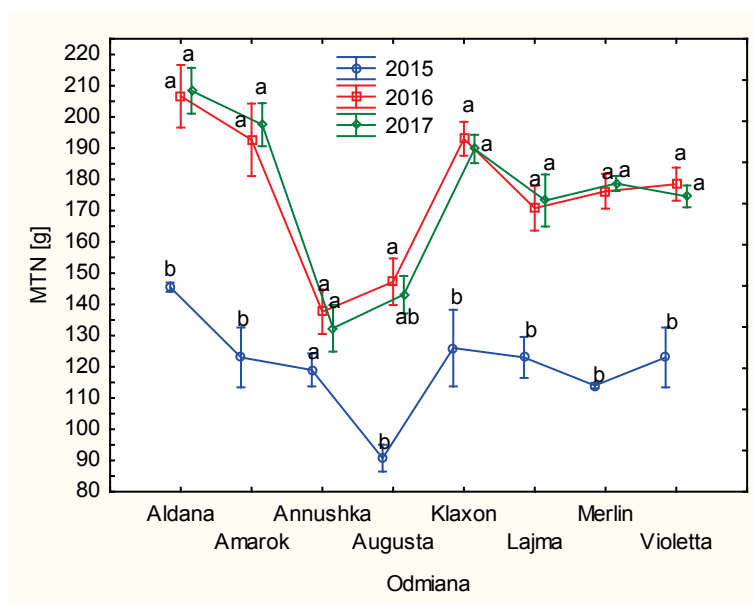


Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey’a dla $p = 0,05$.

Rys. 88. Masa tysiąca nasion soi w zależności od inokulanta w Grocholinie

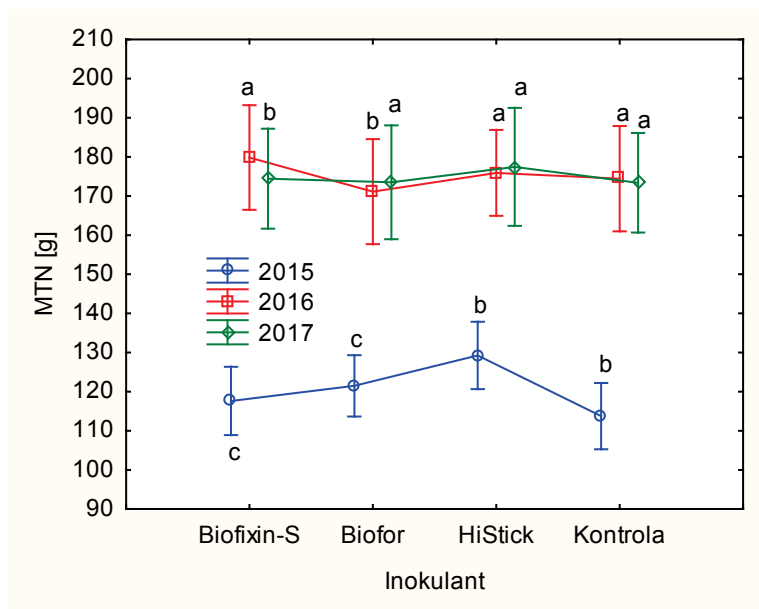


Rys. 89. Masa tysiąca nasion soi w zależności od odmiany i inokulanta w Grocholinie



Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey'a dla $p = 0,05$.

Rys. 90. Masa tysiąca nasion soi w zależności od roku i odmiany w Grocholinie



Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a, b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey’a dla $p = 0,05$.

Rys. 91. Masa tysiąca nasion soi w zależności od roku i inokulantu w Grocholinie

Plon nasion był istotnie i w najwyższym stopniu, dodatnio powiązany z obsadą roślin po wschodach (tab. 20). Współczynnik korelacji liniowej (r -Pearsona) wynosił od 0,52 dla Lajmy do 0,89 dla Amaroła, przy średniej wartości dla wszystkich odmian $r = 0,58$. Obsada roślin do zbioru wysoce istotnie była skorelowana z plonem nasion u odmian: Aldana, Merlin, Augusta, Amaroł, Violetta, Lajma, przy średnim współczynniku $r = 0,59$ dla wszystkich odmian. Liczba bakterii korzeniowych powiązana była istotnie z plonem soi u trzech odmian: Merlin, Annushka, Klaxon (r od 0,74 do 0,83). Z plonem odmian Aldany i Annushki istotnie skorelowane były cechy takie jak masa tysiąca nasion oraz zawartość białka. Masa tysiąca nasion również korelacyjnie była powiązana z plonem odmian Augusta, Klaxon i Lajma. Liczbę strąków natomiast można powiązać z plonem nasion tylko u odmiany Merlin ($r = 0,56$). Najniższe wartości współczynników korelacji liniowych uzyskano w powiązaniach pomiędzy plonem nasion a osadzeniem pierwszego strąka na pędzie. Aczkolwiek, dla całej populacji badanych odmian, korelacja okazała się istotna i dodatnia, czyli im wyższe osadzenie tym wyższe wartości plonów ($r = 0,49$). Ponadto, pojedyncze korelacje wykazano dla wysokości roślin a plonem (odmiana Violetta) oraz dla zawartość tłuszczu w nasionach, ogólnie dla wszystkich odmian $r = -0,39$, co oznacza, że im wyższe plony nasion, tym mniejsza zawartość w nich tłuszczu.

Tabela 20. Wartości współczynników korelacji prostej (*r*-Pearsona) pomiędzy cechami soi a plonowaniem nasion soi u poszczególnych odmian oraz średnio dla odmian badanych w Grocholinie

Odmiana	OW	OZ	LBK	WR	WOS	LS	LNS	MTN	ZB	ZT
Annushka	0,59*	0,34	0,77	-0,36	-0,20	0,57	0,41	0,71	0,75	-0,64
	0,05 [#]	0,12	0,02	0,16	0,34	0,07	0,31	0,04	0,03	0,09
Aldana	0,72	0,67	0,54	0,16	-0,20	0,32	0,65	0,89	0,88	-0,67
	0,04	0,05	0,12	0,61	0,32	0,23	0,08	<0,01	<0,01	0,07
Merlin	0,87	0,84	0,83	0,28	-0,15	0,56	-0,13	0,31	0,17	0,41
	<0,01	<0,01	0,01	0,42	0,36	0,05	0,62	0,14	0,56	0,33
Augusta	0,84	0,88	0,54	-0,42	-0,26	0,32	-0,20	0,74	0,45	-0,34
	<0,01	<0,01	0,10	0,21	0,35	0,12	0,52	0,03	0,26	0,41
Klaxon	0,38	0,53	0,74	0,40	0,22	0,12	0,68	0,53	0,33	-0,22
	0,35	0,11	0,03	0,25	0,32	0,61	0,06	0,05	0,25	0,24
Amarok	0,89	0,85	0,35	-0,43	0,01	0,52	0,05	0,29	0,04	-0,22
	<0,01	<0,01	0,31	0,27	0,89	0,08	0,81	0,34	0,91	0,39
Violetta	0,52	0,49	0,22	0,62	0,15	0,44	0,11	0,42	0,10	-0,33
	0,05	0,05	0,42	0,05	0,52	0,21	0,81	0,22	0,53	0,12
Lajma	0,53	0,69	0,37	0,49	0,27	0,21	0,03	0,51	0,22	-0,39
	0,05	0,05	0,29	0,06	0,51	0,26	0,93	0,05	0,31	0,24
Średnia dla odmian	0,58	0,59	0,35	0,23	0,49	0,03	0,25	0,55	0,55	-0,39
	<0,01	<0,01	0,005	0,06	<0,01	0,78	0,05	<0,01	<0,01	0,001

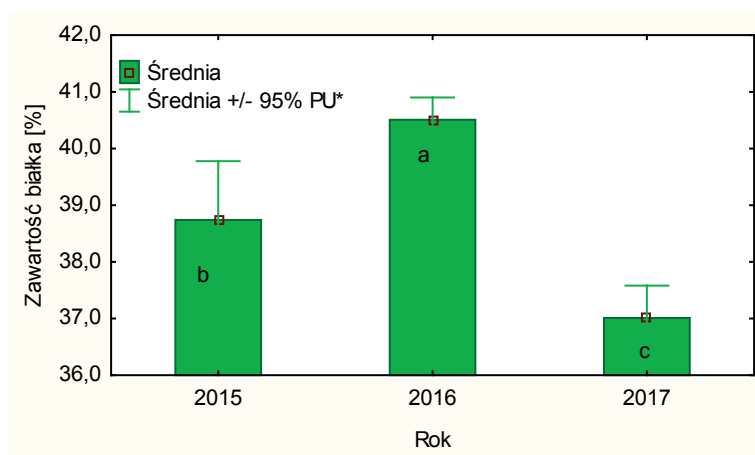
Objaśnienia: * – wartość współczynnika *r*, [#] – poziom istotności współczynnika *r*
 Skróty dla cech: OW – obsada roślin po wschodach, OZ – obsada roślin do zbioru, LBK – liczba brodawek na korzeniu, WR – wysokość roślin, WOS – wysokość osadzenia 1 strąka, LS – liczba strąków na roślinie, LNS – liczba nasion w strąku, MTN – masa tysiąca nasion, ZB – zawartość białka w nasionach, ZT – zawartość tłuszczu w nasionach

4.3.5. Zawartość białka i tłuszczu w nasionach soi

Zawartość białka w nasionach soi była pod wysokim wpływem badanych czynników doświadczalnych. Analiza wariancji wykazała istotne różnice w latach badań a także rok badań w interakcji z każdym badanym czynnikiem (tab. 21). Najwięcej białka miały nasiona, gdzie rośliny wysiano 2016 r., tj. 40,5%, zawartość białka w roku 2015 była zbliżona do średniej z badań (38,8%), najmniej białka miały nasiona soi w roku 2017 – 37% (rys. 92). Zaobserwowano istotne różnice w zawartości białka w zależności od odmiany soi. Największą zawartość białka charakteryzowały się nasiona Aldany 40,3%, nasiona czterech odmian Merlin, Augusta, Violeta, Amarok były powyżej średniej odpowiednio 39,7%, 39,8%, 39,8% i 39%. Zawartość białka poniżej 38% odnotowano u odmian Annusha i Klaxon. Najmniejszą zawartość białka miała odmiana Lajma – 35,6% (rys. 93).

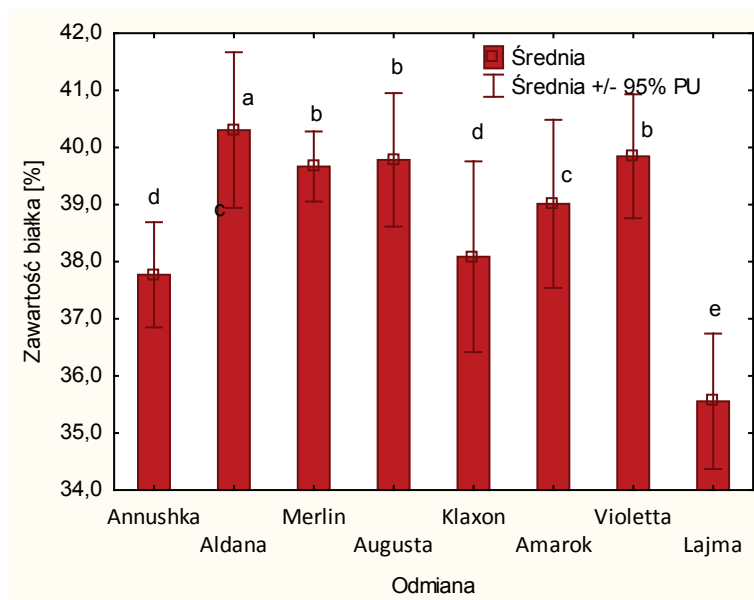
Tabela 21. Wyniki ANOVA dla zawartości białka w nasionach soi

Efekt	Statystyki obliczone			
	df _{efekt}	MS _{efekt}	F	p
Rok	2	195,7	766	< 0,001
Odmiana	7	59,0	231	< 0,001
Inokulant	3	15,7	62,0	< 0,001
Odmiana x inokulant	21	6,21	24,0	< 0,001
Rok x odmiana	14	47,7	187	< 0,001
Rok x inokulant	6	7,40	29,1	< 0,001
Rok x odmiana x inokulant	42	5,80	23,0	< 0,001



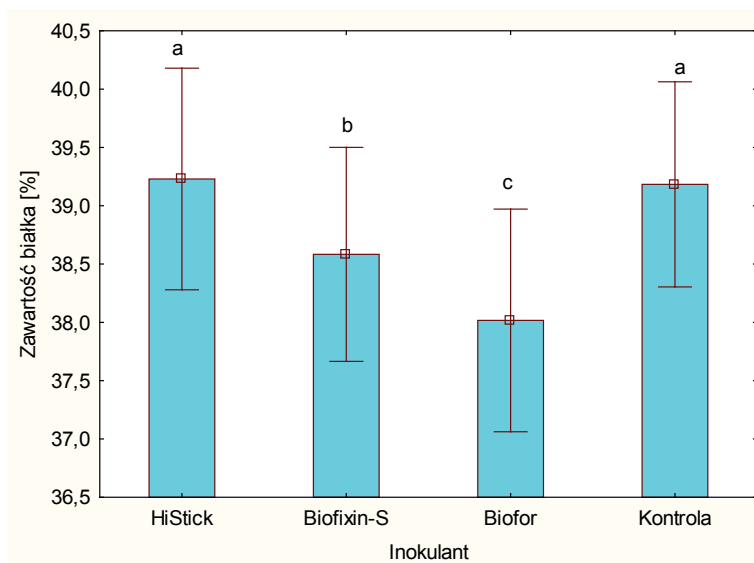
Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey'a dla $p = 0,05$.

Rys. 92. Zawartość białka w nasionach soi w latach badań w Grocholinie



Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey'a dla $p = 0,05$.

Rys. 93. Zawartość białka w nasionach soi w zależności od odmiany w Grocholinie

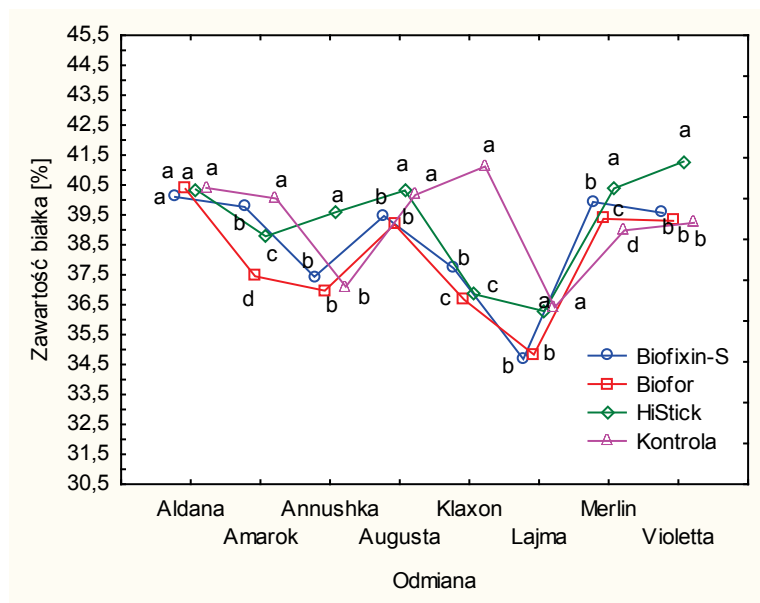


Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey'a dla $p = 0,05$.

Rys. 94. Zawartość białka w nasionach soi w zależności od inokulanta w Grocholinie

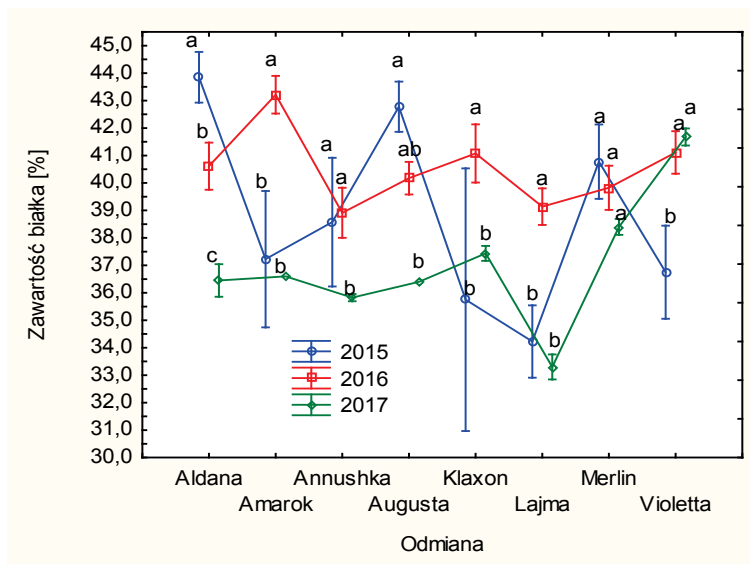
Zastosowane inokulanty miały istotny wpływ na zawartość białka. Nasiona zaprawione preparatem HiStick i Nitragina (kontrola) miały największą zawartość białka – 39,2%. Istotnie najmniejszą zawartość białka (38%) odnotowano u nasion zaprawionych Bioforem (rys. 94). Zawartość białka u nasion poszczególnych odmian różniła się w zależności od zastosowanego inokulanta. Średnia zawartość białka była największa po zastosowaniu HiStick lub nitraginy u odmian: Amarok, Annushka, Augusta, Klaxon, Merlin, Violetta i Lajma. Nie odnotowano istotnych różnic u odmiany Aldana (rys. 95).

Zawartość białka różniła się w zależności od odmiany i lat badań (rys. 96). Nasiona soi miały różną zawartość badanej cechy w zależności od roku i inokulanta. W roku 2017 wszystkie nasiona soi miały podobną zawartość białka niezależnie od zastosowanego inokulum, natomiast w pozostałych latach 2015 i 2016 zaobserwowano istotny wzrost białka w nasionach soi u roślin, gdzie nasiona były pokryte preparatem HiStick – o 3 pkt% pomiędzy latami, natomiast w przypadku kontroli z Nitraginą o 1 pkt% (rys. 97).



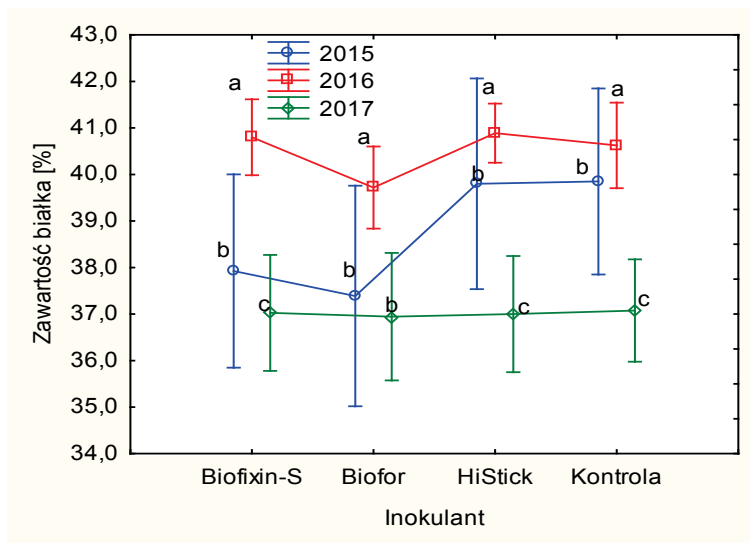
Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey'a dla $p = 0,05$.

Rys. 95. Zawartość białka w nasionach soi w zależności od odmiany i inokulanta w Grocholinie



Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey’a dla $p = 0,05$.

Rys. 96. Zawartość białka w nasionach soi w zależności od odmiany i roku badań w Grocholinie



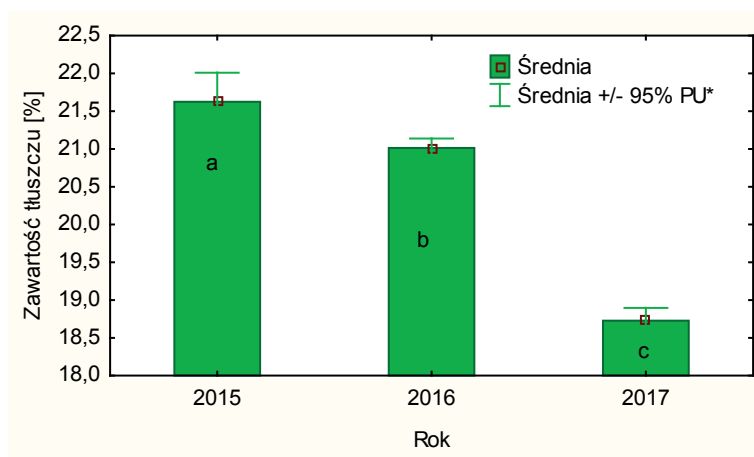
Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey’a dla $p = 0,05$.

Rys. 97. Zawartość białka w nasionach soi w zależności od inokulantu i roku badań w Grocholinie

Tabela 22. Wyniki ANOVA dla zawartości tłuszczu w nasionach soi

Efekt	Statystyki obliczone			
	df efekt	MS efekt	F	p
Rok	2	149,2	1988	< 0,001
Odmiana	7	6,57	87,0	< 0,001
Inokulant	3	1,06	14,0	< 0,001
Odmiana x inokulant	21	0,62	8,10	< 0,001
Rok x odmiana	14	6,44	86,0	< 0,001
Rok x inokulant	6	0,76	10,0	< 0,001
Rok x odmiana x inokulant	42	0,69	9,00	< 0,001

Zawartość tłuszczu była pod wysokim wpływem badanych czynników doświadczalnych oraz wykazywała istotne różnice w latach badań a także odnotowano istotne różnice między rokiem badań w interakcji z wszystkimi czynnikami (tab. 22). Istotnie największą zawartość tłuszczu odnotowano w latach 2015 i 2016 odpowiednio 21,6% i 21,0%, natomiast istotnie najmniejszą zawartość tłuszczu miały nasiona w roku 2017 – 18,7% (rys. 98).



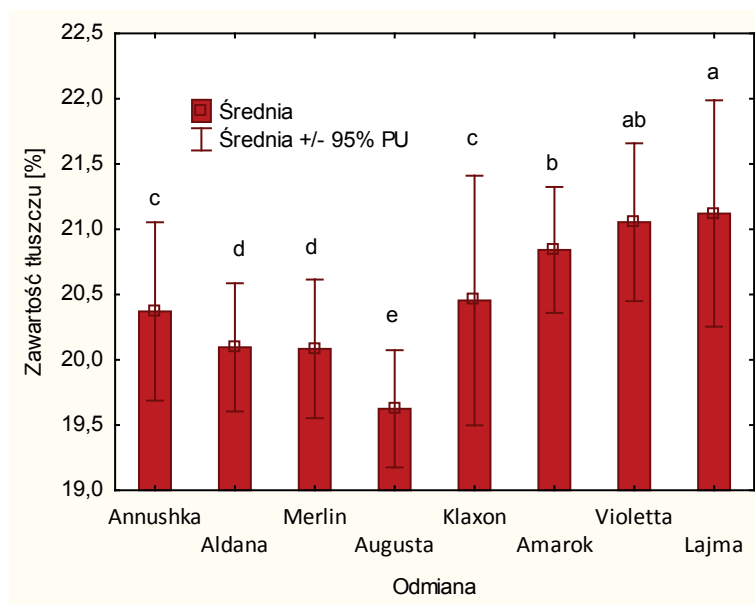
Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey'a dla $p = 0,05$

Rys. 98. Zawartość tłuszczu w nasionach soi w latach badań w Grocholinie

Odmiany soi wysoce istotnie różniły się pod względem zawartość tłuszczu. Najwyższą zawartość tłuszczu miały odmiany Lajma i Violetta (21,1%), nieco mniejszą odmiany Amarak, Annushka i Klaxon odpowiednio: 20,8%, 20,4% i 20,5%. Nasiona Aldany i Merlina charakteryzowały się niską zawartością tłuszczu 20,1%, a istotnie najmniejszą zawartość tłuszczu miały nasiona odmiany Augusta 19,6% (rys. 99).

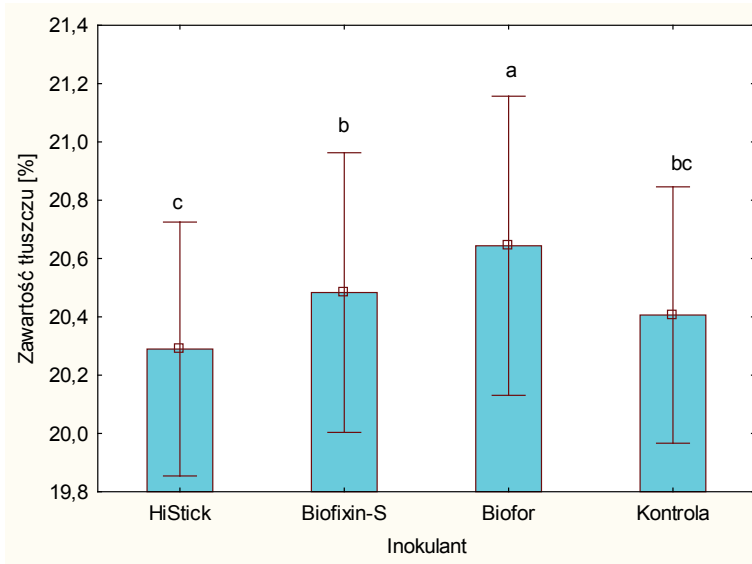
Zastosowane inokulanty do szczepienia nasion soi miały istotny wpływ na zawartość tłuszczu. Średnio najwyższa zawartość badanej cechy była po zaprawieniu nasion preparatem Biofor i Biofixin-S tj. 20,6% i 20,5%. Istotnie najmniejszą zawartość tłuszczu miały nasiona po inokulowaniu Nitraginą (20,4%) i HiStick (20,3%) (rys. 100).

Generalnie, rok uprawy soi wpływał współdziałająco na zawartość tłuszczu w nasionach zarówno z odmianą soi jak i z inokulantem (rys. 101). W roku 2017 zawartość tłuszczu była na najniższym poziomie dla wszystkich odmian, za wyjątkiem Amarak. W latach 2015 i 2016 taki sam poziom tłuszczu w nasionach miały odmiany Annushka, Augusta i Merlin. Wszystkie pozostałe odmiany miały zróżnicowany poziom tłuszczu w zależności od roku. Ogólnie, najwyższe zawartości miały odmiany: Lajma i Klaxon w roku 2015 (rys. 102). Natomiast w odniesieniu do interakcji lata x inokulum, należy stwierdzić, że po zastosowaniu HiStick i kontroli z nitraginą zawartość tłuszczu w latach 2015 i 2016 była na jednakowym poziomie. Z kolei w roku 2015 istotnie wyższe zawartości tłuszczu uzyskano po zastosowaniu Biofixin-S i Biofor niż w roku 2016 (rys. 103). Jednakowo dla wszystkich preparatów do inokulacji najmniejsze zawartości tłuszczu były w 2017 roku.



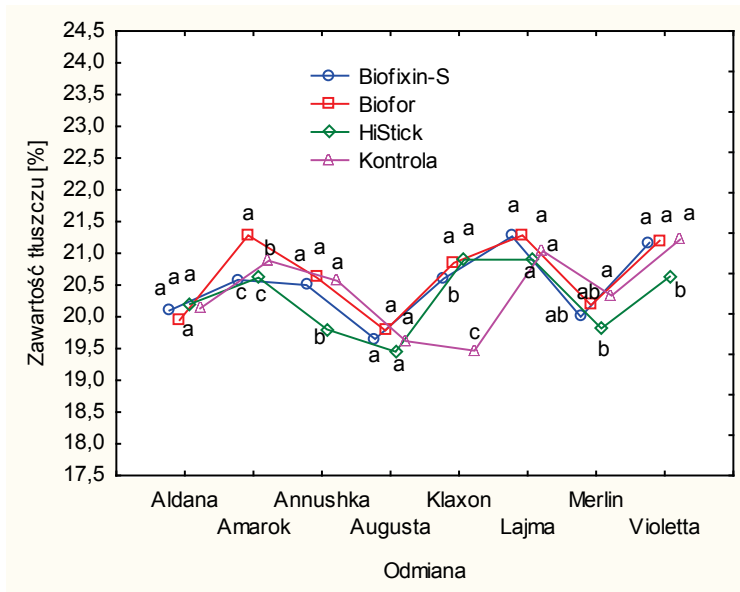
Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey'a dla $p = 0,05$

Rys. 99. Zawartość tłuszczu w nasionach soi w zależności od odmiany w Grocholinie



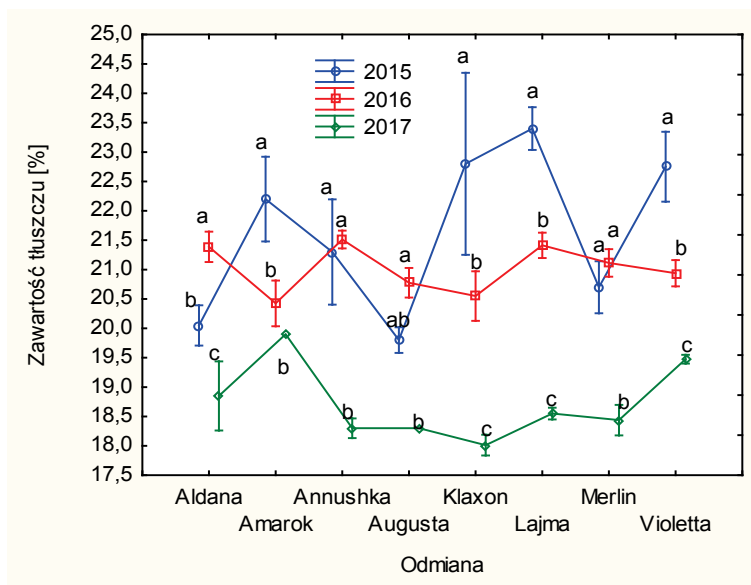
Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey’a dla $p = 0,05$

Rys. 100. Zawartość tłuszczu w nasionach soi w zależności od inokulantu w Grocholinie



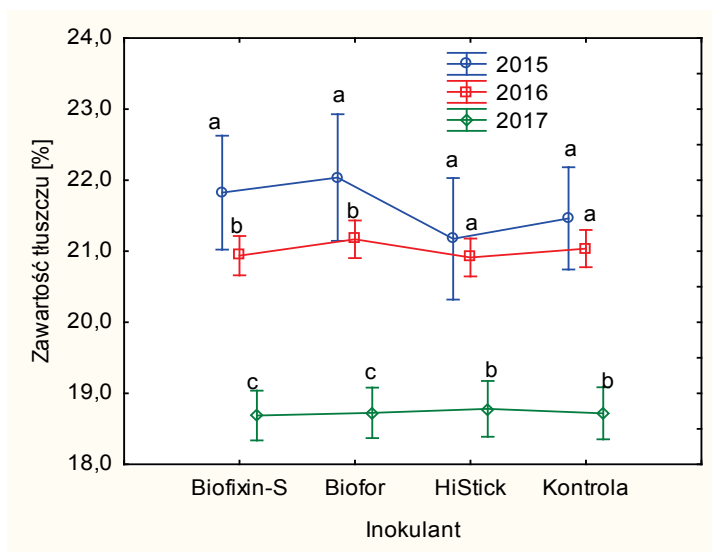
Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey’a dla $p = 0,05$

Rys. 101. Zawartość tłuszczu w nasionach soi w zależności od odmiany i inokulantu w Grocholinie



Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey'a dla $p = 0,05$

Rys. 102. Zawartość tłuszczu w nasionach soi w zależności od odmiany i roku badań w Grocholinie



Objaśnienia: * PU – przedział ufności, a,b – różne literki oznaczają istotnie różniące się średnie według testu HSD Tukey'a dla $p = 0,05$

Rys. 103. Zawartość tłuszczu w nasionach soi w zależności od inokulantu i roku badań w Grocholinie

5. DYSKUSJA

5.1. Plon nasion

Dopiero od 2017 roku gatunek soja został włączony w system porejestrowego doświadczalnictwa odmianowego (PDOiR) i rekomendacji odmian, który jest koordynowany przez COBORU. Celem tych badań jest systematyczne sprawdzanie wartości gospodarczej gatunków uprawnych większości odmian z krajowego rejestru (KR), w doświadczeniach lokalizowanych w różnych rejonach Polski, w zróżnicowanych warunkach siedliskowych. Dzięki realizacji drugiego etapu „inicjatywy białkowej” zwiększyła się liczba doświadczeń PDO, do których włączono również soję. Bardzo postępową inicjatywą nad rozpropagowaniem soi w naszym kraju był program „PolSoja”, realizowany w latach 01.12.2013 – 30.11.2017 w ramach wsparcia NCBiR. Na terenie województwa kujawsko-pomorskiego Stacja Doświadczalna w Chrzastowie pierwsze opublikowane wyniki zawarła dla roku 2016 na odmianach: Aldana, Mavka, Aligator, Madlen i Abelina KR COROBU 2016. W roku 2017 liczba odmian wzrosła do 11 włączając Augustę, Ericę, GL Melanię, Mąję, Paradis, Petrinę i Sculptor. W 2018 liczba odmian wynosiła 33, a w 2019 – 32. Na podstawie opracowania pt. „Wstępne wyniki plonowania odmian w doświadczeniach porejestrowych – Soja 2017” można dokonać porównania plonów uzyskanych w kraju w latach od 2015 do 2017, analogicznie do lat badań omawianych w pracy. W roku 2015 wzorcowy plon nasion w Polsce wyniósł $2,01 \text{ t x ha}^{-1}$ (PDO Soja, 2015). Można to porównać do wyników własnych z dwóch doświadczeń prowadzonych na terenie województwa kujawsko-pomorskiego, w których średni plon wyniósł: $1,48 \text{ t x ha}^{-1}$ w stacji doświadczalnej w Mochelku oraz $1,97 \text{ t x ha}^{-1}$ w gospodarstwie w Grocholinie. Ze względu na słabsze warunki glebowe w Mochelku, średni plon nasion był o pół tony mniejszy niż w Grocholinie i w kraju. Według danych gromadzonych przez SD w Mochelku, rok 2015 był rokiem niekorzystnych warunków atmosferycznych, na co składały się niskie opady w okresie początku wegetacji – suma opadów w czasie wegetacji soi, w tym roku wynosiła 214,2 mm, od wielolecia różniła się na niekorzyść o 161,2 mm. Średnia temperatura, która wynosiła $13,5^{\circ}\text{C}$ dla całego sezonu, wydaje się nie mieć wpływu na obniżone plony, ponieważ była zbliżona do wielolecia.

Łączne opady w okresie wegetacji są dodatnio skorelowane z plonem nasion soi. Determinacja tej zależności mieści się w zakresie pomiędzy 57-67%, przy zmienności plonów nawet do 72% pomiędzy regionami różniącymi się sumą opadów w zakresie od 267 do 645 mm w okresie wegetacji (Faé i in., 2020).

Dodatkowo dane zebrane z uprawy soi w zachodniej Polsce potwierdzają negatywny wpływ limitowanych opadów na plonowanie. W 2015 roku w Pawłowicach przy sumie opadów z całego okresu wegetacyjnego równej 149 mm plonowanie wynosiło $0,99 \text{ t x ha}^{-1}$. Podczas gdy rok wcześniej, w tej samej lokalizacji suma opadów wynosiła 249 mm, a plonowanie $1,57 \text{ t x ha}^{-1}$ (Kania i in. 2016).

W roku 2016 średnia plonu nasion w Polsce wynosiła $3,18 \text{ t x ha}^{-1}$, stacja doświadczalna w Mochełku w tym roku zarejestrowała zbiory na poziomie $6,17 \text{ t x ha}^{-1}$, a gospodarstwo w Grocholinie $3,90 \text{ t x ha}^{-1}$. Sezon wegetacyjny w Mochełku w 2016 wykazał się lepszymi warunkami atmosferycznymi, szczególne znaczenie wydają się mieć obfite opady w okresie rozwoju organów generatywnych rośliny ($98,1 \text{ mm}$ w czerwcu i $133,8 \text{ mm}$ w lipcu). Średnia temperatura wynosiła $13,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$, czyli była zbliżona do 2015 r. W gospodarstwie w Grocholinie suma opadów w czerwcu 2016r. wynosiła $92,5 \text{ mm}$, a w lipcu 188 mm . Dla województwa kujawsko-pomorskiego odniesieniem dla plonowania nasion soi mogą być wyniki z PDOIR w SDOO Chrzastowo. W 2016 roku uplasowały się na poziomie $3,97 \text{ t x ha}^{-1}$. W tym samym roku, odmiana Aldana była uprawiana w dwóch różnych stacjach doświadczalnych. Gospodarstwo w Grocholinie uzyskało plon nasion $3,91 \text{ t x ha}^{-1}$, a SDOO w Chrzastowie $3,43 \text{ t x ha}^{-1}$ dla tej odmiany.

Średnia plonu nasion w Polsce w 2017 wynosiła $3,44 \text{ t x ha}^{-1}$ przy odpowiednio $5,63 \text{ t x ha}^{-1}$ w stacji doświadczalnej w Mochełku oraz $3,26 \text{ t x ha}^{-1}$ w gospodarstwie w Grocholinie. W SD Mochełek odnotowano tego roku najwyższą sumę opadów, ale sam rozkład opadów okazał się niezbyt korzystny, opóźniając dojrzewanie rośliny. Plony z uprawy odmiany Augusta w Grocholinie wynosiły $2,78 \text{ t x ha}^{-1}$, a w Chrzastowie $3,5 \text{ t x ha}^{-1}$. Średnie plony z trzech lat poszczególnych odmian, które były badane w dwóch lokalizacjach można skonfrontować z wynikami innych prac, w których te same odmiany były badane. W grupie najlepszych odmian w SD Mochełek (kompleks glebowy IVa) znalazły się: Amarak, Aligator, Merlin, Petrina, Galice i Lissabon. Ich plonowanie było na poziomie powyżej średniej w zakresie od $4,91$ do $5,25 \text{ t x ha}^{-1}$. W Grocholinie najlepiej plonującymi odmianami okazała się Amarak oraz Merlin, odpowiednio $3,83 \text{ t x ha}^{-1}$ oraz $3,65 \text{ t x ha}^{-1}$. Należy uznać, że praca dostarcza wyników, których nie można porównać z wynikami w innych ośrodkach w Polsce dlatego, że odmiany te nie były jeszcze ujęte w badaniach COBORU w kraju.

W szerokości geograficznej, w jakiej prowadzone były badania, tj. pomiędzy 52, a 53 równoleżnikiem można uprawiać odmiany soi tylko z grupy wczesnych i średnio wczesnych (Zajac i in., 2017) potwierdzają to wyniki zarówno badań PDO w Chrzastowie (PDO Soja, 2019), które plonowały powyżej wzorca w trzech stacjach badawczych: Głębokie, Chrzastowo oraz Śrem Wójtostowo. W omawianych tutaj badaniach wyliczono współczynnik wczesności dla szesnastu odmian testowanych w Minikowie. Powiązanie współczynnika wczesności z plonowaniem nie przekłada się na wszystkie odmiany. W Mochełku najwcześniej zbierana Merlin uzyskiwała najwyższe plony, w przeciwieństwie do Annushki. Można to wytłumaczyć jakością gleby. Na glebie kompleksu żytniego dobrego klasa IVa, najwyższej plonujące odmiany były zbierane w drugiej połowie września i na początku października, w tych warunkach ich wczesność można określić jako średnią. Natomiast na glebie mocniejszej (kompleks III) im wcześniej zbierane odmiany, tym wyższe uzyskiwały plony (Fried i in., 2018).

Najnowsze badania amerykańskie także potwierdzają, że głównymi czynnikami siedliskowymi wpływającymi na plon soi jest skumulowane promieniowanie słoneczne w okresie wegetacji oraz dostępność opadów. Według badań amerykańskich opóźnienie siewu soi powoduje stratę plonu od 0,09 do 1,7% na każdy dzień (Salmerón i in., 2016). W badaniach własnych kierowano się zasadą dostosowania terminu siewu soi do fenologicznej fazy kwitnienia wiśni. Według Jerzak i in. (2012) utrzymywanie się temperatury gleby w zakresie od 8 do 10°C jest szczególnie ważne w momencie wschodu siewek. Ponadto, suma całkowita temperatur w okresie wzrostu i rozwoju soi jest wymagana na poziomie 1350°C.

5.2. Wpływ inokulacji *Bradyrhizobium japonicum*

Revellin i in. (2000) wykazali, że plon nasion soi, który zbliżał się w wykonywanych przez nich badaniach do 4,7 t x ha⁻¹ był korelacyjnie powiązany z większą liczbą brodawek zawiązanych przez na korzeniach, w powiązaniu z inokulacją nasion do wysiewu różnymi szczepami *Bradyrhizobium japonicum*. Powyższą zależność uzyskano poprzez porównanie do badań przeprowadzonych na polu, na którym nie była wcześniej uprawiana soja. Ponadto, Hume i Blair, (1992) wykazali występowanie większej liczby żywotnych komórek bakterii, podczas stosowania różnego typu inokulantów, w glebie o niskiej zawartości azotanów w stanowiskach, na których plon nasion zbliżał się do 3,2 t x ha⁻¹. Liczne doniesienia literatury wskazują, że skuteczność preparatów jest także uzależniona od nośnika, na którym znajdują się żywe bakterie, od stosowania sterylnego torfu poprzez płynne formułacje (Singleton i in., 2002), (Thao i in., 2002). Aczkolwiek Stephens i Rask (2000), wskazują, że ciekłe nośniki mają ograniczony okres trwałości i wymagają przechowywania w niskiej temperaturze. Ponadto, Zimmer i in. (2016), wskazują, że nawet ściśle przestrzeganie podanych warunków nie gwarantuje skutecznej inokulacji soi, co wykazali w dwuletnich badaniach przeprowadzonych w dwóch ośrodkach w Niemczech. Jednakże, dotyczy to plonowania na poziomie 3,5 t x ha⁻¹, w których podaż azotu z naturalnej populacji *B. japonicum* była wystarczająca (Hungaria i in., 2006). Są to warunki analogiczne do tych, w jakich były prowadzone doświadczenia własne. W obydwu lokalizacjach na stanowiskach, na których przeprowadzono badania, soja nigdy wcześniej nie występowała (brak naturalnej populacji *B. japonicum*). Uzyskiwane plony były na zbliżonym poziomie jak w cytowanych powyżej pracach. Zarówno rośliny soi jak i bakterie są poddawane różnym rodzajom stresów biotycznych i abiotycznych, do których należy głównie susza glebowa (Miransari, 2016a). Parent i Tardieu (2014) donoszą, że susza glebowa wpływa negatywnie na przewodnictwo szparkowe, fotosyntezę oraz ekspansję liści a także na brak symbiozy soi z bakteriami. Jednakże, Dong i in. (2019) w swoich badaniach wykazali, że krótkotrwałe okresy suszy mogą skutkować zwiększonym wzrostem biochemiczno-fizycznym, w kompensacji do strat i szkód spowodowanych suszą, kiedy

zostaną nawodnione. Dodatkowo stres wodny może w początkowej fazie prowadzić do wydłużenia pędów, co w przyszłości może poprawić pobór wody oraz składników odżywczych.

Szczepionki bakteryjne powinny charakteryzować się kilkoma atrybutami: 1. Użyciem odpowiedniego podłoża, aby bakterie mogły szybko rosnąć i wytwarzać populację do zaszczepienia rośliny żywicielskiej, 2. Selekcją szczepów bakteryjnych tak, aby mogły funkcjonować w różnych warunkach stresowych, również w suszy (znalazło to potwierdzenie w badaniach z roku 2015, w którym liczba brodawek była wyższa niż w 2016 i 2017, pomimo mniejszej podaży w opady) 3. Stosowanie inokulum o dużej populacji bakterii, co skutkuje konkurencją z rodzimymi bakteriami glebowymi, a tym samym wydajnym wskaźnikiem inokulacji (Miransari, 2016b). W pracy Jarecki i Bobrecka Jamro (2016) zaprezentowali wyniki z lat 2011-2013, które powstały w oparciu o zastosowanie nitraginy z użyciem azotu i bez. Średnia liczba brodawek na obiekcie z nitraginą wyniosła 17,3 sztuki na roślinę, podczas gdy w kontroli były to średnio 14,3 sztuki. W odniesieniu do plonu skuteczność nitraginy była na poziomie od 0,23 do 0,37.

W badaniach własnych testowano cztery preparaty: HiStick®Soy, Biofixin-S, Biofor Soya, Nitragina Soja. We wszystkich nośnikiem bakterii *B. japonicum* był torf. Według danych producentów, preparaty różniły się liczbą żywych bakterii na jeden gram produktu, aczkolwiek w przypadku Nitragina Soja takich danych nie ma na etykiecie produktu. Potraktowano więc ten preparat jako obiekt kontrolny, również ze względu na to, iż na polskim rynku Nitragina jest najstarszym produktem. Brak inokulacji w doświadczeniach kontroli mija się z celem, ponieważ jak pokazują wyniki badań Zimmer i in. (2016) na korzeniach soi w takich warunkach nie rozwijają się brodawki korzeniowe. Stan brodawek ocenia się na podstawie przekroju, gdzie cechą charakterystyczną dobrze rozwiniętych i aktywnie działających bakterii, które tworzą białko Leghemoglobinę, jest kolor zaróżowionego miąższu (Vance i in. 1998). W pracy Zimmer i in., (2016) uzyskiwano zbliżone wartości brodawek korzeniowych jak w gospodarstwie w Grocholinie i SD w Mochełku. W roku 2013 brodawek było najwięcej 14,2, a w roku 2012 najmniej, tj. 5-6. Również wykazano zróżnicowany wpływ u różnych odmian i preparatów do inokulacji. Jednakże największy wpływ na liczbę brodawek miał rok badania, a przede wszystkim związane z nim warunki atmosferyczne. W badaniach do pracy wykazano, że najwięcej brodawek korzeniowych miały rośliny zaszczepione preparatem HiStick, w zakresie od 7 (rok 2016-2017) do 17,4 (rok 2015). Można to wytłumaczyć dobrymi właściwościami wyżej wymienionego preparatu, w którym zastosowano środek lepiący, który poprawia zarówno przyczepność jak i jednorodność pokrywania nasion (Sephens i Rask 2000).

Soja po zaszczepieniu Nitraginą wytworzyła rokrocznie średnio 2 brodawki. Relatywnie dużą skuteczność w tworzeniu brodawek na korzeniach posiadał preparat Biofixin-S – w zakresie od 5 do 10,5 brodawek na roślinę. W badaniach prowadzonych w gospodarstwie w Grocholinie wykazano również, że liczba brodawek korzeniowych podlega interakcji pomiędzy rodzajem inokulantu, a odmianą soi. Dla niektórych odmian np. Aldana i Augusta preparaty takie jak

HiStick i Biofixin-S, miały jednakową skuteczność w tworzeniu brodawek na korzeniach roślin. Z kolei dla takich odmian jak Amarak, Annushka, Klaxon, Lajma czy Violetta zastosowanie HiStick było istotnie bardziej skuteczne od preparatu BioFixin-S. Dla odmiany Merlin, Biofixin-S okazał się bardziej skuteczny niż HiStick. Największą produkcją brodawek w Grocholinie cechowała się odmiana Amarak (średnia ogólna 8,8 sztuk na roślinę). Natomiast w SD Mochełek odmiana Petrina (średnio 16 sztuk na roślinę). Aczkolwiek wyniki pomiędzy tymi doświadczeniami są nieporównywalne, ponieważ w Mochełku wszystkie odmiany, w każdym roku były zaszczone jedyne preparatem Histick.

Nowe inokulanty tworzą powłoki nasion o długim okresie trwałości, dzięki czemu firma produkująca nasiona może sprzedawać wstępnie zaszczone nasiona (np. technologia FixFertig). Pomyślnie zaszczenie nasionami powlekanymi spotykało się z małą skutecznością, o czym donoszono w Szwajcarii (Agroscope 2010) oraz Austrii (Hein i in., 2013). Jednoczesna inokulacja z innymi bakteriami pobudzającymi wzrost roślin (PGPR) (Bai i in., 2003, Cassan i in., 2009) oraz pożytecznymi grzybami np. Mycorrhizza (Antunes i in., 2006) są już opatentowane i sprzedawane w Ameryce Północnej, jednakże nie w Europie.

W badaniach prowadzonych w Niemczech zaszczenie nasion soi zwiększyło plon nasion o 71% w porównaniu z niezaszczonej kontrolą. W cytowanych badaniach, w których użyto również preparatu HiStick, odmiana Merlin osiągnęła rokrocznie najwyższy plon. Natomiast odmiana Protina jedynie w roku 2013 dorównywała plonem odmianie Merlin (Zimmer i in. 2016). Znalazło to również potwierdzenie w badaniach przeprowadzonych w SD Mochełek. Brak szczepienia skutkuje zmniejszeniem dorodności nasion soi. W badaniach Zimmer i in., (2016) zaszczenie nasion powodowało zwiększenie masy tysiąca nasion nawet do 20% w porównaniu z niezaszczonej kontrolą. Autorzy również wskazują na zróżnicowanie odmianowe przytaczając, że największą masę tysiąca nasion, 207 g miała odmiana Bohemians. Niestety tej odmiany nie uwzględniono w badaniach własnych, ze względu na brak jej rejestracji w Polsce w latach 2015-2017.

Negatywny wpływ na symbiozę soi z bakteriami brodawkowymi może mieć nawożenie mineralne azotem (Albareda i in., 2009). W badaniach własnych poziom nawożenia azotem był ograniczony do minimum i dotyczył jedynie dawki startowej w ilości 40 kg w formie saletry amonowej przed siewem. Należy więc uznać, iż ten czynnik nie mógł mieć wpływu na brodawkowanie rośliny.

5.3. Zależności pomiędzy elementami struktury plonu, a plonowaniem soi

W celu zbadania związków między cechami struktury plonu, które pozwalają na ilościowe określenie stopnia liniowej zależności wykorzystano korelację wg. Pearsona. Za pomocą tego współczynnika określono zależności każdej pojedynczej cechy z plonem nasion na podstawie średnich z trzech lat danych uzyskanych w gospodarstwie w Grocholinie.

Estymacja plonu i jego komponentów w oparciu o liniowe regresje została szeroko opisana w pracy Fu Wei i Molin, (2020). Do oszacowania plonów soi autorzy wykorzystali dane o jej składowych, tj.: liczba ziaren i masa ziaren, a celem było zbadanie zależności między plonem i tymi dwoma składnikami, żeby móc wygenerować równania do oszacowania plonu i ocenić dokładność prognozy. Autorzy stwierdzili, że masa tysiąca nasion prezentowała korelację na poziomie $r = 0,50$, a liczba ziaren na poziomie $r = 0,92$ w liniowej zależności do plonu. Biorąc pod uwagę współczynnik determinacji $R^2 = 0,70$ w modelu regresji wielokrotnej.

W badaniach przeprowadzonych przez Zuffo i in. (2020), również wykorzystano analizę korelacji pomiędzy cechami soi, a badania wykazały, że plon nasion był istotnie dodatnio skorelowany z wysokością roślin oraz z liczbą nasion w strąku. Znalazło to odzwierciedlenie w badaniach własnych. Wyniki dla odmiany Violetta wykazały korelację pomiędzy plonem, a wysokością roślin, jednakże korelacja pomiędzy liczbą nasion w strąku, a plonem średnia dla pozostałych odmian była na poziomie umiarkowanym, $r = 0,25$. Z badań opracowanych w cytowanej powyżej pracy wynika, iż plon nasion soi był również skorelowany z masą tysiąca nasion, natomiast masa tysiąca nasion z liczbą nasion w strąku. Powyższe korelacje znajdują pośrednie odzwierciedlenie w badaniach przeprowadzonych do pracy, gdzie plon nasion soi był w największym stopniu dodatnio powiązany z dorodnością nasion, dla odmiany Aldana, Annushka, Augusta, Klaxon oraz Lajma. Zależność pomiędzy powyższymi cechami była na poziomie wysokim oraz średnim. Natomiast w uogólnieniu wszystkich odmian, korelacja między masą tysiąca nasion, a plonem wyniosła $r = 0,55$.

Zuffo i in., (2017) opisali również, że oprócz wysokości roślin, bezpośredni wpływ na plonowanie soi mają: osadzenie pierwszego strąka oraz liczba strąków. Z kolei Alcantara Neto i in., 2011 w swoich badaniach potwierdzili, że liczba strąków na roślinę stanowi najwyższy składnik produkcyjny na suchą masę i całkowity plon nasion z rośliny. W pracy Zuffo i in., 2015 znalazło się także potwierdzenie, że liczba strąków na roślinę i liczba nasion w strąku ma bezpośrednio najwyższy wpływ na plon nasion soi. W Grocholinie zależność między plonowaniem, a wysokością osadzenia pierwszego strąka została statystycznie dodatnio potwierdzona w stopniu średnim, $r = 0,49$, natomiast w odniesieniu do liczby strąków korelacja była stwierdzona tylko u pojedynczych odmian tj. Merlin i Annushka.

Uogólniając, wysoki lub niski współczynnik korelacji pomiędzy dwiema cechami może być wynikiem efektu trzeciej cechy lub grupy cech na tę parę, nie podając dokładnego znaczenia bezpośredniego i pośredniego skutków tych czynników (Cruz i in., 2012). Zależności pomiędzy cechami morfologicznymi, elementami struktury plonowania, plonem nasion oraz zawartością białka i tłuszczu zostały wnikliwie przeanalizowane za pomocą wielowymiarowej analizy PCA (metodą składowych głównych), aby zbadać związki przyczynowo skutkowe pomiędzy cechami soi. Wykorzystano dane dla większej populacji odmian, tj. 16, które badano przez 3 lata w SD Mochelek. Hierarchiczna analiza skupień między

cechami soi wykazała największe podobieństwo cech morfologicznych tj. wysokość roślin i wysokość osadzenia pierwszego strąka, do których najbardziej zbliżyła się obsada roślin do zbioru. Najwyżej plonujące odmiany Amarok i Merlin, wysoki plon nasion zawdzięczały dużej obsadzie roślin do zbioru 62 i 65 sztuk na m², co oznacza, że rośliny tych odmian dobrze znosiły warunki siedliskowe przez cały okres wegetacji. Wczesność zbioru miała duże powiązanie z masą tysiąca nasion i plonowaniem nasion. Dotyczyło to głównie odmian o dużej masie tysiąca nasion, które dawały duży plon tj.: Aligator, Galice, Lissabon, Gallec i Amarok (MTN w zakresie 187,2 – 206,3g).

Do tych cech dołącza zawartość białka, która ma wysokie powiązanie z plonem nasion. Z kolei metoda składowych głównych wyodrębniła pierwszą składową która wyjaśniała 35,1% całkowitej wariacji i odpowiadała za takie cechy jak wysokość roślin, wysokość osadzenia strąka i obsadę podczas zbioru. Natomiast druga składowa, która wyjaśniła 21,8% wariacji tłumaczy plonowanie nasion, masę tysiąca nasion oraz wczesność do zbioru, a także zawartość białka, natomiast przeciwnie tłumaczy zawartość tłuszczu w nasionach. W tym ujęciu dokonano klasyfikacji 16 odmian soi według obydwu składowych głównych. Największe znaczenie pierwsza składowa miała na odmianę Annushka i Lajma, a najmniejsze na odmianę Mavka, z kolei druga składowa największe znaczenie miała na odmianę Galice oraz Petrina, a najmniejsze na Annushkę i Augusta. Według Pires i in. (2000) uprawa soi jest bardzo plastyczna i posiada dużą zdolność do dostosowania się do różnych środowisk i wykorzystania warunków siedliskowych poprzez zmianę morfologii rośliny, architekturę łanu i komponentów plonowania. Badania własne potwierdzają wyżej opisaną plastyczność, ponieważ 10 odmian sklasyfikowało się centralnie w odniesieniu do wyodrębnionych składowych głównych.

W monografii Cabral i in., (2020) również wykorzystano analizę PCA w celu zinterpretowania wskaźników tolerancji na suszę, a także cech genotypowych soi. Sklasyfikowania 22 genotypy soi jako odporne lub wrażliwe na stres związany z suszą. Autorzy tej pracy również posłużyli się metodą rankingową i hierarchiczną analizą skupień (CA) w celu pogłębienia interpretacji badanego zjawiska.

5.4. Kształtowanie się zawartości białka i tłuszczu w nasionach soi

Ze względu na globalne wykorzystanie nasion soi, ich skład pod względem procentowego udziału głównie białka i tłuszczu stanowi jeden z najbardziej interesujących tematów badań. Analiza zawartości białka w nasionach wykazała, że skład procentowy nasion zależy od: rodzaju uprawianej odmiany, zastosowanego inokulantu oraz roku przeprowadzenia badania. Gromadzeniu białka sprzyja wyższa średnia temperatura dobowo oraz mały niedostatek opadów atmosferycznych, a gromadzeniu tłuszczu niższa średnia temperatura dobowo. Znalazło to potwierdzenie w badaniach przeprowadzonych przez Song i in. (2016), w których

udowodniono istnienie pozytywnej korelacji pomiędzy zawartością białka w nasionach oraz średnią dzienną temperaturą. Łączna zawartość białka surowego i białka rozpuszczalnego w wodzie, ilość białka plus olej oraz większość aminokwasów była dodatnio skorelowana ze skumulowaną temperaturą $\geq 15^{\circ}\text{C}$ i średnią dzienną temperaturą, ale były ujemnie skorelowane z godzinami nasłonecznienia i dobowymi zakresami temperatur.

Spośród trzech lat badań przeprowadzonych w Grocholinie, nasiona zebrane w roku 2016 cechowała największa zawartość białka (40,5%). Najmniej białka wytworzyły rośliny w roku 2017 – 37%. Natomiast w SD w Mochełku średnia zawartość białka była najwyższa w roku 2015. Rok ten obfitował w wysokie temperatury oraz najniższe spośród trzech lat badań opady. Badania Kozak i in., (2008) dowiodły, że skład chemiczny nasion w największym stopniu zależy od pogody w latach badań, a w dalszej kolejności od czynnika odmianowego. Dodatkowo badania Michałka i Borowskiego (2006) wykazały, że okresowa susza wpłynęła na zwiększenie procentowej zawartości białka w nasionach również przy istotnym zróżnicowaniu ilości białka pomiędzy odmianami.

Drugim czynnikiem wpływającym na zawartość białka jest odmiana. Odmiana Aldana uprawiana w Grocholinie osiągnęła 40,3% zawartość białka, dodatkowo cztery inne odmiany osiągnęły wynik powyżej średniej: Merlin, Augusta, Violetta i Amarak. W badaniach Zimmer i in. (2016) największą zawartość białka zanotowano w przypadku odmiany Protina – $429 \text{ g} \times \text{kg}^{-1}$, tj. 42,9%. Odmiana Merlin w osiągnęła zawartość białka 36,8%. W stacji badawczej w Mochełku potwierdzono te dane, gdyż odmiana Protina oraz Petrina i Galice wytworzyły zawartość białka powyżej 42%.

Stosowanie inokulantu zwiększa zawartość białka w nasionach średnio o 10% w porównaniu z niezaszczepioną kontrolą. W badaniach przeprowadzonych przez Zimmer i in. (2016) inokulantem, dzięki któremu roślina wytworzyła największą ilość białka był Biodoz Rhizofilm ($413 \text{ g} \times \text{kg}^{-1}$). Niestety nie został on przebadanych w badaniach własnych, w których największą ilość białka związały rośliny zaszczipione preparatem HiStick i Nitraginą – 39,2% – wynik dla gospodarstwa w Grocholinie.

Badanie skuteczności inokulantów *B. japonicum* przed komercjalizacją powinna stać się standardem we wszystkich krajach, ponieważ niewystarczająca inokulacja spowodowała nawet do 45% straty plonu białka, dane z Francji (Zimmer i in., 2016).

Badania przeprowadzone przez Boroomanda i in. (2009) w Iranie dowiodły, że gęstość roślin na ha nie wpływa istotnie na zawartość białka w nasionach. Jednakże, zastosowanie startowej dawki azotu zwiększyło procentowy udział białka w nasionach, kosztem tłuszczu. Wykazano, że dla uzyskania nasion najbardziej wydajnych pod względem plonu oraz zawartości białka, optymalne zagęszczenie roślin to $45 \text{ roślin} \times \text{m}^{-2}$ przy zastosowaniu nawożenia startowego azotem w dawce $40 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1}$.

Korelacje pomiędzy warunkami atmosferycznymi, a zawartością tłuszczu w nasionach soi są odwrotne do korelacji pomiędzy klimatem, a zawartością

białka. Procentowy skład tłuszczu wykazał dodatnią korelację ze średnią dobową temperaturą, gdy temperatura za dnia była poniżej 19,7 °C (Song i in., 2016). Dodatkowo Han i in., 1997 potwierdzili, że czas nasłonecznienia znacząco wpływa na skład chemiczny nasion soi. Podczas gdy wydłużenie czasu nasłonecznienia roślin zmniejsza procentowy skład białka, zwiększa się udział tłuszczu w nasionach. W badaniach własnych przeprowadzonych w gospodarstwie w Grocholinie wykazano, że największy procentowy udział tłuszczu w nasionach wystąpił w roku 2015 (21,6%), który cechował się najmniej urodzajnymi warunkami klimatycznymi. Różnice w zawartości tłuszczu wynikały także z wysiania różnych odmian. Najwięcej tłuszczu wytworzyły odmiany Lajma i Violetta (21,1%), a najmniej Augusta (19,6%). Potwierdzają to badania wykonane w SD w Mochelku, gdzie w 2015 roku zawartość tłuszczu w nasionach wynosiła średnio 21,4%, a najmniej w 2017 – 18,6%. Odmianą o największej koncentracji tłuszczu była Lissabon – 22,4%, a najmniejszej Protina, Galice, Mavka, Petrina (poniżej 19%).

5.5. Hydrożel i opłacalność

Liczne badania wskazują, że wskaźniki wilgotności gleby należy interpretować w szerszym kontekście czynników siedliskowych wpływających na plony (Svoray i in., 2015), (Roper i in., 2017), (Van Es i Karleen, 2019). Na kondycję gleby wpływa nie tylko temperatura czy potencjał wodny, mierzone zgodnie z normami i związane z właściwościami termodynamicznymi, ale całościowa ocena stanu gleby. Korzenie zwykle rosną przez pęknięcia, dziury lub między agregatami gleby podążając ścieżką najmniejszego oporu w glebie do wyrośnięcia korzenia (Russel, 1977), (Stirzaker i in., 1996). Badania amerykańskie wskazują na to, że gleby, które posiadają dobrą zdolność zatrzymywania wody i wysoką aktywność biologiczną mają największy potencjał dla plonowania soi. Jednakże, często pomiary *in situ* nie odzwierciedlają testów laboratoryjno-wazonowych.

W badaniach własnych wysokość roślin soi osiągnęła wyższe wartości średnio o 40% w odniesieniu do kontroli bez hydrożelu. Ponadto, biomasa nadziemna roślin wzrosła średnio o 25% w porównaniu z kontrolą, w której nie zastosowano hydrożelu. Autorzy badający wpływ hydrożelu przy 33 dniowym okresie bez wody oraz przy temperaturach nawet 35-38°C, co oznacza bardzo silny stres suszy, wykazali, że liczba strąków zwiększyła się o od 5,6 do 10%, w stosunku do kontroli bez hydrożelu (Fidelis i in., 2018). Intensywny niedobór wody w fazie reprodukcyjnej może być uzupełniany hydrożelem, który ma właściwości poprawy retencji wody, co może przekładać się na wyższą produkcję strąków w krytycznym okresie (Fioreze i in., 2013). Plony, w których zastosowano hydrożel były w tych badaniach o 10% wyższe niż w kontroli. W niektórych regionach świata np. Tocantins (Pd Brazylii), które charakteryzują się wieloletnią niską sumą opadów zastosowanie hydrożelu w polu miało uzasadnienie w latach 2015-2016, jednakże autorzy nie przedstawiają uzasadnienia ekonomicznego.

Stosowanie hydrożelu w celu wyrównania plonu nasion soi, w warunkach niedoboru wody nie wpływa negatywnie na jakość biochemiczną nasion. Podczas stosowania hydrożelu nie zachodzi interakcja pomiędzy poziomem białka i tłuszczu w nasionach (Nascimento i in., 2019). Badania własne prowadzone w oparciu o eksperyment wazonowy wykazały pewne mankamenty samej idei stosowania hydrożelu w uprawie soi. Po pierwsze, wilgotność gleby nie utrzymywała się na poziomie wyższym niż w kontroli w odcinkach czasu powyżej 6 dni w poszczególnych fazach rozwojowych. Wprawdzie uzyskano pomiary biometryczne soi lepsze w odniesieniu do wysokości roślin, liczby węzłów na pędzie, suchej masy pędu, czyli części nadziemnych rośliny, jednakże wpływ był mniej znaczący dla rozwoju korzeni. Najbardziej imponujące były wyniki dotyczące liczby brodawek na korzeniu, w wariantach każdego inokulantu z hydrożelem. Dalszych badań w kierunku stosowania hydrożelu *in situ* w Mochełku bądź Grocholinie nie prowadzono, ze względu na brak sprzętu do aplikacji hydrożelu do gleby w czasie siewu soi. Analiza ekonomiczna wykonana dla uśrednionych wartości kosztów produkcji z włączeniem hydrożelu na hektar w ilości 100 kg x ha⁻¹ wskazuje na niską opłacalność stosowania preparatu.

6. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań polowych w gospodarstwie rolnym w Grocholinie i w Stacji Badawczej UTP Mochełek można wysunąć następujące wnioski:

1. Plon i jakość nasion soi zależał w bardzo dużym stopniu od warunków pogody w latach badań. Najwyższe plonowanie uzyskano w roku 2016, w którym suma opadów wyniosła w Mochełku –503 mm i w Grocholinie 652 mm. Najniższe plony były w roku 2015 gdzie suma opadów w Mochełku wyniosła 214,2 mm a w Grocholinie 293 mm.
2. Plon nasion soi różnił się pomiędzy lokalizacjami doświadczeń w zależności od warunków glebowych. W Mochełku na glebach klasy bonitacyjnej IVa średni plon zebrano 4,43 t x ha⁻¹, natomiast w Grocholinie na glebach klasy II średni plon z trzech lat badań wyniósł 3,05 t x ha⁻¹.
3. W Grocholinie odmiany Amarak, Merlin i Lajma plonowały najwyżej, odpowiednio na średnim z lat poziomie 3,83 t x ha⁻¹, 3,65 t x ha⁻¹, 3,29 t x ha⁻¹. W Mochełku najwyższy plon nasion zebrano u odmiany Amarak (5,25 t x ha⁻¹), która plonowała o 18,5% powyżej średniej z badań. Powyżej średniej plonowały również odmiany Aligator (5,04 t x ha⁻¹), Merlin (5,00 t x ha⁻¹), Petrina (4,96 t x ha⁻¹), Galice (4,93 t x ha⁻¹) oraz Lissabon (4,91 t x ha⁻¹).
4. Większość odmian w Mochełku zebrano w miesiącu wrześniu, wyjątek stanowił zbiór w roku 2017 przez nadmierne opady. Zbiór odmian Aligator, Mavka i Protina przesunął się na 1 dekadę października.
5. Najwyższy wpływ na plon nasion soi miała obsada roślin do zbioru, która w dużym stopniu zależała od lokalizacji i warunków atmosferycznych. Najwyższy plon w Grocholinie zebrano przy obsadzie 56,6 szt. x m⁻¹, a w Mochełku przy 62,6 szt. x m⁻¹.
6. Preparaty do inokulacji wpłynęły na plonowanie w zróżnicowany sposób. Odmiany soi inokulowane preparatem Histick i Biofixin-S miały zwiększoną obsadę roślin po wschodach i do zbioru, jak również te rośliny miały dłuższy pęd i najwyżej osadzony pierwszy strąk. Odmiany Aldana, Klaxon, Lajma, Violetta zareagowały współdziałająco z inokulantami Biofixin i Histick, zebrano od nich wyższy plon w porównaniu do kontroli.
7. Doświadczenia w zależności od warunków glebowych różniły się obsadą roślin do zbioru. Na glebach średnich klasy IVa w Mochełku średnia obsada do zbioru wyniosła 50,8 szt. x m⁻¹, a w Grocholinie na glebach klasy II wyniosła 46,8 szt. x m⁻¹.
8. W Mochełku i w Grocholinie największą dorodność nasion miała odmiana Aldana, odpowiednio 199,2g i 186g, wynik ten jest około 17% wyższy od średnich z lat badań.
9. W Grocholinie ubytki roślin od wschodów do zbioru w najmniejszym stopniu dotyczyły odmian Amarak i Lajma odpowiednio 14,2% i 12,7%.
10. Odmiany różniły się wysokością roślin i osadzeniem pierwszego strąka w zależności od roku badań i lokalizacji doświadczenia.
11. Odmiana i rodzaj zastosowanego inokulum nie miała wpływu na liczbę nasion w strąku.

12. Najwięcej strąków miały rośliny w Mochełku średnio 24,9 szt. a w Grocholinie 19,1 szt. Lajma w obydwu lokalizacjach wykształciła najwięcej strąków w Grocholinie 30,5 szt. a Mochełku 36,3 szt..
13. Inokulany Histick i Biofixin-S miały wpływ na większą liczbę strąków na roślinie. Większość odmian zareagowała zmniejszeniem liczby strąków po zastosowaniu Nitraginy.
14. Liczba brodawek na korzeniu różniła się w zależności od roku badań i warunków glebowych. W roku stosunkowo suchym, 2015 odnotowano w Grocholinie 7,3 szt. na korzeniu a w Mochełku 5,0 szt. W latach 2016 i 2017 z dużą ilością opadów liczba ta był mniejsza w Grocholinie odpowiednio 5,3 i 5,5 natomiast w Mochełku na glebach średnich zaobserwowano zwiększoną liczbę brodawek 12 szt. w roku 2016 i 10,2 szt. w roku 2017.
15. Rośliny, których nasiona inokulowano preparatem Histick miały najwięcej wytworzonych brodawek korzeniowych, tj. 10,5 szt. na korzeniu o 9 szt. więcej w porównaniu do kontroli.
16. Zawartość białka w nasionach różniła się w zależności warunków pogodowych w danym roku oraz od cech odmianowych. Najwięcej białka w Grocholinie miała odmiana z polskiej hodowli o największej MTN-Aldana (40,3%). Najmniej białka cechowały nasiona ukraińskiej hodowli o małej MTN – Lajma (35,6%) i Annushka (37,8%). Najwięcej białka w Mochełku miała odmiana Galice – 45,6% o 6,1% więcej o średniej z lat badań.
17. Rośliny, gdzie nasiona inokulowano preparatem Histick lub Nitraginą miały największą zawartość białka -39,2% o 0,4% więcej od średniej z lat badań
18. Zawartość tłuszczu w nasionach różniła się w zależności od roku badań. W suchym i ciepłym roku 2015 nasiona miały wysoką zawartość tłuszczu średnio z doświadczeń 21,5% a w roku z dużą ilością opadów 2017 - 18,55 %.
19. Zawartość białka i tłuszczu w nasionach różniła się w zależności od lokalizacji doświadczenia. W Grocholinie średnio nasiona zawierały 38,8% białka i 20,5% tłuszczu natomiast w Mochełku średnio 39,5% białka i 19,81% tłuszczu.
20. W Grocholinie plon soi jest w najwyższym stopniu skorelowany z obsadą roślin po wschodach i do zbiorów. Plon nasion w Mochełku jest najbardziej powiązany z wczesnością zbioru i masą tysiąca nasion.
21. Soja odmian wcześniej dojrzewających uprawiana na glebach średnich osiąga wyższe parametry biometryczne niż na glebach zwięzłych, przez co przy sprzyjających warunkach atmosferycznych osiąga wysoki plon o wysokich parametrach jakościowych. Jednakże w przypadku okresowych niedoborów wody na glebach zwięzłych plon jest bardziej wyrównany w latach niż na glebach średnich.

Na podstawie przeprowadzonego doświadczenia wazonowego w gospodarstwie w Chlebnie można wysunąć następujące wnioski:

1. Hydrożel zwiększa pojemność wodną gleby na krótki okres czasu, przy dłuższych niedoborach wody może okazać się nie wystarczającym źródłem wody i będzie konieczne nawadnianie plantacji.

2. Stosowanie hydrożelu wpłynęło na zwiększanie liczby brodawek korzeniowych. Zwiększona pojemność wodna gleby i liczba brodawek miały wpływ na parametry biometryczne roślin w odniesieniu do wysokości roślin, liczby węzłów na pędzie, suchej masy pędu, czyli części nadziemnych rośliny, jednakże wpływ był mniej znaczący dla rozwoju korzeni.
3. Po zastosowaniu preparatu Biofixin-S i Histick rośliny charakteryzowały się lepszymi parametrami biometrycznymi. Odnotowano większą liczbę brodawek korzeniowych po zastosowaniu tych preparatów w porównaniu do Biofor Soy i Nitraginy.
4. Wysokie koszty zakupu hydrożelu wskazują na niską opłacalność stosowania preparatu.

BIBLIOGRAFIA

1. Abbasi M.K., Majeed A., Sadiq A., Khan S.R. 2008. Application of *Bradyrhizobium japonicum* and phosphorus fertilization improved growth, yield and nodulation of soybean in the subhumid hilly region of Azad Jammu and Kashmir, Pakistan. *Plant Production Science*, 11: 368–376.
2. Afzal A., Bano A., Fatima M. 2010. Higher soybean yield by inoculation with N-fixing and P-solubilizing bacteria. *Agronomy for Sustainable Development*, 30: 487–495.
3. Ajandouz E.H., Tchiakpe L.S., Dalle Ore F., Benajjiba A., Puigserver A. 2001. Effects of pH on caramelization and Millard reaction kinetics in fructose-lysine model system. *Journal of Food Science*, 66 (7): 926–931.
4. Akande K.E. Doma U.D., Agu H.O., Adamu H.M. 2010. Major antinutrients found in plant protein sources: Their effect on nutrition. *Pakistan Journal of Nutrition*, 9 (8): 827–832.
5. Albin D.M., Smiricky M.R., Wubben J.E., Gabert V.M. 2001. The effect of dietary level of soybean oil and palm oil on apparent ileal amino acid digestibility and postprandial flow patterns of chromic oxide and amino acids in pigs. *Canadian Journal of Animal Science*, 81: 495–503.
6. Ali N. 2010. Soybean processing and utilization. [W:] Singh G. (Ed.), *The soybean*. CABI, 345–374.
7. Alves B.J.R., Boddey R.M., Urquiaga S. 2003. The success of BNF in soybean in Brazil. *Plant and Soil*, 252: 1–9.
8. Anderson J.J., Ambrose W.W., Garner S. C. 1995. Orally dosed genistein from soy and prevention of cancellous bone loss in two ovariectomized rat models. *The Journal of Nutrition*, 125: 799S Abstr.
9. Arjmandi B.H., Alekel L., Hollis B.W., Amin D. 1996. Dietary soybean protein prevents bone loss in ovariectomized rat model of osteoporosis. *The Journal of Nutrition*, 126 (1): 161–167.
10. Ashlock L.O., Klerk R., Huitink G., Keisling T., Vories E.D. 2000. Planting practices. *Arkansas soybean handbook MPV, 197: 35–49*. University Arkansas Cooperative Extension Service. Little Rock, AR, USA.
11. Azadbakht L., Shakerhosseini R., Atabak S., Jamshidian M., Mehrabi Y., Esmail-Zadeh A. 2003. Beneficiary effects of dietary soy protein on lowering plasma levels of lipid and improving kidney function in type II diabetes with nephropathy. *European Journal of Clinical Nutrition*, 57: 1292–1294.
12. Bakht T., Khan I.A., Khan M.I., Khan I., Khattak A.M. 2009. Weed control in pea (*Pisum sativum* L.) through mulching. *Pakistan Journal Weed Science Research*, 15 (1): 83–89.
13. Balko C., Hahn V., Ordon F. 2014. Kuhletoleranz bei der Sojabohne (*Glycine max* (L.) Merr.). Voraussetzung für die Ausweitung des Sojaanbaus in Deutschland. *Journal für Kulturpflanzen*, 66 (11): 378–388.

14. Ball B.C., Lang R.W., Robertson E.A.G., Franklin M.F. 1994. Crop performance and soil conditions on imperfectly drained loams after 20–25 years of conventional tillage or direct drilling. *Soil and Tillage Research*, 31: 97–118.
15. Barnes S., Sfakianos J., Coward L., Kirk M. 1996. Soy isoflavones and cancer prevention. Underlying biochemical and pharmacological issues. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 401: 87–100.
16. Bellaloui N., Abbas H.K., Gillen A.M., Abel C.A. 2009. Effect of glyphosate-boron application on seed composition and nitrogen metabolism in glyphosate-resistant soybean. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57: 9050–9056.
17. Bellaloui N., Bruns H.A., Gillen A.M., Abbas H.K., Zablotowicz R.M., Mengistu A., Paris, R.L. 2010. Soybean seed protein, oil, fatty acids, and mineral composition as influenced by soybean–corn rotation. *The Journal of Agricultural Science*, 1: 102–109.
18. Bellaloui N., Mengistu A., Walker E.R., Young L.D. 2014. Soybean seed composition as affected by seeding rates and row spacing. *Crop Science*, 54: 1782–1795.
19. Bengough A.G., McKenzie B.M., Hallet P.D., Valentine T.A. 2011. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits. *Journal of Experimental Botany*, 62: 59–68.
20. Blecharczyk A., Małecka I., 2008. Uprawa bezorkowa. *Farmer* (06)
21. Borawska J., Darewicz M., Iwaniak A., Minkiewicz P. 2014. Biologicznie aktywne peptydy pochodzące z białek żywności jako czynniki prewencji wybranych chorób dietozależnych. *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna*, XLVII, 2: 230–236.
22. Borges R., Mallarino A.P. 2000. Grain yield, early growth, and nutrient uptake of no-till soybean as affected by phosphorus and potassium placement. *Agronomy Journal*, 92: 380–388.
23. Borget M. 1992. Food Legumes. *The Tropical Agriculturalist*, CTA Macmillan: 103s.
24. Boros L., Szyrmer J., Sawicki J. 1996. Wartość użytkowa odmian soi wyhodowanych w IHAR. *Biuletyn IHAR*, 198: 97–102.
25. Bujak K., Jędruszczak M., Frant M. 2004. Wpływ uproszczonej uprawy roli oraz dolistnego dokarmiania makro- i mikroelementami na plonowanie soi uprawianej w monokulturze. *Annales UMCS, Sect. E Agricultura*, 59 (1): 139–147.
26. Bujak, K., Frant, M. 2009. Wpływ mieszanek herbicydów na plonowanie i zachwaszczenie pięciu odmian soi. *Acta Agrophysica*, 13 (3): 601–613.

27. Bury M., Nawracała, J. 2004. Wstępna ocena potencjału plonowania uprawy soi (*Glycine max* (L.) Merr.) uprawianych w rejonie Szczecina. Rośliny Oleiste - Oilseed Crops, 25: 415–422.
28. Busscher W.J., Sojka R.E., Doty C.W. 1986. Residual effects of tillage in Coastal Plain soils. Soil Science, 141(2): 144–148.
29. Cade-Menun B.J., Carter M.R., James D.C., Liu C.W. 2010. Phosphorus forms and chemistry in the soil profile under long-term conservation tillage: a phosphorus-31 nuclear magnetic resonance study. Journal of Environmental Quality, 39: 1647–1656.
30. Cakmak I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification. Plant and Soil, 302: 1–17.
31. Caliskan S., Ozkaya I., Caliskan M.E., Arslan M. 2008. The effect of nitrogen and iron fertilization on growth, yield and fertilizer use efficiency of soybean in Mediterranean – type soil. Field Crops Research, 108 (2): 126–132.
32. Candogana B.N., Sincik M., Buyukcangaz H., Demirtas C., Goksoy A.T., Yazgana S. 2013. Yield, quality and crop water stress index relationships for deficit-irrigated soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) in sub-humid climatic conditions. Agricultural Water Management, 118: 113–121.
33. Cannell R.Q., Hawes J.D. 1994. Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates. Soil Tillage Research, 30: 245–282.
34. Capula-Rodríguez R., Valdez-Aguilar L.A, Cartmill D.L., Cartmill A.D., Alia-Tejagal I. 2016. Supplementary calcium and potassium improve the response of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) to simultaneous alkalinity, salinity, and boron stress. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 47 (4): 505–511.
35. Carrera C.S., Reynoso C.M., Funes G.J., Martínez M.J., Dardanelli J., Resnik S.L. 2011. Amino acid composition of soybean seeds as affected by climatic variables. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 46 (12): 1579–1587.
36. Carter T.E. Jr. 1989. Breeding for drought tolerance in soybean: where do we stand? [W:] World Soybean Conference, IV, Pascale A.J. (Ed.). Conference materials, Buenos Aires, Argentina, 1001–1008.
37. Cassman K.G., Dobermann A., Walters D.T, Yang H. 2003. Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality. Annual Review of Environment Resources, 28: 315–358.
38. Chen Y., Ho S.C., Lam S.S.H., Ho S.S.S., Woo J.L.F. 2003. Soy isoflavones have a favorable effect on bone loss in Chinese postmenopausal women with lower bone mass: a double-blind, randomized, controlled trial. The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism, 88 (10): 4740–4747.
39. Cordle C.T. 2004. Soy protein allergy: Incidence and relative severity. American Society of Nutritional Science, 134: 1213S–1219S.

40. Czubiński T., 2017, Soja na materiał siewny, *Top Agrar* 4, 138–141.
41. Deaker R., Roughley R.J., Kennedy I.R. 2004. Legume seed inoculation technology – a review. *Soil Biology and Biochemistry*, 36: 1275–1288.
42. Dobek T.K., Dobek M. 2008. Efektywność produkcji soi w polskich warunkach. *Inżynieria Rolnicza*, 4 (102): 233–240.
43. Dobek T. K., Dobek M., Wojciechowska J., 2009, Ekonomiczne i energetyczne aspekty produkcji soi w warunkach polskiego rolnictwa. *Inżynieria Rolnicza* 6 (115), 37–43
44. Dobrzański B., Stępniewski A. 2013. Physical properties of seeds in technological processes. [W:] *Advances in Agrophysical Research*. Grundas S., Stępniewski A. (Eds.): 269–294.
45. Dragičević V., Nikolić B., Waisi H., Stojiljković M., Durović S., Spasojević I., Perić V. 2015. Alterations in mineral nutrients in soybean grain induced by organo-mineral foliar fertilizers. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 2, numer artykułu 12. <https://doi.org/10.1186/s40538-015-0034-4>
46. Duer I. 1996. Mulczujący wpływ międzyplonu na plonowanie jęczmienia jarego oraz zawartość wody i azotanów w glebie. *Fragmenta Agronomica*, 13 (1): 29–43.
47. Duiker S.W., Beegle D.B. 2006. Soil fertility distributions in long-term no-till, chisel/disk and moldboard plow/disk systems. *Soil and Tillage Research*, 88: 30–41.
48. Duke, S.H., Schrader, L.E., Miller, M.G. 1977. Low temperature effects on soybean (*Glycine max* L. Merr. cv. Wells) mitochondrial respiration and several dehydrogenases during imbibition and germination. *Plant Physiology*, 60: 716–722.
49. Duzan H.M., Zhou X., Souleimanov A., Smith D.L. 2004. Perception of Bradyrhizobium japonicum Nod factor by soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) root hairs under abiotic stress conditions. *Journal of Experimental Botany*, 55: 2641–2646.
50. Eapen S. 2008. Advances in development of transgenic pulse crops. *Bio-technol Advances*, 26 (2):162–168.
51. Esquinas-Alcázar J. 2005. Protecting Crop Genetic Diversity for Food Security: Political, Ethical and Technical Challenges. *Nature Reviews Genetics*, 6: 946–953.
52. European Academies Science Advisory Council 2013. Planting the future: opportunities and challenges for using crop genetic improvement technologies for sustainable agriculture. Policy Report 21. *BioTechnologia*, 94 (4): 459–527.
53. Faligowska A., Szukała J. 2014. Wpływ polimeru organicznego na komponenty plonowania i plon soi uprawnej. *Nauka Przyroda Technologie*, 8 (1): 1–8.
54. Falloon P., Betts R. 2010. Climate impacts on European agriculture and water management in the context of adaptation and mitigation – the importance

- of an integrated approach. *Science of the Total Environment*, 408 (23): 5667–5687.
55. FAOSTAT 2018. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
 56. FAOSTAT 2016. (Food and Agriculture Organization of the United Nations: Statistics Division) Soybean Production of Commodity of the World. <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>.
 57. Fehr W.R., Caviness C.E., Burnmood D.T., Pennington J.S. 1971. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merr. *Crop Science*, 11: 929–931.
 58. Fenta B.A., Beebe S.E., Kunert K.J., Burr ridge J.D., Barlow K.M., Lynch J.P. 2014. Field phenotyping of soybean roots for drought stress tolerance. *Agronomy*, 4 (3): 418–435.
 59. Fernandez-Quintanilla C., Quadranti M., Kudsk P., Barberi P. 2008. Which future for weed science? *Weed Research*, 48 (4): 297–301.
 60. Ferreira A.S., Balbinot Junior A.A., Werner F., Zucareli C., Franchini J.C., Debiasi H. 2016. Plant density and mineral nitrogen fertilization influencing yield, yield components and concentration of oil and protein in soybean grains. *Bragantia*, 75 (3): 362–370.
 61. Filoda G., Mrówczyński M. (Eds.) 2012. *Metodyka integrowanej ochrony soi dla producentów*. Wyd. IOR-PIB. Poznań: 3–26.
 62. Filody G., Mrówczyński M., 2016, *Praca zbiorowa. Metodyka integrowanej ochrony i produkcji soi dla doradców*, Instytut Ochrony Roślin-Państwowy Państwowy Instytut Badawczy, Poznań.
 63. Florek, J., Czerwińska-Kayzer D., Jerzak, M. A. 2012. Aktualny stan i wykorzystanie produkcji upraw roślin strączkowych. *Fragmenta Agronomica*, 29 (4): 45–55.
 64. Food and Drug Administration (FDA). Food Allergen Labeling and Consumer Protection (FALCP) Act of 2004; <http://www.cfsan.fda.gov/~acrobot/algact.pdf>.
 65. Frederick J.R., Bauer P.J., Busscher W.J., McCutcheon G.S. 1998. Tillage Management for Doublecropped Soybean Grown in Narrow and Wide Row Width Culture. *Crop Science*, 38 (3): 755–762.
 66. Furczak J., Turska B. 2006. Wpływ różnych systemów uprawy soi na rozwój mikroorganizmów i zawartość fenoli w glebie płowej. *Acta Agrophysica*, 8(1), 59–68.
 67. Garrett R. D., Rueda X., Lambin E. F. 2014. Globalization's unexpected impact on soybean production in South America: linkages between preferences for non-genetically modified crops, eco-certifications, and land use. *Environmental Research Letters*, 8: 1–11.
 68. Gawęda D., Cierpiała R., Bujak K., Wesołowski K. 2014. Soybean yield under different tillage systems., *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*, 13 (1): 43–54.

69. Gawęda D., Cierpiała R., Harasim E., Wesołowski M., Bujak K. 2015. Weed infestation of soybean (*Glycine max* L. Merr.) under different tillage systems. *Acta Agrobotanica*, 68 (1): 53–58.
70. George, T., Bartholomew, D.P., Singleton, P.W. 1990. Effect of temperature and maturity group on phenology of field grown nodulating and nonnodulating soybean isolines. *Biotronics*, 19: 49–59.
71. Ghasemian V., Ghalavand A., Soroosh zadeh A., Pirzad A. 2010. The Effect of iron, zinc and manganese on quality and quantity of soybean seed. *Journal of Phytology*, 2 (11): 73–79.
72. Goldsmith P. 2008. Economics of soybean production, marketing, and utilization. [W:] Johnson L.A., White P.J., and Galloway R. (Eds.), *Soybeans: Chemistry, production, processing, and utilization*. Urbana: AOCS: 117–150.
73. Goluch-Koniuszy Z. i Salmanowicz M. 2017. Wybrane substancje antyodżywcze występujące w żywności. [W:] *Vox Medici*. OIL Szczecin: 9–13.
74. Grieshop, C.M., Kadzere, C.T., Clapper, G.M., Flickinger, E.A., Bauer LL, Frazier, R.L., Fahey G.C.J. 2003. Chemical and nutritional characteristics of United States soybeans and soybean meals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51 (26): 7684–7691.
75. Gugąła M., Zarzecka K. 2009. The influence of sowing rate and weed control methods on the yielding of field pea (*Pisum sativum* L.). *Fragmenta Agronomica*, 26 (2): 64–71.
76. Gugąła M., Zarzecka K. 2011. Regulation of weed infestation in pea crop, cultivar Wiato. *Progress in Plant Protection*, 51 (1): 342–347.
77. Gugąła M., Zarzecka K., Sikorska A. 2014. Influence of tillage methods and nurturing chemical on weed infestation and yield of pea (*Pisum sativum* L.) cultivar Merlin. *Progress in Plant Protection*, 54 (3): 349–354.
78. Gujska E., Khan K. 2002. Effect of extrusion variables on amino acids, available lysine and in vitro protein of the extrudates from pinto bean (*Phaseolus vulgaris*). *Polish Journal of Food and Nutrition Science*, 11/52 (1): 39–43.
79. Guo J., Li X., Browning J.D., Rottingham G.E., Lubahn D.B., Constantinou A., i in. 2004. Dietary soy isoflavones and strone protect ovarioectomized ERaKO and wild-type mice from carcinogeninduced colon cancer. *The Journal of Nutrition*, 134: 179–182.
80. Hałat Z. 2004. Alergeny organizmów genetycznie modyfikowanych. *Alergia*, 3/21: 19–26.
81. Hamilton-Reeves J.M., Rebello S.A., Thomas W., Slaton J.W., Kurzer M.S. 2007. Soy protein isolate increases urinary estrogens and the ratio of 2:16a-Hydroxyestrone in men at high risk off oristate cancer. *The Journal of Nutrition*, 137: 2258–2263.
82. Hardarson G., Zapata F., Danso S.K.A. 1984. Effect of plant genotype and nitrogen fertilizer on symbiotic nitrogen fixation by soybean cultivars. *Plant and Soil*, 82: 397–405.

83. Hartman G.L, West E.D., Herman T.K. 2011. Food Science, 3: 5–17.
84. Heatherly L.G., Blaine A., Hodges H.F., Wesley R.A., Buehring N., Heatherly L.G. 1999. Variety selection, planting date, row spacing, and seeding rate. [W:] Soybean Production in the Midsouth. Heatherly L.G., Hodges H. (Eds.). CRC Press: Boca Raton, FL, USA: 41–47.
85. Heatherly L.G., Elmore R.W. 2004. Managing inputs for peak production. [W:] Soybeans: Improvement, Production, and Uses, Agronomy Monograph. Boerma, H.R., Specht, J.E. (Eds.) American Society of Agronomy, Crop Science Society of America and Soil Science Society of America. Madison, WI, USA: 451–536.
86. Heatherly L.G., Hodges H.F. 1999. Early soybean production system (ESPS). [W:] Soybean Production in the Midsouth. Heatherly L.G., Hodges H. (Eds.) CRC Press: Boca Raton, FL, USA: 103–118.
87. Herse J., Berbeć S., Byszewski S., Dembiński F., Hrynczewicz Z., Jasińska Z., Nelken Z., Paprocki S., Sawicki J., Songin W., Tabin S. 1980. Szczegółowa uprawa roślin, PWN Warszawa, 511–513.
88. Helferich W.G., Andrade J.E., Hoagland M.S. 2008. Phytoestrogens and breast cancer: a complex story. Inflammopharmacology, 16 (5): 219–226.
89. Hoeft R.G., Aldrich S.R., Nafziger E.D., Johnson, R.R. 2000. Modern Corn and Soybean Production, 1st ed.; MCSP Publications: Champaign, IL, USA. 353 p.
90. Huber S.C., Li K., Nelson R.L., Ulanov A., Demuro C., Baxter I.R. 2016. Canopy position has a profound effect on soybean seed composition. PeerJ. 4:e2452.
91. Hungria M., Franchini J.C., Campo R.J., Crispino C.C., Moraes J.Z., Sibaldelli R.N.R., Mendes I.C., Arihara L. 2006. Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: contributions of biological N₂ fixation and N fertilizer to grain yield. Canadian Journal of Plant Science, 86 (4): 927–939.
92. Hymowitz T., 1990, Soybeans: The success story. [W:] Advances in new crops., (red.) Janick J., Simon J.E., Timber Press. Portland. OR: 159–163.
93. Idso S.B., Jackson R.D., Pinter P.J., Reginato R.J., Hatfield, J.L. 1981. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. Agricultural Meteorology, 23: 45–55.
94. James C. 2008. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2008, ISAAA Briefs (39).
95. Janeczko A. , Biesaga-Kościelniak J., Dziurka M., Oklešťková J., Kocurek M., Szarek-Łukaszewska G., Janeczko Z. 2011. Response of Polish cultivars of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) to brassinosteroid application. Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura, 10 (2): 33–50.
96. Jarecki W., Bobrecka-Jamro D. 2015. Wpływ nawożenia dolistnego na plon i skład chemiczny nasion soi (*Glycine max* (L.) Merr.). Fragmenta Agromonica, 32 (4): 22–31.

97. Jerzak, M.J., Czerwińska-Kayzer, D., Florek, J., Śmiglak-Krajewska, M. 2012. Determinanty produkcji roślin strączkowych jako alternatywnego źródła białka w ramach nowego obszaru polityki rolnej w Polsce. Roczniki Nauk Rolniczych, seria G, 99 (1): 113–120.
98. Jezierny D., Mosenthin R., Bauer E. 2010. The use of grain legumes as a protein source in pig 454 nutrition: A review. Animal Feed Science and Technology, 157: 111–128.
99. Jiang H., Wang X.H., Deng Q.Y., Yuan L.P., Xu D.Q. 2002. Comparison of some photosynthetic characters between two hybrid rice combinations differing in yield potential. Photosynthetica, 40: 133–137.
100. Jibu T., Subha Mary Varghese E.J. 2012. Antidiabetic and antihyperlipidemic activity of the extracts of the seeds of *Glycine max* (L). in Streptozotocin Induced Diabetic Mice. Drug Invent Today, 4 (12): 677–680.
101. Johnson B.F., Bailey W.A., Holshouser D.L., Herbert D.A., Jr., Hines T.E. 2002. Herbicide effects on visible injury, leaf area, and yield of glyphosate-resistant soybean (*Glycine max*). Weed Technology, 16: 554–566.
102. Jurkiewicz A. 2012. Genetyczne modyfikacje organizmów – biotechnologiczny eksperyment na organizmach żywych. Medycyna Ogólna i Nauki o Zdrowiu, 18 (3): 236–242.
103. Jurkiewicz A., Bujak F. 2015. Zagrożenia zdrowotne związane z genetycznie modyfikowaną żywnością (GMF). Medycyna Ogólna i Nauki o Zdrowiu, 21 (1): 62–64.
104. Kadiata B.D., Schubert S., Yan F. 2012. Assessment of different inoculants of *Bradyrhizobium japonicum* on nodulation, potential N₂ fixation and yield performance of soybean (*Glycine max* L.). Journal of Animal Plant Science, 13: 1704–1713.
105. Kajdan-Zysnarska I. 2015. Uprawa soi w polskich warunkach klimatycznych, Wirtualna Biblioteka Rolnicza, Mazowiecki Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Warszawie. Biuletyn, 21–24.
106. Kancelaria Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej. 2012. Departament Prawa Unii Europejskiej Ministerstwa Spraw Zagranicznych, Biuletyn Forum Debaty Publicznej nr 16 organizmy zmodyfikowane genetycznie, 16, s. 19–20.
107. Kanchana P., Lakshmi Santha M., Dilip Raja K. 2015. A review on *Glycine Max* (L.) Merr. (soybean). World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, 5 (1): 356–371.
108. Karaj S., Müller J. 2010. Determination of physical, mechanical and chemical properties of seeds and kernels of *Jatropha curcas* L. Industrial Crops and Products, 32: 129–138.
109. Karasek M. 2015. Soja. Uprawa na nasiona. Twój Doradca-Rynek Rolniczy, 1 Dolnośląski Ośrodek Doradztwa Rolniczego we Wrocławiu, 40–43.
110. Kaschuk G., Nogueira M.A., De Luca M.J., Hungria M. 2016. Response of determinate and indeterminate soybean cultivars to basal and topdressing N

- fertilization compared to sole inoculation with *Bradyrhizobium*. *Field Crops Research*, 195: 21–27.
111. Katerji N., van Hoorn J. W., Hamdy A., Mastrorilli M. 2003. Salinity effect on crop development and yield, analysis of salt tolerance according to several classification methods. *Agricultural Water Management*, 62: 37–66.
 112. Kelley K.W., Sweeney D.W. 2007. Placement of preplant liquid nitrogen and phosphorus fertilizer and nitrogen rate affects no-till wheat following different summer crops. *Agronomy Journal*, 99: 1009–1017.
 113. Kęsik T., Błażewicz-Woźniak M., Konopiński M., Wach D., Mitura R. 2007. The effect of cover crop mulches and reduced soil tillage in onion cultivation on some features of soil. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu*, 383, seria Ogródnictwo, 41: 517–521.
 114. Khan H. R., McDonald G. K., Rengal Z. 2003. Zn fertilization improves water use efficiency grain yield and seed Zn content in Chickpea. *Plant and Soil*, 249: 389–400.
 115. Kimmell R.J., Pierzynski G.M., Janssen K.A., Barnes P.L. 2001. Effects of tillage and phosphorus placement on phosphorus runoff losses in a grain sorghum–soybean rotation. *Journal of Environmental Quality*, 30: 1324–1330.
 116. Kobraee S., Shamsi K. 2013. Impact of micronutrients foliar application on soybean yield and its components under water deficit condition. *Journal of Biodiversity and Environmental Science*, 3 (2): 39–45.
 117. Kowalski A. 2012. Wpływ zakazu stosowania GMO na koszty produkcji i ceny żywności. Wykład na konferencji: GMO szansą polskiej gospodarki. Warszawa, 26 kwietnia 2012.
 118. Kucharski M., Sadowski J. 2009. Influence of adjuvants on behavior of phenmedipham in plants and soil. *Polish Journal of Agronomy*, 1: 32–36.
 119. Kudou S., Fleury Y., Welti D., Magnolato D., Uchida T., Kitamura K., Okubo K. 1991. Malonyl Isoflavone Glycosides in Soybean Seeds (*Glycine max* Merr.), *Agricultural and Biological Chemistry*, 55 (9): 2227–2233.
 120. Kumar V., Rani A., Solanki S., Hussain S. M. 2006. Influence of growing environment on the biochemical composition and physical characteristics of soybean seed. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19: 188–195.
 121. Lee J.D., Shannon J.G., Vuong T.D., Nguyen H.T. 2009. Inheritance of salt tolerance in wild soybean (*Glycine soja* Sieb. and Zucc.). *Journal of Heredity*, 100: 798–801.
 122. Li S., Sauer W.C. 1994. The effect of dietary fat content on amino acid digestibility in young pigs. *Journal of Animal Science*, 72: 1737–1743.
 123. Liener I.E. 1994. Implications of anti-nutritional components in soybean foods. *Journal of Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 34: 31–67.
 124. Liu K.S. 1997. Chemistry and Nutritional Value of Soybean Components. [W:] *Soybean: Chemistry, Technology, and Utilization*. New York. Chapman and Hall. 25–113.

125. Lopez-Fando C., Almendros G. 1995. Interactive effects of tillage crop rotations on yield and chemical properties of soils in semi-arid central Spain. *Soil and Tillage Research*, 36: 45–57.
126. Lorenc-Kozik A.M., Pisulewska E. 2003. Effect of increasing levels of nitrogen fertilizer and microelements on seed yield of selected soybean cultivars. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, 24 (1): 131–142.
127. Lupwayi N.Z., Clayton G.W., O'Donovan J.T., Harker K.N., Turkington T.K., Soon Y.K. 2006. Soil nutrient stratification and uptake by wheat after seven years of conventional and zero tillage in the Northern Grain belt of Canada. *Canadian Journal of Soil Science*, 86: 767–778.
128. Lynch J. 1995. Root architecture and plant productivity. *Plant Physiology*, 109: 7–13.
129. Mallarino A.P., Borges R. 2006. Phosphorus and potassium distribution in soil following long-term deep-band fertilization in different tillage systems. *Soil Science Society of America Journal*, 70: 702–707.
130. Małyska A., Twardowski T. 2011. Opinia publiczna o biotechnologii w Polsce i innych krajach Unii Europejskiej, Nauka, 1: 85–98.
131. Mańkowski D., Laudański Z., Flaszka M. 2012. Propozycja metody oceny postępu biologicznego i technologicznego w uprawie roślin na przykładzie pszenicy ozimej. *Biuletyn IHAR*, 263: 91–104.
132. Markowicz M., Wieczorek D. 2015. Uprawa soi. *Agroporadnik*, 10: 47–52.
133. Maskarinec G., Aylward A.G., Erber E., Takata Y., Kolonel L.N. 2008. Soy intake is related to a lower body mass index in adult women. *European Journal of Nutrition*, 47: 138–144.
134. Mehmet O. 2008. Nitrogen rate and plant population effects on yield and yield components in soybean. *African Journal of Biotechnology*, 7 (24): 4464–4470.
135. Murray-Kolb L.E., Welch R., Theil E.C., Beard J.L. 2003. Women with low iron stores absorb iron from soybeans. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 77: 180–184.
136. N'cho C.O., Yusuf A.A., Ama-Abina J.T., Jemo M., Abaidoo R.C., Savane I. 2013. Effects of commercial microbial inoculants and foliar fertilizers on soybean nodulation and yield in northern Guinea savannah of Nigeria. *International Journal of Advance Agricultural Research*, 1 (6): 66–73.
137. Naranjo G.B., Malec L.S., Vigo M.S. 1998. Reducing sugars effect on available lysine loss of casein by moderate heat treatment. *Food Chemistry*, 62 (3): 309–313.
138. Nawracała J., Konieczny G. 1996. Charakterystyka cech struktury plonu i ocena potencjału plonowania drobnonasiennych linii soi. *Mat. Konf. pt. Strączkowe rośliny białkowe, II. Soja, Lubin*, 27–32.
139. Neha Nausheen Q., Syed Ayaz A., Subur K. 2014. Metal Chelating Activity of *Glycine max* Seed Extract on Ferrous + Doxorubicin-Induced Cardiotoxicity in Rats. *Annals of Experimental Biology*, 2 (2): 43–48.

140. Nelson G. 2009. Climate change: impact on agriculture and costs of adaptation. Chapter Impacts of Climate Change. Intl Food Policy Res Inst. Washington D.C. 4–12.
141. Niemirowicz-Szczytt K. 2012. GMO w świetle najnowszych badań, Instytut Problemów Współczesnej Cywilizacji im. Marka Dietricha.
142. Odeleye F., Odeleye O.M.O., Animashaun M.O. 2007. Effects of nutrient foliar spray on soybean growth and yield (*Glycine max* (L.) Merrill) in south west Nigeria. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 35 (2): 22–32.
143. Pan B., Vessey J.K., Smith D.L. 2002. Response of field-grown soybean to co-inoculation with the plant growth promoting *Rhizobacteria serratia proteamaculans* or *Serratia liquefaciens*, and *Bradyrhizobium japonicum* preincubated with genistein. *European Journal of Agronomy*, 17: 143–153.
144. Patkowska E., 2012, Różnorodność mikroorganizmów zasiedlających soję, (*Glycine max* (L.) Merr.) oraz podatność roślin różnych odmian na porażenie przez grzyby, ze szczególnym uwzględnieniem *Phomopsis sojae* Lehman. *Rozprawy Naukowe UP w Lublinie*, 360: 5–6.
145. Philbrook B.D., Oplinger E.S. 1989. Soybean Field Losses as Influenced by Harvest Delays. *Agronomy Journal*, 81 (2): 251–258.
146. Piekarczyk M. 2006. Możliwość redukcji dawek herbicydu Afalon 50 WP przy różnej uprawie późniejszej pod łubin wąskolistny. *Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura* 5 (1): 37–44.
147. Podleśny J., Bieniaszewski T. 2012. Evaluation of pea (*Pisum sativum* L.) yielding at different regions of Poland. *Fragmenta Agronomica*, 29 (4): 125–135.
148. Praczyk T., Skrzypczak G. 2011. Stan aktualny i kierunki rozwoju herbologii. *Progress In Plant Protection/ Postępy w Ochronie Roślin*, 51 (1): 354–363.
149. Pyziak K. 2013. Soja coraz lepiej rozpoznana. [W:] Czubiński T. (Ed.), *Strączkowe w mistrzowskiej uprawie*. Poznań. Polskie Wydawnictwo Rolnicze. 30–33.
150. Raghuvansh R., Bisht K. 2010. Uses of soybean: products and preparation. [W:] Singh G. (Ed.), *The soybean CABI*. 404–426.
151. Ramteke R, Singh D, Murlidharan P. 2012. Selecting soybean (*Glycine max*) genotypes for insertion height of the lowest pod, the useful trait for combine harvester. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 82 (6): 511–5.
152. Ray J.D., Fritschi F.B., Heatherly L.G. 2006. Large application of fertilizer N at planting affects seed protein and oil concentrations in the early soybean production system. *Field Crops Research*, 99 (1): 67–74.
153. Rembeza J. 2012. GMO a międzynarodowy rynek soi. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej, roślin strączkowych jako alternatywnego źródła białka – w ramach nowego obszaru polityki rolnejw Polsce*. *Roczniki Nauk Rolniczych, Seria G*, 99 (1): 113–120.
154. Rienke N. i Joke N. 2005. Cultivation of soya and other legumes. *Agrodok-series. No 10. Agromisa. CTA: 69s*.

155. Robbins S.G., Voss R.D. 1991. Phosphorus and potassium stratification in conservation tillage systems. *Journal of Soil and Water Conservation*, 46: 298–300.
156. Rodríguez-Navarro D.N., Oliver I.M., Contreras M.A., RuizSainz J.E. 2011. Soybean interactions with soil microbes, agronomical and molecular aspects. *Agronomy for Sustainable Development*, 31: 173–190.
157. Rosell M. S., Appleby P. N., Spencer E. A., Key T. J. 2004. Soy intake and blood cholesterol considerations: a cross-sectional study of 1033 pre- and postmenopausal women in the oxford arm of the European prospective investigation into cancer and nutrition. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 80: 1391–1396.
158. Rybiński W., Szot B., Rusinek R., Bocianowski J. 2009. Estimation of geometric and mechanical properties of seeds of Polish cultivars and lines representing selected species of pulse crops. *International Agrophysics*, 23: 257–267.
159. Rychcik B., Kaźmierczak M., Michalska M., Bepirszcz H. 2015. Formation of weed community in pea (*Pisum sativum* L.) as affected by herbicide and crop rotation. *Progress in Plant Protection*, 55 (1): 25–29.
160. Saio, K., Yamagishi, T., Yamauchi F. 1986. Quantitative analysis of soybean proteins by densitometry on gel electrophoresis. *Cereal Chemistry*, 63: 493–496.
161. Salvagiotti F., Cassman K.G., Specht J.E., Walters D.T., Weiss A., Dobermann A. 2008. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. *Field Crops Research*, 108 (1): 1–13.
162. Salzman F.P., Renner K.A. 1992. Response of soybean to combinations of clomazone, metribuzin, linuron, alachlor, and atrazine. *Weed Technology*, 6: 922–929.
163. Sarkar D., Mandal B., Kunda M.C. 2007. Increasing use efficiency of boron fertilizers by rescheduling the time and methods of application for crops in India. *Plant and Soil*, 301: 77–89.
164. Schmutz J., Cannon S.B., Schlueter J., Ma J., Mitros T., Nelson W., et al. 2010. Genome sequence of the palaeopolyploid soybean. *Nature*, 463: 178–183.
165. Sekutowski T., Badowski M. 2011. Effect of weed infestation and herbicide protection on yielding of Pea (*Pisum sativum* L.). *Progress in Plant Protection*, 51 (4): 1858–1863.
166. Sepat S., Thierfelder C., Sharma A.R., Pavuluri K., Kumar D., Iquebal M.A., Verma A. 2017. Effects of weed control strategy on weed dynamics, soybean productivity and profitability under conservation agriculture in India. *Field Crops Research*, 210: 61–70.
167. Setiyono, T.D., Weiss, A., Specht, J., Bastidas, A.M., Cassman, K.G., Dobermann, A. 2007. Understanding and modeling the effect of temperature

- and daylength on soybean phenology under high-yield conditions. *Field Crops Research*, 100: 257–271.
168. Shahbazi F., Saffar A., Analooei M. 2011. Mechanical damage to navy beans as affected by moisture content, impact velocity and seed orientation. *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods*, 3: 205–211.
 169. Shanmugasundaram S., Yan M.R. 2010. Vegetable Soybean. [W:] *The Soybean: Botany, Production and Uses*. Singh G. (Ed.). CAB International Publishing, Wallingford, UK: 427–460.
 170. Sharpley A.N., Smith S.J. 1994. Wheat tillage and water quality in the southern Plains. *Soil and Tillage Research*, 30: 33–48.
 171. Sinclair T.R. 2004. Improved carbon and nitrogen assimilation for increased yield. [W:] *Soybeans: Improvement, Production and Uses*. Boerma H.R. i Specht J.E. (Eds.), ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI: 537–568.
 172. Sinclair T.R., Rufty T.W. 2012. Nitrogen and water resources commonly limit crop yield increases: not necessarily plant genetics. *Global Food Security*, 1: 94–98.
 173. 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 seria Agricultura*, 14 (4): 81–95.
 174. Sommer C., Zach M., Noatsch F., Bosse O. 1990. Langfristige Sicherung der Bodenfruchtbarkeit durch konservierende schonende Bodenbearbeitung-Konzept. *Agrotechnik*, 7: 291–293.
 175. Sosnowski S., Kuźniar P. 1999. Effect of dynamic loading on the quality of soybean. *International Agrophysics*, 13: 125–132.
 176. Sowa S., Linkiewicz A. 2007. Rośliny genetycznie zmodyfikowane [W:] *Organizmy genetycznie zmodyfikowane*. PZTiS Oddział Wielkopolski, Poznań: 35–56.
 177. Soystat <http://soystats.com/>
 178. Specht J.E., Hume D.J., Kumudini S.V. 1999. Soybean yield potential a genetic and physiological perspective. *Crop Science*, 39: 1560-1570.
 179. Stupnicka-Rodzynkiewicz E., Lepiarczyk A., Pasek T. 2003. Wpływ herbicydów powschodowych na zachwaszczenie i plonowanie łubinu białego (*Lupinus albus* L.). *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 490: 249–255.
 180. Sugano M. E. 2006. Soy in Health and Disease Prevention, 27 (2): 189-189.
 181. Sultana N., Ikeda T., Kashem M.A. 2001. Effect of foliar spray of nutrient solutions on photosynthesis dry matter accumulations and yield in seawater-stressed rice. *Environmental and Experimental Botany*, 46 (2): 129–140.
 182. Szmigielski M. 2012. Wpływ obróbki termicznej na wybrane wskaźniki jakości nasion i ich przetwórstwa. *Rozprawy Naukowe UP w Lublinie*, 364: 9–15.

183. Szwed G., Łukaszuk J. 2007. Effect of rapeseed and wheat kernel moisture on impact damage. *International Agrophysics*, 21: 299–304.
184. Szwejkowska B. 2006. Reaction of pea (*Pisum sativum* L.) cultivars to different weed control methods. *Acta Scientiarum Polonorum seria Agricultura*, 5 (1): 71–82.
185. Szyrmer J., Boros L. 1996a. Postęp w krajowej hodowli soi. *Mat. Konf. Strączkowe rośliny białkowe II Soja*. Lublin, 8–17.
186. Szyrmer J., Boros L. 1996b. Postęp w hodowli i wprowadzanie do uprawy nowych odmian soi. *Biuletyn IHAR*, 198, 5–12.
187. Tanksley S.D., McCouch S.R. 1997. Seed banks and molecular maps: Unlocking genetic potential from the wild, *Science*, 277: 1063–1066.
188. Temperly R.J., Borges R. 2005. Tillage and crop rotation impact on soybean grain yield and composition. *Crop Science*, 98: 999–1004.
189. Tessari P., Lante A., Mosca G. 2016. Essential amino acids: master regulators of nutrition and environmental footprint? *Scientific Reports* 6, article number: 26074.
190. Testi L., Goldhamer D.A., Iniesta F., Salinas M. 2008. Crop water stress index is a sensitive water stress indicator in pistachio trees. *Irrigation Science*, 26: 395–405.
191. Townsend J.A., Wright D.A., Winfrey R.J., Fu F., Maeder M.L., Joung J.K., Voytas D.F. 2009. High-frequency modification of plant genes using engineered zinc-finger nucleases. *Nature*, 459 (7245): 442–5.
192. Tyczewska A., Gracz J., Twardowski T., Małyńska A. 2014. Soja przyszłością polskiego rolnictwa? *Nauka* 4: 121–138.
193. Valinejad M., Vaseghi S., Afzali M. 2013. Starter nitrogen fertilizer impact on soybean yield and quality. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 3 (1): 333–337.
194. van Ittersum M.K., Cassman K.G., Grassini P., Wolf J., Tittonell P., Hochman Z. 2013. Yield gap analysis with local to global relevance - a review. *Field Crops Research*, 143: 4–17.
195. Vertucci C.W., Leopold A.C. 1983. Dynamics of imbibition by soybean embryos. *Plant Physiology*, 72: 190–193.
196. Villegas R., Gao Y., Yang G., Li H., Elasy T. A., Zheng W., i in. 2008. Legume and soy food intake and the incidence of type 2 diabetes in the Shanghai Women's Health Study. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 87: 162–167.
197. Vincent J.M., Thompson J.A., Donovan K.O. 1962. Death of root nodule bacteria on drying. *Australian Journal of Agricultural Research*, 13: 258–270.
198. Vinoth Kumar C., Vaiyapuri K., Mohamed Amanullah M., Gopalaswamy G. 2013. Influence of foliar spray of nutrients on yield and economics of soybean (*Glycine max* L. Merr.). *International Journal of Biological Sciences*, 13 (6): 563–565.

199. Vivian R., Reis A., Kálnay P.A., Vargas L., Camara Ferreira A.C., Mariani F. 2013. Weed Management in Soybean - Issues and Practices. [W:] Elshemy H.A. (Ed.) Soybean Pest Resistance. IntechOpen: 47–84.
200. Wiąckowski S.K. 2008. Genetycznie Modyfikowane Organizmy – obietnice i fakty. *Ekonomia i środowisko*: 98s.
201. Wicki L. 2008. Wykorzystanie postępu odmianowego w produkcji zbóż w polskim rolnictwie. *Roczniki Nauk Rolniczych, seria G*, 94: 136–46.
202. Wilk M. 2017. Soja źródłem cennych składników żywieniowych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2 (111): 16–25.
203. Wilson R.F. 2008. Soybean: market driven research needs, *Genetics and Genomics of Soybean*, Springer, New York, 3–15.
204. Wissuma M., Ismail A.M., Graham R.D. 2008. Rice grain zinc concentrations as affected by genotype native soil – zinc availability, and zinc fertilization. *Plant and Soil*, 306: 37–48.
205. Wojdas E. 2017. Detekcja modyfikacji Roundup Ready® w komercyjnie dostępnych nasionach soi. *Nauki rolnicze i przyrodnicze- wybrane zagadnienia*, Lublin: 67–77.
206. Yamashita U., Kawada S., Nakano H. 1990. Induction of mammalian topoisomerase II dependent DNA cleavage by noninteractive flavonoids, genistein and equol. *Biochemical Pharmacology* 15, 39 (4): 737–744.
207. Yasothai R. 2016. Antinutritional factors in soybean meal and its deactivation. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 5 (6): 3793–3797.
208. Younesabadi M., Das T.K., Sharma A.R. 2013. Effect of tillage and tank-mix herbicide application on weed management in soybean (*Glycine max*). *Indian Journal of Agronomy*, 58 (3): 372–378.
209. Yusuf R.I., Siemens J.C., Bullock D.G. 1999. Growth analysis of soybean under no-tillage and conventional tillage systems. *Agronomy Journal*, 91: 928–933.
210. Zając T., Oleksy A., Ślizowska A., Śliwa J., Klimek-Kopyra A., Kulig B. 2017. Aboveground dry biomass partitioning and nitrogen accumulation in early maturing soybean ‘Merlin’. *Acta Agrobotanica*, 70 (4): 1728.
211. Zhang C., Chu H., Chen G., Shi D., Zuo M., Wang J., Lu C., Wang P., Chen L. 2007. Photosynthetic and biochemical activities in flag leaves of a newly developed superhighyield hybrid rice (*Oryza sativa*) and its parents during the reproductive stage. *Journal of Plant Research*, 120: 209–217.
212. Zhang H., Prithviraj B., Charles T.C., Driscoll B.T., Smith D.L. 2003. Low temperature tolerant *Bradyrhizobium japonicum* strains allowing improved nodulation and nitrogen fixation of soybean in a short season (cool spring) area. *European Journal of Agronomy*, 19: 205–213.
213. Zheng H.F., Chen L.D., Han X.Z. 2009. The effects of global warming on soybean yields in a long-term fertilization experiment in Northeast China. *Journal of Agricultural Science*, 147: 569–580.

214. Hume D.J., Blair D.H. 1992. Effect of numbers of Bradyrhizobium japonicum applied in commercial inoculants on soybean seed yield in Ontario, Canadian Journal of Microbiology, 38: 588–593.
215. Singleton P.W., Keyser H.H., Sande E.S. 2002. Development and evaluation of liquid inoculants. In: D. Herridge, Editor, Inoculants and Nitrogen Fixation of Legumes in Vietnam. ACIAR Proceeding 109e Canberra, pp. 52–66.
216. Thao T.Y., Singleton P.W., Herridge D. 2002. Inoculation responses of soybean and liquid inoculants as an alternative to peat-based inoculants. [W:] D. Herridge, Editor, Inoculants and Nitrogen Fixation of Legumes in Vietnam. ACIAR Proceeding 109e Canberra: 67–74.
217. Hungria M., Franchini J.C., Campo R.J., Crispino C.C., Moraes J.Z., Sibaldelli R.N.R., Mendes I.C., Arihara J. 2006. Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: contributions of biological N₂ fixation and N fertilizer to grain yield, Canadian Journal of Plant Science, 86: 927–939.
218. Miransari M. 2016b. Soybean N fixation and production of soybean inocula. Abiotic and Biotic Stresses in Soybean Production: 107–129
219. Miransari M. 2016a. Enhancing soybean response to biotic and abiotic stresses. Abiotic and Biotic Stresses in Soybean Production: 3–77.
220. Pires J., Costa J., Luis T., Roberto M. 2000. Efeito de populações e espaçamentos sobre o potencial de rendimento da soja durante a ontogenia. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 35: 1541–1547.
221. Cruz C.D., Regazzi A., Carneiro P. 2012. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 1.
222. Zuffo A. M., Zambiazzi E. V., Gesteira G. S., Rezende P. M., Bruzi A. T., Soares I. O., Gwinner R. i Bianchi M. C. 2015. Agronomic performance of soybean according to stages of development and levels of defoliation. African Journal of Agricultural Research, 10: 2089–2096.
223. Zuffo A.M., Júnior J.M., Fonseca Z., Zambiazzi W. L., De Oliveira E. V., Guilherme A. M, Mendes A., Godinho S., Ribeiro F., Pinto A. 2017. Path Analysis in Soybean Cultivars Grown under Foliar Spraying and Furrow Inoculation with *Azospirillum brasilense*. Journal of Agricultural Science, 9: 137–144.
224. Zuffo A. M., Alcântara Neto F. de, Zoz T., Ratke R. F., Aguilera J. G., Teodoro P. E. 2020. Correlations and path analysis in agronomic traits of soybeans under defoliation. Bioscience Journal, 36.
225. Alcântara Neto F., Gravina G. A., Monteiro M. M. S., De Moraes F. B., Peter F. A., Albuquerque J. A. A. 2011. Análise de trilha do rendimento de grãos de soja na microrregião do Alto Médio Gurguéia. Comunicata Scientiae, 2: 107–112.
226. Vance C.P., Egli M.A., Griffith S.M., Miller S.S. 1988. Plant regulated aspects of nodulation and N₂ fixation. Plant, Cell & Environment, 11: 413–427.

227. Zimmera S., Messmerb M., Haasec T., Piephoe H.P., Mindermann A., Schulzd H., Habekuß A., Ordonf F., Wilboisg K.P., Heß J. 2016. Effects of soybean variety and Bradyrhizobium strains on yield, proteincontent and biological nitrogen fixation under cool growingconditions in Germany. *Europ. Journal of Agronomy*, 72: 38–46.
228. Stephens J.H., Rask H., 2000. Inoculant production and formulation. *Field Crops Research*, 65: 249–258.
229. Agroscope, 2010. Vorsicht bei Vor-Inokulation von Soja-Saatgut. *Medienmitteilung*.
230. Albareda M., Rodríguez-Navarro D.N., Temprano F.J. 2009. Soybean inoculation:dose, N fertilizer supplementation and rhizobia persistence in soil. *Field Crops Research*, 113: 352–356.
231. Kozak M., Malarz W., Kotecki A., Černý I., Serafi n-Andrzejewska M. 2008. Wpływ zróżnicowanej ilości wysiewu i biostymulatora Asahi SL na skład chemiczny nasion i resztek pozbiorowych soi uprawnej. *Rośliny Oleiste/Oilseed Crops*, 29: 217–230.
232. Michałek S., Borowski E. 2006. Plonowanie oraz zawartość tłuszczu, kwasów tłuszczowych i białka w nasionach krajowych odmian soi w warunkach suszy. *Acta Agrophysica*, 8: 459–471.
233. Bai Y., Zhou X., Smith D.L. 2003. Enhanced soybean plant growth resulting fromcoinoculation of strains with. *Crop Science*, 43: 1774.
234. Cassán F., Perrig D., Sgroy V., Masciarelli O., Penna C., Luna V. 2009. *Azospirillum brasilense* Az39 and *Bradyrhizobium japonicum* E109, inoculatedsingly or in combination, promote seed germination and early seedling growthin corn (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L.). *European Journal of Soil Biology*, 45: 28–35.
235. Antunes P.M., de Varennes A., Rajcan I., Goss M.J. 2006. Accumulation of specificflavonoids in soybean *Glycine max* (L.) Merr. as a function of the earlytripartite symbiosis with arbuscular mycorrhizal fungi and *Bradyrhizobiumjaponicum* Kirchner Jordan. *Soil Biology and Biochemistry*, 38: 1234–1242.
236. Hein W., Fischl M., Traudtner F., Surböck A., Gadermaier F., Heinzinger M., Kober W. 2013. Biofrühjahrsanbau, Ländliches Fortbildungsinstitut Österr, 40.
237. Svoray T., Hassid I., Atkinson P.M., Moebius-Clune B.N., van Es H.M. 2015. Mapping soil health over large agriculturally important areas. *Soil Science Society of America Journal*, 79: 1420–1434.
238. Roper W.R., Osmond D.L., Heitman J.L., Waggoner M.G., Reberg-Horton S.C. 2017. Soil health indicators do not differentiate among agronomic management systems in North Carolina Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 81: 828–843.
239. van Es, H.M., Karleen, D. 2019. Reanalysis validates soil health indicator sensitivity and correlation with long-term crop yields. *Soil Science Society of America Journal*, 83: 721–732.

240. Russel, R.S., 1977. Plant root systems: their function and interaction with the soil. McGraw-Hill, London.
241. Stirzaker, R.J., Passioura, J.B., Wilms, Y. 1996. Soil structure and plant growth: Impact of bulk density and biopores. *Plant and Soil*, 185: 151–162.
242. Salmerón M., Gbur E.E., Bourland F.M., Buehring N.W., Earnest L., Fritsch F.B., Golden B.R., Hathcoat D., Lofton J., McClure A.T., Miller T.D., Neely C., Shannon G., Udeigwe T.K., Verbree D.A., Vories E.D., Wiebold W.J., Purcell L.C. 2016. Yield response to planting date among soybean maturity groups for irrigated production in the US Midsouth. *Crop Science*, 56: 747–759.
243. Faé G.S., Kemanian A.R., Roth G.W., White C., Watson J.E. 2020. Soybean yield in relation to environmental and soil properties. *European Journal of Agronomy*, Aug: 118.
244. Fioreze S. L., Rodrigues J. D., Carneiro J. P. C., Silva A. do A., Lima M. B. 2013. Fisiologia e produção da soja tratada com cinetina e cálcio sob déficit hídrico e sombreamento. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48: 1432–1439.
245. Fidelis R., Lopes M., Savelli R., Marques K., Aguiar R., Veloso D. 2018. Influence of hydrogel use on soybean cultivation hydric stress. *Bioscience Journal*, 34: 1219–1224.
246. Cabral R. do C., Maekawa S. C. E., Zuffo A. M. i Steiner F. 2020. Selection indices to identify drought-tolerant soybean cultivars. *Research, Society and Development*, 9(7), [W]: Plant abiotic stress tolerance. Ed. 1.
247. Fu Wei M.C., Molin J.P. 2020. Soybean Yield Estimation and Its Components: A Linear Regression Approach. *Agriculture*, 10: 1–13.
248. Parent B., Tardieu F. 2014. Can current crop models be used in the phenotyping era for predicting the genetic variability of yield of plants subjected to drought or high temperature? *Journal of Experimental Botany*, 65: 6179–6189.
249. Dong S., Jiang Y., Dong Y., Wang L., Wang W., Ma Z., Yan C., Ma C., Liu L. 2019. A study on soybean responses to drought stress and rehydration. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26: 2006–2017.
250. Kania J., Zajac T., Śliwa J. 2016. Efektywność ekonomiczna uprawy soi i rzepaku w zachodniej części Polski, *Stowarzyszenie ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu. Efektywność ekonomiczna uprawy soi i rzepaku w zachodniej części Polski* 133 *Roczniki Naukowe*, tom XVIII, zeszyt 3
251. Nascimento V.L., Rauber W.A, Silva G.S, Siebeneichler S.C., Fidelis R.R. 2019. Hydrogel effects in biochemical composition of soybean grains cultivated under water deficit in Brazilian Cerrado. *Communications in Plant Sciences*, 9: 13–19.
252. Bensch C. N., Horak M. J., Peterson D. 2003. Interference of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*), Palmer amaranth (*A. palmeri*), and common waterhemp (*A. rudis*) in soybean. *Weed Science* 51:37–43.

253. Bobrecka-Jamro D., Pizło H. 1996. Wpływ czynników agrotechnicznych na plonowanie soi w warunkach Polski południowo-wschodniej. *Biul. IHAR*, 198: 31–44.
254. Boroomandan P., Khoramivafa M., Haghi Y., Ebrahimi A. 2009. The Effects of Nitrogen Starter Fertilizer and Plant Density on Yield, Yield Components and Oil and Protein Content of Soybean (*Glycine max* L. Merr). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 12: 378–382.
255. Conley S. P., Stoltenberg D. E., Boerboom C. M., Binning L. K. 2003. Predicting soybean YL in giant foxtail (*Setaria faberi*) and common lambsquarters (*Chenopodium album*) communities. *Weed Science* 51: 402–407.
256. Divsalar M., Oskouei B. 2011. Study the effect of mechanical damage at processing on soybean seed germination and vigor. *ARNP Journal of Agricultural and Biological Science*, 6 (7): 60–64.
257. Dziennik Urzędowy UE 2014/C450/01 Wspólny katalog odmian roślin rolniczych – 33, pełne wydanie.
258. European academies science advisory council Policy report 21., 2013.
259. Fried H.G., Narayanan S., Fallen B. 2018. Characterization of a soybean (*Glycine max* L. Merr.) germplasm collection for root traits. *PLoS ONE*, 13(7).
260. Gierth M., Mäser P. 2007. Potassium transporters in plants-Involvement in K⁺ acquisition, redistribution and homeostasis. *FEBS letters*. 581. 2348-56.
261. Han T. F., Wang J. L., Yang Q. K., Gai J. Y. 1997. Effects of post flowering photoperiod on chemical composition of soybeans. *Scientia Agricultura Sinica*, 30: 47–53.
262. Jarecki W., Bobrecka-Jamro D. 2016. Reakcja roślin soi na szczepienie nasion nitraginą oraz nawożenie startowe azotem. *Nauka Przyroda Technologie*, 10.
263. Jaśkiewicz T., Sagan A., Masłowski A. 2010. Wpływ czasu autoklawowania nasion krajowych odmian soi na zawartość lizyny reaktywnej. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 4 (71): 73-80.
264. Kaczmarek M., Pawlak M. 2017. Soja – roślina uprawna z perspektywami. Dostępne w: <http://akord.agro.pl/produkcja-roslinna/doradztw-o-technologie-uprawy/soja-nie-gmo>
265. Lewandowska S. 2016. Perspectives of soybean cultivation in Poland. Conference: Rolnictwo XXI wieku-problemy i wyzwania, Krzyżowa – 30–31 marca 2016 r. Krzyżowa, Polska.
266. Liu K. 2008. Food Use of Whole Soybeans. *Soybeans: Chemistry, production, processing, and utilization*. 441–482.
267. Luboiński, A. (2017). Ochrona konwencjonalnych odmian soi (*Glycine max* L. Merr) przed zachwaszczeniem komosą białą (*Chenopodium album* L.) i chwastnicą jednostronną (*Echinochloa crus-galli* L.). *Progress Plant Protection* 57(2): 135–140.

268. Pusztai A. 1991. General effects on animal cells. [W:] Phillipson J. D., Ayres D. C., Baxter H. Plant lectins. Cambridge, England: University Press. 105–205.
269. Revellin C., Meunier G., Giraud J.J., Sommer G., Wadoux P., Catroux G. 2000. Changes in the physiological and agricultural characteristics of peat-based *Bradyrhizobium japonicum* inoculants after long-term storage, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 54: 206–211.
270. Song W., Yang R., Wu T., Wu C., Sun S., Zhang S., Jiang B., Tian S., Liu X., Han T. 2016. Analyzing the Effects of Climate Factors on Soybean Protein, Oil Contents, and Composition by Extensive and High-Density Sampling in China. *Journal of agricultural*. 64: 4121–4130.
271. Tiwari S.P., Bhatia V.S. 1995. Characters of pod anatomy associated with resistance to pod-shattering in soybean *Annals of Botany*, 76: 483–485.
272. Wenda-Piesik A. 2016. Odmiany soi do uprawy w Polsce północno-zachodniej. *Farmer* nr 5, 42-43.
273. Wendling A., Eltz F. L. F., Cubilla M. M., Amado T. J. C., Mielniczuk J. 2008. Recommendation of potassium fertilization for non-till wheat, corn, and soybean in Paraguay. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32: 1929–39.
274. Filoda G., Mrówczyński M. 2016. *Metodyka integrowanej ochrony soi dla doradców*. Wyd. IOR-PIB. Poznań: 3–26.
275. Wstępne wyniki plonowania odmian roślin rolniczych w doświadczeniach porejestrowych w województwie kujawosko-pomorskim. 2015. Soja.
276. Wyniki plonowania odmian roślin rolniczych w poświadczeniach porejestrowych w województwie kujawosko-pomorskim. 2019. Soja.

Źródła internetowe:

<https://www.agropolska.pl/uprawa/straczkowe/odpowiedni-termin-siewu-dla-soi,50.html>

OECD/FAO. *Agricultural Outlook*. Dostęp w Internecie [4.10.2016]

<http://www.farmer.pl/produkcja-zwierzeca/inne-hodowle/soja-tylko-z-zaszczepionych-nasion,77831.html> z dn.10.01.2019

<http://www.minrol.gov.pl/Informacje-branzowe/Wyszukiwarka-srodkow-ochrony-roslin> z dn. 3.01.2019

<https://pixabay.com/pl/soja-rolnictwo-ro%C5%9Blin-gospodarstwa-1543076/> z dn. 20.12.2018

https://coboru.gov.pl/Publikacje_COBORU/Listy_odmian_lo_rolnicze_2020.pdf

Soystat <http://soystats.com/>

http://soystats.com/wp-content/uploads/SoyStats2020_Web.pdf

Streszczenie

Badania nad doskonaleniem agrotechniki soi przeprowadzono w latach 2015-2017 w oparciu o dwa doświadczenia ściśle polowe i wazonowe. Polowe doświadczenia prowadzono w dwóch miejscach, tj. w Stacji Badawczej Wydziału Rolnictwa i Biotechnologii UTP w Bydgoszczy w Mochełku oraz na polach doświadczalnych PW Iechpol sp. z o.o. w Grocholinie, natomiast doświadczenie wazonowe wykonano w gospodarstwie rolnym w Chlebnie.

Doświadczenie wazonowe prowadzone było w warunkach kontrolowanych, w tunelu foliowym. W badaniach zastosowano jeden czynnik o charakterze stałym, tj. kombinacje agrohydrożelu z inokulacją nasion. W badaniach wysokość roślin soi osiągnęła wyższe wartości średnio o 40% w odniesieniu do kontroli bez hydrożelu. Ponadto, biomasa nadziemna roślin wzrosła średnio o 25% w porównaniu z kontrolą, w której nie zastosowano hydrożelu.

W doświadczeniu z SB Mochełek badano 16 odmian soi konwencjonalnej, pochodzących z hodowli europejskich, które, w trakcie rozpoczęcia badań zostały wpisane do Krajowego Rejestru Odmian (Aldana, Augusta, Mavka, Aligator), oraz wybrano takie, które nie były jeszcze wpisane do Rejestru Krajowego, natomiast były w Europejskim Katalogu Odmian (Annushka, Amarak, Galice, Gallec, Klaxon, Layma, Lissabon, Mavka, Merlin, Petrina, Protina, Senator, Violetta).

W Grocholinie przeprowadzone doświadczenie było dwu czynnikowe. Przed siewem nasiona soi w zależności od kombinacji zaszczepiono inokulantami: HiStick, Biofor, Biofixin S, Nitragina (kontrola). Badano 8 odmian konwencjonalnej soi: Annushka, Violetta, Aldana, Amarak, Layma, Klaxon, Augusta, Merlin – są to odmiany wczesne o wysokim potencjale plonotwórczym i stabilnym plonowaniu, odporne na osypywanie nasion oraz wyleganie.

Warunki meteorologiczne w trakcie prowadzenia doświadczenia polowych były różnicowe w zależności od sezonu wegetacyjnego. Rok 2015 był rokiem suchym, gdyż suma opadów w okresie wegetacji soi była prawie o połowę niższa od wielolecia. Rok ten obfitował w wysokie temperatury oraz najniższe spośród trzech lat badań opady. Kolejne lata badań cechowały się dobrym rozkładem opadów i temperatury.

W badaniach wykazano, że najwięcej brodawek korzeniowych miały rośliny zaszczepione preparatem HiStick, w zakresie od 7 (rok 2016-2017) do 17,4 (rok 2015). W badaniach prowadzonych w gospodarstwie w Grocholinie wykazano również, że liczba brodawek korzeniowych podlega interakcji pomiędzy rodzajem inokulantu, a odmianą soi.

Spośród trzech lat badań przeprowadzonych w Grocholinie, nasiona zebrane w roku 2016 cechowała największa zawartość białka (40,5%). Najmniej białka wytworzyły rośliny w roku 2017 – 37%. Natomiast w SB w Mochełku średnia zawartość białka była najwyższa w roku 2015. Plon nasion soi był zróżnicowany między miejscem badań i badanymi czynnikami, zawierał się w granicach 1,5-6 t·ha⁻¹. Najwyżej plonowały odmiany Amarak i Merlin. Zaobserwowano znaczący wpływ badanych zabiegów na strukturę plonu i jakość nasion.

Summary

Research on the improvement of soybean cultivation was based on field and pot trials and conducted in 2015-2017. Field experiments were carried out at the Research Station of the Faculty of Agriculture and Biotechnology of the University of Technology and Life Sciences in Bydgoszcz, in the Mochełek location, and at the experimental fields of PW Iechpol sp z o.o. in Grocholin. Pot experiment was carried out on a farm in Chlebno.

The pot experiment was carried out in a foil tunnel, under controlled conditions. Combinations of agro-hydrogel with seed inoculation that remained fixed factor treatments. The research showed that the height of soybean plants achieved higher values by an average of 40% as compared to the control group where no hydrogel was present. Moreover, the above-ground biomass of plants increased by an average of 25% as compared to the control group, where no hydrogel was used.

During the SB Mochełek experiment, 16 conventional soybean varieties (European breeding origin) were tested. At the beginning of the study the cultivars were entered into the National Variety Register (Aldana, Augusta, Mavka, Aligator). Varieties not yet entered to the National Variety Register are included, however, in the European Variety Catalog (Annushka, Amarak, Galice, Gallec, Klaxon, Layma, Lissabon, Mavka, Merlin, Petrina, Protina, Senator, Violetta).

In Grocholin two – factor experiment was conducted to investigate the main and combined effects. Prior to sowing, soybeans were inoculated with the following: HiStick, Biofor, Biofixin S, Nitragina (control). Eight conventional soybean cultivars were tested: Annushka, Violetta, Aldana, Amarak, Layma, Klaxon, Au-gusta, Merlin - these are early cultivars with high yielding potential and stable yielding, resistant to the seed loss and stem loading.

The meteorological conditions during the field experiment varied significantly depending on the growing season. 2015 was a dry year, characterized by high temperatures and low rainfall. The remaining years of research were characterized by a good distribution of precipitation and temperature.

The studies showed that plants inoculated with HiStick had the highest number of nodules ranging from 7 (2016-2017) to 17.4 (2015). The research conducted on the farm in Grocholin also showed that the number of root nodules depended was determined by interaction between the type of inoculum and the soybean variety.

Of the three years of research carried out in Grocholin, the seeds collected in 2016 had the highest protein content (40.5%). The lowest protein was produced by plants in 2017 - 37%. On the other hand, in SB in Mochełek, the average protein content was the highest in 2015. The yield of soybeans varied and depended on the study site and the examined factors, ranging from 1,5-6 t·ha⁻¹. The cultivars 'Amarok' and 'Merlin' had the highest yields. A significant effect of the investigated treatments on the yield structure and seed quality was observed.