



**Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
im. J i J. Śniadeckich w Bydgoszczy
Wydział Rolnictwa i Biotechnologii**

mgr inż. Maciej Kazek

Streszczenie
rozprawy doktorskiej pt.

**Wpływ odmiany, inokulacji i hydrożelu na
plonowanie i jakość nasion konwencjonal-
nej soi (*Glicine max* (L.) Merr.)**

Promotor:
Prof. dr hab inż. Anna Wenda-Piesik

Bydgoszcz, 2020

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

śrutę 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, wysokwartościowego 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.

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 odziaływanie 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.

2. MATERIAŁY I METODY BADAŃ

2.1. Lokalizacja doświadczeń

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. Doświadczenie wazonowe prowadzone było w warunkach kontro-

lowanych, w tunelu foliowym, w gospodarstwie w Chlebnie, woj. Wielkopolskim.

2.2. Doświadczenie wazonowe

W doświadczeniu wazonowym 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 kłębki 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). 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. Badania przeprowadzono na 8 obiektach doświadczalnych w 5 powtórzeniach. Do wysiewu użyto odmianę Amarok, w ilości 5 nasion żywych na wazon. Doświadczenie założono w drugiej dekadzie czerwca 2016 roku i prowadzono do końca fazy kwitnienia (druga dekada sierpnia). Rośliny w początkowych fazach rozwoju były podlewane raz w tygodniu w ilości 300 ml, po wykształceniu pierwszej pary liści 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.).

2.3. Doświadczenie w SB WRiB w Mochelku

W SD Mochelku doświadczenie prowadzono przez trzy sezony wegetacyjne, na glebie kompleksu rolniczego żytniego dobrego, należącej do klasy agromonomicznej IVa. 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, Lisabon, Mavka, Merlin, Petrina, Protina, Senator, Violetta. Soję wysiewano w następujących terminach: 30.04.2015r, 05.05.2016r., 06.05.2017r., na poletkach o powierzchni 6m^2 ($3\text{m} \times 2\text{m}$) w rzędach o rozstawie 20 cm. Nasiona soi zostały bezpośrednio przed siewem zaszczepione preparatem HiStick® Soy. Obsada do siewu wynosiła $100 \text{ szt.} \times \text{m}^{-2}$. Zastosowano nawożenie przedsiewne: P_2O_5 - $80 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1}$, K_2O - $70 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1}$, N - $40 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1}$ w formie saletry amonowej. Po siewie wykonano zabieg herbicydami Afalon Dyspersyjny $450 \text{ SC } 1,0 \text{ l} \times \text{ha}^{-1}$ z Command $480 \text{ EC } 0,15 \text{ l} \times \text{ha}^{-1}$. Zbioru nasion wykonano kombajnem poletkowym WINTERSTEIGER.

2.4. 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 m^2 , na glebie kompleksu rolniczego pszennego bardzo dobrego (II klasa). Obsada nasion do siewu wynosiła $100 \text{ szt.} \times \text{m}^{-2}$. 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: P_2O_5 – $80 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1}$, K_2O – $70 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1}$, N – $40 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1}$. Przed siewem nasiona soi w zależności od kombinacji zaszczepiono inokulantami: HiStick® Soy, Biofor Soya, Biofixin-S, Nitragina Soja (kontrola). Siew nasion wykonano w trzeciej dekadzie kwietnia. Badano 8 odmian konwencjonalnej soi: Annushka, Aldana, Amarak, 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 $450 \text{ SC } 1,0 \text{ l} \times \text{ha}^{-1}$ z Command $480 \text{ EC } 0,15 \text{ l} \times \text{ha}^{-1}$. Zbiór wykonano kombajnem poletkowym John Deer Zurn 150.

2.5. 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 ($\text{szt.} \times \text{m}^{-2}$) – G,
- Obsada roślin do zbioru ($\text{szt.} \times \text{m}^{-2}$) – 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.

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

2.6.1. 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, 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.

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. Natomiast niska suma opadów we wrześniu (19,4 mm) spowodowała, że soja równomiernie dojrzała, co pozwoliło zebrać suche nasiona bez potrzeby desykcji. Średnie miesięczne temperatury były zbliżone do tych z wielolecia a średnia temperatura dla całego okresu wyniosła 13,8°C.

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. Jednakże rozkład opadów nie był zbytnio korzystny dla wzrostu i rozwo-

ju soi jak w roku 2016. Najwyższe opady, prawie dwukrotnie przewyższające sumę dla wielolecia, odnotowano w okresie dojrzewania strąków lipiec i sierpień, co miało wpływ na opóźnienie dojrzewania i zbiorów nasion. Niska temperatura w I dekadzie maja $8,5^{\circ}\text{C}$ przedłużyła okres wschodów soi.

2.6.2. Doświadczanie polowe w Gospodarstwie w Grocholinie

W roku 2015 w Grocholinie zanotowano ponad 50% mniejszą sumę opadów w maju, aniżeli w wieloleciu. 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, co mogło spowodować zasychanie części strąków przed osiągnięciem dojrzałości nasion.

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. 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.

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. Temperatury w sierpniu były średnie, przy wysokich opadach, soja długo dojrzewała i opóźniła zasychanie strąków, co spowodowało, że zbiór opóźnił się do połowy października.

2.7. 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 kombina-

cji 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 Mochelku 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 -Pearsona. 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 Mochelku. Wielowymiarowa technika eksploracyjna składowych głównych PCA (ang. *principle component analysis*) została wykorzystana do wyjaśnienia wielo cechowego zróżnicowania tych samych odmian soi w oparciu o dwie składowe główne. Obliczenia wykonano w programie STATISTICA 13, Stat Soft Polska.

3. WYNIKI

3.1. Wyniki doświadczenia wazonowego

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 wilgotność między obiektami wyniosła średnio 4,17%, na korzyść hydrożelu. 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.

W miarę intensywnego wzrostu i rozwoju wegetatywnego soi od drugiej pary liści właściwych aż do końca kwitnienia roślin, bezwzględne różnice po-

między 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 oraz do poziomu 4% w fazie początku kwitnienia soi. 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. W ostatnim dniu, tj. 5 wszystkie wazony zostały nawodnione do jednakowej wilgotności, w celu łatwiejszego wydostania roślin do wykonania pomiarów biometrycznych na soi.

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 o 1 cm krótsze. Natomiast hydrożel wpłynął na masę korzenia. Soja, gdzie użyto hydrożelu miała większą średnią suchą masę korzenia o 0,11 g. 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. Dokumentacja na zdjęciach przedstawia podłoże z hydrożelem po zakończeniu badań, oraz rośliny soi w fazie pomiaru w poszczególnych kombinacjach inokulantów.

3.2. Wyniki doświadczenia w Mochelku

3.2.1. 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. 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.

Wysokość roślin soi istotnie różniła się w zależności od odmiany i roku badań. 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.

Odmiany soi wysoce istotnie różniły się wysokością osadzenia pierwszego strąka, co zaobserwowano również w latach badań. 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.

3.2.2. 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. 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.

Analiza wariancji wykazała istotne różnice między odmianami i rokiem badań pod względem liczby zawiązaných strąków. 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.

3.2.3. 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. 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, Amarok, Petrina, Protina i Mavka (te miały 2,7 punktu wczesności)

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: Amarok – 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.

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. Odmia-

ny 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.

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%.

3.3. Wyniki z doświadczenia w Grocholinie

3.3.1 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. 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. Ubytki wegetacyjne w latach badań były nierównomierne, w 2015 wyniosły 22,6%, w 2016 8,7%, a w 2017 24,8%, co spowodowało, że w roku 2016 obsada do zbioru była istotnie wyższa niż w pozostałych latach i wyniosła 53,5 szt. x m⁻².

Odmiany soi wysoce istotnie różniły się pod względem obsady roślin po wschodach i do zbioru. Najwyższą obsadę po wschodach miała Aldana i Amarak, odpowiednio – 67,2 i 65,8 szt. x m⁻².

Zastosowane inokulanty do szczepienia nasion soi miały istotny wpływ na obsadę roślin po wschodach, obsadę do zbioru, jednakże nie spowodowały różnic w latach badań. Średnio najwyższą obsadę po wschodach miała soja po zastosowaniu HiStick i Biofixin-S – odpowiednio 58,5 i 58,3 na m²

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

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

3.3.2. Wysokość pędu oraz osadzenie pierwszego strąka na roślinie soi

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. 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.

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

Rodzaj zastosowanego inokulanta miał istotny wpływ na wysokość soi. Rośliny, gdzie nasiona inokulowano preparatem HiStick były najwyższe średnio 96,9 cm.

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

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. Rodzaj zastosowanego preparatu z bakteriami brodawkowymi miał istotny wpływ na wysokość osadzenia pierwszego strąka. Średnio najwyżej strąki posadowione były po inokulacji preparatem HiStick i Biofixin-S.

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

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. 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

Liczba strąków wykazała zróżnicowanie po zastosowaniu inokulanta. Pod wpływem HiStick i Biofixin-S uzyskano najwyższą liczbę.

Badane czynniki doświadczalne miały wysoki wpływ na liczbę brodawek na korzeniach soi. Wykazano również istotne różnice między latami badań a także w interakcji lata z odmianą lub inokulantem. W 2015 roku odnotowano największą liczbę brodawek korzeniowych – 7,3 szt. w pozostałych latach wynik ten był o 2 szt. mniejszy. 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.).

Zastosowane inokulanty do szczepienia nasion soi miały istotny wpływ na liczbę brodawek korzeniowych. Najwięcej brodawek miały rośliny zaszczerpione preparatem HiStick. Istotnie najmniejszą liczbę brodawek miała soja, gdzie jej nasiona były pokryte Nitraginą (kontrola).

3.3.4. 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. 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 $1,97 \text{ t x ha}^{-1}$.

Odmiany soi wysoce istotnie różniły się pod względem plonu. Najwyżej plonowały odmiany Amarok i Merlin.

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. 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.

3.3.5. 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. 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%. Zaobserwowano istotne różnice w zawartości białka w zależności od odmiany soi.

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.

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. 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%.

Odmiany soi wysoce istotnie różniły się pod względem zawartość tłuszczu. Najwyższą zawartość tłuszczu miały odmiany Lajma i Violetta (21,1%), nieco mniejszej odmiany Amarak, Annushka i Klaxon.

4. 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 $4,43 \text{ t x ha}^{-1}$, natomiast w Grocholinie na glebach klasy II średni plon z trzech lat badań wyniósł $3,05 \text{ t x ha}^{-1}$.
3. W Grocholinie odmiany Amarak, Merlin i Lajma plonowały najwyżej, odpowiednio na średnim z lat poziomie $3,83 \text{ t x ha}^{-1}$, $3,65 \text{ t x ha}^{-1}$, $3,29 \text{ t x ha}^{-1}$. W Mochełku najwyższy plon nasion zebrano u odmiany Amarak ($5,25 \text{ t x ha}^{-1}$), która plonowała o 18,5% powyżej średniej z badań. Powyżej średniej plonowały również odmiany Aligator ($5,04 \text{ t x ha}^{-1}$), Merlin ($5,00 \text{ t x ha}^{-1}$), Petrina ($4,96 \text{ t x ha}^{-1}$), Galice ($4,93 \text{ t x ha}^{-1}$) oraz Lissabon ($4,91 \text{ t x ha}^{-1}$).
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. 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.
6. 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.
7. Odmiany różniły się wysokością roślin i osadzeniem pierwszego strąka w zależności od roku badań i lokalizacji doświadczenia.
8. 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..

9. Inokulany Histick i Biofixin-S miały wpływ na większą liczbę strąków na roślinie. Większość odmian zareagowała zmniejszeniem liczby strąków po zastosowaniu Nitraginy.
10. Rośliny, których nasiona inokulowano preparatem Histick miały najczęściej wytworzonych brodawek korzeniowych, tj. 10,5 szt. na korzeniu o 9 szt. więcej w porównaniu do kontroli.
11. 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.
12. Rośliny, gdzie nasiona inokulowano preparatem Histick lub Nitraginą miały największą zawartość białka -39,2% o 0,4% więcej od średniej z lat badań
13. 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 %.
14. 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. 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.
3. 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. Alves B.J.R., Boddey R.M., Urquiaga S. 2003. The success of BNF in soybean in Brazil. *Plant and Soil*, 252: 1–9.

4. stepheBengough 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.
5. 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.
6. Faligowska A., Szukała J. 2014. Wpływ polimeru organicznego na komponenty plonowania i plon soi uprawnej. *Nauka Przyroda Technologie*, 8 (1): 1-8.
7. FAOSTAT 2018. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
8. 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.
9. 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.
10. Liu K.S. 1997. Chemistry and Nutritional Value of Soybean Components. [W:] *Soybean: Chemistry, Technology, and Utilization*. New York. Chapman and Hall. 25–113
11. 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.
12. Tyczewska A., Gracz J., Twardowski T., Małyska A. 2014. Soja przyszłością polskiego rolnictwa? *Nauka* 4: 121-138.
13. Zhang H., Prithiviraj 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.
14. Stephens J.H., Rask H., 2000. Inoculant production and formulation. *Field Crops Research*, 65: 249–258.

Źródła internetowe:

Soystat <http://soystats.com/>

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