



**UNIwersYTET
PRZYRODnicZY
WE WROcŁAWIU**

**WYDZIAŁ
PRZYRODnicZO-TECHNOLOGICZNY
INSTYTUT AGROEKOLOGII I PRODUKCJI ROŚLINNEJ**

mgr inż. Marcin Włodarczyk

**Wpływ terminów siewu na rozwój i plonowanie odmian soi
(*Glycine max* (L.) Merrill)**

Effect of planting date of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill)
on cultivars growth and yield

**Praca doktorska
wykonana pod kierunkiem:
Promotor: prof. dr hab. Andrzej Kotecki
Promotor pomocniczy: dr inż. Waldemar Helios**

Wrocław 2020

Szczególne podziękowania składam mojemu Mentorowi Panu Prof. dr hab. Andrzejowi Koteckiemu, za skuteczną motywację na każdym etapie realizacji tego opracowania oraz nieocenioną pomoc, wsparcie i zaufanie. Drogi Panie Profesorze, moją wdzięczność wyrażą najlepiej słowa Św. Jana Pawła II: „Trzeba pamiętać o nieustannej wdzięczności za ten dar, jakim dla człowieka jest drugi człowiek”.

Dziękuję Panu dr inż. Waldemarowi Heliosowi promotorowi pomocniczemu za pomoc przy powstawaniu tego opracowania.

Panu Prof. dr hab. Edwardowi Gackowi Dyrektorowi COBORU składam podziękowania za możliwość przeprowadzenia doświadczenia w SDOO Zybiszów.

Dziękuję Śp. Tomaszowi Kulonowi oraz wszystkim osobom wspierającym mnie w trakcie pisania tego opracowania.

*Niniejszą pracę dedykuję mojej Żonie Weronice,
Synowi Aleksandrowi,
Rodzicom i Rodzeństwu*

SPIS TREŚCI

ABSTRACT

1. WSTĘP	8
2. PRZEGLĄD PIŚMIENNICTWA	10
3. CEL I ZAKRES BADAŃ	26
4. METODYKA BADAŃ	27
5. WARUNKI PROWADZENIA BADAŃ	30
5.1 WARUNKI KLIMATYCZNE	30
5.1.1. PAWŁOWICE	30
5.1.2 ZYBISZÓW	32
5.2. WARUNKI GLEBOWE	33
5.3. WARUNKI AGROTECHNICZNE	34
5.4. CHARAKTERYSTYKA ODMIAN	37
6. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA	51
7. WNIOSKI	78
8. PIŚMIENNICTWO	80

Effect of planting date of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill)
on cultivars growth and yield

Abstract

In the current dissertation the results of three-year studies conducted in two spots were discussed. From 2017 to 2018 the experiments were set up in the fields of the Institute of Agroecology and Plant Production in Pawłowice, while in the last year of research (2019) plots were situated at the SDOO in Zybiszów. The purpose of the studies was to find out the reaction of soybean varieties belonging to different groups of earliness (medium early - Merlin) (late - Alligator and Lissabon) for different sowing dates. The experiments were set up in four replications, in a "split-plot" arrangement for two variable factors, which were:

A. Dates of sowing: I. the earliest - half of the second decade of April; II. delayed by 10 days from the first date; III. delayed by 20 days from the earliest date.

B. Cultivars: Alligator, Lissabon, Merlin.

The working hypothesis assumed that the sowing date will significantly affect the length of soybean vegetative and generative development, as well as the elements of the crop structure – the yield and its quality.

The detailed purposes of the study were to determine the influence of sowing dates and cultivars on:

1. the length of the vegetative and generative development period and the vegetation period,
2. shaping morphological features of soybean and yield structures as well as seed yield,
3. chemical composition of seeds,
4. efficiency from seeds of major nutrients,
5. profitability of cultivation.

The range of research included:

- field experiments,
- chemical composition analysis,
- economic calculation.

1. In the close vicinity of Wrocław, delaying the sowing date by 20 days compared to the earliest date caused a reduction in the total length of the day during vegetative and generative development by 16% and 10%, respectively, and it also resulted in an average increase in day length during vegetative development of 0.45 hour and a reduction in the length of the day during generative development by 0.1 hour, and shortened the length of the vegetative and generative development period by 23% and 7%, respectively.
2. Delaying of sowing term by 20 days relative to the first and the earliest term shortened the length of vegetative period by 12 days and generative term by 6 days.
3. On average for three years, Alligator cultivar had the longest growing season (133), followed by the shorter Lissabon (132) and Merlin (129).
4. The number of plants after emergence, in comparison to the first sowing date, was lower by 7% in the 2nd and 29% 3rd one. The most plants after emergence were noticed in Merlin cultivar. In comparison to this one Lissabon and Alligator had less emerged plants (%) 14 and 17, respectively.
5. In comparison to the first date, the sowing delayed by 20 days increased (%) the height of the plants by 15, the number of pods and seeds from the plant by 43 and 40, respectively. Moreover, it has reduced the height of embedding of the first pod by 22% and the mass of 1000 seeds by 6% .
6. Lissabon versus Merlin obtained higher values (%) in relation to the number of branches - 35, the number of pods and seeds from the plant by 13 and 17, respectively, the number of seeds in the pod - 5, the weight of seeds in the pod - 10 and the weight of 1000 seeds by 7.
7. In the first sowing date, compared to 3rd one, higher yields (%) were obtained for: seeds - 7, total proteins - 14, crude fat - 8, and post-harvest residues - 27. In comparison to the Merlin cultivar, higher seed and total protein yields by 7 and 9% were obtained from the Lissabon cultivar.
8. From the examined factors, on average in three years, the sowing date differentiated the content of total protein and nitrogen-free extracts in seeds, the genetic factor had an impact on the content of crude fat, and the weather over the years verified the level of total protein, fat and fly ash.

9. The sowing delay by 20 days compared to the earliest date caused an increase in the cost of production of 1 t of seeds and 1 kg of protein by 7.2% and 13.9%, respectively, and a decrease in income by 68.8%.

10. On average for cultivars, the highest income was received from the Aligator cultivar, followed by lower (%) from Lissabon - 12.5 and Merlin - 54.7. In comparison to the Aligator cultivar, the cost of producing 1 ton of seeds was higher for Lissabon by 1.6% and Merlin by 6.8%, and the cost of 1 kg of protein by 3.3% and 7.6%, respectively

11. On the basis of three-year average cultivation costs of 1 ha of soybeans equal PLN 3420.34 and with a selling price of 1 ton of seed PLN 1505, the break-even point, without subsidies, is obtained with a yield of 2.27 t per ha.

1. WSTĘP

Początki uprawy soi giną w pomrokach dziejów. Według aktualnego stanu wiedzy soja (*G. max*) pochodzi od dzikiego przodka (*Glycine soja* Sieb. and Zucc) i została udomowiona 6000–9000 lat temu w Chinach [Carter i in. 2004; Kim i in. 2012]. Chociaż dokładne miejsce udomowienia soi nie jest znane, to wśród prawdopodobnych obszarów wymienia się między innymi południowe Chiny, dolinę Żółtej Rzeki w środkowych Chinach i północno-wschodnie Chiny. Literatura chińska wskazuje, że soja była uprawiana za czasów dynastii Shang od 1700 do 1100 p.n.e. [Wilson 2008], jednak jej uprawa rozpoczęła się znacznie wcześniej niż wynika to z przekazów historycznych. Powszechnie przyjmuje się, że obecnie uprawiana soja pochodzi od *G. soja*, jednak Kim i in. [2010] sugerują, że soja pochodzi od wspólnego przodka *G. soja* i *G. max*.

Udomowienie zwiększa zdolności adaptacyjne roślin do zmieniających się środowisk poprzez selekcję człowieka [Peng i in. 2011], a dzikie rośliny zostały przekształcone w rośliny uprawne w procesie trwającym przez wiele tysięcy lat [Fedoroff 2010]. Jednak podczas udomowienia soi doszło do erozji genetycznej [Guo i in. 2010, Tang i in. 2010]. Hyten i in. [2006] twierdzą, że 50% różnorodności genetycznej i 81% rzadkich alleli zostało utraconych podczas udomowienia soi. Głównym powodem erozji genetycznej soi była jednocechowa selekcja nastawiona na wzrost plonów [Van i in. 2004].

Soja swoją zawrotną karierę w drugiej połowie XX i na początku XXI wieku zawdzięcza unikalnemu składowi chemicznemu. Nasiona soi zawierają w g·kg⁻¹-białka ogółem od 330 do 450, tłuszczu surowego od 180 do 240, włókna surowego od 55 do 80 i lecytyny od 15 do 25, a ponadto od 427 do 2743 μg·g⁻¹ nasion izoflawonów – związków biologicznie czynnych. Należy zaznaczyć, że wartość biologiczna białka soi jest zbliżona do białka mięsa wołowego.

Według FAOSTAT (FAO) w 2018 roku, w porównaniu ze stanem z 1961 roku, powierzchnia uprawy soi zwiększyła się z 27 do 126 mln ha, plony wrosły z 1,13 do 2,86 t·ha⁻¹, a globalna produkcja zwiększyła się ponad 13. krotnie z 27 do prawie 360 mln t. Powierzchnia uprawy soi w 2018 roku była większa od areału uprawy wszystkich bobowatych grubonasiennych o 32%, a plony z 1 ha i produkcja wyższe odpowiednio o 183% i 379%.

Soja (*Glycine max* (L.) Merrill) pod względem powierzchni uprawy jest czwartą rośliną świata, która według danych FAOSTAT [2019] była uprawiana w 2018 roku w 95 krajach. Produkcja soi była zdominowana przez USA, Brazylię, Argentynę, Indie, Chiny, Paragwaj, Kanadę, Rosję i Ukrainę, gdzie znajdowało się ponad 92% światowego areału uprawy soi.

Z danych statystycznych wynika, że udział pozostałych 86 krajów świata, w których uprawiano soję, w kształtowaniu powierzchni uprawy nie przekraczał 8%, a produkcja 6%.

W drugiej dekadzie XXI wieku obserwuje się w rolnictwie modę na rośliny bobowate. W latach 1961-2010 średnioroczny przyrost areału uprawy bobowatych w świecie wynosił 0,25 mln ha, a po 2010 roku był dziesięciokrotnie wyższy. Bobowate dzięki współżyciu z bakteriami brodawkowymi mają zdolność do wiązania azotu atmosferycznego. Bakterie wiążące azot atmosferyczny mogą zredukować w ciągu roku od 175 do 185 mln ton azotu. Należy zaznaczyć, że pod względem wydajności jest to drugi proces biochemiczny zachodzący na naszej planecie. Pierwsze miejsce zajmuje wiązanie CO₂.

Obieg węgla jest podstawowym ogniwem łączącym biosferę z klimatem Ziemi (i globalnymi zmianami klimatu). Związek biosfery z obiegiem węgla polega na zdolności roślin do pochłaniania dwutlenku węgla z atmosfery. Najpopularniejszym enzymem na Ziemi jest Rubisco (karboksylaza/oksygenaza rybulozo-1,5-bisfosforanu – RuBisCO), który steruje fotosyntezą. Jest to najpowszechniejsze na Ziemi białko; stanowi około połowy wszystkich protein zawartych w liściach i jest syntetyzowany w chloroplastach. Cały dwutlenek węgla wykorzystywany w procesie fotosyntezy przez glony i rośliny wielokomórkowe przechodzi przez ten jeden enzym (jest to około 200 mld t węgla rocznie). Innym ważnym enzymem jest anhydraza węglanowa, katalizator reakcji hydracji około jednej trzeciej dwutlenku węgla w roślinach i wodzie glebowej [Cowie 2009].

Należy zaznaczyć, że produkcja nawozów azotowych na Świecie w 2016 roku wyniosła ponad 113 mln ton w przeliczeniu na czysty składnik [Zalewski i Piwowar 2018] i była o 37% niższa od biologicznego wiązania N₂. Należy zaznaczyć, że związanie 1 t N w procesie Habera-Boscha wiąże się z zużyciem 1000 m³ gazu ziemnego, co przyczynia się do wzrostu efektu cieplarnianego i powoduje zużycie ponad 113 mld m³ gazu ziemnego, co odpowiada emisji do atmosfery $2,3 \cdot 10^8$ t CO₂.

W Polsce pierwsze badania nad uprawą soi rozpoczął prof. Sempołowski w 1878 roku w Szkole Rolniczej im. Haliny w Żabikowie, jednak pierwsze sukcesy w uprawie tego gatunku osiągnięto dopiero w drugiej dekadzie XXI wieku. W 2019 roku areał uprawy soi w Polsce zbliżał się do 20 tys. ha.

2. PRZEGLĄD PIŚMIENNICTWA

W USA uprawa soi koncentruje się w pasie między 43° a 45° szerokości geograficznej północnej, a w Polsce przesunięta jest od 4 do 11° szerokości geograficznej na północ, gdzie warunki klimatyczne do uprawy tego gatunku są ekstremalne. Czynnikiem ograniczającym zasięg uprawy soi są wymagania cieplne i jej reakcja na długość dnia. Większość odmian soi to rośliny dnia krótkiego i są to na ogół genotypy najlepiej plonujące. U odmian przeznaczonych do uprawy w wyższych szerokościach geograficznych wykazano, że długość dnia powyżej 16 godzin na początku kwitnienia powoduje opóźnienie występowania następnych faz rozwojowych i rośliny mogą nie dojrzeć przed nastaniem jesiennych przymrozków. Znane są jednak formy fotoperiodycznie obojętne, które rozpoczynają kwitnienie przy długości dnia wynoszącej nawet 24 godziny [Runge i Odell 1960, Criswell i Hume 1972, Polson 1972, Shanmu-Gasundaram i Tsou 1978].

Przy długim dniu i wysokiej temperaturze większość odmian soi reaguje tak, jak rośliny krótkiego dnia, a przy niskiej temperaturze i krótkim dniu - jak rośliny długiego dnia [Schuster i Jobehdar-Hanarnejad 1976, Upadhyay i in. 1994, Wallace i Yan 1998]. Wykazano, że fotoperiod i temperatura współdziałają z genotypem w celu kontrolowania wzrostu i rozwoju soi przez cały okres wegetacji [Major i in. 1975, Summerfield i in. 1993, Cober i in. 2001, Heatherly i Elmore 2004].

Hartwig [1970, 1973] wykazał, że fotoperiodyzm ma większe znaczenie u soi niż u innych roślin uprawnych. Odmiany wyselekcjonowane dla szerokości geograficznych południowych zazwyczaj mocniej reagują na krótsze dni niż te przystosowane do regionu północnego, dlatego odmiany pochodzące z południa kwitną zbyt późno na północy, podczas gdy północne kwitną zbyt wcześnie na południu [Scott i Aldrich 1970, Heatherly i Elmore 2004, Zhang i in. 2007]. Głównym celem procesu udomowienia i dywersyfikacji odmian soi był wybór adaptacji do określonego okresu fotoperiodu [Cober i Morrison 2010].

System klasyfikacji odmian soi na podstawie grup dojrzałości (MG Maturity Groups) stworzyło Regionalne Laboratorium Soi USDA, które w oparciu o reakcję odmian na fotoperiod lub szerokość geograficzną wyróżniło 7 grup dojrzałości MG I – VII [Hartwig 1973]. Należy zaznaczyć, że podział odmian soi w oparciu o grupy wczesności ciągle ewoluuje. Wraz z rozprzestrzenianiem się uprawy soi na nowe rejony (w ciągu ostatnich 50 lat) rozszerzyło się z MG I – VII do bardzo wczesnych MG 0000 na obszarach północnych i do późnych MG VIII – X na obszarach południowych [Liu i in. 2017].

Scott i Aldrich [1970] wyznaczyli dla warunków przyrodniczych Stanów Zjednoczonych hipotetyczne strefy adaptacji soi, dzieląc je na grupy dojrzałości MG od 00 do VIII (im wyższa grupa, tym odmiana ma większe wymagania cieplne oraz wykazuje mniejszą tolerancję na zmiany długości dnia). Wśród wielu odmian soi można odnotować te wyraźnie ciepłolubne, reagujące ujemnie, gdy długość dnia przekracza 12-14 godzin, ale są także odmiany z grupy 00, 0, I, które należy określić jako średnio ciepłolubne i przy tym często niewykazujące wyraźnej reakcji fotoperiodycznej.

Gai i in. [2001] wykorzystali amerykański system MG do sklasyfikowania 256 chińskich odmian soi na 12 MG (MG 000 – IX) poprzez porównanie ich dni od siewu do pełnej dojrzałości z długością tego okresu 48 kontrolnych MG pochodzących z Ameryki Północnej. Jia i in. [2014] wykazali, że niektóre odmiany z zimnego regionu o dużej szerokości geograficznej dojrzewały znacznie wcześniej niż MG 000 i dlatego zaproponowano nowy MG (MG 0000) dla odmian dojrzewających znacznie wcześniej niż MG 000. Do tej grupy zalicza się bardzo wczesne odmiany soi pochodzące z zimnych regionów o dużych szerokościach geograficznych w Chinach i na Dalekim Wschodzie Rosji [Jia i in. 2014]. Zróżnicowanie grup dojrzałości soi to efekt zmienności i kombinacji genów reagujących na fotoperiod i temperaturę [Jiang i in. 2013, Tsubokura i in. 2013, Jia i in. 2014].

Gai i in. [2001] wskazali, że w obrębie grup MG 0-III istnieją różne struktury rozwoju soi uwzględniające relacje między okresem rozwoju wegetatywnego do generatywnego, na które miały wpływ terminy siewu i szerokość geograficzna. Wyodrębniono dwie grupy rozwoju: jedna z krótszym okresem wegetatywnym i dłuższym generatywnym związane z uprawą soi na północy i wiosennym siewem, a druga z dłuższym okresem rozwoju wegetatywnego i krótszym rozwojem generatywnym, który występuje w cieplejszych rejonach.

Do najważniejszych cech adaptacyjnych soi należy długość okresu wegetacji i kwitnienia, a geny z rodziny 10 FT, mogą być zaangażowane w adaptację soi do różnych środowisk i mieć wpływ na zróżnicowany czas kwitnienia i okres wegetacji [Jiang i in. 2019].

Zhang i in. [2007] na podstawie badań prowadzonych w latach 1998-2003 zweryfikowali amerykański system podział na 13 MG. Wykazano, że strefy przystosowane do odmian wczesnie dojrzewających (MG) 0 – III) nie uległy zmianie, a strefy dostosowane do odmian późniejszych MG IV – VI były znacznie szersze, natomiast odmiany późne i bardzo późne MG VII i VIII uprawiano na ograniczonych obszarach.

Różnica w długości okresu wegetacji między odmianami soi, uprawianymi na tym samym obszarze, zaliczanymi do dwóch sąsiednich grup dojrzewania wynosi średnio od 10 do

15 dni [Norman 1978]. Odpowiedni dobór grup dojrzałości odmian soi w gospodarstwie (MG) w połączeniu z wczesnymi terminami siewu pozwala właściwie zrządzać procesami produkcji poprzez jej ukierunkowanie na zwiększoną wydajność tłuszczu z jednostki powierzchni [Mourtzinis i in. 2017].

Wzrost liczby MG zwiększa wysokość roślin, liczbę węzłów na roślinie i masę wegetywną z jednostki powierzchni. Wyniki badań [Egli 1993] wykazały, że dłuższy okres wegetacji odmian później dojrzewających nie zapewnia większego potencjału plonotwórczego, a odmiany o krótszym okresie wegetacji w podobnych warunkach siedliskowych mogą mieć zbliżony potencjał plonowania.

Odmiany soi wywodzące się ze wschodniej Syberii, charakteryzują się zdecydowanie zwiększoną odpornością na długotrwałe niedobory wilgoci oraz większą tolerancją na zmiany długości dnia. Z kolei odmiany z wybrzeża (Kuryłów i Hokkaido) dobrze znoszą przedłużające się okresy chłodnej pogody w trakcie wegetacji roślin.

Większość odmian uprawnych soi ma dość duże wymagania cieplne, długi okres wegetacyjny i należy do roślin dnia krótkiego, co utrudnia wprowadzenie ich do uprawy w mniej korzystnych rejonach klimatycznych [Borkowski 1930, Dzikowski 1937, Lityński 1957, Herse i Szyrmer 1968, Szyrmer 1968, Szyrmer 1969a, Holmberg 1973, Szyrmer 1977].

Postęp biologiczny u nowych genotypów soi polega między innymi na:

- zmniejszeniu reakcji roślin na fotoperiodyzm,
- zwiększeniu wigoru, który przekłada się na większą liczbę nasion uzyskiwanych z 1m²,
- wydłużeniu okresu utrzymania zielonych liści, co jest dodatnio skorelowane ze wzrostem suchej masy nasion,
- zwiększaniu odporności na patogeny,

Dzięki niemu nastąpił wyraźny wzrost plonów nasion w Polsce.

Ocieplenie klimatu, które obecnie ma miejsce [IPCC 2007], bez względu na to, jakie kroki w kierunku ochrony klimatu zostaną podjęte, będzie miało wpływ na produkcję roślinną w skali globalnej. Regionalne projekcje temperatury w oparciu o wiele modeli [Christensen i in. 2007] wskazują znaczne ocieplenie dla całej Europy, i to dla wszystkich pór roku, przy czym w zimie wzrost temperatury będzie najsilniejszy. Dla terenu Polski projekcje przewidują wzrost temperatury średniej rocznej o 3-3,5°C, wzrost temperatury zimy o 3,5-5°C (wyższy dla części wschodniej, a niższy dla zachodniej), a lata 3-3,5°C (wyższy na południu, niższy na północy). Prognozy przewidują zmiany sumy opadu rocznego w Polsce. Jednak, choć wszyst-

kie modele przewidują ocieplenie, projekcje opadu letniego (w okresie od czerwca do sierpnia) i zmiennych zależnych od opadu, uzyskane za pomocą różnych modeli klimatycznych, nie zgadzają się nawet w kwestii kierunku zmian – niektóre modele przewidują wzrost opadów letnich, a inne przewidują ich spadek. Wzrośnie częstość opadów deszczu w zimie, a zmniejszy się częstość opadów śniegu. Projekcje wskazują na skrócenie czasu zalegania pokrywy śnieżnej oraz zmniejszenie jej grubości.

Porównując horyzont czasowy lat 2070-2099 oraz 1961-1990, można stwierdzić, że model HadRM3-P przewiduje dla Polski spadek sumy opadów w lecie, przy jednoczesnym wzroście liczby opadów intensywnych. Projekcje wskazują także na wzrost zagrożenia suszą w sezonie wegetacyjnym. Wskutek redukcji pokrywy śnieżnej wzrośnie prawdopodobieństwo wystąpienia susz i erozji wietrznej. Im cieplejsze staną się zimy, tym dotkliwsze mogą być późne przymrozki, których jednak nie da się wykluczyć i w cieplejszym klimacie [Starkel i in. 2008].

Dzięki ocieplaniu się klimatu zasięg uprawy takich gatunków jak: soja, buraki cukrowe, niektóre gatunki pszenic, kukurydza na ziarno oraz słonecznik, których wymagania termiczne zawierają się w przedziale 2200-2500°C, stale się powiększa, sięgając coraz dalej na północ [Bański i Błażejczyk 2005, Starkel, Kundzewicz 2008]. Szwejkowski i in. [2008] prognozują między innymi wzrost plonów kukurydzy w 2050 roku od 20 do 60%.

Okresowe susze i wysokie temperatury powietrza, występujące coraz częściej ze względu na zmiany klimatu, są ważnym czynnikiem ograniczającym produkcję roślinną na całym świecie. Nakazem chwili jest szybkie rozpoznawanie zagrożeń wynikających ze zmian klimatu i adaptacja roślin poprzez hodowlę nowych odmian i stosowanie zmian w agrotechnice.

Według Łykowskiego [1984] najkorzystniejsze warunki klimatyczne do uprawy soi występują w Kotlinie Sandomierskiej, nieco gorsze są na Dolnym Śląsku. Jasińska i Kotecki [1993] zalecają także uprawę soi w Polsce południowo-wschodniej, gdzie wpływ klimatu kontynentalnego jest większy oraz południowo-zachodniej o najdłuższym okresie wegetacji. Obszar rejonów najkorzystniejszych jest stosunkowo nieduży i dlatego trzeba liczyć się ze znacznym zróżnicowaniem przestrzennym plonu nasion soi w danym roku, w wyniku silniejszego oddziaływania klimatu lokalnego. Jak wskazują badacze produkcja soi podlega rejoniacji, wynika to nie tylko z odpowiedniej jakości gleby, struktury agrarnej, sposobu uprawy, ale także z ryzykiem uprawy związanym bezpośrednio z klimatem.

Wszystkie odmiany soi pozytywnie reagują na wyższą temperaturę w ciągu całego okresu wegetacyjnego, ale tylko do wysokości 32-38°C. W rozwoju soi można wyróżnić dwa

okresy krytyczne o zwiększonych wymaganiach w odniesieniu do temperatury. Pierwszy występuje od siewu do pełni wschodów, w którym zbyt niska temperatura przedłuża jego trwanie nawet do 45 dni [Szyrmer i Szczepańska 1982], a znaczna liczba nasion nie wschodzi. Dlatego późniejsze polepszenie się warunków termicznych nie wywiera już istotnego wpływu na plonowanie, gdyż czynnikiem ograniczającym jest niewłaściwa liczba roślin na 1 m². Należy jednak zaznaczyć, że tolerancja soi na temperaturę w tym okresie jest bardzo duża. Nasiona mogą kiełkować w temperaturze od 5°C do 40°C. Stwierdzono także, że korzenie soi mogą rosnąć jeszcze w temperaturze 2,2°C [Mota 1978, Hinson i Hartwig 1982].

Wszyscy autorzy stwierdzają, że soja w okresie wschodów jest dość odporna na przymrozki, gdyż znosi spadki temperatury do -5°C. Pomimo znacznej tolerancji na niską temperaturę w początkowych fazach rozwojowych, nie zaleca się zbyt wczesnego siewu soi w klimacie umiarkowanym i chłodnym, gdyż rośliny zwalniają lub przerywają wegetację w temperaturze około 5°C i dojrzewają niemal w tym samym czasie co inne, wysiane w terminie późniejszym, w lepszych warunkach termicznych. W środkowej i południowej Polsce wysiewu soi dokonuje się na przełomie kwietnia i maja. Temperatura gleby na głębokości 5 cm wynosi wtedy 12-14°C [Koźmiński 1981, Szyrmer i Szczepańska 1982].

Drugim okresem krytycznym w rozwoju soi jest faza kwitnienia. Jak wynika z większości badań, wyższe temperatury w początkowym okresie rozwoju soi sprzyjają wcześniejszemu kwitnieniu, jednak w największym stopniu termin rozpoczęcia kwitnienia kształtuje fotoperiodyzm zależny od genomu [Major i in. 1975, Upadhyay i in. 1994, Cooper 2003, Zhang i in. 2007].

Minimum termiczne podczas kwitnienia soi wynosi od 17 do 18°C, a temperatura optymalna 22-25°C. W tej fazie rozwojowej między genotypami soi występują znaczne różnice w reakcji na temperaturę [Holmberg 1973, Schmid i Keller 1980]. Garner i Allard [1930, cyt. za Hinsonem i Hartwigem 1982] oraz Mota [1978] stwierdzają, że dopiero przy spadku temperatury poniżej 10°C soja nie wchodzi w fazę kwitnienia. Jednak utrzymywanie się przez dłuższy czas temperatury poniżej 24°C opóźnia termin kwitnienia.

Niektórzy autorzy uważają, że plon soi rośnie wraz ze wzrostem temperatury do 29-30°C [Schlenker i Roberts 2008, 2009]. Jednak nawet krótkotrwała, zbyt wysoka temperatura negatywnie wpływa na plon nasion [Schlenker i Roberts 2008], szczególnie jeśli wystąpi w okresach krytycznych dla rośliny. Działanie bardzo wysokiej temperatury w fazie kwitnienia może spowodować zmniejszenie potencjalnej liczby nasion z rośliny, co negatywnie wpływa na uzyskany plon [Wheeler i wsp. 2000].

Wykazano, że wysoka temperatura (33°C w dzień i 28°C w nocy) w fazie wykształcania strąków soi powoduje zmniejszenie o 36% tempa wzrostu masy nasion, niezależnie od temperatury w późniejszym okresie, sugerując, że zawiązywanie i rozwój nasion są wrażliwe na wysokość temperatury w tym stadium rozwoju roślin [Egli i Wardlaw 1980]. W skutek działania wysokiej temperatury na rośliny (35°C przez 10 godzin w ciągu dnia) w okresie od kwitnienia do dojrzewania stwierdzono zmniejszenie o 27% plonu nasion soi. Ekspozycja na wysoką temperaturę w okresie od kwitnienia do zawiązywania strąków negatywnie wpływa na wykształcenie nasion soi. Dłuższe działanie wysokiej temperatury, tj. od fazy kwitnienia i wykształcania strąków aż do wypełniania nasion powoduje zmniejszenie przyrostu masy nasion [Gibson i Mullen 1996a].

W czasie wegetacji soi występują trzy okresy krytyczne o zwiększonym zapotrzebowaniu na wodę, są to: faza kiełkowania, kwitnienia i wypełniania strąków [Kuchar 1972, Nawracała 2001, Brevedan i Egli 2003, Kucharik Serbin 2008].

Odmiany soi wywodzące się ze wschodniej Syberii, charakteryzują się zdecydowanie zwiększoną odpornością na długotrwałe niedobory wilgoci oraz większą tolerancją na zmiany długości dnia. Z kolei odmiany z wybrzeża (Kuryłów i Hokkaido) dobrze znoszą przedłużające się okresy chłodnej pogody w trakcie wegetacji roślin.

W fazie kiełkowania niezbędna jest optymalna wilgotność gleby, jednakże nadmierne uwilgotnienie wpływa ujemnie na liczbę roślin po wschodach, co może skutkować obniżką plonów.

Według wielu autorów [Mackiewicz 1959, Szyrmer i Federowska 1975, Woodward i Begg 1976] w okresie kwitnienia soja jest najbardziej wrażliwa na niedobory wody. Faza kwitnienia może ulec wydłużeniu do około 30 dni, stąd nawet kilkunastodniowe okresy bezopadowe nie wpływają na obniżkę plonu, gdyż po uzupełnieniu niedoborów wilgoci proces kwitnienia zaczyna przebiegać normalnie.

Niektóre badania wykazały, że największe straty w plonie może spowodować niedobór wody w okresie wypełniania strąków [Mota 1973, Hinson i Hartwig 1982]. Z kolei Woodward i Begg [1976] uważają, że zarówno przed i po kwitnieniu niedobór opadów nie wpływa na plon. Popovic i wsp. [2013] wykazali istotny dodatni wpływ sumy opadów na wysokość plonu nasion oraz zawartość białka i tłuszczu w nasionach soi. Różnice poglądów w tym zakresie mogą wynikać przypuszczalnie z reakcji odmian na niedobór wody.

Soja jest dobrze przystosowana do przetrzymywania dłuższych okresów bezopadowych, dzięki dobrze rozbudowanemu systemowi korzeniowemu sięgającemu do głębokości 2

m oraz owłosieniu, które zmniejsza transpirację, a także dzięki możliwości ustawienia liści równoległe do promieni słonecznych, co znacznie zmniejsza ich nagrzewanie i tym samym transpirację [Holmberg 1973, Mota 1978, Schmid i Keller 1980, Koźmiński 1981, Hinson i Hartwig 1982, Szyrmer i Szczepańska 1982, Łykowski 1984, Griebisch i in. 2019].

Wysokie temperatury powietrza i niedobór opadów powodują wzrost transpiracji roślin. Hodowla odmian soi odpornych na susze w połączeniu z beznakładowym czynnikiem agrotechnicznym, jakim jest termin siewu, pozwala ograniczyć niekorzystny wpływ klimatu na plony [Fletcher i in. 2007, Sinclair i in. 2008, Devi i in. 2014].

Reakcja soi na niekorzystne warunki pogodowe zależy w dużym stopniu od fazy rozwojowej, a możliwości adaptacji roślin do warunków klimatycznych poprzez współdziałanie czynników genetycznych z agrotechnicznymi są ograniczone i wymagają skwantyfikowania [Purcell i Specht 2004, Mourtzinis i in. 2019].

Duże obniżenie temperatury oraz niedobór wody w okresie kwitnienia powoduje zasychanie i opadanie kwiatów i zawiązków strąków. Suma dziennych temperatur w okresie wegetacji, niezbędnych do prawidłowego rozwoju i plonowania soi, określana jest w zależności od wczesności odmian i rejonów uprawy i wynosi 1900°C dla form najwcześniejszych.

Zmiany klimatu w powiązaniu z czynnikami agrotechnicznymi mogą być wykorzystane do opracowania nowych strategii adaptacyjnych roślin w celu łagodzenia wpływu niekorzystnych czynników atmosferycznych. We wschodnich Chinach podczas uprawy soi w latach 1981–2010 zaobserwowano, że daty siewu, wschodów dojrzałości pełnej ulegały opóźnieniu odpowiednio o 1,78, 0,83 i 0,62 dnia na dekadę. Ponadto skróceniu uległa długość okresu wegetatywnego i wegetacyjnego odpowiednio o 0,62 i 1,16 dnia na dekadę, a okres generatywny wydłużył się średnio o 0,43 dnia. Względny wpływ zmian klimatu na długość rozwoju wegetatywnego i generatywnego soi oraz okresu wegetacji był większy niż czynników agrotechnicznych. Średnia temperatura była dominującym czynnikiem klimatycznym mającym wpływ na szybkość pojawiania się większości stadiów i faz fenologicznych soi. Opóźnione terminy siewu, stosowanie odmian o dłuższym okresie wegetacji i odpornych na przymrozki może złagodzić szkodliwe skutki przyszłego cieplejszego klimatu [He i in. 2019].

W większości amerykańskich regionów, w których uprawia się soję, występują ekstremalne zjawiska pogodowe. W latach 1994–2013 niekorzystne zjawiska pogodowe – duże zróżnicowanie opadów podczas wegetacji i wysokie temperatury spowodowane zmianami klimatycznymi spowodowały obniżkę produkcji nasion soi o około 30% i straty gospodarcze rzędu 11 miliardów \$ [Mourtzinis i in. 2015].

Wielu autorów [Bobrecka-Jamro i Pizło 1996, Jasińska i in. 1996, Kołodziej, Pisulewska 2000, Lorenc-Kozik, Pisulewska 2003, Lozovaya i in. 2005, Michałek, Borowski 2006, Bujak, Frant 2009] wykazało, że plon nasion soi zależy od układu warunków pogodowych podczas wegetacji. Pyzik i in. [1987] stwierdzili, że warunki pogodowe w okresie wegetacji w znacznym stopniu modyfikowały cechy morfologiczne. Bury i Nawracała [2004] stwierdzili, że w latach cieplejszych dominującym czynnikiem kształtującym wzrost i rozwój soi był niedobór opadów.

Termin siewu kształtuje pokrój rośliny, cechy użytkowe, plon, masę 1000 nasion, zawartość oleju, białka oraz izoflawonów [Mackiewicz 1954, Osier i Cartter 1954, Freeman i Philips 1959, Green i wsp. 1965, Mackiewicz 1965, Szyrmer 1969b, Freiria i wsp. 2016].

Poglądy dotyczące optymalnego terminu siewu soi w Polsce są rozbieżne [Mackiewicz 1954, Wojtysiak i Jasińska 1959 a i b, Szyrmer 1969b, Woynarowska 1972], jednak większość autorów za optymalny termin siewu uważa trzecią dekadę kwietnia oraz pierwszą dekadę maja i wskazuje na ujemny wpływ na plon siewów późnych i zbyt wczesnych w glebę nieogrzaną o temperaturze poniżej 8°C [Mackiewicz 1954, Lityński 1967, Woynarowska 1972]. Przy opóźnionym terminie siewu rośliny soi są niższe i zawiązują mniej strąków [Mackiewicz 1954, Herse i Szyrmer 1968]. Pomimo znacznej tolerancji na niską temperaturę w początkowych fazach rozwojowych, nie zaleca się zbyt wczesnego siewu soi w klimacie umiarkowanym i umiarkowanym chłodnym, gdyż rośliny zwalniają lub przerywają wegetację w temperaturze około 5°C i dojrzewają niemal w tym samym czasie, co inne wysiane w terminie późniejszym, w lepszych warunkach termicznych. Jak podaje Mota [1978] w praktyce wysiew soi następuje, gdy temperatura gleby wynosi: w Serbii 8°C, w Bułgarii 12°C, w Japonii, Stanach Zjednoczonych, Kolumbii i Tanzanii 13-29°C. W środkowej i południowej Polsce wysiewu soi dokonuje się na przełomie kwietnia i maja. Temperatura gleby na głębokości 5 cm wynosi wtedy 12-14°C [Koźmiński 1981, Szyrmer i Szczepańska 1982].

We wszystkich rejonach świata plony soi maleją wraz z opóźnieniem terminu siewu. Opóźniony termin siewu, w porównaniu z wczesnym, obniża liczbę rozgałęzień, strąków i nasion z rośliny [Guffy i in. 1983, Board 1985, Anderson i Vasilas 1985, Park i in. 1987, Egli i in. 1987]. Johnson i in. [1960] wiąże reakcje soi na opóźnienie terminu siewu z różnicami w długości dnia. Board i Hall [1984] wykazali, że przedwczesne kwitnienie spowodowane skracającym się dniem powoduje zmniejszenie wielkości rośliny i obniżkę plonów z późnego siewu.

Wpływ terminu siewu na plon nasion soi poprzez kształtowanie rozwoju oraz cech morfologicznych w północno-środkowych stanach USA został opisany Ohio przez Beuerlein [1988], w Indianie przez Wilcox i Frankenberger [1987], w Illinois przez Beavera i Johnsona [1981] oraz przez Anderson i Vasilas [1985], w Iowa Schnebly i Fehr [1993], w Wisconsin Oplinger i Philbrook [1992] oraz Pedersen i Lauer [2003, 2004a, 2004b], w Dakocie Północnej przez Helms i in. [1990] oraz w Nebrasce Elmore [1990]. Z badań tych wynika, że optymalnym terminem siewu dla środkowo-północnych stanów USA jest połowa maja, przy znacznym spadku plonów, jeśli siew zostanie opóźniony do końca maja lub początku czerwca – jeszcze bardziej z opóźnieniami przekraczającymi połowę czerwca.

W USA rozwój wegetatywny soi (V) opisuje za pomocą węzłów, z których wyrastają liście zarodkowe – węzeł 1 i kolejne liście właściwe (trójlistkowe). Pierwszy liść trójlistkowy wyrasta z drugiego węzła i odpowiada rozwojowi wegetatywnemu w fazie V1, a pojawiające się następne liście trójlistkowe to kolejne fazy rozwoju wegetatywnego. W fazie pięciu liści właściwych i sześciu węzłów (V5) rozpoczyna się faza rozwoju generatywnego (R), w której wyróżnia się następujące etapy: R1 – początek kwitnienia, R2 pełnia kwitnienia, R3 – początek wykształcania strąków, które mają $3/16$ właściwej długości, R4 – strąki są w pełni wykształcone i osiągnęły $3/4$ właściwej długości, R5 – początek wykształcania nasion, które osiągnęły $1/8$ właściwej długości, R6 – nasiona w pełni wykształcone, zielone w jednym z czterech najwyższych węzłów, R7 – początek dojrzałości, jedno nasiono w dowolnym miejscu łodygi posiada właściwą barwę, R8 – dojrzałość pełna, 95% nasion ma właściwą barwę, do zbioru pozostało 7 – 8 dni [Pedersen 2004]. Stadia rozwoju wegetatywnego i generatywnego opracował Fehr i in. [1971], a zilustrował zdjęciami Pedersen [2004].

W USA ten system opisu rozwoju fenologicznego soi jest obecnie standardowy. Pedersen i Lauer [2003, 2004a, 2004b] przeprowadzili jedno z niewielu szczegółowych badań nad skutkami wczesnych (3-6 maja) i późnych (23–27 maja) terminów siewu soi. Wykazano, że w późnym terminie siewu, w porównaniu z wczesnym, początek kolejnych etapów rozwoju generatywnego zaczynając od R1 (początek kwitnienia) do R5 (początek wykształcania nasion) – był opóźniony o 3 tygodnie, z wyjątkiem etapu R6 (nasiona w pełni wykształcone), które niezależnie od terminów siewu wystąpiło 105 dni po wschodach. Soja siana we wczesnym terminie siewu, w porównaniu z opóźnionym, zawiązywała na roślinie więcej strąków i nasion, jednak liczba nasion w strąku była mniejsza, a plony o 10% wyższe. W 64 dniu po wschodach rośliny siane w III dekadzie maja były o 35 cm niższe w porównaniu z wczesnym terminem siewu, jednak w fazie R6 posiadały podobną wysokość.

Pedersen i Lauer [2004a] wykazali, że rośliny pochodzące z siewu na początku maja wykształcały na pędzie głównym średnio 16,3 węzłów, a siane w późniejszym terminie siewu 15,5. Tworzenie nowych węzłów kończyła faza R5. Fehr and Caviness [1977] stwierdzili, że od pojawienia się do piątego węzła, każdy następny węzeł pojawiał się średnio w odstępach 5 dniowych z odchyleniem od 3 do 8 dni, w zależności od temperatury.

W stanie Nebraska (Lincoln) przeprowadzono badania nad wpływem terminów siewu soi (początek, połowa i koniec maja oraz połowa czerwca) na rozwój i plonowanie 14 odmian soi zaliczanych do MG (Maturity Groups) 3,0 - 3,9. Niskie temperatury w okresie od siewu do wschodów i do wykształcenia pierwszego liścia właściwego (V1), we wczesnych terminach siewu, wydłużyły tę fazę. Wczesny termin siewu w porównaniu z czerwcowym zwiększył liczbę węzłów na roślinie, z powodu wcześniejszej daty pojawienia się etapu V1 jednak międzywęzła od 3 do 9 węzła były krótsze, co spowodowało, że wysokość roślin jako funkcja daty siewu, liczona liczbą dni od początku roku miała charakter funkcji 2° z ekstremum w drugim terminie siewu. Opóźnienie terminu siewu po 1 maja powodowało obniżkę plonu nasion z 1 ha średnio o 30 kg dzień⁻¹. Opóźnienie terminu siewu nie miało wpływu na tempo pojawiania się, od fazy V1, kolejnych węzłów, które pojawiały się średnio co 3,7 dnia [Bastidas i in. 2008].

W Turcji w warunkach równiny Bafra opóźnienie terminu siewu z początku maja o miesiąc powodowało obniżenie liczby nasion z rośliny o 31%, masy 100 nasion o 15% i plonu nasion o 17% [Uslu i Esendal 1998].

Wcześniejszy termin siewu zwiększa wykorzystanie energii świetlnej, gdyż rośliny rozpoczynają wegetację w warunkach wydłużającego się dnia, a rozwój generatywny trwa dłużej, a ponadto umożliwia siew późniejszych odmian. W Wisconsin opóźnienie terminu siewu o miesiąc skróciło okres rozwoju generatywnego [Gaspar, Conley 2015].

W Środkowo-Zachodnich Stanach Zjednoczonych wykazano interakcję między terminem siewu a rokiem wprowadzenia do uprawy odmian należących do grupy wczesności MG III. W latach 1920-2010 średni roczny przyrost plonów dla odmian MG III wyniósł przy siewach 1 maja 22,7 kg·ha⁻¹, a dla siewów z 1 czerwca 19,6 kg·ha⁻¹. Wyższy o 3,1 kg·ha⁻¹·rok⁻¹ przyrost plonów soi sianej w maju w porównaniu z czerwcem wskazuje na fakt, że nowsze odmiany zareagowały korzystniej na wcześniejsze siewy niż odmiany starsze. Korzystna reakcja nowych odmian na wczesny termin siewu może spowodować dalszy postęp w hodowli, który nie byłby widoczny w warunkach późnego siewu, co było powszechnie stosowaną praktyką wśród rolników w celu uniknięcia wiosennych przymrozków [Rowntree i in. 2013].

Badania Gaynora i in. [2012] wykazały w warunkach Nowej Południowej Walii duże różnice w długości rozwoju wegetatywnego, które kształtował czynnik genetyczny, termin siewu i układ warunków klimatycznych podczas badań. Wyższe temperatury przyspieszały kwitnienie, a wydłużający się dzień opóźniał. Kwitnienie najwcześniejszych genotypów nie zależało od reakcji fotoperiodycznej, na długość kwitnienia, którą kształtowały terminy siewu i lata badań, miała wpływ temperatura. Kwitnienie późniejszych genotypów w większym stopniu zależało od reakcji fotoperiodycznej, a kwitnienie występowało później i w dużym stopniu zależało od terminu siewu.

Opóźniony termin siewu w połączeniu z niekorzystnymi warunkami środowiskowymi miały negatywny wpływ na wzrost, rozwój, i plony soi. Zmiany fotoperiodu i temperatury, spowodowane opóźnionym terminem siewu, mają wpływ na długość rozwoju wegetatywnego i generatywnego, liczbę strąków na roślinie, wysokość roślin, wskaźnik LAI oraz plon nasion, a także wpływają na skład chemiczny nasion. Stres spowodowany suszą zmniejsza współczynnik wymiany dwutlenku węgla (CER), fotosyntezę, produkcję cukru i przepływ metabolitów do komórek rozwijających się, co zwiększa opadanie kwiatów, skraca okres rozwoju wegetatywnego i generatywnego, czas wypełniania nasion, zmniejsza liczbę nasion z rośliny i ich masę, co ma negatywny wpływ na wielkość plonów [Hu i Wiatrak 2011].

W Iranie maksymalny plon nasion $437,2 \text{ g m}^{-2}$ uzyskano przy wczesnym terminie siewu (10 maja), a tygodniowe opóźnienie powodowało obniżkę plonu o 5%. Wzrost liczby wysianych nasion na 1 m^2 z 20 do 60 powodował zwiększenie plonu o 38 % [Daroish i in. 2005].

Celem hodowli jakościowej jest zwiększenie w nasionach soi zawartości białka jednak ujemna korelacja z zawartością tłuszczu i plonem nasion ograniczają postęp w tym zakresie [Burton 1987, Rinker i in. 2014, Patil i in. 2017], a podstawowym czynnikiem selekcji jest wysokość plonu [Sebastian i in. 2010, Fox i in. 2015, Patil i in. 2017]. W USA od dziesięcioleci plon nasion amerykańskich odmian soi wzrasta, a zawartość białka maleje [Rinker i in. 2014].

Jakość nasion soi kształtuje zawartość białka, tłuszczu, kwasów tłuszczowych, cukrów i minerałów. Nasiona odmian soi uprawianych w USA zawierają w przeliczeniu na suchą masę od 380 do 420 g kg^{-1} białka, 190 do 230 g kg^{-1} tłuszczu, który w 1 kg zawiera 120 do 130 g kwasu palmitynowego, 30 do 40 g kwasu oleinowego, 480 do 580 g kwasu linolowego i 50 do 80 g kwasu linolenowego. Ponadto zawierają również cukry, takie jak monosacharydy (glukoza i fruktoza), disacharydy (sacharoza) i oligosacharydy (rafinoza i stachioza) oraz makro (P, K, Ca) i mikroelementy (Mn, Zn, Fe i B) [Bellaloui i in. 2015].

Wyższa zawartość kwasu oleinowego, a niższa linolowego i linolenowego jest korzystna ze względu na stabilizację tłuszczu. Niska zawartość rafinozy i stachiozy, a wyższa sacharozy, fruktozy i glukozy jest wskazana, ponieważ mono- i disacharydy przyczyniają się do poprawy strawności, jednak wysoka zawartość niestrawnych oligosacharydów (rafinoza i stachioza) powoduje u zwierząt monogastrycznych biegunki [Liu 1997].

Plon tłuszczu z soi wynosi średnio ponad 500 kg·ha⁻¹ i dlatego jest ona jedną z najbardziej wydajnych roślin oleistych na świecie. Olej sojowy zawiera duże ilości niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych, potrzebnych do prawidłowego wzrostu i rozwoju ludzi oraz zwierząt [Pisulewska i in. 1998]. Wartość żywieniową oleju sojowego ogranicza zbyt szeroki stosunek kwasu linolowego (C18:2) do linolenowego (C 18:3), który wynosi 7.

Plon i jakość nasion soi to funkcje genotypu (G), wpływu czynników agrotechnicznych (M), i oddziaływania środowiska (E) oraz i ich interakcji (G × E × M) [Maestri i in. 1998, Grieshop i Fahey 2001, Rao i in. 2002, Dardanelli i in. 2006, Goldflus i wsp. 2006, Assefa i wsp. 2018]. Skład chemiczny nasion soi zależy do właściwości genetycznych odmiany, czynników biotycznych i abiotycznych wśród których należy wymienić długość okresu wegetacji i czynniki agrotechniczne [Harue i Hirokadzu 1971, Chapman i in. 1976, Chy i Sheldon 1979].

Wilcox i Cavins [1995] wykazali ujemną korelację pomiędzy plonem nasion soi a zawartością białka ogółem. Z kolei inni badacze zauważyli wzrost zawartości tłuszczu surowego w nasionach, które dojrzewały w warunkach wyższych temperatur [Howell i Cartter 1958, Ren i in. 2009, Mourtzinis i in. 2017]. Kumar i in. [2006] wykazali dodatnią zależność liniową między temperaturą a zawartością białka surowego, a ujemną między temperaturą a koncentracją tłuszczu surowego. Ham i in. [1975] i Nakasathien i in. [2000] wykazali wzrost zawartości białka i obniżenie tłuszczu pod wpływem nawożenia azotem.

Nawadnianie, w zależności od genotypu, miało zróżnicowany wpływ na zawartość białka w nasionach soi [Boydak i in. 2002, Bellaloui i Mengistu 2008]. Carrera i in. [2009] wykazali obniżenie zawartości białka w nasionach soi w warunkach deficytu wody, a Kumar i in. [2006] stwierdzili wzrost zawartości tego składnika. Rotundo i Westgate [2009] udowodnili niekorzystny wpływ stresu wodnego na zawartość tłuszczu surowego.

Późny termin siewu soi zwiększa w nasionach zawartość białka ogółem [Robinson i in. 2009, Bellaloui i in. 2015].

Assefa i in. [2019] wykazali, że czynniki środowiska w ponad 70% różnicowały skład chemiczny nasion i plonu. Spośród czynników agrotechnicznych:

- w północnych szerokościach geograficznych (40–45⁰) opóźniony termin siewu obniżył plony i zawartość tłuszczu w nasionach;
- u soi w płodozmianie (soja po kukurydzy) zwiększała w porównaniu z uprawą soi w monokulturze plon nasion;
- zastosowanie N w dawce (10-50 kg ha⁻¹) zwiększało w nasionach zarówno tłuszczu surowego i białka ogółem, jednak plon nasion wzrastał dopiero przy zastosowaniu nawożenia N powyżej 100 kg ha⁻¹.

Zawartość surowego białka i białka rozpuszczalnego w wodzie, sumaryczna ilość białka i tłuszczu surowego oraz udział większości aminokwasów były dodatnio skorelowane z sumą temperatur $\geq 15^{\circ}\text{C}$ (AT15) i średnią temperaturą dzienną (MDT), a ujemnie skorelowane z godzinami nasłonecznienia (HS) i dobowym zakresem temperatur (DTR). Korelacje między czynnikami klimatycznymi i zawartością tłuszczu surowego oraz większości kwasów tłuszczowych były odwrotne do korelacji z zawartością białka surowego. Wykazano dodatnią korelację między zawartością tłuszczu surowego a średnią dzienną temperaturą, gdy dzienna temperatura wynosiła $< 19,7^{\circ}\text{C}$. Zawartość białka i tłuszczu surowego kształtował dobowy zakres temperatur.

Wyniki badań [Bellaloui i in. 2015] nie wykazały wpływu ilości wysianych na 1 m² nasion w przedziale od 10 do 50 na zawartość w nasionach soi kwasu palmitynowego, stearynowego i linolowego, natomiast wczesny termin siewu, w porównaniu z późnym, powodował wzrost zawartości tłuszczu surowego, kwasu oleinowego i sacharozy. Opóźnienie siewu skutkowało wzrostem zawartości białka ogółem oraz obniżało, zawartość tłuszczu surowego i kwasu oleinowego. Zmiany w składzie chemicznym nasion kształtowane są w dużym stopniu przez warunki środowiskowe (susza i temperatura) Wzrost zawartości stachiozy w latach suchych i z wysoką temperaturą sugeruje, że ten oligosacharyd może być związkiem stresu środowiskowego. Wyniki badań nad wpływem czynników agrotechnicznych takich jak termin siewu, zagęszczenie roślin na 1 m² i sposoby siewu na kształtowanie składu chemicznego nasion wykazały, że zależał on przede wszystkim od czynników środowiskowych takich jak suma opadów i temperatura.

Nasiona soi uprawianej w USA w północnym Pasie Kukurydzy zawierają mniej białka w porównaniu z soją uprawianą na południu [Rotundo i in. 2016]. Hurburgh i in. [1990] wykazali, że nasiona soi pochodzącej ze stanów północnych zawierały 1,5 do 2% mniej białka i 0,2 do 0,5% więcej tłuszczu niż soja uprawiana na południu. Zawartość białka i tłuszczu kształtuje w dużym stopniu czynnik środowiskowy [Hurburgh i in. 1990, Brumm i

Hurburgh 2006], w tym zwłaszcza układ warunków termicznych podczas wegetacji [Howell i Cartter 1958, Wolf i in. 1982, Gibson i Mullen, 1996b, Thomas i in. 2003, Wilson 2004, Yaklich and Vinyard 2004]. Wolf i in. [1982] wykazali wzrost zawartości białka, tłuszczu i kwasu oleinowego oraz obniżenie udziału kwasu linolowego i linolenowego warunkach wyższych temperatur podczas wypełniania nasion.

Naeve i Huerd [2008] wykazali, że wzrost temperatury o 1°C podczas wypełniania nasion soi, w warunkach Minnesoty, powoduje przyrost zawartości tłuszczu surowego w nasionach soi o 6,6 g·kg⁻¹. W północnych Stanach Zjednoczonych na wybór zarówno MG, jak i terminu siewu ma wpływ środowisko, w którym soja rozwija się od fazy R5 do R7 (wypełnienie nasion).

Badania nad wpływem czterech terminów siewu odmian soi zaliczanej do czterech grup dojrzałości (MG) i wpływem temperatury w fazie od R5 do R8 (wypełniania nasion) na plonowanie i skład chemiczny nasion wykazały, że wyższy plon nasion był dodatnio skorelowany z zawartością białka i tłuszczu, a ujemnie z zawartością kwasu linolowego i linolenowego oraz sacharozy. Wykazano współdziałanie odmian soi zliczanych do MG 2 z wczesnymi terminami siewu (przełom kwietnia i maja) na wysokość plonu, zawartość tłuszczu i kwasu oleinowego [Mourtzinis i in. 2017].

Według szacunków Instytutu Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej udział śruty sojowej w pokryciu zapotrzebowania na białko paszowe w Polsce wynosi ok 62%, z komponentów rzepakowych pochodzi 23%, ze śruty słonecznikowej 7,5%, a tylko 6,5% stanowi białko nasion roślin strączkowych. Analiza bilansu paszowego w Polsce wskazuje, że w naszej strefie klimatycznej praktycznie nie ma alternatywnych pasz wysokobiałkowych mogących zastąpić importowaną śrutę sojową. Całkowite zastąpienie białka sojowego krajowymi nasionami roślin strączkowych będzie trudne ze względu na graniczne udziały tych pasz w dietach (dopuszczalne ilości), szczególnie w mieszankach paszowych dla młodego drobiu i młodych świń, a także ze względu na nadmierną zawartość węglowodanów strukturalnych (włókna) oraz substancji antyodżywczych (alkaloidy, taniny).

Rutkowski i Jankowski [2011] wykazali, że w Polsce wciąż brakuje alternatywnych surowców wysokobiałkowych mogących zastąpić importowaną śrutę sojową. Celem wzmocnienia sektora paszowego stworzono pewne podstawy do wzrostu zainteresowania uprawą rodzimych roślin strączkowych. Wzrost produkcji własnego białka ma na celu zabezpieczenie w 50% krajowych potrzeb.

Z badań Dobka i Dobek [2008] wynika, że produkcja soi w Polsce może być opłacalna, a wskaźniki efektywności ekonomicznej i energetycznej produkcji soi wynoszą odpowiednio 2,7 i 2,1. Wieloletnie badania prowadzone w woj. kujawsko – pomorskim wskazują na opłacalność i wysoki dochód uprawy soi w Polsce, który średnio wyniósł 1493,2 zł·ha⁻¹ [Dobek 2006].

Według Boczara [2016] średnie koszty produkcji jednej tony nasion soi w latach 2012 - 2014 wynosiły w euro w: Argentynie 120-160, Brazylii 220-240, Stanach Zjednoczonych 250-370. Wykonane obliczenia dla Polski wykazały, że całkowite koszty produkcji kształtowały się na poziomie 900 euro·ha⁻¹, w tym koszty bezpośrednie i operacyjne wyniosły po 360 euro·ha⁻¹, a koszty ziemi, które są równoważne wartości aktualnego czynszu dzierżawnego płaconego za grunt rolny, wynoszą 140 euro·ha⁻¹. Średni koszt produkcji 1 tony soi przy założonym plonie 2,8 t·ha⁻¹ wyniósł 324 euro.

Kania i in [2016] wykazali, że w warunkach suszy dochodowość uprawy rzepaku ozimego jest większa niż soi natomiast w sprzyjających warunkach pogodowych uprawa soi charakteryzuje się wyższą dochodowością od rzepaku, który wymaga dużych nakładów na przemysłowe środki produkcji.

Urynkowanie polskiego rolnictwa, które miało miejsce po 1989 roku, spowodowało odejście od gospodarki płodozmianowej i dramatyczne zmniejszenie liczby uprawianych gatunków. Efektem tych zmian jest wzrost udziału zbóż w strukturze zasiewów do ponad 70%, a w niektórych rejonach nawet do 80%. Dalsze utrzymanie tego modelu gospodarowania będzie skutkowało wzrostem nakładów na przemysłowe środki produkcji. Soja jest doskonałym przedplonem dla pszenicy i kukurydzy. Mocno rozbudowany system korzeniowy działa strukturotwórczo na glebę. Ponadto, dzięki bakteriom brodawkowym wiąże z powietrza znaczące ilości azotu, a resztki poźniwne zawierają wiele makro- i mikrośladników o wysokiej wartości nawozowej dla roślin następczych.

Według amerykańskich badań powodzenie uprawy soi zależy od współdziałania warunków atmosferycznych, rodzaju gleby i genotypu [Haegele, Below 2013]. Uprawa soi, w odróżnieniu od zbóż i rzepaku, charakteryzuje się krótkim okresem zwrotu zainwestowanych środków finansowych. Do jej uprawy i zbioru wykorzystywany jest ten sam park maszynowy, jak przy uprawie zbóż. Nasiona po zbiorze, w niektórych, szczególnie wilgotnych latach, mogą wymagać dosuszenia, jednak nie w takim stopniu jak ziarno kukurydzy. Uprawa soi dobrze wpisuje się w system organizacyjny gospodarstw, szczególnie w zmniejszenie natężenia prac polowych.

Wyniki produkcyjne i doświadczalne uzyskane na południu Polski w ostatnich latach świadczą o tym, że soja jest aktualnie na tym etapie rozwoju uprawy co kukurydza w połowie lat 90-tych XX wieku, a głównym czynnikiem ograniczającym wzrost areału jest mały postęp hodowlany.

Uchwałą nr 222/2015 z 15 grudnia 2015 roku Rada Ministrów ustanowiła program wieloletni (2016-2020) pod nazwą „**Zwiększenie wykorzystania krajowego białka paszowego dla produkcji wysokiej jakości produktów zwierzęcych w warunkach zrównoważonego rozwoju**”, który ma przyczynić się do zwiększenia tzw. bezpieczeństwa białkowego kraju. Program obejmuje cztery obszary badawcze: z zakresu genetyki i hodowli roślin, agrotechniki, żywienia zwierząt oraz ekonomii i organizacji rynku.

Przedstawione w dysertacji badania prowadzono w ramach obszaru 3, pod nazwą „Agrotechniczne sposoby zwiększenia wykorzystania potencjału biologicznego roślin strączkowych w aspekcie efektów produkcyjnych, środowiskowych i ekonomicznych”. Zadanie 3.6. Opracowanie technologii uprawy soi z uwzględnieniem warunków regionalnych kraju.

3. CEL I ZAKRES BADAŃ

W drugim dziesięcioleciu XXI wieku w Polsce można obserwować wzrost zainteresowania uprawą soi, co spowodowane jest między innymi:

- zmianami klimatu,
- pojawieniem się nowych odmian lepiej dostosowanych do naszych warunków klimatycznych,
- ogromnym deficytem białka paszowego,
- nadmiernym wysyceniem płodozmianu zbożami,
- zdolnością do współżycia bobowatych z bakteriami brodawkowymi,
- lepszym, niż inne bobowate, dostosowaniem soi do stresu suszy.

Celem prowadzonych w latach 2017-2019 badań było poznanie reakcji odmian soi zaliczanych do różnych grup wczesności (średnio wczesna – Merlin) (późna – Aligator i Lissabon) na zróżnicowane terminy siewu. W hipotezie roboczej zakładano, iż beznakładowy czynnik agrotechniczny jakim jest termin siewu będzie istotnie kształtował długość okresu rozwoju wegetatywnego i generatywnego soi, elementy struktury plonu – jego wielkość i jakość.

Szczegółowymi celami badań było określenie wpływu badanych czynników na:

1. długość okresu rozwoju wegetatywnego i generatywnego oraz okresu wegetacji,
2. kształtowanie cech morfologicznych soi i struktury plonu oraz plonu nasion,
3. skład chemiczny nasion,
4. wydajność z nasion ważniejszych składników pokarmowych,
5. opłacalność uprawy.

Zakres badań obejmował:

- prowadzenie doświadczeń polowych,
- analizy składu chemicznego,
- rachunek ekonomiczny.

4. METODYKA BADAŃ

W latach 2017 – 2018 na polach doświadczanych Instytutu Agroekologii i Produkcji Roślinnej w Pawłowicach, a w 2019 roku w SDOO w Zybiszowie, która w linii prostej oddalona jest 8 km na południowy zachód od Pawłowic, prowadzono badania polowe nad reakcją odmian soi na terminy siewu. Doświadczenia zakładano w czterech powtórzeniach, w układzie „split-plot” na dwa czynniki zmienne, którymi w kolejności były:

A. Terminy siewu:

- I – najwcześniejszy, który miał mieć miejsce w połowie II dekady kwietnia, jednak w pierwszym roku badań z powodu braku nasion – odmiany Lissabon i Merlin zasiano 21, a odmianę Aligator 27 kwietnia. Intensywne opady które miały miejsce na przełomie kwietnia i maja spowodowały przesunięcie II terminu siewu na 10 maja.
- II – opóźniony o 10 dni w stosunku do terminu I,
- III – opóźniony o 20 dni w stosunku do terminu I.

B. Odmiany:

- a. Aligator,
- b. Lissabon,
- c. Merlin.

Wielkość poletek: długość – 10 m, szerokość – 1,5 m, powierzchnia do zbioru 15 m². Rozstawa rzędów wynosiła 15 cm, liczba wysianych nasion o pełnej wartości użytkowej na 1 m² – 90.

Podczas wegetacji prowadzono obserwacje rozwoju roślin. Po wschodach i przed zbiorem określono zagęszczenie roślin na 2 m.b. środkowego rzędu, a następnie wyniki przeliczono na 1 m².

Przed zbiorem na 10 losowo wybranych roślinach z każdego poletka wykonano pomiary następujących cech morfologicznych:

- wysokość roślin do wierzchołka pędu głównego,
- wysokość osadzenia I. strąka,
- liczba rozgałęzień I. rzędu na roślinie,
- liczba strąków z 1 rośliny,
- liczba nasion z 1 rośliny,

- masa nasion z 1 rośliny,
- liczba nasion w 1 strąku,
- masa nasion z 1 strąka,
- masa strączyń z 1 rośliny,
- masa łodyg z 1 rośliny.

Po zbiorze określono:

- plon nasion
- masę resztek pozbiorowych – słoma i strączyń,
- masę 1000 nasion.

Plon nasion i resztek pozbiorowych sprowadzono do stałej 15% wilgotności.

Ocenę jakościową nasion i resztek pozbiorowych przeprowadzono następującymi metodami:

- sucha masa – metodą suszarkowo-wagową w temperaturze $105\pm 2^{\circ}\text{C}$ w czasie 5 h,
- azot ogólny (białko ogółem) – zmodyfikowaną metodą Kjeldahla, w nasionach oznaczono azot ogólny, a następnie przeliczono na białko ogółem stosując współczynnik 6,25,
- K i Ca metodą fotometrii płomieniowej,
- P i Mg metodą kolorymetryczną.

Ponadto w nasionach oznaczono:

- tłuszcz surowy poprzez ekstrakcję bezwodnym eterem etylowym w aparacie Soxhleta przez około 7-8 godzin,
- włókno surowe o beztłuszczowej masie pozostałej po ekstrakcji tłuszczu w aparacie Soxhleta metodą Henneberga- Stohmanna,
- popiół surowy poprzez spalanie, przez 3 h, substancji organicznej w próbce roślinnej w piecu elektrycznym w temp. 600°C .

Na podstawie analiz chemicznych wyliczono zawartość bezazotowych związków wyciągowych wydajność białka ogółem i tłuszczu surowego z nasion oraz nagromadzenie makroskładników w nasionach i słomie z 1 ha.

Kalkulacje kosztów oparto na cennikach:

- usług rolniczych, sporządzonym na podstawie bazy danych zgromadzonych zawartość bezazotowych z podmiotów świadczących usługi rolnicze na terenie Polski,
- zamieszczonych na stronach Ośrodków Doradztwa Rolniczego.

Jako kryterium określenia efektywności ekonomicznej soi, uprawianej w latach 2017-2019, w różnych systemach, przyjęto dochód z jednego hektara, który obliczono jako różnicę wartości produkcji (przychody ze sprzedaży + dopłaty) oraz sumy kosztów bezpośrednich i pośrednich. Nie waloryzowano korzyści wynikających z uprawy soi jako przedplonu dla rośliny następczej.

Kosztami w ujęciu rachunkowym nazywamy wyrażoną w pieniądzu sumę nakładów niezbędną do wytworzenia produktu lub usługi [Ludwiczak 1989]. W zestawieniach kosztów uwzględniono koszty bezpośrednie i pośrednie oraz sumy kosztów dla badanych odmian soi w poszczególnych latach przy różnych systemach uprawy. Do kosztów bezpośrednich zaliczamy te składniki kosztów, które można bezspornie zaliczyć do kosztów produktu danego artykułu [Ludwiczak 1989]. Do kosztów bezpośrednich w pracy zaliczono: nawozy mineralne, materiał siewny oraz koszty ochrony roślin.

Koszty pośrednie ponoszone są dla któregoś działu produkcyjnego jako całości lub dla całości gospodarstwa i trudno jest powiedzieć w jakim stopniu obciążają one produkcję poszczególnych artykułów [Ludwiczak 1989]. Do kosztów pośrednich zaliczono: uprawę roli, siew nasion, opryski, zbiór nasion kombajnem oraz podatek rolny i 10% narzut od sumy kosztów bezpośrednich uprawy roli i pozostałych kosztów eksploatacji maszyn.

Wartości produkcji dla poszczególnych wariantów wynikały z uzyskanego plonu nasion soi oraz jej ceny sprzedaży.

Dopłaty do 1 ha uwzględniały płatności wynikające z funkcjonowania w ramach wspólnej polityki rolnej (jednolita płatność obszarowa, płatność do roślin strączkowych, do zazieleniania oraz dopłaty do zużytego materiału siewnego w stopniu kwalifikowanym C1).

W pracy pominięto analizę efektywności ekonomiczno-finansowej gospodarstwa jako całości, gdyż nie stanowiła ona celu pracy. Podczas wykonywania badań nie została naruszona porównywalność różnych wariantów uprawy na skutek różnych zdarzeń losowych.

W analizie nie uwzględniono kosztów ubezpieczenia upraw.

W syntezie za lata 2017 – 2019 średnia kwota sprzedaży 1 t nasion soi wyniosła 1505 zł – średnia kwota uzyskana w firmie Top Farms Głubczyce.

Wyniki badań poddano analizie wariancji dla układów ortogonalnych przy poziomie istotności 0,05. W analizie wariancji zastosowano układ losowanych podbloków w trzech powtórzeniach. Do obliczeń wykorzystano program AWA [Bartkowiak 1978].

5. WARUNKI PROWADZENIA BADAŃ

5.1 KLIMATYCZNE

5.1.1. PAWŁOWICE

Dane meteorologiczne z lat 2017 -2018 pochodzą z Pawłowic, a z 2019 roku ze Stacji Doświadczalnej Oceny Odmian w Zybiszowie.

W 2017 roku warunki termiczne podczas wegetacji były korzystne dla soi, gdyż temperatury w maju, czerwcu, lipcu, sierpniu i w październiku przekraczały średnie wieloletnie odpowiednio o 0,1; 1,6; 0,3; 1,5 i 2,9°C, a w kwietniu i wrześniu były nieznacznie niższe odpowiednio o 0,4 i 0,3 (tab. 1). Sumy i rozkłady opadów podczas wegetacji nie były korzystne, gdyż w czerwcu były na poziomie średniej wieloletniej, w kwietniu, lipcu, wrześniu i październiku notowano opady powyżej średniej od 45 do 121%, a w pozostałych miesiącach wystąpił głęboki deficyt (zwłaszcza w maju) połączony z nierównomiernym rozkładem, co odbiło się ujemnie na wschodach soi. Soja, której kwitnienie rozpoczęło się w III dekadzie czerwca, pomimo skrócenia rozwoju wegetatywnego na rzecz generatywnego złagodziła deficyt suszy majowej oraz w pierwszej i drugiej dekadzie czerwca wysokimi sumami opadów w III dekadzie oraz w lipcu. Niestety 7 lipca notowano silne gradobicie. W tym czasie soja wchodziła w fazę pełni kwitnienia i uszkodzeniu uległy zawiązki strąków na dolnych gronach, kwiatostany, wierzchołki pędów i blaszka liściowa. Nadmiar opadów we wrześniu i październiku przedłużył wegetację soi i opóźnił zbiór.

W 2018 roku warunki termiczne podczas wegetacji były korzystne dla rozwoju roślin soi gdyż w okresie kwiecień – październik temperatury przekraczały średnie wieloletnie od 5,4 (kwiecień) do 1,3°C (październik), natomiast opady w maju i lipcu były zbliżone do średniej wieloletniej, w październiku były wyższe o 13 mm od średniej z wielolecia, a w pozostałych miesiącach niższe (tab. 2). Wyjątkowo ciepły kwiecień i maj spowodowały znaczne skrócenie fazy rozwoju wegetatywnego, a kwitnienie soi rozpoczęło się już w I dekadzie czerwca. Należy zaznaczyć, że soja jest przystosowana do stresu suszy, gdyż z powodu pokrycia liści włoskami oraz możliwości ustawienia liści równolegle do promieni słonecznych oszczędnie gospodaruje wodą. Przez cały okres wegetacji soi, z powodu wysokich temperatur, jej rozwój przebiegał w warunkach chronicznego deficytu wody. Deficyt wody w połą-

Wpływ terminów siewu na rozwój i plonowanie odmian soi (*Glycine max* (L.) Merrill)

czeniu z wyjątkowo wysokimi temperaturami powietrza spowodował skrócenie fazy kształcania strąków i szybsze zasychanie roślin podczas dojrzewania.

Tabela 1

Średnie dekadowe i miesięczne temperatury powietrza (°C) oraz sumy opadów (mm) w 2017 roku – Pawłowice

Miesiąc Dekada	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Temperatura								
I	6,2	11,0	9,4	17,2	18,2	22,1	14,7	10,9
II	5,4	6,1	16,0	18,1	18,6	18,9	12,8	13,4
III	8,6	6,7	17,0	20,0	20,0	17,5	12,2	11,8
Średnie miesięczne	6,8	7,9	14,2	18,5	19,0	19,4	13,3	12,0
Średnie wieloletnie za lata 1981-2010	3,8	8,3	14,1	16,9	18,7	17,9	13,6	9,1
Opady								
I	9,8	14,2	13,9	0,5	43,0	6,9	35,4	32,1
II	19,8	13,8	0,9	0,1	0,9	35,7	12,7	1,2
III	1,5	29,0	9,3	51,9	68,3	1,0	17,6	38,1
Sumy miesięczne	31,1	57,0	24,1	52,5	112,2	43,6	65,7	71,4
Średnie wieloletnie za lata 1981-2010	31,7	30,5	51,3	59,5	78,9	61,7	45,3	32,3

Tabela 2

Średnie dekadowe i miesięczne temperatury powietrza (°C) oraz sumy opadów (mm) w 2018 roku – Pawłowice

Miesiąc \ Dekada	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Temperatura								
I	-1,9	10,5	15,9	20,6	18,8	24,2	18,2	10,7
II	2,0	15,2	15,4	19,4	18,6	20,9	17,6	12,6
III	3,5	15,3	19,7	16,4	22,5	18,3	11,6	8,2
Średnie miesięczne	1,3	13,7	17,1	18,8	20,1	21,1	15,8	10,4
Średnie wieloletnie za lata 1981-2010	3,8	8,3	14,1	16,9	18,7	17,9	13,6	9,1
Opady								
I	7,0	3,2	12,9	6,2	24,8	2,7	10,2	1,2
II	10,0	7,0	32,9	7,6	49,2	3,5	11,5	2,8
III	10,6	8,8	8,5	22,8	5,1	14,1	16,7	41,3
Sumy miesięczne	27,6	19,0	54,3	36,6	79,1	20,3	38,4	45,3
Średnie wieloletnie za lata 1981-2010	31,7	30,5	51,3	59,5	78,9	61,7	45,3	32,3

5.1.2 ZYBISZÓW

W 2019 roku warunki termiczne podczas wegetacji były korzystne dla rozwoju roślin soi, gdyż w miesiącu kwiecień i w okresie czerwiec – październik temperatury przekraczały średnie wieloletnie od 1,4 (lipiec) do 5,1°C (czerwiec), natomiast opady w kwietniu i maju były o 20% powyżej średniej wieloletniej, we wrześniu i październiku były na poziomie wielolecia a w pozostałych miesiącach niższe od średniej wieloletniej (tab. 3).

W okresie kwiecień – październik średnia temperatura była wyższa od średniej wieloletniej o 1,6°C, a suma opadów na poziomie 75% dla wielolecia. Szczególnie wysoki deficyt opadów notowano w czerwcu (30%) i lipcu (60%) przeciętnej sumy opadów dla tych miesięcy.

Należy zaznaczyć, że soja jest przystosowana do stresu suszy, gdyż z powodu pokrycia liści włoskami oraz możliwości ustawienia liści równolegle do promieni słonecznych oszczędnie gospodaruje wodą.

Deficyt wody w czerwcu w połączeniu z wyjątkowo wysokimi temperaturami powietrza spowodował skrócenie fazy kwitnienia do 15-17 dni.

Tabela 3

Średnie dekadowe i miesięczne temperatury powietrza (°C) oraz sumy opadów (mm)
w 2019 roku – SDOO Zybiszów

Miesiąc Dekada	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Temperatura								
I	7,4	10,0	9,1	20,5	18,8	23,5	17,6	9,9
II	7,0	8,3	10,1	22,6	18,8	18,0	14,4	15,2
III	8,1	13,5	14,4	22,6	23,7	20,3	14,9	11,5
Średnie miesięczne	7,5	10,6	11,2	21,9	20,4	20,6	15,6	11,2
Średnie wieloletnie za lata 1981–2010	3,6	8,7	14,0	16,8	19,0	18,5	13,9	9,2
I	12,3	0,0	10,9	0,7	10,5	4,6	39,7	27,8
II	8,1	7,9	18,3	10,2	33,6	44,2	0,7	1,8
III	4,2	33,4	40,7	10,5	5,1	4,4	5,9	4,9
Sumy miesięczne	24,6	41,3	69,9	21,4	49,2	53,2	46,3	34,5
Średnie wieloletnie za lata 1981–2010	38	35	58	71	83	71	48	34

5.2. WARUNKI GLEBOWE

W latach 2017 – 2018 doświadczenia polowe zakładano na polach doświadczanych Instytutu Agroekologii i Produkcji Roślinnej w Pawłowicach na glebie należącej do działu gleb autogenicznych, rzędu brunatno-ziemnych, typu płowego, podtypu typowe, wytworzonej z gliny lekkiej na glinie średniej, zaliczanej do kompleksu przydatności rolniczej pszennej dobrego, klasy bonitacyjnej III b.

W 2019 roku doświadczenie polowe założono w Stacji Doświadczalnej Oceny odmian w Zybiszowie, na czarnych ziemiach zdegradowanych wytworzonych z pyłu ilastego, zalegającego na glinie średniej, zaliczanej do kompleksu przydatności rolniczej pszennej dobrej, klasy bonitacyjnej III a.

Gleby na których zakładano doświadczenia charakteryzują się dobrymi właściwościami fizycznymi i chemicznymi, a dzięki znacznej miąższości poziomu próchnicznego (30-40 cm) można stosować głębokie orki, bez obawy o wydostanie „martwicy” na jej powierzchnię.

Zasobność gleby w składniki pokarmowe była następująca: P – średnia do bardzo wysokiej, K i Mg – średnia do bardzo wysokiej. Odczyn pH gleby w 1 M KCl był lekko kwaśny (tab. 4).

Zasobność gleby w makroskładniki (mg·kg⁻¹) oraz pH gleby w latach 2017 – 2019

Lata	P	K	Mg	pH w 1 M KCl
2017*	111	154	101	5,9
2018*	62,3	148	75,7	6,4
2019**	166	234	82,5	6,3

Pawłowice*, SDOO Zybiszów**

5.3. WARUNKI AGROTECHNICZNE

We wszystkich latach badań soję uprawiano w stanowisku po pszenicy ozimej. Po zbiorze przedplonu wykonywano gruberowanie na głębokość 5 cm, a jesienią orkę zimową na głębokość 25 cm, którą pozostawiono w ostrej skibie (tab. 5).

Wiosną wykonywano bronowanie pola, a przed siewem każdego terminu stosowano agregat uprawowy czynny (brona wirnikowa+wał), który doprawiał glebę na głębokość 8 cm.

Nawożenie P i K wykonywano bezpośrednio przed siewem. Fosfor podany został w superfosfacie potrójnym (40%) w dawce 60 kg·ha⁻¹, natomiast potas w (60%) soli potasowej w ilości 120 kg·ha⁻¹ (tab. 5).

Badane odmiany wysiewano w ilości 90 nasion o pełnej wartości użytkowej na 1 m², co odpowiada wysiewowi na 1 ha 6 jednostek siewnych. Charakterystykę materiału siewnego przedstawiono w tab. 6. Nasiona badanych odmian były szczepione Fix Fertig według technologii Saatbau.

Nasiona wysiewano zgodnie ze schematem doświadczenia w rozstawie 15 cm na głębokość 3-4 cm siewnikiem poletkowym Tool Carrier 2700 firmy Wintersteiger, a w roku 2019 siewnikiem poletkowym SPZ-3. Bezpośrednio po siewie na wszystkich obiektach przeprowadzono regulację zachwaszczenia preparatem Boxer 800 EC w dawce 4,0 dm³·ha⁻¹. Chwasty jednoliścienne zwalczano w pierwszym roku badań preparatem Select Super 125 EC w dawce 2,0 dm³·ha⁻¹, a w pozostałych latach graminicydem Fusilade Forte 150 EC w dawce 1,5 dm³·ha⁻¹. Wtórne zachwaszczenie ograniczono za pomocą preparatu Corum 502,4 SL+ Dash HC, który w roku 2017 zastosowano dwukrotnie w dawkach dzielonych (Corum 502,4 SL – 0,62 dm³·ha⁻¹ + Dash HC – 0,5 dm³·ha⁻¹). W latach 2018 i 2019 powyższe preparaty zostały zastosowane jednorazowo w pełnych dawkach tj., Corum 502,4 SL – 1,25 dm³·ha⁻¹ + Dash HC – 0,5 dm³·ha⁻¹.

Wpływ terminów siewu na rozwój i plonowanie odmian soi (Glycine max (L.) Merrill)

Zbiór soi w poszczególnych latach wykonano, w zależności od osiągnięcia przez soję fazy dojrzałości pełnej we wrześniu lub październiku kombajnem poletkowym Seedmaster austriackiej firmy Wintersteiger.

Agrotechnika soi uprawnej w latach 2017 – 2019			
Wyszczególnienie	2017	2018	2019
Przedplon	pszenica ozima		
Zbiór pszenicy ozimej	05.08.2016	08.08.2017	17.07.2018
uprawa roli			
Gruberowanie	07.08.2016	13.08.2017	13.07.2018
Orka zimowa	14.11.2016	27.10.2017	22.11.2018
Bronowanie broną ciężką	06.03.2017	14.03.2018	15.03.2019
Agregat uprawowy (brona wirnikowa + wał ugniatający)	21.04.2017	17.04.2018	16.04.2019
	10.05.2018	25.04.2018	26.04.2019
	19.05.2018	06.05.2018	06.05.2019
nawożenie przedsiewne i siew			
P ₂ O ₅ 60 kg·ha ⁻¹ w superfosfacie potrójnym (40%)	21.04.2017	17.04.2018	15.04.2019
K ₂ O 120 kg·ha ⁻¹ w soli potasowej (60%)	21.04.2017	17.04.2018	15.04.2019
Siew	21.04.2017	17.04.2018	16.04.2019
	10.05.2017	27.04.2018	26.04.2019
	19.05.2017	07.05.2018	06.05.2019
regulacja zachwaszczenia			
Boxer 800 EC – 4,0 dm ³ ·ha ⁻¹	27.04.2017	18.04.2018	17.04.2019;
	10.05.2017	27.04.2018	26.04.2019;
	22.05.2017	08.05.2018	07.05.2019
Select Super 125 EC – 2,0 dm ³ ·ha ⁻¹	23.05.2017	-	-
Corum 502,4 SL – 1,25 dm ³ ·ha ⁻¹ + Dash HC – 0,5 dm ³ ·ha ⁻¹	-	28.05.2018 (I) 05.06.2018 (II i III termin siewu)	24.05.2019 (I)_ 10.06.2019 (II i III termin siewu)
	25.05.2017 (I) 09.06.2017 (II i III termin siewu)	-	-
Corum 502,4 SL – 0,62 dm ³ ·ha ⁻¹ + Dash HC – 0,5 dm ³ ·ha ⁻¹	9.06.2017 (I) 19.06.2017 (II i III termin siewu)	-	-
Fusilade Forte 150 EC – 1,5 dm ³ ·ha ⁻¹	-	13.06.2018	17.06.2019
Zbiór	29.09.2017	03-05.09.2018	02-06.09.2019

Charakterystyka materiału siewnego odmian soi w latach 2017 – 2019

Odmiana	Czystość (%)	Zdolność kiełkowania (%)	Wartość użytkowa (%)	Masa 1000 nasion (g)
2017				
Aligator	100	95	95	221
Lissabon	100	80	80	160
Merlin	100	97	97	158
2018				
Aligator	100	90	90	221
Lissabon	100	95	95	188
Merlin	100	95	95	172
2019				
Aligator	100	95	95	221
Lissabon	100	81	81	176
Merlin	100	92	92	156

5.4. CHARAKTERYSTYKA ODMIAN

W doświadczeniu badano 3 odmiany soi zaliczane do różnych grup wczesności wpisane do KR (Aligator) i odmiany ze wspólnotowego katalogu odmian CCA (Lissabon i Merlin) .

Aligator – według hodowcy jest odmianą wczesną, natomiast wg badań COBORU – późną. Odmiana charakteryzuje się odpornością na wyleganie i wysokim osadzeniem dolnych strąków, na poziomie 11,6 cm (COBORU). W doświadczeniach rejestrowych COBORU oraz w produkcji polowej wyróżnia się wysokim potencjałem plonowania dużą jego stabilnością w latach. Plon nasion w doświadczeniach COBORU 2016 – 2018 wyniósł 108% wzorca [COBORU 2018]. Pod względem jakościowym jest to soja o wysokiej zawartości tłuszczu i dużym plonie białka z hektara. Zalecana do uprawy na glebach kompleksów pszennych i żytniego bardzo dobrego. Znajduje się na Liście Odmian Zalecanych (LOZ 2019) do uprawy na terenie 7 województw, odpowiednia do uprawy w centralnej i południowej części kraju. Odmiana wpisana do KR odmian.

Lissabon – według hodowcy należy do grupy odmian średniowczesnych. Natomiast wg badań COBORU późnych. Odmiana charakteryzuje się wysoką odpornością na wyleganie. W doświadczeniach rejestrowych COBORU oraz w produkcji polowej wyróżnia się wysokim potencjałem plonowania i wyjątkową stabilnością w latach. Plon nasion w doświadczeniach COBORU SDOO Głubczyce 2016 – 2018 wyniósł 108% wzorca. Mocny wczesny wigor i szybki wzrost oraz intensywne krzewienie ułatwiają prowadzenie łanu, uniemożliwiając eks-

pansję chwastów. Barwa kwiatów fioletowa. Zalecana do uprawy w centralnej i południowej Polsce.

Merlin – według hodowcy należy do grupy odmian wczesnych. Natomiast według badań COBORU średnio wczesnych. Charakteryzuje się wyjątkowo wczesnym wigorem i tolerancją na chłody. Wyróżnia się bardzo dobrą tolerancją na wszelkie błędy agrotechniczne. W razie uszkodzeń wywołanych przez mróz, nieodpowiednie zastosowanie środków ochrony roślin, czy żerowanie zwierząt, rośliny intensywnie regenerują z międzywęźlach, poniżej uszkodzenia minimalizując straty plonu. W doświadczeniach PDO plonowała na poziomie 96% w skali kraju, natomiast 103% w województwie opolskim w latach 2016 – 2018. Szczególnie mocny wczesny wigor oraz mała wrażliwość na przymrozki umożliwiają uprawę tej odmiany na terenie całej Polski.

Wpływ terminów siewu na rozwój i plonowanie odmian soi (Glycine max (L.) Merrill)

Tabela 7

Rozwój odmian soi w 2017 roku – Pawłowice

Faza rozwojowa	Skala BBCH	Termin siewu								
		I			II			III		
		Odmiany								
		Aligator	Lissabon	Merlin	Aligator	Lissabon	Merlin	Aligator	Lissabon	Merlin
		daty początku fazy								
Siew	00	27. 04	21. 04		10.05			19. 05		
Wschody	10	18.05	15.05	15.05	22.05	22.05	22.05	31.05	31.05	31.05
Pierwsza para liści jednolistkowych	11	22.05	20.05	20.05	26.05	26.05	26.05	5.06	5.06	5.06
Pierwszy liść trójlistkowy	12	26.05	25.05	24.05.	31.05	31.05	31.05	9.06	9.06	9.06
Pąki kwiatowe na pędzie głównym	51	20.06	19.06	17.06	26.06	24.06	23.06	3.07	1.07	30.06
Początek kwitnienia	61	24.06	23.06	21.06	30.06	28.06	27.06	6.07	5.07	3.07
Pełnia kwitnienia	65	1.07	30.06	29.06	9.07	8.07	6.07	18.07	17.07	15.07
Koniec kwitnienia	69	18.07	17.07	15.07	22.07	20.07	19.07	28.07	27.07	25.07
Prawie wszystkie strąki osiągnęły typową długość	79	21.08	18.08	16.08	24.08	22.08	20.08	28.08	26.08	24.08
Pierwszy dojrzały strąk, nasiona typowej barwy, suche i twarde	80	10.09	8.09	6.09	15.09	13.09	11.09	18.09	16.09	14.09
Większość strąków dojrzałych, nasiona typowej barwy, suche i twarde	89	25.09	22.09	20.09	30.09	27.09	25.09	4.10	2.10	29.09

Terminy siewu: I – najwcześniejszy, II – optymalny, opóźniony o 10 dni w stosunku do najwcześniejszego, III – opóźniony o 20 dni w stosunku do najwcześniejszego

Wpływ terminów siewu na rozwój i plonowanie odmian soi (Glycine max (L.) Merrill)

Tabela 8

Rozwój odmian soi w 2017 roku – Pawłowice

Faza rozwojowa	Skala BBCH	Termin siewu								
		I			II			III		
		Odmiany								
		Aligator	Lissabon	Merlin	Aligator	Lissabon	Merlin	Aligator	Lissabon	Merlin
		liczba dni od siewu do:								
Siew	00	27.04	21.04		10.05			19.05		
Wschody	10	21	24	24	12	12	12	12	12	12
Pierwsza para liści jednolistkowych	11	25	29	29	16	16	16	17	17	17
Pierwszy liść trójlistkowy	12	29	34	33	21	21	21	21	21	21
Pąki kwiatowe na pędzie głównym	51	54	59	58	47	45	44	45	43	42
Początek kwitnienia	61	58	63	61	51	49	48	48	47	45
Pełnia kwitnienia	65	65	70	68	60	59	57	60	59	57
Koniec kwitnienia	69	82	87	85	73	71	70	70	69	67
Prawie wszystkie strąki osiągnęły typową długość	79	116	117	115	106	104	102	101	99	97
Pierwszy dojrzały strąk, nasiona typowej barwy, suche i twarde	80	136	138	136	128	126	124	122	120	118
Większość strąków dojrzałych, nasiona typowej barwy, suche i twarde	89	151	152	150	143	140	138	138	136	133

Terminy siewu: I – najwcześniejszy, II – optymalny, opóźniony o 10 dni w stosunku do najwcześniejszego, III – opóźniony o 20 dni w stosunku do najwcześniejszego

Wpływ terminów siewu na rozwój i plonowanie odmian soi (Glycine max (L.) Merill)

Tabela 9

Rozwój odmian soi w 2018 roku – Pawłowice

Faza rozwojowa	Skala BBCH	Termin siewu								
		I			II			III		
		Odmiany								
		Aligator	Lissabon	Merlin	Aligator	Lissabon	Merlin	Aligator	Lissabon	Merlin
		daty początku fazy								
Siew	00	17. 04			27. 04			7. 05		
Wschody	10	27.04	27.04	27.04	07.05	07.05	07.05	21.05	21.05	21.05
Pierwsza para liści jednolistkowych	11	08.05	08.05	07.05	15.05	15.05	14.05	26.05	26.05	25.05
Pierwszy liść trójlistkowy	12	15.05	15.05	14.05	22.05	22.05	21.05	01.06	01.06	30.05
Pąki kwiatowe na pędzie głównym	51	03.06	03.06	02.06	06.06	06.06	05.06	12.06	12.06	11.06
Początek kwitnienia	61	06.06	06.06	05.06	10.06	10.06	8.06	16.06	16.06	14.06
Pełnia kwitnienia	65	16.06	16.06	15.06	18.06	18.06	15.06	22.06	22.06	21.06
Koniec kwitnienia	69	23.06	23.06	22.06	27.06	27.06	25.06	01.07	01.07	29.06
Prawie wszystkie strąki osiągnęły typową długość	79	03.08	03.08	30.07	04.08	04.08	02.08	08.08	08.08	06.08
Pierwszy dojrzały strąk, nasiona typowej barwy, suche i twarde	80	24.08	24.08	22.08	24.08	24.08	23.08	27.08	27.08	25.08
Większość strąków dojrzałych, nasiona typowej barwy, suche i twarde	89	01.09	01.09	30.08	02.09	02.09	01.09	04.09	04.09	03.09

Terminy siewu: I – najwcześniejszy, II – optymalny, opóźniony o 10 dni w stosunku do najwcześniejszego, III – opóźniony o 20 dni w stosunku do najwcześniejszego

Wpływ terminów siewu na rozwój i plonowanie odmian soi (Glycine max (L.) Merrill)

Tabela 10

Rozwój odmian soi w 2018 roku Rozwój odmian soi w 2018 roku – Pawłowice

Faza rozwojowa	Skala BBCH	Termin siewu								
		I			II			III		
		Odmiany								
		Aligator	Lissabon	Merlin	Aligator	Lissabon	Merlin	Aligator	Lissabon	Merlin
		liczba dni od siewu do:								
Siew	00	17. 04			27. 04			7. 05		
Wschody	10	10	10	10	10	10	10	14	14	14
Pierwsza para liści jednolistkowych	11	21	21	20	18	18	17	19	19	18
Pierwszy liść trójlistkowy	12	28	28	27	25	25	24	25	25	23
Pąki kwiatowe na pędzie głównym	51	47	47	42	40	40	39	36	36	35
Początek kwitnienia	61	50	50	49	44	44	46	40	40	38
Pełnia kwitnienia	65	60	60	49	52	52	49	46	46	45
Koniec kwitnienia	69	67	67	66	61	61	59	55	55	53
Prawie wszystkie strąki osiągnęły typową długość	79	108	108	104	99	99	97	83	83	81
Pierwszy dojrzały strąk, nasiona typowej barwy, suche i twarde	80	129	129	127	119	119	118	102	102	100
Większość strąków dojrzałych, nasiona typowej barwy, suche i twarde	89	137	137	135	128	128	127	110	110	109

Terminy siewu: I – najwcześniejszy, II – optymalny, opóźniony o 10 dni w stosunku do najwcześniejszego, III – opóźniony o 20 dni w stosunku do najwcześniejszego

Wpływ terminów siewu na rozwój i plonowanie odmian soi (Glycine max (L.) Merrill)

Tabela 11

Rozwój odmian soi w 2019 roku – SDOO Zybiszów

Faza rozwojowa	Skala BBCH	Termin siewu								
		I			II			III		
		Odmiany								
		Aligator	Lissabon	Merlin	Aligator	Lissabon	Merlin	Aligator	Lissabon	Merlin
		daty początku fazy								
Siew	00	16. 04			26. 04			6. 05		
Wschody	10	17.05	16.05	14.05	23.05	22.05	20.05	27.05	24.05	23.05
Pierwsza para liści jednolistkowych	11	20.05	18.05	17.05	26.05	24.05	23.05	29.05	27.05	25.05
Pierwszy liść trójlistkowy	12	27.05	25.05	24.05	03.06	01.06	30.05	05.06	03.06	01.05
Pąki kwiatowe na pędzie głównym	51	15.06	12.06	11.06	18.06	17.06	15.06	21.06	19.06	18.06
Początek kwitnienia	61	17.06	14.06	13.06	20.06	19.06	17.06	23.06	21.06	20.06
Pełnia kwitnienia	65	21.06	19.06	18.06	23.06	22.06	20.06	25.06	23.06	22.06
Koniec kwitnienia	69	12.07	10.07	08.07	17.07	18.07	12.07	23.07	24.07	16.07
Prawie wszystkie strąki osiągnęły typową długość	79	30.07	29.07	26.07	31.07	31.07	29.07	06.08	06.08	03.08
Pierwszy dojrzały strąk, nasiona typowej barwy, suche i twarde	80	19.08	19.08	14.08	19.08	19.08	16.08	28.08	26.08	19.08
Większość strąków dojrzałych, nasiona typowej barwy, suche i twarde	89	30.08	28.08	24.08	02.09	30.08	26.08	06.09	06.09	02.09

Terminy siewu: I – najwcześniejszy, II – optymalny, opóźniony o 10 dni w stosunku do najwcześniejszego, III – opóźniony o 20 dni w stosunku do najwcześniejszego

Wpływ terminów siewu na rozwój i plonowanie odmian soi (Glycine max (L.) Merrill)

Tabela 12

Rozwój odmian soi w 2019 roku SDOO Zybizów

Faza rozwojowa	Skala BBCH	Termin siewu								
		I			II			III		
		Odmiany								
		Aligator	Lissabon	Merlin	Aligator	Lissabon	Merlin	Aligator	Lissabon	Merlin
		liczba dni od siewu do:								
Siew	00	16. 04			26. 04			6. 05		
Wschody	10	31	30	28	27	26	24	21	18	17
Pierwsza para liści jednolistkowych	11	34	32	31	30	28	27	23	21	19
Pierwszy liść trójlistkowy	12	41	39	38	37	35	34	30	28	26
Pąki kwiatowe na pędzie głównym	51	60	52	56	53	52	50	46	44	43
Początek kwitnienia	61	62	59	58	55	54	52	48	46	45
Pełnia kwitnienia	65	66	64	63	58	57	55	50	48	47
Koniec kwitnienia	69	87	85	83	82	83	77	78	79	71
Prawie wszystkie strąki osiągnęły typową długość	79	105	104	101	96	96	94	92	92	89
Pierwszy dojrzały strąk, nasiona typowej barwy, suche i twarde	80	125	126	120	115	115	112	114	112	105
Większość strąków dojrzałych, nasiona typowej barwy, suche i twarde	89	136	134	130	128	126	122	122	122	118

Terminy siewu: I – najwcześniejszy, II – optymalny, opóźniony o 10 dni w stosunku do najwcześniejszego, III – opóźniony o 20 dni w stosunku do najwcześniejszego

Wpływ terminów siewu na rozwój i plonowanie odmian soi (Glycine max (L.) Merrill)

Tabela 13

Rozwój odmian soi (średnie z lat 2017 – 2019)

Faza rozwojowa	Skala BBCH	Termin siewu								
		I			II			III		
		Odmiany								
		Aligator	Lissabon	Merlin	Aligator	Lissabon	Merlin	Aligator	Lissabon	Merlin
		liczba dni od siewu do:								
Wschody	10	21	21	21	16	16	15	16	15	14
Pierwsza para liści jednolistkowych	11	27	27	27	21	21	20	20	19	18
Pierwszy liść trójlistkowy	12	33	34	33	28	27	26	25	25	23
Pąki kwiatowe na pędzie głównym	51	54	53	52	47	46	44	42	41	40
Początek kwitnienia	61	57	57	56	50	49	49	45	44	43
Pełnia kwitnienia	65	64	65	60	57	56	54	52	51	50
Koniec kwitnienia	69	79	80	78	72	72	69	68	68	64
Prawie wszystkie strąki osiągnęły typową długość	79	110	110	107	100	100	98	92	91	89
Pierwszy dojrzały strąk, nasiona typowej barwy, suche i twarde	80	130	131	128	121	120	118	113	111	108
Większość strąków dojrzałych, nasiona typowej barwy, suche i twarde	89	141	141	138	133	131	129	123	123	120

Terminy siewu: I – najwcześniejszy, II – optymalny, opóźniony o 10 dni w stosunku do najwcześniejszego, III – opóźniony o 20 dni w stosunku do najwcześniejszego

Wpływ terminów siewu na rozwój i plonowanie odmian soi (Glycine max (L.) Merrill)

Tabela 14

Rozwój soi w latach (średnie dla terminów siewu i odmian z lat 2017 – 2019)

Faza rozwojowa	Skala BBCH	Lata			Termin siewu			Odmiany		
		2017	2018	2019	I	II	III	Aligator	Lissabon	Merlin
		liczba dni od siewu do:								
Wschody	10	16	11	25	21	16	15	18	17	17
Pierwsza para liści jednolistkowych	11	20	19	27	27	21	19	23	22	22
Pierwszy liść trójlistkowy	12	25	26	34	33	27	24	29	28	27
Pąki kwiatowe na pędzie głównym	51	49	40	51	53	46	41	48	46	45
Początek kwitnienia	61	52	45	53	57	49	44	51	50	49
Pełnia kwitnienia	65	62	51	56	63	55	51	57	57	54
Koniec kwitnienia	69	75	60	81	79	71	66	73	73	70
Prawie wszystkie strąki osiągnęły typową długość	79	106	96	97	109	99	91	101	100	98
Pierwszy dojrzały strąk, nasiona typowej barwy, suche i twarde	80	128	116	116	130	120	111	121	121	118
Większość strąków dojrzałych, nasiona typowej barwy, suche i twarde	89	142	125	126	140	131	122	133	132	129

Terminy siewu: I – najwcześniejszy, II – optymalny, opóźniony o 10 dni w stosunku do najwcześniejszego, III – opóźniony o 20 dni w stosunku do najwcześniejszego

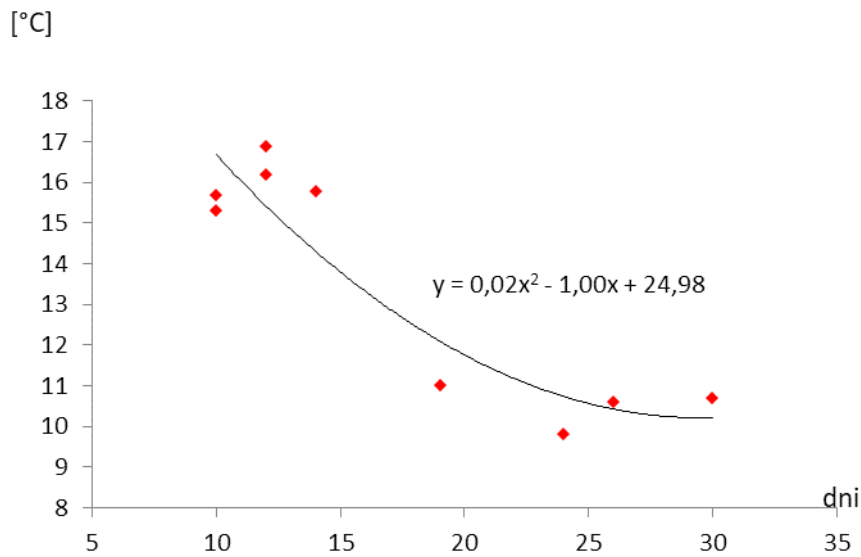
Wpływ terminów siewu na rozwój i plonowanie odmian soi (*Glycine max* (L.) Merrill)

Tabela 15

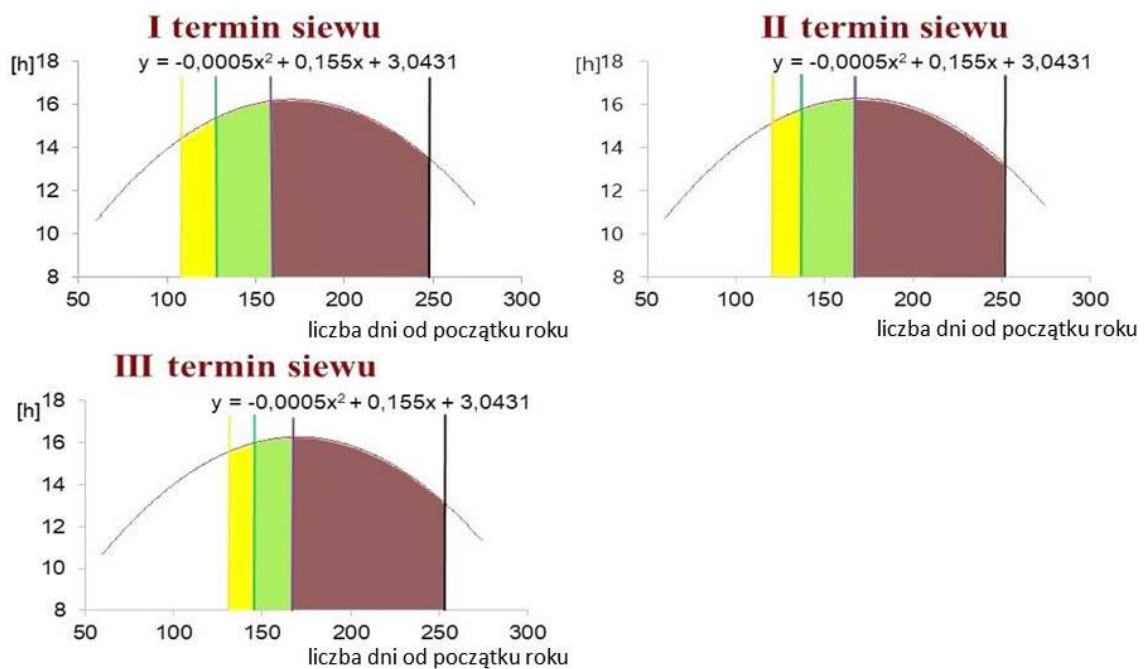
Długość głównych okresów rozwojowych soi w dniach, w wartościach względnych (%) oraz sumy długości dni (h)

(średnie dla terminów siewu i odmian z lat 2017 – 2019)

Rozwój	Termin siewu			Odmiany		
	I	II	III	Aligator	Lissabon	Merlin
liczba dni						
wegetatywny od siewu	53	46	41	48	46	45
generatywny	87	85	81	85	86	84
wegetacji od siewu	140	131	122	133	132	129
wegetatywny od wschodów	32	30	26	30	29	28
generatywny	87	85	81	85	86	84
wegetacji od wschodów	119	115	107	115	115	112
wartości względne (%)						
wegetatywny od siewu	38	35	34	36	35	35
generatywny	62	65	66	64	65	65
wegetatywny od wschodów	27	26	24	26	25	25
generatywny	73	74	76	74	75	75
sumaryczna długość dnia (h)						
wegetatywny od wschodów	505,6	481,5	422,5	-	-	-
generatywny	1287,6	1253,75	1190,7	-	-	-
wegetacji od wschodów	1793,2	1735,25	1613,2	-	-	-
wartości względne (%)						
wegetatywny od wschodów	28	28	26	-	-	-
generatywny	72	72	74	-	-	-

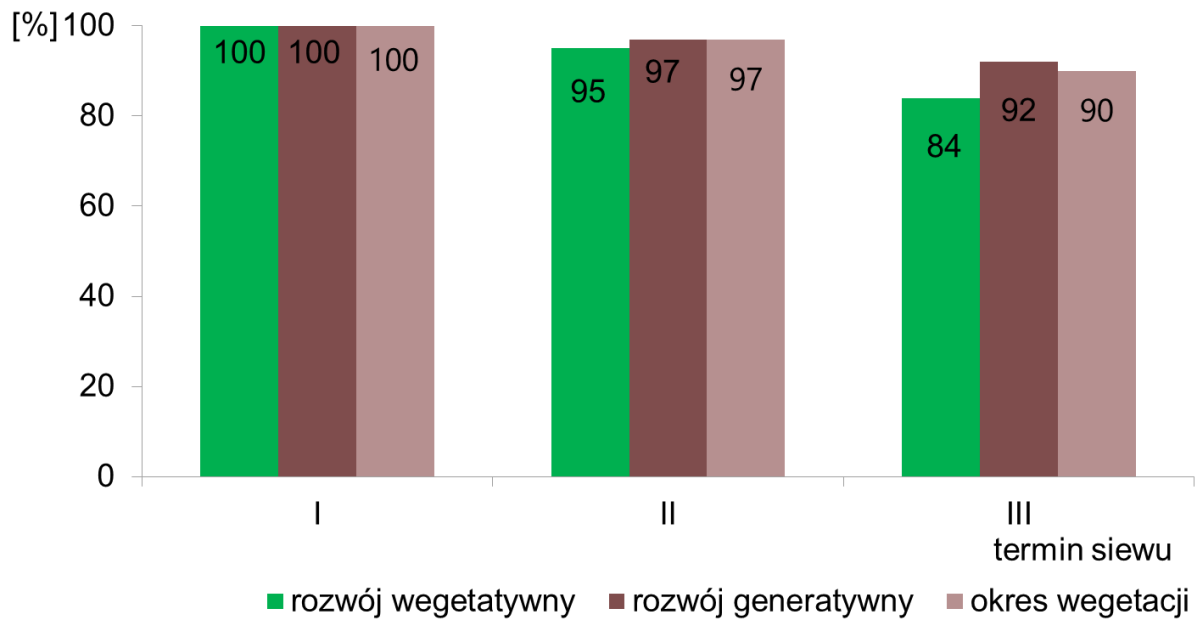


Rys.1. Wpływ temperatury na długość wschodów soi

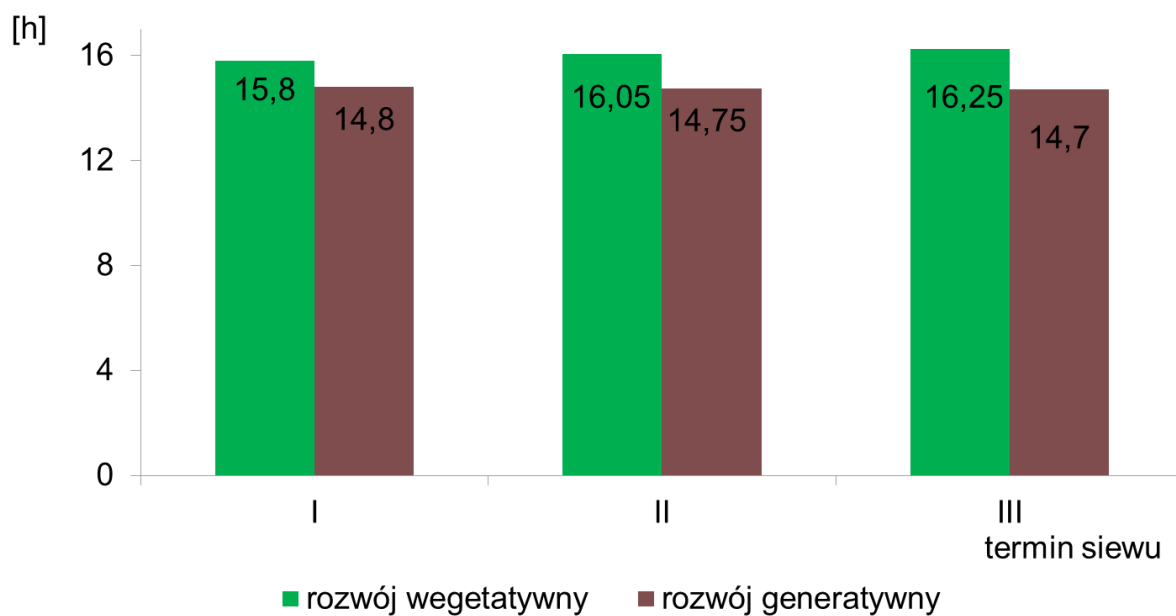


Rys.2. Wpływ terminu siewu na długość trwania okresów rozwojowych na tle zmieniającej się długości dnia na szerokości geograficznej Wrocławia (51°06')

Wpływ terminów siewu na rozwój i plonowanie odmian soi (Glycine max (L.) Merrill)

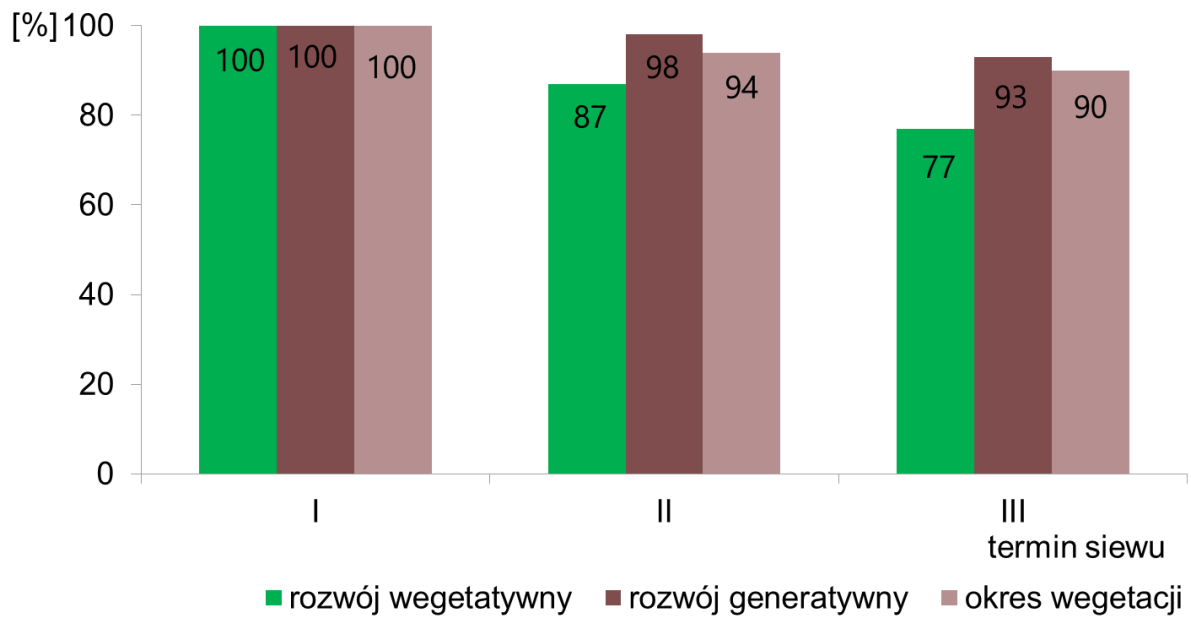


Rys. 3. Wpływ terminu siewu na względną sumaryczną długość dnia podczas rozwoju soi w odniesieniu do I terminu siewu

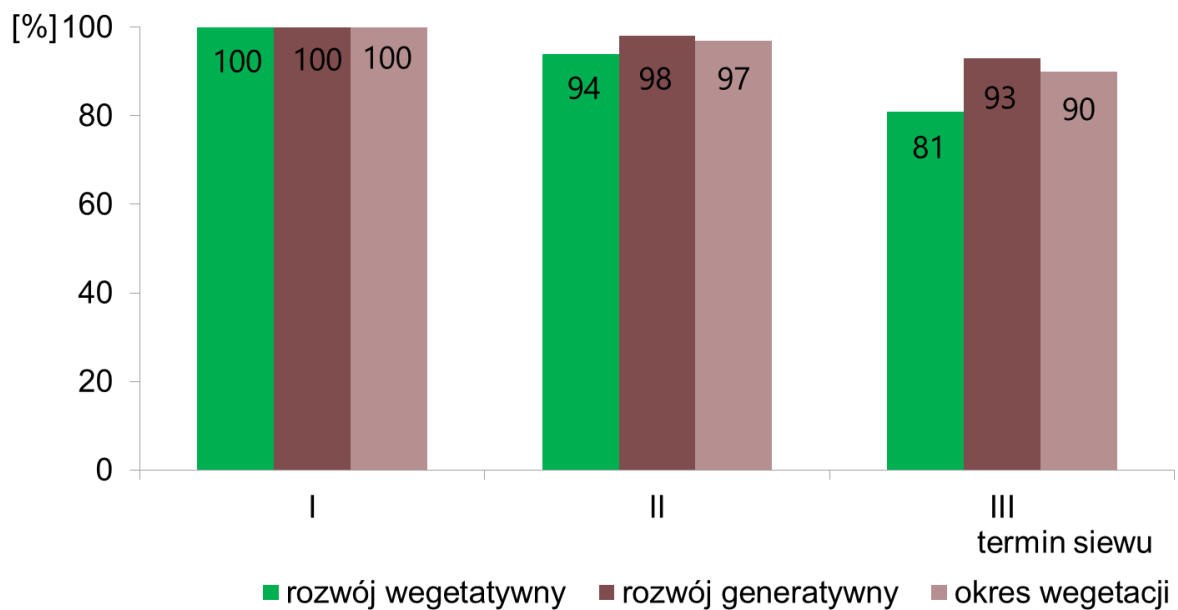


Rys.4. Wpływ terminu siewu na średnią długość dnia podczas rozwoju wegetatywnego i generatywnego soi

Wpływ terminów siewu na rozwój i plonowanie odmian soi (Glycine max (L.) Merrill)



Rys. 5. Wpływ terminu siewu na względną długość okresów rozwojowych liczonych od siewu w odniesieniu do ich długości w I terminie siewu



Rys. 6. Wpływ terminu siewu na względną długość okresów rozwojowych liczonych od wschodów w odniesieniu do ich długości w I terminie siewu

6. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

W czasie długiego okresu udomowienia, odmienne wymagania rolników uprawiających soję w różnych agro-ekologicznych warunkach, doprowadziły do olbrzymiego zróżnicowania umożliwiając obecnie jej uprawę w 95 państwach.

W Chinach soja jest uprawiana od 24° do 53° szerokości geograficznej północnej, a w Rosji na Dalekim Wschodzie – Obwód Amurski, Kraj Chabarowski i Kraj Nadmorski (Primorski Kraj) do 55° szerokości geograficznej północnej co w Polsce odpowiada położeniu Władysławowa.

Hartwig [1973] twierdzi, że fotoperiodyzm ma większe znaczenie u soi, niż u innych roślin uprawnych. Gai i in. [2001] wskazali, że w obrębie grup MG 0-III istnieją różne struktury rozwoju soi uwzględniające relacje między okresem rozwoju wegetatywnego do generatywnego, na które miały wpływ terminy siewu i szerokość geograficzna. Wyodrębniono dwie grupy rozwoju: jedna z krótszym okresem wegetatywnym i dłuższym generatywnym związane z uprawą soi na północy i wiosennym siewem, a druga z dłuższym okresem rozwoju wegetatywnego i krótszym rozwojem generatywnym, który występuje w cieplejszych rejonach.

Czynnikami ograniczającym zasięg uprawy soi w Polsce są wymagania cieplne i jej reakcja na długość dnia. Większość odmian soi to rośliny dnia krótkiego i są to na ogół genotypy najlepiej plonujące. U odmian przeznaczonych do uprawy w wyższych szerokościach geograficznych długość dnia powyżej 16 godzin na początku kwitnienia powoduje opóźnienie występowania następnych faz rozwojowych i rośliny mogą nie dojrzeć przed nastaniem jesiennych przymrozków.

W rozwoju soi, w stosunku do wymagań cieplnych, można wyróżnić dwa okresy krytyczne o zwiększonych wymaganiach termicznych. Pierwszy występuje od siewu do pełni wschodów, w którym zbyt niska temperatura przedłuża jego przebieg nawet do 45 dni [Szyrmer i Szczepańska 1982], a znaczna liczba nasion wcale nie wschodzi. Stąd wzrost temperatury w późniejszym okresie nie ma wpływu na obsadę roślin. W fazie kiełkowania niezbędna jest też optymalna wilgotność gleby, jednakże nadmierne uwilgotnienie wpływa ujemnie na obsadę roślin i ostatecznie może spowodować obniżkę plonów. Ponadto nie zaleca się zbyt wczesnego siewu soi w klimacie umiarkowanym, często chłodnym, gdyż rośliny zwalniają lub przerywają wegetację w temperaturze 5°C, a dojrzewają niemal w tym samym czasie co inne rośliny wysiane w terminie nieco późniejszym.

Badania własne wykazały, że długość okresu od siewu do wschodów soi kształtował przede wszystkim układ warunków wilgotnościowo termicznych podczas wegetacji i termin siewu a w mniejszym stopniu czynnik odmianowy (tab. 7 -12). Zależności pomiędzy średnią temperaturą powietrza w okresie od siewu do wschodów a jego długością opisuje równanie II stopnia (rys. 1). Wzrost temperatury powietrza w okresie wschodów o 1°C skracał średnio długość okresu od siewu do wschodów o 4 dni.

Drugim okresem krytycznym w rozwoju soi jest faza kwitnienia. W większości badań, wyższe temperatury w początkowym okresie rozwoju soi sprzyjały wcześniejszemu kwitnieniu, jednak w największym stopniu termin rozpoczęcia kwitnienia kształtował fotoperiodyzm zależny od genomu [Major i in. 1975, Upadhyay i in. 1994, Cooper 2003, Zhang i in. 2007]. Minimum termiczne podczas kwitnienia soi wynosi od 17 do 18°C, a temperatura optymalna 22-25°C. W tej fazie rozwojowej między genotypami soi występują znaczne różnice w reakcji na temperaturę [Holmberg 1973, Schmid i Keller 1980]. Garner i Allard [1930, cyt. za Hinsonem i Hartwigem 1982] oraz Mota [1978] stwierdzają nawet, że dopiero przy spadku temperatury poniżej 10°C soja nie wchodzi w fazę kwitnienia.

W Polsce podczas kwitnienia soi często występują okresy niskich temperatur, stąd zasadne jest poszukiwanie genotypów dobrze znoszących niekorzystne warunki pogodowe, co jest istotne dla dalszego postępu w pracach hodowlanych [Szyrmer i Federowska 1975].

W badaniach własnych średnia temperatura powietrza w okresie kwitnienia wahała się w zależności od układu warunków wilgotnościowo-termicznych w latach badań i terminu siewu od 17,4°C do 20,1°C. Najkrócej (15 dni) kwitła soja w 2018 roku przy najniższej średniej temperaturze powietrza, a najdłużej (28 dni) przy temperaturze 20,1°C.

Chapman [1986] stwierdził wysoką ujemną korelację pomiędzy temperaturą a długością okresu od siewu do kwitnienia. Jednak badania własne nie wykazały związku między średnią temperaturą powietrza podczas kwitnienia a długością trwania tego okresu, gdyż okazało się że kształtował się on pod wpływem wypadkowej działania średniej temperatury i sumy opadów.

Duże obniżenie temperatury oraz niedobór wody w okresie kwitnienia powoduje zasychanie i opadanie kwiatów i zawiązków strąków. Suma dziennych temperatur w okresie wegetacji, niezbędnych do prawidłowego rozwoju i plonowania, w zależności od wczesności odmian i rejonów uprawy, dla form najwcześniejszych wynosi 1900°C.

Soja jest dobrze przystosowana do przetrzymywania dłuższych okresów bezopadowych, dzięki dobrze rozbudowanemu systemowi korzeniowemu sięgającemu do

głębokości 2 m oraz owłosieniu, które zmniejsza transpirację, a także dzięki możliwości ustawienia liści równolegle do promieni słonecznych, co znacznie zmniejsza ich nagrzewanie i tym samym transpirację [Holmberg 1973, Mota 1978, Schmid i Keller 1980, Koźmiński 1981, Hinson i Hartwig 1982, Szyrmer i Szczepańska 1982, Łykowski 1984, Griebisch i in. 2019].

W czasie wegetacji soi występują trzy okresy krytyczne o zwiększonym zapotrzebowaniu na wodę, są to: faza kiełkowania, kwitnienia i wypełniania strąków [Nawracała 2001, Brevedan i Egli 2003, Kucharik, Serbin 2008].

W fazie kiełkowania niezbędna jest optymalna wilgotność gleby, gdyż nadmierne uwilgotnienie wpływa ujemnie na liczbę roślin po wschodach, co może skutkować obniżką plonów.

Według wielu autorów [Mackiewicz 1959, Szyrmer i Federowska 1975, Woodward i Begg 1976] w okresie kwitnienia soja jest najbardziej wrażliwa na niedobory wody. Faza kwitnienia może ulec wydłużeniu do około 30 dni, stąd nawet kilkunastodniowe okresy bezopadowe nie wpływają na obniżkę plonu, gdyż po uzupełnieniu niedoborów wilgoci proces kwitnienia zaczyna przebiegać normalnie.

Reakcja soi na niekorzystne warunki pogodowe zależy w dużym stopniu od fazy rozwojowej i dlatego możliwości adaptacji roślin do zmian klimatu poprzez współdziałanie czynników genetycznych z agrotechnicznymi są ograniczone i wymagają skwantyfikowania.

W badaniach własnych, średnio za trzy lata, najdłuższy okres wegetacji miała odmiana Aligator, a następnie kolejno krótszy Lissabon i Merlin. Opóźnienie terminu siewu o 20 dni skracało okres wegetacji o 18 dni. Najdłuższy okres wegetacji soi (142 dni) notowano w pierwszym roku badań, gdy suma opadów w okresie maj – wrzesień była zbliżona do średniej wieloletniej, zmniejszenie sumy opadów dla tego okresu o 23% spowodowało skrócenie okresu wegetacji w drugim roku badań o 17 dni. W ostatnim roku badań suma opadów dla okresu maj – wrzesień była o 27% niższa od średniej wieloletniej co spowodowało skrócenie okresu wegetacji soi do 126 dni (tab. 13 i 14). Kwantyfikacja wpływu zróżnicowanego w latach układu warunków wilgotnościowo-termicznych i badanych czynników na kształtowanie długości okresu wegetacji soi wykazała, że w największym stopniu zależał on od terminu siewu (46 %), a następnie kolejno w mniejszym stopniu od przebiegu pogody (44%) i czynnika odmianowego (10%).

Badania własne wykazały, że opóźnienie terminu siewu o 20 dni w stosunku do najwcześniejszego, skraca długość rozwoju wegetatywnego o 12 dni i generatywnego o 6 dni

(tab. 15). Ponadto skróceniu uległ okres rozwoju wegetatywnego od wschodów do początku kwitnienia o 6 dni i okres od wschodów do końca wegetacji o 12 dni.

Wcześniejszy termin siewu zwiększa wykorzystanie energii świetlnej, gdyż rośliny rozpoczynają wegetację w warunkach wydłużającego się dnia, a rozwój generatywny trwa dłużej, co umożliwia siew późniejszych odmian. W Wisconsin opóźnienie terminu siewu o miesiąc, skróciło okres rozwoju generatywnego o 15 dni [Gaspar, Conley 2015]. Opóźniony termin siewu w połączeniu z niekorzystnymi warunkami środowiskowymi miały negatywny wpływ na wzrost, rozwój, i plony soi. Zmiany w fotoperiodu i temperatury spowodowane opóźnionym terminem siewu mają wpływ na długość rozwoju wegetatywnego i generatywnego, liczbę strąków na roślinie, wysokość roślin, wskaźnik LAI oraz plon nasion, a także wpływają na skład chemiczny nasion. Stres spowodowany suszą zmniejsza współczynnik wymiany dwutlenku węgla (CER), fotosyntezę, produkcję cukru i przepływ metabolitów do komórek rozwijających się, co zwiększa opadanie kwiatów, skraca okres rozwoju wegetatywnego i generatywnego, czas wypełniania nasion, zmniejsza liczbę nasion z rośliny i ich masę, co ma negatywny wpływ na wielkość plonów [Hu i Wiatrak 2011].

W badaniach własnych opóźnienie terminu siewu o 20 dni, w stosunku do najwcześniejszego, skracało okres rozwoju wegetatywnego o 4% i wydłużało okres rozwoju generatywnego o tę samą wartość (tab. 15). Należy zaznaczyć, że rośliny soi, rosnące w warunkach opóźnionego siewu były fizjologicznie dojrzałe do wejścia w fazę rozwoju generatywnego, jednak krótszy czasokres rozwoju wegetatywnego spowodował, że nie były odpowiednio ukształtowane. Zależności pomiędzy rozwojem wegetatywnym i generatywnym na tle zmieniającej się długości dnia opisanej za pomocą równania II stopnia ilustruje rys.2. Opóźnienie terminu siewu o 20 dni w stosunku do najwcześniejszego powodowało obniżkę sumarycznej długości dnia podczas rozwoju wegetatywnego i generatywnego odpowiednio o 16 i 10% (rys. 3), a ponadto skutkowało średnim wzrostem długości dnia podczas rozwoju wegetatywnego o 0,45 godz. i zmniejszeniem długości dnia podczas rozwoju generatywnego o 0,1 godz. (rys.4) oraz skracało długość okresu rozwoju wegetatywnego i generatywnego odpowiednio o 23 i 7% (rys. 5). Ponadto skróceniu uległ okres od wschodów do początku kwitnienia o 19 % i okres rozwoju generatywnego o 7% (rys.6).

Gaynor i in. [2012] wykazali, w warunkach Nowej Południowej Wali, duże różnice w długości rozwoju wegetatywnego, które kształtował czynnik genetyczny, termin siewu i układ warunków klimatycznych podczas badań. Wyższe temperatury przyspieszały kwitnienie, a wydłużający się dzień opóźniał. Kwitnienie najwcześniejszych genotypów nie

Wpływ terminów siewu na rozwój i plonowanie odmian soi (Glycine max (L.) Merrill)

zależało od reakcji fotoperiodycznej, a na długość kwitnienia, którą kształtowały terminy siewu i lata badań, miała wpływ temperatura. Natomiast kwitnienie późniejszych genotypów w większym stopniu zależało od reakcji fotoperiodycznej, a kwitnienie występowało później i było bardziej wrażliwe na termin siewu.

Tabela 16

Liczba roślin soi po wschodach i przed zbiorem
oraz procent ubytków roślin podczas wegetacji (średnie z lat 2017 – 2019)

Termin siewu	Odmiany	Liczba roślin po wschodach na 1 m ²	Połowa zdolność wschodów (%)	Liczba roślin przed zbiorem na 1 m ²	Ubytki roślin podczas wegetacji (%)
I	Aligator	51,6	57,4	48,0	7,2
	Lissabon	58,9	65,5	53,8	8,4
	Merlin	67,9	75,4	62,8	7,3
II	Aligator	51,2	57,0	48,3	6,2
	Lissabon	52,6	58,5	48,0	8,7
	Merlin	61,8	68,7	54,2	11,6
III	Aligator	42,9	47,7	38,9	10,5
	Lissabon	38,9	43,2	35,2	10,5
	Merlin	45,8	50,8	41,1	10,5
NIR ($\alpha = 0,05$)		3,8	3,6	2,8	r.n.
średnia dla czynników					
I		59,5	66,1	54,9	7,7
II		55,2	61,4	50,2	8,9
III		42,5	47,2	38,4	10,5
NIR ($\alpha = 0,05$)		0,8	0,9	0,8	1,6
	Aligator	48,6	54,0	45,1	8,0
	Lissabon	50,2	55,7	45,6	9,2
	Merlin	58,5	64,9	52,7	9,8
NIR ($\alpha = 0,05$)		2,2	2,5	1,9	r.n.
Lata	2017	50,6	56,2	45,4	11,0
	2018	65,4	72,7	60,0	8,2
	2019	41,2	45,8	38,1	7,8
NIR ($\alpha = 0,05$)		0,8	0,9	0,8	1,6

Terminy siewu: I – najwcześniejszy, II – optymalny, opóźniony o 10 dni w stosunku do najwcześniejszego, III – opóźniony o 20 dni w stosunku do najwcześniejszego
r.n.– różnica nieistotna.

Pomimo znacznej tolerancji na niską temperaturę w początkowych fazach rozwojowych, nie zaleca się zbyt wczesnego siewu soi w klimacie umiarkowanym i umiarkowanym chłodnym, gdyż rośliny zwalniają lub przerywają wegetację w temperaturze około 5°C i dojrzewają niemal w tym samym czasie, co inne wysiane w terminie późniejszym, w lepszych warunkach termicznych. W środkowej i południowej Polsce siewu

soi dokonuje się na przełomie kwietnia i maja. Temperatura gleby na głębokości 5 cm wynosi wtedy 12-14°C [Kozmiński 1981, Szyrmer i Szczepańska 1982].

We wszystkich latach badań na 1 m² wysiewano 90 nasion o pełnej wartości użytkowej. Na połowę zdolność wschodów w największym stopniu miał wpływ zróżnicowany w latach przebieg pogody i kolejno w mniejszym terminy siewu i czynnik odmianowy. W pierwszym terminie siewu najistotniejszą rolę w kształtowaniu obsady roślin odegrała temperatura w okresie od siewu do wschodów, a w mniejszym stopniu suma opadów. Natomiast w III terminie siewu, odpowiednio ogrzana gleba nie miała większego znaczenia tempo wschodów, które zależało w dużym stopniu od właściwego uwilgotnienia związanego z sumą opadów w tym okresie. We wszystkich latach badań najwyższą połowę zdolność wschodów notowano w I terminie siewu (tab. 16).

Liczba roślin po wschodach, w porównaniu z I terminem siewu, w II i III terminie była niższa odpowiednio o 7 i 29%.

Najwięcej roślin po wschodach notowano u odmiany Merlin, a następnie w porównaniu z nią kolejno mniej miała odmiana Lissabon – 14 % i Aligator – 17%. Należy zaznaczyć, że liczbę roślin po wschodach i przed zbiorem kształtowało współdziałanie badanych czynników. Zaniki roślin podczas wegetacji zależały od terminu siewu i przebiegu pogody podczas wegetacji i wynosiły od 6,2 do 11,5%.

Średnio za trzy lata badań liczba roślin przed zbiorem stanowiła od 39 do 69% planowanej obsady. Cechą charakterystyczną dla nasion roślin strączkowych jest znaczna rozbieżność pomiędzy laboratoryjną, a połową zdolnością kiełkowania, kształtującą obsadę roślin [Sypniewski 1986, Prusiński 1987]. Decydujący wpływ mogą mieć różne czynniki związane ze stresem chłodno-wodnym, który powoduje uszkodzenia nasion pęczniejących w temperaturze od 0 do 15°C [Prusiński 1997].

Cechy morfologiczne roślin soi przed zbiorem cz. I
(średnie z lat 2017 – 2019)

Termin siewu	Odmiany	Wysokość roślin (cm)	Liczba rozgałęzień I. go rzędu	Wysokość osadzenia I strąka (cm)	Liczba strąków na 1 roślinie
I	Aligator	46,9	2,0	6,6	18,0
	Lissabon	41,0	2,3	8,2	17,7
	Merlin	44,5	1,9	8,3	16,1
II	Aligator	45,8	1,6	7,5	18,8
	Lissabon	45,1	2,2	7,6	19,9
	Merlin	46,2	1,5	7,3	16,9
III	Aligator	50,9	1,7	5,5	23,3
	Lissabon	51,2	2,6	6,0	26,7
	Merlin	50,6	1,7	6,3	24,4
NIR ($\alpha = 0,05$)		r.n.	0,3	0,8	1,4
średnia dla czynników					
I		44,1	2,1	7,7	17,3
II		45,7	1,7	7,5	18,5
III		50,9	2,0	6,0	24,8
NIR ($\alpha = 0,05$)		2,4	0,1	0,6	0,7
	Aligator	47,9	1,8	6,6	20,0
	Lissabon	45,8	2,3	7,2	21,5
	Merlin	47,1	1,7	7,3	19,1
NIR ($\alpha = 0,05$)		r.n.	0,2	0,4	0,9
	2017	34,0	2,5	6,6	22,3
Lata	2018	48,4	1,6	6,1	16,1
	2019	58,3	1,7	8,4	22,3
NIR ($\alpha = 0,05$)		2,4	0,1	0,6	0,7

r.n. – różnica nieistotna

Terminy siewu: I – najwcześniejszy, II – optymalny, opóźniony o 10 dni w stosunku do najwcześniejszego, III – opóźniony o 20 dni w stosunku do najwcześniejszego

Współdziałanie badanych czynników miało wpływ na liczbę rozgałęzień pierwszego rzędu, wysokość osadzenia pierwszego strąka oraz liczbę strąków i nasion z rośliny (tab. 17 i 18).

U odmiany Lissabon największą liczbę rozgałęzień stwierdzono w III terminie siewu, w porównaniu z którym w I i II terminie siewu był ona niższa odpowiednio o 11 i 15%.

Wysokość osadzenia pierwszego strąka była ściśle związana z liczbą roślin po wschodach, która była najniższa w III terminie siewu co skutkowało u wszystkich badanych odmian najniższym osadzeniem pierwszego strąka. Odmiany Lissabon i Merlin zawiązywały najwyżej pierwszy strąk w I terminie, a przesunięcie siewu na II i III termin skutkowało

niższym osadzeniem pierwszego strąka. Z kolei odmiana Aligator pierwszy strąk osadzała najwyżej w II terminie siewu.

Liczbę strąków i nasion z rośliny w III terminie siewu determinowała mała obsada roślin przed zbiorem. W I i II terminie siewu liczba strąków na roślinie u odmian Aligator i Lissabon była podobna, natomiast w III terminie siewu była najwyższa u odmiany Lissabon.

Z badanych czynników termin siewu nie miał wpływu na masę nasion w strąku, czynnik genetyczny nie różnicował wysokości roślin, a zmienny latami przebieg pogody nie kształtował masy 1000 nasion.

W porównaniu z I terminem opóźnienie siewu o 20 dni zwiększyło wysokość roślin o 15, liczbę strąków i nasion z rośliny odpowiednio o 43 i 40, a zmniejszyło wysokość osadzenia pierwszego strąka o 22 i masę 1000 nasion o 6%.

Odmiana Lissabon w porównaniu z Merlin uzyskała wyższe wartości procentowe w odniesieniu do liczby rozgałęzień – 35%, liczby strąków i nasion z rośliny odpowiednio o 13% i 17%, liczby nasion w strąku – 5%, masy nasion w strąku – 10% i masy 1000 nasion o 7%.

Przebieg pogody w latach badań różnicował większość badanych cech morfologicznych, a szczególnie z powodu gradobicia, które miało miejsce 7 lipca 2017 roku, kształtował wysokość roślin.

Termin siewu to beznakładowy czynnik agrotechniczny, który może poprawić efektywność gospodarowania soi. We wszystkich rejonach świata plony soi maleją wraz z opóźnianiem terminu siewu. Opóźniony termin siewu, w porównaniu z wczesnym, obniżał liczbę rozgałęzień, strąków i nasion z rośliny [Guffy i in. 1983, Board 1985, Anderson i Vasilas 1985, Park i in. 1987, Egli i in. 1987]. Johnson i in. [1960] wiążą reakcje soi na opóźnienie terminu siewu z różnicami w długości dnia. Board i Hall [1984] wykazali, że przedwczesne kwitnienie spowodowane skracającym się dniem powoduje zmniejszenie wielkości rośliny i obniżkę plonów z późnego siewu.

Poglądy dotyczące optymalnego terminu siewu soi w Polsce są rozbieżne [Mackiewicz 1954, Wojtysiak i Jasińska 1959 a i b, Szyrmer 1969b, Woynarowska 1972], jednak większość autorów za optymalny termin siewu uważa trzecią dekadę kwietnia oraz pierwszą dekadę maja i wskazuje na ujemny wpływ na plon siewów późnych i zbyt wczesnych w glebę nieogrzaną o temperaturze poniżej 8°C [Mackiewicz 1954, Lityński 1967, Woynarowska 1972]. Przy opóźnionym terminie siewu rośliny soi są niższe i zawiązują mniej strąków [Mackiewicz 1954, Herse i Szyrmer 1968, 1982].

Cechy morfologiczne roślin soi przed zbiorem cz. II
(średnie z lat 2017 – 2019)

Termin siewu	Odmiany	Liczba nasion z 1 rośliny	Liczba nasion w 1 strąku	Masa nasion w 1 strąku (g)	Masa 1000 nasion (g)
I	Aligator	36,9	2,0	0,36	188
	Lissabon	36,4	2,1	0,34	172
	Merlin	31,7	2,0	0,31	164
II	Aligator	38,1	2,0	0,36	184
	Lissabon	41,6	2,1	0,34	167
	Merlin	34,7	2,1	0,32	157
III	Aligator	45,7	2,0	0,36	180
	Lissabon	54,5	2,1	0,34	165
	Merlin	46,8	1,9	0,29	151
NIR ($\alpha = 0,05$)		2,3	r.n.	r.n.	r.n.
średnia dla czynników					
I		35,0	2,0	0,34	175
II		38,1	2,1	0,34	170
III		49,0	2,0	0,33	166
NIR ($\alpha = 0,05$)		1,2	0,05	r.n.	3,4
	Aligator	40,2	2,0	0,36	184
	Lissabon	44,2	2,1	0,34	168
	Merlin	37,7	2,0	0,31	157
NIR ($\alpha = 0,05$)		1,4	0,05	0,02	6,0
Lata	2017	44,4	2,0	0,34	171
	2018	31,6	2,0	0,32	168
	2019	46,1	2,1	0,35	170
NIR ($\alpha = 0,05$)		1,2	0,1	0,01	r.n.

r.n. – różnica nieistotna

Terminy siewu: I – najwcześniejszy, II – optymalny, opóźniony o 10 dni w stosunku do najwcześniejszego, III – opóźniony o 20 dni w stosunku do najwcześniejszego

Elementy struktury plonu soi (średnie z lat 2017 – 2019)

Termin siewu	Odmiany	Masa nadziemnej części rośliny (g)				Struktura plonu (%)		
		nasiona	strączyny	Łodygi	razem	Nasiona	Strączyny	Łodygi
I	Aligator	6,45	3,99	4,59	15,03	42,9	26,5	30,6
	Lissabon	6,12	3,11	4,27	13,50	45,3	23,0	31,7
	Merlin	4,97	2,99	3,24	11,20	44,4	26,7	28,9
II	Aligator	6,79	3,44	4,39	14,62	46,4	23,5	30,1
	Lissabon	6,91	3,54	3,90	14,35	48,2	24,7	27,1
	Merlin	5,31	3,10	3,20	11,61	45,7	26,7	27,6
III	Aligator	8,10	4,14	4,53	16,77	48,3	24,7	27,0
	Lissabon	9,21	4,23	4,59	18,03	51,1	23,5	25,4
	Merlin	7,01	3,55	3,90	14,46	48,5	24,6	26,9
NIR ($\alpha = 0,05$)		0,40	0,26	0,27	0,64	r.n.	1,3	1,7
średnia dla czynników								
I		5,85	3,36	4,03	13,24	44,2	25,4	30,4
II		6,34	3,36	3,83	13,53	46,9	24,8	28,3
III		8,11	3,97	4,34	16,42	49,4	24,2	26,4
NIR ($\alpha = 0,05$)		0,22	0,13	0,14	0,36	0,8	0,5	0,8
	Aligator	7,11	3,86	4,50	15,47	46,0	25,0	29,0
	Lissabon	7,41	3,62	4,25	15,28	48,5	23,7	27,8
	Merlin	5,76	3,21	3,45	12,42	46,4	25,8	27,8
NIR ($\alpha = 0,05$)		0,24	0,16	0,17	0,37	1,0	0,9	1,0
Lata	2017	7,53	3,81	3,50	14,84	50,7	25,7	23,6
	2018	4,91	2,70	3,92	11,53	42,6	23,4	34,0
	2019	7,84	4,19	4,78	16,81	46,6	24,9	28,5
NIR ($\alpha = 0,05$)		0,22	0,13	0,14	0,36	0,8	0,5	0,8

r.n. – różnica nieistotna

Terminy siewu: I – najwcześniejszy, II – optymalny, opóźniony o 10 dni w stosunku do najwcześniejszego, III – opóźniony o 20 dni w stosunku do najwcześniejszego

Badane czynniki i ich współdziałanie oraz zróżnicowany w latach badań przebieg pogody miały wpływ na wszystkie elementy kształtujące masę nadziemnej części rośliny (tab. 19).

Z powodu mniejszej na 1 m² obsady roślin przed zbiorem w III terminie siewu wszystkie elementy kształtujące masę nadziemnej części rośliny były wyższe niż w I terminie. W porównaniu z I terminem siewu, współdziałanie obsady z terminem siewu, powodowało w III terminie siewu, przy zmniejszeniu obsady roślin na 1 m² o 1 średnio przyrost masy nasion z rośliny o 0,13 g.

Wpływ terminów siewu na rozwój i plonowanie odmian soi (Glycine max (L.) Merrill)

Odmiana Lissabon w porównaniu z Merlin miała wyższą procentową masę nasion z rośliny o 29(%), strączyń 13(%) i łodyg oraz całej rośliny o 23(%).

Najwyższe wartości wszystkich elementów kształtujących masę nadziemnej części rośliny uzyskano w ostatnim roku badań, a najniższe w drugim.

Udział nasion w nadziemnej części rośliny kształtowały badane czynniki i przebieg pogody w latach badań. Średnio za trzy lata badań najwyższy udział nasion w nadziemnej masie rośliny wykazano w III terminie siewu i u odmiany Lissabon.

Tabela 20

Plony nasion i resztek pozbiorowych soi oraz
wydajność białka ogółem z 1 ha (średnie dla lat 2017 – 2019)

Termin siewu	Odmiany	Plon nasion (t·ha ⁻¹)	Wydajność z nasion (kg·ha ⁻¹)		Resztki pozbiorowe (t·ha ⁻¹)
			białko ogółem	tłuszcz surowy	
I	Aligator	2,49	835	489	3,41
	Lissabon	2,62	827	498	3,20
	Merlin	2,45	754	510	3,15
II	Aligator	2,53	817	503	3,01
	Lissabon	2,63	839	515	2,90
	Merlin	2,42	765	492	2,87
III	Aligator	2,32	694	457	2,62
	Lissabon	2,42	741	473	2,50
	Merlin	2,31	684	459	2,56
NIR ($\alpha = 0,05$)		r.n.	r.n.	r.n.	r.n.
średnia dla czynników					
I		2,52	805	499	3,25
II		2,52	807	503	2,93
III		2,35	706	463	2,56
NIR ($\alpha = 0,05$)		0,06	20	13	0,10
	Aligator	2,45	782	483	3,02
	Lissabon	2,55	802	495	2,87
	Merlin	2,39	734	487	2,86
NIR ($\alpha = 0,05$)		0,08	27	r.n.	r.n.
Lata	2017	2,34	748	440	2,44
	2018	2,43	716	523	3,31
	2019	2,62	855	502	3,00
NIR ($\alpha = 0,05$)		0,06	20	13	0,10

r.n. – różnica nieistotna

Terminy siewu: I – najwcześniejszy, II – optymalny, opóźniony o 10 dni w stosunku do najwcześniejszego, III – opóźniony o 20 dni w stosunku do najwcześniejszego

Plon i jakość nasion soi to funkcje genotypu (G), wpływu czynników agrotechnicznych (M), i oddziaływania środowiska (E) oraz i ich interakcji ($G \times E \times M$) [Maestri i in. 1998, Grieshop i Fahey 2001, Rao i in. 2002, Dardanelli i in. 2006, Goldflus i wsp. 2006, Assefa i wsp. 2018]. Termin siewu oraz zróżnicowany w latach badan przebieg pogody miały istotny wpływ na plon nasion i resztek pozbiorowych oraz wydajność białka ogółem i tłuszczu surowego, natomiast czynnik odmianowy kształtował plon nasion i wydajność białka ogółem (tab. 20).

W I terminie siewu, w porównaniu z III, uzyskano wyższe plony (%): nasion – 7, białka ogółem – 14, tłuszczu surowego – 8, i resztek pozbiorowych – 27. W porównaniu z odmianą Merlin wyższe plony nasion i białka ogółem o 7 i 9% uzyskano z odmiany Lissabon.

W ostatnim roku badań uzyskano najwyższe plony nasion i białka ogółem, a drugim i tłuszczu surowego i resztek pozbiorowych.

Pedersen i Lauer (2004a) wykazali, że rośliny siane na początku maja wykształcały na pędzie głównym średnio 0,8 węzła więcej niż siane w późniejszym terminie.

Plon nasion soi kształtuje liczba węzłów na pędzie głównym, liczba strąków na 1 węźle liczba i masa nasion w strąku [Shroyer 1980]. Dzięki zjawisku kompensacji zmiana jednego parametru pociąga za sobą zmianę innego. Usunięcie strąków u soi powodowało wzrost masy nasion w strąkach [McAllster i Krober 1958] i w niewielkim stopniu obniżało plony nasion. Kaw i Menon [1972] wykazali, że liczba strąków na roślinie ma duży wpływ na plony nasion oraz że masa 1000 nasion była ujemnie skorelowana z liczbą strąków i nasion z rośliny oraz wysokością roślin. Pandey i Torrie [1973] podają, że liczba strąków na roślinie, podobnie jak liczba nasion w strąku, są silnie skorelowane z plonem nasion. Burlamaqui [1975] twierdzi, jednak, że wpływ masy 1000 nasion i liczby nasion w strąku na kształtowanie plonu nasion jest mały. Pookpakdi [1978] wskazał, że liczba strąków na roślinie jest najważniejszym składnikiem plonu.

Jasińska i in. [1996] wykazali, że największy wpływ na rozwój i plonowanie soi miał zróżnicowany przebieg pogody. Także Pyzik i in. [1987] zaobserwowali, że warunki pogodowe w okresie wegetacji w znacznym stopniu modyfikowały cechy morfologiczne. Bury i Nawracała [2004] wykazali, że w latach cieplejszych dominującym czynnikiem kształtującym wzrost i rozwój soi był niedobór opadów. Wielu autorów [Bobrecka-Jamro i Pizło 1996, Kołodziej i Pisulewska 2000, Lorenc-Kozik i Pisulewska 2003, Bury i Nawracała

Wpływ terminów siewu na rozwój i plonowanie odmian soi (*Glycine max* (L.) Merrill)

2004, Bujak i Frant 2009, Lozovaya i in. 2005, Michałek i Borowski 2006] twierdzi, że plon nasion soi zależy od układu warunków pogodowych podczas wegetacji.

Tabela 21

Zawartość ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) składników organicznych i popiołu surowego w nasionach soi (średnie dla lat 2017 – 2019)

Termin siewu	Odmiany	Białko ogółem	Tłuszcz surowy	Włókno surowe	Popiół surowy	Bezazotowe związki wyciągowe
I	Aligator	382	226	64	55	273
	Lissabon	362	218	62	56	302
	Merlin	352	238	60	55	295
II	Aligator	369	228	61	56	286
	Lissabon	364	223	61	54	298
	Merlin	364	232	63	55	286
III	Aligator	344	224	64	55	313
	Lissabon	348	223	62	54	313
	Merlin	339	227	70	56	308
NIR ($\alpha = 0,05$)		r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.
średnia dla czynników						
I		365	228	62	55	290
II		366	228	62	55	289
III		344	225	65	55	311
NIR ($\alpha = 0,05$)		14	r.n.	r.n.	r.n.	17
	Aligator	365	226	63	55	291
	Lissabon	358	222	62	55	303
	Merlin	351	232	64	55	298
NIR ($\alpha = 0,05$)		r.n.	6	r.n.	r.n.	r.n.
Lata	2017	364	215	67	54	300
	2018	337	246	59	57	301
	2019	374	219	63	54	290
NIR ($\alpha = 0,05$)		14	6	r.n.	2	r.n.

r.n. – różnica nieistotna

Terminy siewu: I – najwcześniejszy, II – optymalny, opóźniony o 10 dni w stosunku do najwcześniejszego, III – opóźniony o 20 dni w stosunku do najwcześniejszego

Skład chemiczny nasion soi zależy do właściwości genetycznych odmiany, czynników biotycznych i abiotycznych, wśród których należy wymienić długość okresu wegetacji i czynniki agrotechniczne [Harue i Hirokadzu 1971, Chapman i in. 1976, Chy i Sheldon 1979]. Assefa i in. [2019] wykazali, że czynniki środowiska w ponad 70% różnicowały skład chemiczny nasion i plonu.

Wysoka temperatura kształtuje skład chemiczny nasion soi. Z badań Dornbos i Mullen [1992] wynika, że nasiona soi zebrane z roślin rosnących w warunkach średniego deficytu wody i poddanych temperaturze 35°C w fazie wypełniania nasion zawierały więcej białka

i mniej tłuszczu w porównaniu z nasionami uzyskanymi z roślin rosnących w temperaturze 29°C. Jednakże niektórzy autorzy wykazali, że zawartość tłuszczu jest dodatnio skorelowana z temperaturą [Wolf i in. 1982, Piper i Boote 1999], a zawartość białka wzrasta przy traktowaniu roślin soi od stadium wykształcenia nasion temperaturą 33°C [Wolf i in. 1982].

Warunki meteorologiczne wywierają zasadniczy wpływ na zawartość tłuszczu i białka w nasionach soi. Szyrmer [1969a, 1971] na podstawie badań przeprowadzonych w środkowej i południowo-wschodniej Polsce stwierdził, że zawartość tłuszczu wzrastała przy niższej temperaturze i wyższej wilgotności powietrza, a zawartość białka była ujemnie skorelowana z wysokością plonu. Pasternakiewicz i Dżugan [2009] twierdzą, że ilość tłuszczu surowego w nasionach soi mieści się w przedziale 18,2 – 19,7%. Kozak i in. [2008] dodają, że skład chemiczny nasion soi w największym stopniu zależy od przebiegu pogody w latach badań, a w dalszej kolejności od czynnika odmianowego. Potwierdzają to również badania Michałka i Borowskiego [2006], w których to okresowa susza wpłynęła na zwiększenie zawartości procentowej białka w nasionach soi, przy istotnym zróżnicowaniu tego składnika między odmianami.

W badaniach własnych, średnio za trzy lata, termin siewu różnicował w nasionach zawartość białka ogółem i bezazotowych związków wyciągowych, czynnik genetyczny miał wpływ na zawartość tłuszczu surowego, a zróżnicowany w latach przebieg pogody kształtował poziom białka ogółem, tłuszczu i popiołu surowego (tab. 21).

W I terminie siewu, w porównaniu z III, nasiona zawierały o 6% białka ogółem więcej, zaś odmiana Merlin gromadziła, w porównaniu z Lissabon, więcej o 5 % tłuszczu surowego.

Zawartość ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) azotu i skład mineralny nasion soi
(średnie dla lat 2017 – 2019)

Termin siewu	Odmiany	N	P	K	Ca	Mg
I	Aligator	61,0	6,59	19,0	3,54	2,90
	Lissabon	57,9	6,41	18,8	4,05	3,12
	Merlin	56,3	6,69	18,6	3,71	3,15
II	Aligator	59,1	6,61	20,0	3,15	2,84
	Lissabon	58,3	6,50	19,0	3,54	3,10
	Merlin	58,2	6,91	18,4	3,62	3,06
III	Aligator	55,1	6,78	19,0	3,15	2,84
	Lissabon	55,7	6,79	18,4	3,53	3,03
	Merlin	54,2	6,86	18,0	3,32	3,09
NIR ($\alpha = 0,05$)		r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.
średnia dla czynników						
I		58,4	6,56	18,8	3,77	3,06
II		58,5	6,67	19,1	3,44	3,00
III		55,0	6,81	18,5	3,33	2,99
NIR ($\alpha = 0,05$)		2,2	r.n.	r.n.	0,24	r.n.
	Aligator	58,4	6,66	19,3	3,28	2,86
	Lissabon	57,3	6,56	18,7	3,71	3,08
	Merlin	56,2	6,82	18,3	3,55	3,10
NIR ($\alpha = 0,05$)		r.n.	r.n.	0,5	0,24	0,11
Lata	2017	58,2	5,99	17,5	3,80	3,30
	2018	53,9	8,20	19,0	3,58	3,20
	2019	59,8	5,85	19,9	3,16	2,54
NIR ($\alpha = 0,05$)		2,2	0,29	0,5	0,24	0,11

r.n. – różnica nieistotna

Terminy siewu: I – najwcześniejszy, II – optymalny, opóźniony o 10 dni w stosunku do najwcześniejszego, III – opóźniony o 20 dni w stosunku do najwcześniejszego

Termin siewu kształtował w nasionach zawartość N i Ca, czynnik odmianowy miał wpływ na poziom K, Ca i Mg, a zróżnicowany w latach przebieg pogody różnicował zawartość wszystkich badanych makroskładników (tab. 22).

W porównaniu z I terminem, opóźnienie siewu o 20 dni zmniejszało w nasionach zawartość N i Ca odpowiednio o 6 i 12%.

Badania Biela i in. [2018] wykazały, że czynnik genetyczny kształtował zawartość makro- i mikroskładników w nasionach. Odmiana Aldana zawierała więcej potasu i miedzi niż Merlin, która z kolei miała więcej wapnia. Nasiona soi uprawianej w systemie konwencjonalnym zawierały więcej fosforu, potasu, wapnia, miedzi i niklu niż w uprawie organicznej, a ponadto rozstawa rzędów miała wpływ na gromadzenie miedzi i niklu.

Spośród badanych genotypów, nasiona odmiany Aligator zawierały najwięcej K, a najmniej Ca i Mg.

Porównanie w latach badań, w nasionach, najwyższej zawartości makroskładnika z najniższą, wykazało następujące procentowe różnice: N – 10%, K – 12%, Ca – 17%, Mg – 23% i P – 29%. Średnio za trzy lata badań zawartość makroskładników w nasionach była następująca $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$: N – 57,1; P – 6,7; K – 18,8; Ca – 3,5 i Mg – 3, 0.

Analiza zawartości składników mineralnych w nasionach soi pochodzącej z Argentyny, Brazylii, Chin, Indii i USA wykazała duże zróżnicowanie w zależności od kraju pochodzenia. Nasiona soi z Indii zawierały najwięcej Ca ($3,3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) i Mg ($4,2 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), z Chin P ($7,6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), z Argentyny K ($27,1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), natomiast najmniej Ca ($2,3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) i Mg ($2,7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) zawierały nasiona soi z Chin, P ($6,5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) z Brazylii, a K ($20,7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) ze USA. W porównaniu z najniższą zawartością makroskładnika, z krajami o najwyższej zawartości wykazano w procentach następujące różnice: Ca – 43%; Mg – 56%; P – 16% i K – 35% [Karr-Llilienthal i in. 2004].

Nagromadzenie ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) azotu i składników mineralnych w nasionach soi (średnie dla lat 2017 – 2019)

Termin siewu	Odmiany	N	P	K	Ca	Mg
I	Aligator	134	14,0	41,3	7,82	6,32
	Lissabon	132	14,5	43,3	9,20	7,07
	Merlin	121	14,3	40,2	7,82	6,62
II	Aligator	131	14,5	44,3	6,96	6,26
	Lissabon	134	14,9	43,9	8,09	7,06
	Merlin	122	14,7	39,2	7,63	6,44
III	Aligator	111	14,0	38,7	6,35	5,82
	Lissabon	119	14,3	39,1	7,41	6,35
	Merlin	109	13,9	36,7	6,64	6,16
NIR ($\alpha = 0,05$)		r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.
średnia dla czynników						
I		129	14,3	41,6	8,28	6,67
II		129	14,7	42,5	7,56	6,59
III		113	14,1	38,2	6,80	6,11
NIR ($\alpha = 0,05$)		3	0,4	1,1	0,18	0,15
	Aligator	125	14,2	41,4	7,04	6,13
	Lissabon	128	14,6	42,1	8,23	6,82
	Merlin	117	14,3	38,7	7,36	6,40
NIR ($\alpha = 0,05$)		4	r.n.	1,4	0,28	0,24
Lata	2017	120	12,2	36,1	7,80	6,72
	2018	114	17,5	40,5	7,61	6,82
	2019	137	13,4	45,7	7,23	5,83
NIR ($\alpha = 0,05$)		3	0,4	1,1	0,18	0,15

r.n. – różnica nieistotna

Terminy siewu: I – najwcześniejszy, II – optymalny, opóźniony o 10 dni w stosunku do najwcześniejszego, III - opóźniony o 20 dni w stosunku do najwcześniejszego

W największym stopniu nagromadzenie w nasionach N, P, K i Mg kształtował zróżnicowany w latach przebieg pogody, a Ca termin siewu. Porównanie w latach badań, w plonie nasion, najwyższej akumulacji makroskładnika z najniższą, wykazało następujące procentowe różnice: Ca – 7%, Mg – 13%, N -17%, K – 21% i P – 30%. Średnio za trzy lata badań akumulacja makroskładników w plonie nasion była następująca $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$: N – 124; P – 14,4; K – 40,8; Ca – 7,5 i Mg – 6,5 (tab. 23).

W porównaniu z I w III terminie siewu notowano mniejsze nagromadzenie w plonie nasion w procentach: N – 12%, P – 2%, K i Mg – 8% oraz Ca – 18%.

Nagromadzenie makroskładników przez nasiona było proporcjonalne do uzyskanych plonów i dlatego ich akumulacja była najwyższa u odmiany Lissabon.

Zawartość ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) azotu i skład mineralny resztek pozbiorowych soi
(średnie dla lat 2017 – 2019)

Termin siewu	Odmiany	N	P	K	Ca	Mg
I	Aligator	8,01	1,11	17,7	10,9	4,92
	Lissabon	8,48	1,69	22,4	12,1	6,69
	Merlin	8,25	1,48	19,3	10,4	5,29
II	Aligator	7,10	1,26	19,0	11,9	5,59
	Lissabon	6,57	1,04	18,0	11,3	5,40
	Merlin	7,35	1,17	19,2	11,5	4,98
III	Aligator	8,21	1,40	17,9	10,4	5,23
	Lissabon	7,81	1,57	18,2	11,2	6,02
	Merlin	7,54	1,33	20,4	10,8	6,11
NIR ($\alpha = 0,05$)		r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.
średnia dla czynników						
I		8,25	1,43	19,8	11,1	5,63
II		7,01	1,16	18,7	11,5	5,32
III		7,85	1,43	18,8	10,8	5,78
NIR ($\alpha = 0,05$)		r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.
	Aligator	7,78	1,26	18,2	11,0	5,25
	Lissabon	7,62	1,43	19,5	11,5	6,03
	Merlin	7,71	1,33	19,6	10,9	5,46
NIR ($\alpha = 0,05$)		r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.
Lata	2017	9,19	1,61	22,8	11,9	6,48
	2018	5,68	1,22	18,8	10,1	6,10
	2019	8,24	1,19	15,7	11,4	4,16
NIR ($\alpha = 0,05$)		1,02	0,34	2,4	1,3	0,76

r.n. – różnica nieistotna

Terminy siewu: I – najwcześniejszy, II – optymalny, opóźniony o 10 dni w stosunku do najwcześniejszego, III – opóźniony o 20 dni w stosunku do najwcześniejszego

Zawartość makroskładników w resztkach pozbiorowych kształtował zróżnicowany w latach przebieg pogody (tab. 24). Porównanie w latach badań, najwyższej zawartości makroskładnika z najniższą, wykazało następujące procentowe różnice: Ca – 15%, P – 26%, K – 31%, Mg – 36% i N – 38%. Średnio za trzy lata badań zawartość makroskładników w nasionach była następująca $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$: N – 7,7; P – 1,34; K – 19,1; Ca – 11,1 i Mg – 5,58.

Nagromadzenie ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) azotu i składników mineralnych w resztkach pozbiorowych soi (średnie dla lat 2017 – 2019)

Termin siewu	Odmiany	N	P	K	Ca	Mg
I	Aligator	23,2	3,20	51,9	31,3	14,4
	Lissabon	23,1	4,61	60,9	33,0	18,2
	Merlin	21,9	4,03	51,0	27,7	14,1
II	Aligator	17,6	3,22	47,6	30,7	14,3
	Lissabon	16,1	2,57	44,3	27,7	13,3
	Merlin	17,7	2,86	45,4	27,9	12,1
III	Aligator	17,4	3,03	40,0	23,0	11,8
	Lissabon	15,3	3,06	38,1	23,3	12,2
	Merlin	15,5	2,70	42,3	23,2	12,3
NIR ($\alpha = 0,05$)		r.n.	0,27	4,1	2,3	1,1
średnia dla czynników						
I		22,7	3,95	54,6	30,7	15,6
II		17,2	2,88	45,8	28,8	13,2
III		16,1	2,93	40,1	23,2	12,1
NIR ($\alpha = 0,05$)		0,7	0,12	1,5	1,0	0,5
	Aligator	19,4	3,15	46,5	28,3	13,5
	Lissabon	18,2	3,41	47,8	28,0	14,6
	Merlin	18,4	3,20	46,3	26,3	12,8
NIR ($\alpha = 0,05$)		r.n.	0,17	r.n.	1,5	0,7
Lata	2017	18,9	3,28	47,5	25,0	13,1
	2018	16,0	3,46	53,1	28,4	17,2
	2019	21,1	3,02	39,9	29,2	10,7
NIR ($\alpha = 0,05$)		0,7	0,12	1,5	1,0	10,7

r.n. – różnica nieistotna

Terminy siewu: I – najwcześniejszy, II – optymalny, opóźniony o 10 dni w stosunku do najwcześniejszego, III – opóźniony o 20 dni w stosunku do najwcześniejszego

W plonie resztek pozbiorowych gromadzenie wszystkich badanych makroskładników kształtował zróżnicowany w latach przebieg pogody i termin siewu, czynnik genetyczny miał wpływ na akumulacje P, Ca i Mg, a współdziałanie terminu siewu z odmianami oddziaływało na wydajność P, K, Ca i Mg (tab. 26).

Porównanie w latach badań, w masie resztek pozbiorowych, najwyższej akumulacji makroskładnika z najniższą, wykazało następujące procentowe różnice: P – 13%, Ca – 14%, N – 24%, K – 25% i Mg – 38%. Średnio za trzy lata badań akumulacja makroskładników w plonie nasion była następująca $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$: N – 18,7; P – 3,25; K – 46,8; Ca – 27,5 i Mg – 13,7.

W porównaniu z I w III terminie siewu notowano mniejsze nagromadzenie w plonie resztek pozbiorowych w procentach: Mg – 22%, Ca – 24%, P – 26%, K – 27% i N – 29%.

Nagromadzenie ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) azotu i składników mineralnych
w nasionach i resztkach pozbiorowych soi (średnie dla lat 2017 – 2019)

Termin siewu	Odmiany	N	P	K	Ca	Mg
I	Aligator	157	17,2	93,2	39,1	20,8
	Lissabon	155	19,1	104,2	42,2	25,3
	Merlin	143	18,3	91,3	35,5	20,7
II	Aligator	148	17,8	91,9	37,7	20,6
	Lissabon	150	17,5	88,2	35,8	20,4
	Merlin	140	17,6	84,6	35,6	18,6
III	Aligator	128	17,0	78,8	29,3	17,6
	Lissabon	134	17,4	77,2	30,7	18,5
	Merlin	125	16,6	78,9	29,8	18,5
NIR ($\alpha = 0,05$)		r.n.	0,9	5,4	2,8	1,3
średnia dla czynników						
I		152	18,2	96,2	38,9	22,2
II		146	17,6	88,2	36,3	19,8
III		129	17,0	78,3	30,0	18,2
NIR ($\alpha = 0,05$)		4	0,4	2,3	1,1	0,5
	Aligator	145	17,3	88,0	35,4	19,7
	Lissabon	147	18,0	89,8	36,2	21,4
	Merlin	136	17,5	84,9	33,6	19,2
NIR ($\alpha = 0,05$)		5	r.n.	3,5	1,6	0,9
Lata	2017	139	15,5	83,6	32,8	19,8
	2018	130	20,9	93,5	36,0	24,0
	2019	158	16,4	85,6	36,5	16,5
NIR ($\alpha = 0,05$)		4	0,4	2,3	1,1	0,5

r.n. – różnica nieistotna

Terminy siewu: I – najwcześniejszy, II – optymalny, opóźniony o 10 dni w stosunku do najwcześniejszego, III – opóźniony o 20 dni w stosunku do najwcześniejszego

Łączne nagromadzenie makroskładników w nasionach i resztkach pozbiorowych w odniesieniu do wszystkich badanych pierwiastków kształtował zróżnicowany w latach przebieg pogody i termin siewu, w odniesieniu do N, K, Ca i Mg czynnik genetyczny, a w stosunku do P, K, Ca i Mg współdziałanie terminów siewu z odmianami (tab. 26). Łącznie najwięcej makroskładników gromadziła soja w I terminie siewu, a z badanych odmian Lissabon. W odniesieniu do K i Ca największym stopniu łączne nagromadzenie makroskładników kształtował termin siewu, a zróżnicowany w latach przebieg pogody decydował o akumulacji N, P i Mg. Średnio za trzy lata procentowy udział nasion w łącznym gromadzeniu makroskładników był następujący; N – 86,8%; P – 81,5%; K – 46,5%; Ca – 21,5% i Mg – 32%.

Wpływ terminów siewu na rozwój i plonowanie odmian soi (Glycine max (L.) Merrill)

Tabela 27

Koszt uprawy 1 ha soi na podstawie elementów agrotechniki
(średnie z lat 2017 – 2019)

Wyszczególnienie	Odmiana		
	Aligator	Lissabon	Merlin
KOSZTY BEZPOŚREDNIE	1909,65	2089,65	2035,65
Nawożenie	442,18		
P ₂ O ₅ 60 kg·ha ⁻¹ w superfosfacie potrójnym (40%)	182,92		
K ₂ O 120 kg·ha ⁻¹ w soli potasowej (60%)	259,26		
Materiał siewny	954,00	1134,00	1080
Środki ochrony roślin	513,47		
2017			
Boxer 800 EC – 4,0 dm ³ ·ha ⁻¹	160,00		
Select Super 125 EC – 2,0 dm ³ ·ha ⁻¹	120,00		
Corum 502,4 SL – 0,62 dm ³ ·ha ⁻¹ + Dash HC – 0,5 dm ³ ·ha ⁻¹	99,33		
Corum 502,4 SL – 0,62 dm ³ ·ha ⁻¹ + Dash HC – 0,5 dm ³ ·ha ⁻¹	99,33		
2018			
Boxer 800 EC – 4,0 dm ³ ·ha ⁻¹	160,00		
Corum 502,4 SL – 1,25 dm ³ ·ha ⁻¹ + Dash HC 0,5 – dm ³ ·ha ⁻¹	198,66		
Fusilade Forte 150 EC – 1,5 dm ³ ·ha ⁻¹	172,21		
2019			
Boxer 800 EC – 4,0 dm ³ ·ha ⁻¹	160,00		
Corum 502,4 SL – 1,25 dm ³ ·ha ⁻¹ + Dash HC 0,5 – dm ³ ·ha ⁻¹	198,66		
Fusilade Forte 150 EC – 1,5 dm ³ ·ha ⁻¹	172,21		
KOSZTY POŚREDNIE	1398,49	1416,49	1411,09
Uprawa roli	341,25		
Gruberowanie	86,73		
Orka zimowa	122,26		
Brona ciężka	86,00		
Agregat uprawowy (brona wirnikowa+wał ugniatający)	46,26		
Pozostałe koszty pracy maszyn	637,20		
Siew nasion	84,74		
Siew nawozów	52,82		
Opryski	(22,1*10)/3	73,67	-
Zbiór kombajnem	395,50		
Transport nasion	30,47		
Podatek rolny i inne koszty pośrednie	420,04	438,04	432,64
SUMA WSZYSTKICH KOSZTÓW	3308,14	3506,14	3446,74

Wpływ terminów siewu na rozwój i plonowanie odmian soi (Glycine max (L.) Merrill)

Tabela 28

Zestawienie kosztów uprawy soi według podziału na koszty bezpośrednie i pośrednie
(średnie z lat 2017 – 2019)

Wyszczególnienie	Odmiana		
	Aligator	Lissabon	Merlin
KOSZTY BEZPOŚREDNIE	1909,65	2089,65	2035,65
Nawożenie	442,18		
Materiał siewny	954,00	1134,00	1080
Środki ochrony roślin	513,47		
KOSZTY POŚREDNIE	1398,49	1416,49	1411,09
Uprawa roli	341,25		
Pozostałe koszty pracy maszyn	637,20		
Podatek rolny i inne koszty pośrednie	420,04	438,04	432,64
SUMA WSZYSTKICH KOSZTÓW	3308,14	3506,14	3446,74

Tabela 29

Struktura kosztów (%) uprawy soi (średnie z lat 2017 – 2019)

Wyszczególnienie	Odmiana		
	Aligator	Lissabon	Merlin
KOSZTY BEZPOŚREDNIE	57,7	59,6	59,1
Nawożenie	13,4	12,6	12,8
Materiał siewny	28,8	32,3	31,3
Środki ochrony roślin	15,5	14,6	14,9
KOSZTY POŚREDNIE	42,3	40,4	40,9
Uprawa roli	10,3	9,7	9,9
Pozostałe koszty pracy maszyn	19,3	18,2	18,5
Podatek rolny i inne koszty pośrednie	12,7	12,5	12,6
SUMA WSZYSTKICH KOSZTÓW	100,0	100,0	100,0

Wpływ terminów siewu na rozwój i plonowanie odmian soi (Glycine max (L.) Merrill)

Tabela 30

Kalkulacje kosztów i dochodów w zł na 1 ha uprawy soi – I termin siewu
(średnie z lat 2017 – 2019)

Lp.	Wyszczególnienie	Odmiany		
		Aligator	Lissabon	Merlin
1.	Plon [t·ha ⁻¹]	2,49	2,62	2,45
2.	Wartość produkcji	5324,64	5520,29	5264,44
2.1	Produkcja główna	3747,45	3943,1	3687,25
2.2.	Jednolita płatność obszarowa	464,13		
2.3.	Dopłata za uprawę roślin wysokobiałkowych	311,50		
2.4.	Zazielenienie	697,79		
2.5.	Dopłata do materiału kwalifik.	103,77		
3.	Koszty	3308,14	3506,14	3446,74
3.1.	Koszty bezpośrednie	1909,65	2089,65	2035,65
3.2.	Koszty pośrednie	1398,49	1416,49	1411,09
4.	Nadwyżka bezpośrednia	3414,99	3430,64	3228,79
5.	Nadwyżka bezpośrednia bez dopłat	1837,80	1853,45	1651,60
6.	Koszt produkcji 1 tony	1328,57	1338,22	1406,83
7.	Wydajność białka w kg·ha ⁻¹	835	827	754
8.	Koszt produkcji białka 1 kg	3,96	4,24	4,57
9.	Dochód	439,31	436,96	240,51

Tabela 31

Kalkulacje kosztów i dochodów w zł na 1 ha uprawy soi – II termin siewu
(średnie z lat 2017 – 2019)

Lp.	Wyszczególnienie	Odmiany		
		Aligator	Lissabon	Merlin
1.	Plon [t·ha ⁻¹]	2,53	2,63	2,42
2.	Wartość produkcji	5384,84	5535,34	5219,29
2.1	Produkcja główna	3807,65	3958,15	3642,10
2.2.	Jednolita płatność obszarowa	464,13		
2.3.	Dopłata za uprawę roślin wysokobiałkowych	311,50		
2.4.	Zazielenienie	697,79		
2.5.	Dopłata do materiału kwalifik.	103,77		
3.	Koszty	3308,14	3506,14	3446,74
3.1.	Koszty bezpośrednie	1909,65	2089,65	2035,65
3.2.	Koszty pośrednie	1398,49	1416,49	1411,09
4.	Nadwyżka bezpośrednia	3475,19	3445,69	3183,64
5.	Nadwyżka bezpośrednia bez dopłat	1898,00	1868,50	1606,45
6.	Koszt produkcji 1 tony	1307,57	1333,13	1424,27
7.	Wydajność białka w kg·ha ⁻¹	817	839	765
8.	Koszt produkcji białka 1 kg	4,05	4,18	4,51
9.	Dochód	499,51	452,01	195,36

Wpływ terminów siewu na rozwój i plonowanie odmian soi (Glycine max (L.) Merrill)

Tabela 32

Kalkulacje kosztów i dochodów w zł na 1 ha uprawy soi – III termin siewu
(średnie z lat 2017 – 2019)

Lp.	Wyszczególnienie	Odmiany		
		Aligator	Lissabon	Merlin
1.	Plon [$t \cdot ha^{-1}$]	2,32	2,42	2,31
2.	Wartość produkcji	5068,79	5219,29	5053,74
2.1	Produkcja główna	3491,60	3642,10	3476,55
2.2.	Jednolita płatność obszarowa	464,13		
2.3.	Dopłata za uprawę roślin wysokobiałkowych	311,50		
2.4.	Zazielenienie	697,79		
2.5.	Dopłata do materiału kwalifik.	103,77		
3.	Koszty	3308,14	3506,14	3446,74
3.1.	Koszty bezpośrednie	1909,65	2089,65	2035,65
3.2.	Koszty pośrednie	1398,49	1416,49	1411,09
4.	Nadwyżka bezpośrednia	3159,14	3129,64	3018,09
5.	Nadwyżka bezpośrednia bez dopłat	1581,95	1552,45	1440,90
6.	Koszt produkcji 1 tony	1425,92	1448,82	1492,10
7.	Wydajność białka w $kg \cdot ha^{-1}$	694	741	684
8.	Koszt produkcji białka 1 kg	4,77	4,73	5,04
9.	Dochód	183,46	135,96	29,81

Tabela 33

Kalkulacje kosztów i dochodów w zł na 1 ha uprawy soi (średnie z lat 2017 – 2019 dla terminów siewu)

Lp.	Wyszczególnienie	Terminy siewu		
		I	II	II
1.	Plon [$t \cdot ha^{-1}$]	2,52	2,52	2,35
2.	Wartość produkcji	5369,79	5369,79	5113,94
2.1	Produkcja główna	3792,60	3792,60	3536,75
2.2.	Jednolita płatność obszarowa	464,13		
2.3.	Dopłata za uprawę roślin wysokobiałkowych	311,50		
2.4.	Zazielenienie	697,79		
2.5.	Dopłata do materiału kwalifik.	103,77		
3.	Koszty	3420,34	3420,34	3420,34
3.1.	Koszty bezpośrednie	2011,65	2011,65	2011,65
3.2.	Koszty pośrednie	1408,69	1408,69	1408,69
4.	Nadwyżka bezpośrednia	3358,14	3358,14	3102,29
5.	Nadwyżka bezpośrednia bez dopłat	1780,95	1780,95	1525,10
6.	Koszt produkcji 1 tony	1357,28	1357,28	1455,46
7.	Wydajność białka w $kg \cdot ha^{-1}$	805	807	706
8.	Koszt produkcji białka 1 kg	4,25	4,24	4,84
9.	Dochód	372,26	372,26	116,41

Kalkulacje kosztów i dochodów w zł na 1 ha uprawy soi
(średnie z lat 2017 – 2019 dla odmian)

Lp.	Wyszczególnienie	Odmiany		
		Aligator	Lissabon	Merlin
1.	Plon [t·ha ⁻¹]	2,45	2,55	2,39
2.	Wartość produkcji	5264,44	5414,94	5174,14
2.1	Produkcja główna	3687,25	3837,75	3596,95
2.2.	Jednolita płatność obszarowa	464,13		
2.3.	Dopłata za uprawę roślin wysokobiałkowych	311,50		
2.4.	Zazielenienie	697,79		
2.5.	Dopłata do materiału kwalifik.	103,77		
3.	Koszty	3308,14	3506,14	3446,74
3.1.	Koszty bezpośrednie	1909,65	2089,65	2035,65
3.2.	Koszty pośrednie	1398,49	1416,49	1411,09
4.	Nadwyżka bezpośrednia	3354,79	3325,29	3138,49
5.	Nadwyżka bezpośrednia bez dopłat	1777,60	1748,10	1561,30
6.	Koszt produkcji 1 tony	1350,26	1374,96	1442,15
7.	Wydajność białka w kg·ha ⁻¹	782	802	734
8.	Koszt produkcji białka 1 kg	4,23	4,37	4,70
9.	Dochód	379,11	331,61	150,21

Koszty bezpośrednie i pośrednie kształtował czynnik odmianowy, a konkretnie koszt zakupu materiału siewnego i związany z nim 10% narzut kosztów pośrednich (tab. 27 i 28). Na strukturę kosztów wpływał czynnik odmianowy (tab. 29), a koszty bezpośrednie stanowiły do 57,7 (Aligator) do 59,6 % (Lissabon) sumy wszystkich kosztów.

Wszystkie czynniki miały wpływ na wysokość kosztów i dochodów (tab. 30-32). Najwyższy dochód, przy najniższych kosztach produkcji 1 t nasion wykazano dla odmiany Aligator w II terminie siewu, a najwyższy dla odmiany Merlin w III. Koszt produkcji 1 kg białka wahał się od 3,96 zł (Aligator – I termin siewu) do 5,04 (Merlin – III termin siewu).

Średnio dla terminów siewu, opóźnienie siewu o 20 w stosunku do najwcześniejszego, powodowało wzrost kosztów produkcji 1 t nasion i 1 kg białka odpowiednio o 7,2 i 13,9% oraz obniżkę dochodów o 68,8% (tab. 33).

Średnio dla odmian najwyższy dochód uzyskano z odmiany Aligator, a następnie kolejno niższy w (%) z Lissabon – 12,5 i Merlin – 54,7. W porównaniu z odmianą Aligator koszt produkcji 1 t nasion był wyższy u odmiany Lissabon o 1,6 i Merlin o 6,8%, a koszt 1 kg białka odpowiednio o 3,3 i 7,6% (tab. 34).

Wpływ terminów siewu na rozwój i plonowanie odmian soi (Glycine max (L.) Merrill)

W lutym 2020 roku średnia cena 1 t śrutu sojowej Hi Pro, o przeciętnej zawartości białka ogółem 470 g·kg⁻¹, w porcie Gdynia, wynosiła 1540 zł co przekładało się na cenę 1 kg białka na poziomie 3,28 zł. W badaniach własnych, koszt produkcji 1 kg białka był wyższy, średnio dla odmian, od 0,95 (Aligator) do 1,42 zł (Merlin), a dla terminów siewu od 0,97 (I termin) do 1,56 zł (III termin).

Przy średnich, za trzy lata badań, kosztach uprawy 1 ha soi 3420,34 zł i przy cenie sprzedaży 1 t nasion 1505 zł, próg rentowności, bez dopłat, uzyskuje się przy plonie 2,27 t ha⁻¹.

Aneks – dane do kalkulacji

Tabela 1

Dopłaty bezpośrednie na 1 ha

Dopłaty bezpośrednie na 1 ha	2017	2018	2019	Średnia 2017 -2019
Jednolita płatność obszarowa (JPO)	461,55	459,19	471,64	464,13
Zazielenienie	309,77	308,18	316,54	311,50
Specjal. płat. dla strączkowych	606,52	721,04	765,80	697,79
Dopłata do mater. siew. strączk.	147,90	163,42	0	103,77
Razem	1525,74	1651,83	1553,98	1577,18

Podatek gruntowy (1 ha) 131,23 zł.

Wpływ terminów siewu na rozwój i plonowanie odmian soi (Glycine max (L.) Merill)

Tabela 2

Koszty środków produkcji

Wyszczególnienie	J.m.	Średnie z lat 2017 -2019
Herbicydy		
Boxer 800 EC – 4,0 dm ³ ·ha ⁻¹	dm ³	40,00
Corum 502,4 SL– 1,25 dm ³ ·ha ⁻¹ + Dash HC 0,6 dm ³ ·ha ⁻¹	dm ³ (2+1)	317,86
Fusilade Forte 150 EC –1,5 dm ³ ·ha ⁻¹	dm ³	114,81
Select Super 125 EC – 2,0 dm ³ ·ha ⁻¹	dm ³	60,00
Nawozy		
Superfosfat wzbogac. (40%)	dt	121,95
Sól potasowa (60%)	dt	129,63
materiał siewny		
Soja Aligator	j.s	159,00
Soja Lissabon	j.s.	189,00
Soja Merlin	j.s.	180,00
uprawy, zbiegi i zbiór		
Agregat uprawowy (brona wirnikowa+wał ugniatający)	ha	46,26
Bronowanie broną ciężką	ha	86,00
Gruberowanie	ha	86,73
Orka zimowa	ha	122,63
Opryski	ha	22,10
Siew nasion	ha	84,74
Siew nawozów	ha	26,41
Zbiór kombajnem	ha	395,50

Tabela 3

Koszt sprzedaży 1 t nasion soi loco Top Farms Głubczyce

Wyszczególnienie	2017	2018	2019	Średnia 2017 -2019
Koszt 1 t nasion	1620	1566	1330	1505

7. WNIOSKI

1. W okolicach Wrocławia opóźnienie terminu siewu o 20 dni w stosunku do najwcześniejszego powodowało obniżkę sumarycznej długości dnia podczas rozwoju wegetatywnego i generatywnego odpowiednio o 16 i 10%, a ponadto skutkowało średnim wzrostem długości dnia podczas rozwoju wegetatywnego o 0,45 godz. i zmniejszeniem długości dnia podczas rozwoju generatywnego o 0,1 godz. oraz skracało długość okresu rozwoju wegetatywnego i generatywnego odpowiednio o 23 i 7%.
2. Opóźnienie terminu siewu o 20 dni w stosunku do najwcześniejszego, skróciło długość rozwoju wegetatywnego o 12 dni i generatywnego o 6 dni.
3. Średnio za trzy lata, najdłuższy okres wegetacji miała odmiana Aligator (133), a następnie kolejno krótszy Lissabon (132) i Merlin (129).
4. Liczba roślin po wschodach, w porównaniu z I terminem siewu, w II i III terminie była niższa odpowiednio o 7 i 29 %. Najwięcej roślin po wschodach notowano u odmiany Merlin, a następnie w porównaniu z nią kolejno mniej (%) miała odmiana Lissabon – 14 i Aligator – 17.
5. W porównaniu z I terminem opóźnienie siewu o 20 dni zwiększyło (%) wysokość roślin o 15, liczbę strąków i nasion z rośliny odpowiednio o 43 i 40, a zmniejszyło wysokość osadzenia I strąka o 22 i masę 1000 nasion o 6%.
6. Odmiana Lissabon w porównaniu z Merlin uzyskała wyższe wartości (%) w odniesieniu do liczby rozgałęzień – 35, liczby strąków i nasion z rośliny odpowiednio o 13 i 17, liczby nasion w strąku – 5, masy nasion w strąku – 10 i masy 1000 nasion o 7.
7. W I terminie siewu, w porównaniu z III, uzyskano wyższe plony (%): nasion – 7, białka ogółem – 14, tłuszczu surowego – 8, i resztek pozbiorowych – 27. W porównaniu z odmianą Merlin wyższe plony nasion i białka ogółem o 7 i 9% uzyskano z odmiany Lissabon.
8. Z badanych czynników, średnio za trzy lata, termin siewu różnicował w nasionach zawartość białka ogółem i bezazotowych związków wyciągowych, czynnik genetyczny miał wpływ na zawartość tłuszczu surowego, a zróżnicowany w latach przebieg pogody kształtował poziom białka ogółem, tłuszczu i popiołu surowego.

9. Opóźnienie siewu o 20 dni w stosunku do najwcześniejszego, powodowało wzrost kosztów produkcji 1 t nasion i 1 kg białka odpowiednio o 7,2 i 13,9% oraz obniżkę dochodów o 68,8%.
10. Średnio dla odmian najwyższy dochód uzyskano z odmiany Aligator, a następnie kolejno niższy w (%) z Lissabon – 12,5 i Merlin – 54,7. W porównaniu z odmianą Aligator koszt produkcji 1 t nasion był wyższy u odmiany Lissabon o 1,6 i Merlin o 6,8%, a koszt 1 kg białka odpowiednio o 3,3 i 7,6%.
11. Przy średnich, za trzy lata badań, kosztach uprawy 1 ha soi 3420,34 zł i przy cenie sprzedaży 1 t nasion 1505 zł, próg rentowności, bez dopłat, uzyskuje się przy plonie 2,27 t ha⁻¹.

8. PIŚMIENNICTWO

1. Anderson L.R., Vasilas B.L., 1985. Effects of planting date on two soybean cultivars: Seasonal dry matter accumulation and seed yield. *Crop Sci.*: 25, 999-1004.
2. Assefa Y., Bajjalieh N., Archontoulis S., Casteel S., Davidson, D, Kovács, P., et al. 2018. Spatial characterization of soybean yield and quality (Amino Acids, Oil, and Protein) for United States. *Sci. Rep.*: 8,14653. doi: 10.1038/s41598-018-32895-0.
3. Assefa Y., Purcell L.C., Salmeron M., Naeve S., Casteel S. N., Kovács P., Archontoulis S., Licht M., Below F., Kandel H., Lindsey L.E., Gaska J., Conley S., Shapiro C., Orlowski J. M., Golden B. R., Kaur G., Thelen K., Laurenz R., Davidson D., Ciampitti I. A. 2019. Assessing Variation in US Soybean Seed Composition (Protein and Oil). *Front. Plant Sci.*:
4. Bański J., Błażejczyk K. 2005. Globalne zmiany klimatu i ich wpływ na światowe rolnictwo, [w:] G. Dybowski (red.), *Wpływ procesu globalizacji na rozwój rolnictwa na świecie*, Program wieloletni 2005-2009, 17, Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa, 204-231.
5. Bartkowiak A., 1978. Analiza wariancji dla układów ortogonalnych. Program AWA [w:] *Opis merytoryczny programów statystycznych opracowanych w Instytucie Informatyki Uniwersytetu Wrocławskiego*. Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, 43-60.
6. Bastidas A. M., Setiyono T. D., Dobermann A., Cassman K. G., Elmore R. W., Graef G. L., Specht J. E. 2008. Soybean Sowing Date: The Vegetative, Reproductive, and Agronomic Impacts. *Crop Science*, vol. 48, 727-740.
7. Beaver J.S., and R.R. Johnson. 1981. Response of determinate and indeterminate soybeans to varying cultural practices in the northern USA. *Agron. J.* 73: 833-838.
8. Bellaloui H., Bruns H. A., Abbas H. K, Mengistu A., Fisher D. K., Reddy N. K. 2015. Agricultural practices altered soybean seed protein, oil, fatty acids, sugars, and minerals in the Midsouth USA. *Front. Plant Sci.*
9. Bellaloui N. and Mengistu A. 2008. Seed composition is influenced by irrigation regimes and cultivar. *Irrig. Sci.* 26, 261–268. doi: 10.1007/s00271-007-0091-y.

10. Beuerlein J. E. 1988. Yield of indeterminate and determinate semidwarf soybean for several planting dates, row spacings, and seeding rates. *J. Prod. Agric.* 1:300–303.
11. Biel W., Gawęda D., Hury G., Jaroszewska A. 2018. Content of minerals in soybean seeds as influenced by farming system, variety and row spacing. *J. Elem.:* 23 (3), 863-873.
12. Board J.E. and Hall. W. 1984. Premature flowering in soybean yield reductions at non optimal planting dates as influenced by temperature and photoperiod. *Agron. J.*, 76(4): 700-704.
13. Board J.E. 1985. Yield Components Associated with Soybean Yield Reductions at Nonoptimal Planting Dates. *Agron. J.*, 77: 135-140.
14. Bobrecka-Jamro D., Pizło H. 1996. Wpływ czynników agrotechnicznych na plonowanie soi w warunkach Polski południowo-wschodniej. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*, 198, 31-44.
15. Boczar P. 2016. Znaczenie gospodarcze soi oraz możliwości rozwoju jej produkcji w Polsce. *Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Problemy Rolnictwa Światowego tom 16 (XXXI), zeszyt 3*, 35–48.
16. Borkowski R., 1930. *Soja a nasze rolnictwo*. Księgarnia Rolnicza, Warszawa.
17. Boydak E., Alpaslan M., Hayta M., Gercek S., and Simsek M. 2002. Seed composition of soybeans grown in the Harran region of Turkey as affected by row spacing and irrigation. *J. Agric. Food Chem.* 50, 4718-4720. doi: 10.1021/jf0255331.
18. Brevdan R.E., Egli D.B. 2003. Short periods of water stress during seed filling, leaf senescence. *Crop Science* 43(6) · November 2003 with 242 Reads DOI: 10.2135/cropsci2003.2083.
19. Brumm T.J., and C.R. Hurburgh 2006. Changes in long-term soybean compositional patterns. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 83:981–983. doi:10.1007/s11746-006-5056-4.
20. Bujak K., Frant M. 2009. Wpływ mieszanek herbicydów na plonowanie i zachwaszczenie pięciu odmian soi. *Acta Agrophysica.* 13 (3), 601-613.
21. Burlamaqui P. F. 1975. Variation in soybean yield components in relation to genotype and productivity level. Unpublished Ph.D. Dissertation. Iowa State Univ. Univ. Microfilms, Ann Arbor, Mich. (Microfilm number DCJ 76-01823).

22. Burton J. W. 1987. Quantitative genetics: results relevant to soybean breeding. In: Wilcox JR (ed) Soybeans: improvement, production and uses, 2nd edn. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, pp 211-24.
23. Bury M., Nawracała J. 2004. Wstępna ocena potencjału plonowania odmian soi (*Glycine max (L.) Merrill*) uprawianych w rejonie Szczecina. *Rośliny Oleiste/Oilseed Crops* 25, 415-422.
24. Carrera C., Martínez, M. J., Dardanelli J., and Balzarini M. 2009. Water deficit effect on the relationship between temperature during the seed fill period and soybean seed oil and protein concentrations. *Crop Sci.* 49, 990–998. doi: 10.2135/cropsci2008.06.0361.
25. Carter T.E., Jr, Nelson R, Sneller C.H., Cui Z. 2004. Genetic diversity in soybean. Soybeans: Improvement, Production and Uses. In: Boerma HR, Specht JE, editors. Am Soc of Agro. Madison, Wisconsin: pp. 303-416. [Google Scholar].
26. Chapman J. 1986. The influence of photoperiod and temperature on the pre-flowering phase length of eleven soybean cultivars in northern Natal. S.–Afr. Tydskr. Plant Grod 3, 2: 61-65.
- Chapman G. W., Robertson, J.A., and Budrick, D. 1976. Chemical composition and lipoxygenase activity in soybean affected by genotype and environment. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 53, 54–56. doi: 10.1007/BF02637391.
27. Chapman G. W., Robertson, J. A., and Budrick, D. 1976. Chemical composition and lipoxygenase activity in soybean affected by genotype and environment. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 53, 54-56. doi: 10.1007/BF02637391.
28. Christensen J.H., Hewitson B.A., Busuioc et al. 2007. Regional Climate Projections. [w:] *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Solomon S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt M. Tignor and H.L. Miller (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
29. Chy W.S. and Sheldon, V.L. 1979. Soybean oil quality as influenced by planting site and variety. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 56, 71-75. doi: 10.1007/BF02914271.
30. Cober E.R., Morrison M.J. 2010. Regulation of seed yield and agronomic characters by photoperiod sensitivity and growth habit genes in soybean. *Theoretical and Applied Genetics* 120: 1005-1012.

31. Cober E. R. and Voldeng, H. D. 2001. A new soybean maturity and photoperiodsensitive locus linked to E1 and T. *Crop Sci.* 41:698-701.
32. Cooper R.L. 2003. A delay flowering barrier to higher soybean yields. *Field Crops, Res.* 82: 27-35.
33. Cowie J. 2009. Zmiany klimatyczne. Przyczyny, przebieg i skutki dla człowieka. Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego.
34. Criswell J.G., Hume D.J. 1972. Variation in sensitivity to photoperiod among early maturing soybean strains. *Crop Science* 12, 5, 657-660.
35. Dardanelli J.L., Balzarini M., Martinez M.J., Cuniberti M., Resnik S., Ramunda S.F., et al. 2006. Soybean maturity groups, environments, and their interaction define mega-environments for seed composition in Argentina. *Crop Sci.* 46 1939-1947 10.2135/cropsci2005.12-0480 [CrossRef] [Google Scholar].
36. Daroish M., Hassan Z., Ahad M. 2005. Influence of Planting Dates and Plant Densities on Photosynthesis Capacity, Grain and Biological Yield of Soybean [*Glycine max (L.) Merr.*] in Karaj, Iran. *Journal of Agronomy*, 4, 3, 230-237.
37. Devi J. M., Sinclair, T.R., Chen, P. & Carter, T.E. 2014. Evaluation of elite southern maturity Soybean breeding lines for drought-tolerant traits. *Agron. J.* 106, 1947-1954.
38. Dobek K.T., Dobek M. 2008. Efektywność produkcji soi w polskich warunkach. *Inżynieria Rolnicza* 4(102)/2008, 233 -240. Runge E.C.A., Odell R.T. 1960. The relation between precipitation, temperature and the yield of soybeans on the Agronomy South Farm, Urbana, Illinois. *Agronomy Journal*, 52, 245-247.
39. Dobek T. 2006. Efektywność ekonomiczna i energetyczna technologii produkcji soi w warunkach Polski. *Inżynieria Rolnicza*, 12, 109-116.
40. Dornbos D. L., Mullen R. E. 1992. Soybean seed protein and oil contents and fatty acid composition adjustments by drought and temperature. *Journal of the American Oil Chemists' Society*: 69 (3), 228-231.
41. Dzikowski B., 1937. Studia nad soją *Glycine hispida* cz. I. /Pamiętnik PJNGW, Puławy, 69-100.
42. Egli D.B., Wardlaw I.F. 1980. Temperature response of seed growth characteristics of soybeans. *Agronomy Journal*, 72, 560-564.
43. Egli D.B. 1993. Cultivar maturity and potential yield of soybean. *Field Crops Research* 32, 1-2: 147-158.

44. Egli D.B., Guffy, R.D. and Heitholt, J.J. 1987. Factors Associated with Reduced Yields of Delayed Plantings of Soybean. *J. of Agron. and Crop Sci.*, 159: 176-185.
45. Elmore, R.W. 1990. Soybean cultivar response to tillage systems and planting date. *Agron. J.* 82: 69-73.
46. Fedoroff N.V. 2010. The past, present and future of crop genetic modification. *New Biotechnol.*;27:461-465. [PubMed] [Google Scholar].
47. Fehr W.R., and C.E. Caviness. 1977. Stages of soybean development. Special Report 80. Iowa Agric. Home Econ. Exp. Stn., Iowa State Univ., Ames.
48. Fehr W.R., C.E. Caviness, D.T. Burmood, and J.S. Pennington. 1971. Stage of development descriptions for soybean, *Glycine max (L.) Merrill*. *Crop Sci.* 11: 929-931.
49. Fletcher A.L., Sinclair, T.R. & Allen, L.H. 2007. Transpiration response to vapor pressure deficit in well watered 'slow wilting' and commercial soybean. *Environ. Exp. Bot.* 61, 145-152.
50. Fox C.M., Cary T.R., Nelson R.L., Diers B.W. 2015. Confirmation of a seed yield QTL in soybean. *Crop Sci* 55:992-998.
51. Freeman J.P., Philips S.W. 1959. Results of the Kentucky soybean variety performance, date of planting and fertilizer tests. Progress Report Agricultural Experiment Station University Kentucky, 87, 1960, 11.
52. Freiria G.H., Lima W.F., Leite R., S., Mandarino J.M.G., da Silva J.B, Prete C.E.C. 2016. Productivity and chemical composition of food type soybean different sowing dates. *Acta Scientiarum. Agronomy Maringá*, 38, 3, 371-377.
53. Gai J, Wang Y, Zhang M, Wang J, Chang R. 2001. Studies on the classification of maturity groups of soybeans in China. *Acta Agron Sin.* 27(3): 286-92.
54. Gaspar A.P. and S.P. Conley. 2015. Responses of canopy reflectance, light interception, and soybean seed yield to replanting suboptimal stands. *Crop Sci.* 55: 377-385.
55. Gaynor L.G., Lawn R.J., James A.T. 2012. Agronomic studies on irrigated soybean in southern New South Wales. I. Phenological adaptation of genotypes to sowing date. *Crop and Pasture Science* 62(12) 1056-1066.
56. Gibson L.R., Mullen R.E., 1996a. Influence of day and night temperature on soybean seed yield. *Crop Sci.*, 36, 98-104.

57. Gibson L.R., and R.E. Mullen. 1996b. Soybean seed composition under high day and night growth temperatures. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 73:733-737. doi:10.1007/BF02517949.
58. Goldflus F., Ceccantini, M., and Santos, W. 2006. Amino acid content of soybean samples collected in different Brazilian states – Harvest 2003/2004. *Braz. J. Poult. Sci.* 8, 105-111. doi: 10.1590/S1516-635X2006000200006.
59. Green D.E., Pinnel E.L., Cavanah L.E., Williams L.F. 1965. Effect of planting date and maturity date on soybean seed quality. *Agron. J.*, 57 (2), 165-168.
60. Griebisch A., Schmidtke K., Bellingrath–Kimura D., Rosner G. 2019. Wie tief intensive wurzeln Sojabohnen unter kontinental gepragten Bedingungen Zentraleuropas? Beitrage zur 15 Wissenschaftstagung Okologischer Landbau. Innovatives Denken fur eine nachhaltige Land– und Ernährungswirtschaft. Universitat Kassel 05 – 09 Marz 2019, 108-109.
61. Grieshop C.M., and Fahey G.C. Jr. 2001. Comparison of quality characteristics of soybeans from Brazil, China, and the United States. *J. Agric. Food Chem.* 49, 2669-2673. doi: 10.1021/jf0014009.
62. Guffy R.D., Egli D.B. and Leggett J.E. 1983. Effect of Cultivar and Planting Date on Vegetative Growth and Yield of Soybeans. *Agron. Abst.*, 14-19: 91.
63. Guo J, Wang Y, Song C, Zhou J, Qiu L, Huang H, Wang Y. 2010. A single origin and moderate bottleneck during domestication of soybean (*Glycine max*): implications from microsatellites and nucleotide sequences. *Ann Bot.*106: 505-514. [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar].
64. Haegele J.W., Below F.E. 2013. The six secrets of soybean success: improving management practices for high yield soybean production. Available at: <<http://cropphysiology.cropsi.illinois.edu/documents/2012%20Six%20Secrets%20of%20Soybean%20Success%20report.pdf>>. Access on: Nov. 8, 2015.
65. Ham G.E., Liener I.E., Evans S.D., Frazier R.D., and Nelson W.W. 1975. Yield and composition of soybean seed as affected by N and S fertilization. *Agron. J.* 67, 293-297.
66. Hartwig E.E. 1973. Varietal development. In: Caldwell B.E. (ed.) *Soybeans: Improvement, production, and uses.* *Agron. J.* 16: 187-207.
67. Hartwig E.E. 1970. Growth and reproduction characteristics of soybean grown under short-day conditions. *Crop Sci.* 12:47-53.

68. Harue T., and Hirokadzu T. 1971. Influence of location on the chemical composition of soybean seeds. *Proc. Crop Sci. Soc. Jpn.* 40, 530–534. doi: 10.1626/jcs.40.530.
69. He L., Jin N., Yu Q. 2019. Impacts of climate change and crop management practices on soybean phenology changes in China. *Sci Total Environ.* 2020 Mar 10;707:135638. doi: 0.1016/j.scitotenv.2019.135638. Epub 2019 Nov 20.
70. Heatherly L.G., and Elmore R.W. 2004. Managing inputs for peak production. In *Soybeans: Improvement, Production, and Uses. Agronomy Monographs*, 3rd edn. No. 16. Edited by Specht, J.E. and Boerma, H.R. pp. 4 51–5 36. A SA-CSSA-SSSA, Madison, WI.
71. Helms T.C., C.R. Hurburgh Jr., R.L. Lussenden and Whited D.A. 1990. Economic analysis of increased protein and decreased yield due to delayed planting of soybean. *J. Prod. Agric.* 3:367–371.
72. Herse J., Szyrmer J. 1968. Wyniki badań nad uprawą soi. Wyd. SGGW, Warszawa.
73. Hinson K., Hartwig E.E. 1982. Soybean production in the tropics. *FAO Plant Production and Protection Paper* 4, 2-12.
74. Holmberg S.A. 1973. Soybeans for cool temperate climates. *Agri Hortique Genetica* 31: 1-20.
75. Howell R.W. and Cartter J.L. 1958. Physiological factors affecting composition of soybeans: II. Response of oil and other constituents of soybeans to temperature under controlled conditions. *Agron. J.* 50: 664-667. doi: 10.2134/agronj1958.00021962005000110007.
76. Hu M., Wiatrak P. 2011. Effect of Planting Date on Soybean Growth, Yield, and Grain Quality: Review. *Agronomy Journal*, Vol. 104 No. 3, p. 785-790.
77. Hurburgh, C., Jr., T. Brumm, J. Guinn, and R. Hartwig. 1990. Protein and oil patterns in U.S. and world soybean markets. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 67: 966-973. doi:10.1007/BF0254185.
78. Hyten D.L., Song Q, Zhu Y, Choi I-Y, Nelson R.L., Costa J.M., Specht J.E., Shoemaker R.C., Cregan P.B. 2006. Impacts of genetic bottlenecks on soybean genome diversity. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*: 103:16666-16671. [PMC free article] [PubMed].

79. IPCC (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. <http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html>.
80. Jasińska Z., Kotecki A. 1993. Rośliny strączkowe, Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 5-194.
81. Jasińska Z., Kotecki A., Kozak M. 1996. Reakcja soi odmiany Polan na nawożenie azo-tem i mikroelementami. Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, 198: 71-79.
82. Jia H., Jiang B., Wu C., Lu W., Hou W., Sun S., Yan H., Han T. 2014. Maturity group classification and maturity locus genotyping of early-maturing soybean varieties from high-latitude cold regions. PLoS One. 2014; 9(4): e94139.
83. Jiang B., Nan H., Gao Y., Tang L., Yue Y., Lu S., Ma L., Cao D., Sun S., Wang J., Wu C., Yuan X., Hou W., Kong F., Han T., Liu B. 2013. Allelic combinations of soybean maturity loci E1, E2, E3 and E4 result in the diversity of maturity and adaptation to different latitude. PLoS One. 9(8): e106042.
84. Jiang B., Zhang S., Song W., Khan MAA., Sun S., Zhang C., Wu T., Wu C., Han T. 2019. Natural variations of FT family genes in soybean varieties covering a wide range of maturity groups. BMC Genomics, 20; 20(1): 230.
85. Johnson H.W., Borthwick H.A. and Leffel R.C. 1960. Effects of Photoperiod and Time of Planting on Rates of Development of the Soybean in Various Stages of the Life Cycle. Bot. Gaz., 122: 77-95.
86. Kania J., Zając T., Śliwa J. 2016. Efektywność ekonomiczna uprawy soi i rzepaku w zachodniej części polski. Stowarzyszenie Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu Roczniki Naukowe, XVIII, 3, 1b33-138.
87. Kaw R. N., Menon P. M. 1972. Association between yield and components in soybeans. Indian J. Genetics and Plant Breeding: 32, 276-280.
88. Kim M.Y., Lee S., Van K., Kim T-H., Jeong S-C., Choi I-Y., Kim D-S., Lee Y-S., Park D., Ma J, et al. 2010. Whole-genome sequencing and intensive analysis of the undomesticated soybean (*Glycine soja* Sieb. and Zucc.) genome. Proc. Natl. Acad. Sci USA.; 107:22032-22037. [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar].

89. Kim M.Y., Van K., Kang Y.J., Kim K.H., Lee S-H. 2012, Tracing soybean domestication history: From nucleotide to genome. *Breed Sci.* 2012 Jan; 61(5): 445-452.
90. Kołodziej J., Pisulewska E., 2000. Wpływ czynników meteorologicznych na plon nasion i tłuszczu oraz zawartość tłuszczu w nasionach dwóch odmian soi. *Rośliny Oleiste/Oilseed Crops* 21, 759-776.
91. Kozak M., Černý I., Kotecki A. Malarz W., Serafin-Andrzejewska M. 2008a. Wpływ zróżnicowanej ilości wysiewu i biostymulatora Asahi SL na skład chemiczny nasion i resztek pozbiorowych soi uprawnej. *Rośliny Oleiste/Oilseed Crops*: 29, 217-230.
92. Koźmiński C., 1981. Temperatura gleby na głębokości 5 cm w Polsce. Akademia Rolnicza w Szczecinie. Instytut Uprawy i Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach, 1-76.
93. Kucharik Ch.J., Shawn Paul Serbin P.S. 2008. Impacts of recent climate change on Wisconsin corn and soybean yield trends. *Environmental Research Letters* 3(3): 10.
94. Kumar V., Rani A., Solanki S., and Hussain S.M. 2006. Influence of growing environment on the biochemical composition and physical characteristics of soybean seed. *J. Food Comp. Anal.* 19, 188–195. doi: 10.1016/j.jfca.2005.06.005.
95. Lityński A. 1957. Niektóre zagadnienia hodowlano-badawcze roślin oleistych w świetle badań krajowych. *Hod. Rośl. Aklim. Nas.*, 1 (2).
96. Lityński A. 1967. Dotychczasowe osiągnięcia w hodowli i uprawie soi oraz jej znaczenie w gospodarce narodowej. *Biul. IHAR*, 6, 29-41.
97. Liu X., Wu J., Ren H., Qi Y., Li C., Cao J., Zhang X., Zhang Z., Cai Z., Gai J. 2017. Genetic variation of world soybean maturity date and geographic distribution of maturity groups. 67(3): 221-232.
98. Liu K. 1997. *Soybeans Chemistry, Technology and Utilization*. New York: Chapman & Hall.
99. Lorenc-Kozik A.M., Pisulewska E., 2003. Wpływ zróżnicowanego nawożenia azotem i mikroelementami na plonowanie wybranych odmian soi. *Rośliny Oleiste*, 24, 131-142.

100. Lozovaya V.V., Lygina V., Ulanov A.V., Nelson R.L., Dayde J., Widholm J.M. 2005. Effect of temperature and soil moisture status during seed development on soybean seed isoflavone concentration and composition. *Crop Science*, 45, 1934-1940.
101. Ludwiczak J. 1989. Rachunkowość rolnicza. Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu, 49-53.
102. Łykowski B. 1984. Warunki klimatyczne rozwoju i plonowania soi w Polsce. *Rozprawy Naukowe i Monografie. SGGW Warszawa*, 5-84.
103. Mackiewicz Z. 1965. Uprawa soi. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 69.
104. Mackiewicz Z. 1954. Terminy siewu soi w Polsce. *Doniesienia o pracach naukowo-hodowlanych. Roczn. Nauk Roln.*, 69A (2), 295.
105. Mackiewicz Z. 1959. Krytyczne okresy wilgotnościowe w rozwoju soi. *Hod. Rośl. Aklim. Nas.*, 3 (4), 507–514.
106. Maestri D.M., Labuckas D.O., Meriles J.M., Lamarque A.L., Zygadlo J.A., and Guzman C.A. 1998. Seed composition of soybean cultivars evaluated in different regions. *J. Sci. Food Agric.* 77, 494–498. doi: 10.1002/(SICI)1097-0010(199808)77:4<494::AID-JSFA69>3.0.CO;2-B.
107. Major D.L., Johnson D.J., Tanner J.W., and Anderson I.C. 1975. Effects of day length and temperature on soybean development. *Crop Sci.* 15: 174-179.
108. McAlister D. F., Krober O. A. 1958. Response of soybeans to leaf and pod removal. *Agron. J.*: 50, 674-677.
109. Michałek S., Borowski E. 2006. Plonowanie oraz zawartość tłuszczu, kwasów tłuszczowych i białka w nasionach krajowych odmian soi w warunkach suszy. *Acta Agrophysica*, 8(2), 459-471.
110. Mota F.S. 1978. Soya bean and weather. *World Meteorological Organization*, XVI, 498, 64.
111. Mota F.S. 1973. Soybean and weather. *Tech. Not.*, 160, WMO no. 498, 64.
112. Mourtzinis S, Specht J.E., Lindsey L.E., Wiebold W.J., Ross J., Nafziger E.D., Kandel H.J., Mueller N., Devillez P.L., Arriaga F.J., Shawn P., Conley S.P. 2015. Climate-induced reduction in US-wide soybean yields underpinned by region- and in-season specific responses. *Nat. Plants* 2, 14026 (2015).

113. Mourtzinis S., Specht J.E., Conley S.P. 2019. Defining Optimal Soybean Sowing Dates across the US. Scientific Reports volume 9, Article number: 2800.
114. Mourtzinis S., Gaspar A., Naeve S., and Conley S.P. 2017. Planting Date, Maturity, and Temperature Effects on Soybean Seed Yield and Composition Agronomy Journal, 109, 5, 2040-2049.
115. Naeve S.L., and Huerd S.C. 2008. Year, region, and temperature effects on the quality of Minnesota's soybean crop. Agron. J. 100: 690–695. doi:10.2134/agronj2007.0204.
116. Nakasathien S., Israel D.W., Wilson R.F., and Kwanyuen P. 2000. Regulation of seed protein concentration in soybean by supra-optimal nitrogen supply. Crop Sci. 40, 1277–1284. doi: 10.2135/cropsci2000.4051277x.
117. Nawracała J. 2001. Efektywność kwitnienia zróżnicowanych genotypów soi (*Glycine max (L.) Merrill*) w warunkach środowiskowych Wielkopolski. Rośliny Oleiste, 22, 27-44.
118. Norman A.G. 1978. Soybean physiology, agronomy, and utilization. Academic Press, New York, p. 249.
119. Oplinger E.S, Philbrook B.D. 1992. Soybean planting date, row width, and seeding rate response in three tillage systems. Journal of Production Agriculture.; 5:94-99.
120. Osier R.L., Cartter J.H. 1954. Effect of planting date on chemical composition and growth characteristics of soybeans. Agronomy Journal, 46, 6, 267-270.
121. Pandey J. P., Torrie J. H. 1973. Path coefficient analysis of seed yield components in soybean. Crop Sci.: 13, 505-507.
122. Pasternakiewicz A., Dżugan M. 2009. Ocena zawartości podstawowych makroskładników w nasionach soi. Zeszyty Naukowe Południowo-Wschodniego Oddziału Polskiego Towarzystwa Inżynierii Ekologicznej z siedzibą w Rzeszowie i Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego Oddział w Rzeszowie, 1, 217–222.
123. Park K.Y., Oh S.K., Jeong B.C., Rho S.P. and Hong E.H. 1987. Effects of Planting Dates on Dry Matter Production and Ecological Characteristics of Soybeans in Southern Region of Korea. Korean J. of Crop Sci., 32: 409-41.
124. Patil G., Mian R., Vuong T., Pantalone V., Song Q., Chen P., Shannon G.J., Carter T.C., Nguyen H.T. 2017. Molecular mapping and genomics of soybean seed protein: a review and perspective for the future. Theor Appl Genet 130:1975-1997.

125. Pedersen P., 2004. Soybean growth and development. PM1945. Available at extension.agron.iastate.edu/soybean/documents/Soybean_growth_and_development.pdf (verified 11 Dec. 2007). Iowa State Univ. Ext., Ames.
126. Pedersen P., and Lauer J.G. 2003. Soybean agronomic response to management systems in the Upper Midwest. *Agron. J.* 95:1146-1151.
127. Pedersen P., and Lauer J.G. 2004a. Soybean growth and development in various management systems and planting dates. *Crop Sci.* 44:508-515.
128. Pedersen P., and Lauer J.G. 2004b. Response of soybean yield components to management system and planting date. *Agron. J.* 96:1372–1381.
129. Peng J.H., Sun D., Nevo E. 2011. Domestication evolution, genetics and genomics in wheat. *Mol Breed.*; 28:281–301 [Google Scholar].
130. Piper E.L., Boote K. J. 1999. Temperature and cultivar effects on soybean seed oil and protein concentrations. *Journal of the American Oil Chemists' Society*: 76 (10), 1233-124.
131. Pisulewska E., Lorenc-Kozik A., Borowiec F. 1998. Porównanie plonu, zawartości oraz składu kwasów tłuszczowych w pięciu aktualnie zarejestrowanych odmianach soi. *Rośliny Oleiste*, XIX (1): 97-104.
132. Pookpakdi, A. 1978. A study of growth and yield components of soybeans (*Glycine max (L.) Merrill*). Ph.D. Dissertation. Univ. of Missouri.
133. Polson D. E. 1972. Day-Neutrality in Soybeans. *Crop Science* 12, 6, 773.
134. Popovic V., Malesevic M., Miladinovic J., Maric V., Zivanovic L. 2013. Effect of agroecological factors on variations in yield, protein and oil contents in soybean grain. *Rom. Agric. Res.*, 30 (30), 241–247.
135. Prusiński J. 1987. Wpływ zaprawiania i wilgotności nasion na polową zdolność wschodów soi odmiany Progres. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*: 164, 125-131.
136. Prusiński J. 1997. Żywotność i wigor nasion roślin strączkowych w warunkach stresu chłodnowodnego. *Fragmenta Agronomica*: 4, 77-93.
137. Purcell L. & Specht J.E. 2004. In *Soybeans: Improvement, Production, and Uses 3rd edn* (eds Boemmer, H. R. & Specht, J. E.) 569–620 (American Society of Agronomy, 2004).

138. Pyzik J., Bobrecka-Jamro D., Rząsa B. 1987. Wpływ gęstości siewu na cechy morfologiczne wczesnych odmian i rodów soi w południowo-wschodnim rejonie Polski. *Biul. IHAR*: 164, 71-82.
139. Rao M.S. S., Mullinix B.G., Rangappa M., Cebert E., Bhagsari A.S., Sapra V.T., et al. 2002. Genotype \times environment interactions and yield stability of food-grade soybean genotypes. *Agron. J.* 94, 72-80. doi: 10.2134/agronj2002.0072.
140. Ren C., Bilyeu K. D., and Beuselinck P. 2009. Composition, vigor, and proteome of mature soybean seeds developed under high temperature. *Crop Sci.* 49, 1010-1022. doi: 10.2135/cropsci2008.05.0247.
141. Rinker K., Nelson R., Specht J., Sleper D., Cary T., Cianzio S.R., Casteel S., Conley S., Chen P., Davis V., Fox C., Graef G., Godsey C., Holshouser D., Jiang G-L., Kantartzi S.K., Kenworthy W., Lee C., Mian R., McHale L., Naeve S., Orf J., Poysa V., Schapaugh W., Shannon G., Uniatowski R., Wang D., Diers B. 2014. Genetic improvement of U.S. soybean in maturity groups II, III, and IV. *Crop Sci* 54:1419-1432.
142. Robinson A.P., Conley S.P., Volenec, J.J., and Santini J.B. 2009. Analysis of high yielding, early-planted soybean in Indiana. *Agron. J.* 101, 131–139. doi: 10.2134/agronj2008.0014x.
143. Rotundo J.L., and Westgate M.E. 2009. Meta-analysis of environmental effects on soybean seed composition. *Field Crops Res.* 110, 147-156. doi: 10.1016/j.fcr.2008.07.012.
144. Rotundo J.L., Miller J.E., and Naeve S.L. 2016. Regional and temporal variation in soybean seed protein and oil across the United States. *Crop Sci.* 56:797-808. doi:10.2135/cropsci2015.06.0394.
145. Rowntree S.C., Suhre J.J., Weidenbenner N.H., Wilson E.W., Davis V.M., Naeve S.L., Casteel S.N., Diers B.W., Esker P.D., Specht J.E., Conley S.P. 2013. Genetic Gain \times Management Interactions in Soybean: I. Planting Date. *Crop Sci.*, 53, 3, 1128-1138.
146. Runge E.C.A., Odell R.T. 1960. The relation between precipitation, temperature and the yield of soybeans on the Agronomy South Farm, Urbana, Illinois. *Agronomy Journal*, 52, 245-247.

147. Rutkowski A., Jankowski J. 2011. Białkowe bezpieczeństwo kraju, ze szczególnym uwzględnieniem żywienia zwierząt monogastrycznych w gospodarstwach agroturystycznych i tradycyjnych. *Przegląd Hodowlany.*, 79 (9), 9-11.
148. Schlenker W., Roberts M.J. 2008. Estimating the impact of climate change on crop yields: the importance of nonlinear temperature effects. NBER Working Paper No. 13799. <http://www.nber.org/papers/w13799.pdf>. Protokół dostępu: (11.12.2016).
149. Schlenker W., Roberts M.J. 2009. Nonlinear temperature effects indicate severe damages to U.S. crop yields under climate change. *National Academy of Sciences, PNAS*, 106 (37): 15594-15598.
150. Schnebly S.R., and Fehr W.R. 1993. Effect of years and planting dates on fatty acid composition of soybean genotypes. *Crop Sci.* 33: 716–719.
151. Schuster W., Jobehdar-Honarnejad R. 1976. Die Reaktion verschiedener Sojabohnensorten auf Photoperiode und Temperatur. *Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau*.
152. Scott W.O., and Aldrich S. R. 1970. *Modern Soybean Production*. 1st Ed. S & A Publ. Inc, Champaign, IL.
153. Sebastian S.A., Streit L.G., Stephens P.A., Thompson J.A., Hedges B.R., Fabrizius M.A., Soper J.F., Schmidt D.H., Kallem R.L., Hinds M.A., Feng L., Hoek J.A. 2010. Context-specific marker-assisted selection for improved grain yield in elite soybean populations. *Crop Sci* 50:1196-1206.
154. Shanmu-Gasundaram S., Tsou S.C.S. 1978. Photoperiod and critical duration for flower induction in soybean. *Crop Science*, 18, 4, 598-601.
155. Shroyer J.P. 1980. Soybean morphological characters and yield components as influenced by growth type, row spacing, population and planting date. *Retrospective Theses and Dissertations Iowa State University Capstones*, 1-187.
156. Sinclair T.R., Zwieniecki M.A. & Holbrook N.M. 2008. Low leaf hydraulic conductance associated with drought tolerance in soybean. *Physiol. Plant.* 132, 446-451.
157. Starkel L.M., Kundzewicz Z.W. 2008. „Konsekwencje zmian klimatu dla zagospodarowania przestrzennego kraju”. *Nauka* 1: 85-101.

158. Summerfield R.J., Lawn R.J., Qi A., Ellis R.H., Roberts E.H., Chay P.M., Brouwer J.B., Rose J.L., Shanmugasundaram S., Yeates S.J., and Sandover S. 1993. Towards the reliable prediction of time of flowering in six annual crops. II. Soybean (*Glycine max*). *Exp. Agric.* 29: 253-289.
159. Sypniewski J. 1986. Problemy uprawy roślin strączkowych w Polsce. *Fragmenta Agronomica*: 1, 29-36.
160. Szwejkowski Z., Dragańska E., Suchecki S. 2008. „Prognoza wpływu spodziewanego globalnego ocieplenia w roku 2050 na plonowanie roślin uprawnych w Polsce północno-wschodniej”. *Acta Agrophysica* 12 (3): 791-800.
161. Szyrmer J. 1968. Badania przebiegu wegetacji niektórych zagranicznych odmian soi w warunkach Polski. *Zesz. Nauk. SGGW, Rolnictwo*, 11, 165-173.
162. Szyrmer J. 1969a. Vlijanie srokov siewa na urożajnost i chemiczeskij sostav semjon różnych sortov soi. *Izv. Timir. Seichoz. Akadem*, nr 5, Moskwa, 73-79.
163. Szyrmer J. 1969b. Wpływ odmiany i zróżnicowanych warunków siedliska na plon nasion soi. *Zesz. Nauk. SGGW, Rolnictwo*, 12, 117-139.
164. Szyrmer J. 1971. Wpływ niektórych czynników środowiska i agrotechniki, na plon nasion soi oraz zawartość tłuszczu i jego jakość. *Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Rozprawy Naukowe*: 15, 99.
165. Szyrmer J. 1977. Selected results of research on soybean. *Hod. Rośl. Aklim. Nas.*, 21 (2), 165-170.
166. Szyrmer J., Federowska B. 1975. Kierunki badań i hodowli roślin soi. *Biul. IHAR*, 3-4, 3-7.
167. Szyrmer J., Szczepańska K. 1982. Screening of soybean genotypes for cold-tolerance during germination. *Z. Pflanzenzüchtg*, 88, 255-260.
168. Tang H., Sezen U., Paterson A.H. 2010. Domestication and plant genome. *Curr Opin Plant Biol.*;13:160-166. [PubMed] [Google Scholar].
173. Thomas J.M.G., Boote K.J., Allen L.H., Gallo-Meagher M., and Davis J.M. 2003. Elevated temperatures and carbon dioxide effects on soybean seed composition and transcript abundance. *Crop Sci.* 43:1548-1557. doi:10.2135/cropsci2003.1548.
174. Tsubokura Y., Watanabe S., Xia Z., Kanamori H., Yamagata H., Kaga A., Katayose Y., Abe J., Ishimoto M., Harada K. 2013. Natural variation in the genes responsible for maturity loci E1, E2, E3 and E4 in soybean. *Ann Bot.*;113(3):429-41.

175. Upadhyay A.P., Summerfield R.J., Ellis R.H., Roberts E.H., and Qi A. 1994. Variation in the duration of the photoperiod-sensitive phases of development to flowering among eight maturity isolines of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. *Ann. Bot. (London)* 74:97-101.
176. Uslu N., Esendal E. 1998. Response to inoculation and sowing date of soybean under Bafra Plain Conditions in the Northern Region of Turkey, *Tr. J. of Agriculture and Forestry* 22, 525-531.
177. Van K., Hwang E.Y., Kim M.Y., Kim Y-H., Cho Y-I., Cregan P.B., H S. 2004. Discovery of single nucleotide polymorphisms in soybean using primers designed from ESTs. *Euphytica.*;139: 147-157. [Google Scholar].
178. Wallace D.H., and Yan W. 1998. Plant breeding and whole crop systems, improving adaptation, maturity, and yield. CAB International, Wallingford, UK.
179. Wheeler T. R., Craufurd P. Q., Elis R. H., Porter J. R., Prasad P.V.V. 2000, Temperature variability and the yield of annual crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 82: 159-167.
180. Wilcox J.R., Cavins J.F. 1995. Backcrossing high seed protein to a soybean cultivar. *Crop Sci.* 35 1036–1041 10.2135/cropsci1995.0011183X003500040019x [CrossRef] [Google Scholar].
181. Wilcox J.R., and Frankenberger E.M. 1987. Indeterminate and determinate soybean responses to planting date. *Agron. J.* 79:1074-1078.
182. Wilson R.F. 2008. Soybean: market driven research needs. *Genetics and Genomics of Soybean*. In: Stacey G, editor. *Plant Genetics/Genomics*. Vol. 2. Springer;. pp. 3-15.
183. Wilson R.F. 2004. Seed composition. In: H.R. Boerma and J.E. Specht, editors, *Soybeans: Improvement, production, and uses*. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI. p. 621-677.
184. Wojtysiak A., Jasińska Z. 1959a. Wpływ ilości wysiewu i terminów siewu 3 odmian soi na zmienność plonów i skład chemiczny nasion. *Zesz. Nauk. WSR Wrocław*, nr 25, Rolnictwo.
185. Wojtysiak A., Jasińska Z. 1959b. Wpływ terminu siewu i rozstawy rzędów na wielkość i jakość plonów dwóch odmian soi. *Zesz. Nauk. WSR Wrocław*, nr 23, Rolnictwo VII, s. 19-31.

186. Wolf R.B., Cavins J.F., Kleiman R., and Black L.T. 1982. Effect of temperature on soybean seed constituents: Oil, protein, moisture, fatty acids, amino acids and sugars. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 59:230–232. doi:10.1007/BF02582182.
187. Woodward R.G., Begg J.E. 1976. The effect of atmospheric humidity on the yield and quality of soybean. *Aus. J. Agric. Res.* 27 (4), 501-508.
188. Woynarowska S. 1972. Soja. PWRiL, Warszawa, 91.
189. Yaklich R., and Vinyard B. 2004. A method to estimate soybean seed protein and oil concentration before harvest. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 81:1021-1027. doi:10.1007/s11746-004-1016-2.
190. Zalewski A., Piwowar A. 2018. Światowy rynek nawozów mineralnych z uwzględnieniem zmian cen surowców i bezpośrednich nośników energii. Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej – Państwowy Instytut Badawczy. 80 Monografie Programu Wieloletniego, Warszawa, 7-112.
191. Zhang L.X., Kyei-Boahen S., Zhang J., Zhang M.H., Fooreeland T.B., Watson C.E., Liu X. 2007. Modifications of Optimum Adaptation Zones for Soybean Maturity Groups in the USA Online. *Crop Management* doi:10.1094/CM-2007-0927-01-RS.