






Instytut Agroekologii i Produkcji Roślinnej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu,
pl. Grunwaldzki 24A, 50-365 Wrocław, Polska
*e-mail: marcin.kozak@upwr.edu.pl

MAŁGORZATA GNIADZIK-ZASAŃSKA , MARCIN KOZAK *,
ANNA WONDOŁOWSKA-GRABOWSKA 

Wpływ zróżnicowanej rozstawy rzędów i ilości wysiewu na rozwój i plonowanie soi (*Glycine max* (L.) Merrill). Cz. I. Rozwój i cechy morfologiczne soi

The effect of different row spacing and sowing amount on the development
and yielding of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). Part I. Development
and morphological features of soybean

Abstrakt. W latach 2015–2017 na polach doświadczalnych Instytutu Agroekologii i Produkcji Roślinnej Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu przeprowadzone zostały badania dotyczące wpływu zróżnicowanej rozstawy rzędów i ilości wysiewu na rozwój i plonowanie soi. W badaniach polowych zastosowano metodę split-plot, w czterech powtórzeniach, z dwoma czynnikami: I czynnik – zróżnicowana rozstawa rzędów (15 cm, 30 cm), II czynnik – zróżnicowana liczba wysiewanych nasion (50, 75, 90 nasion na 1 m²). Długość okresów wegetacyjnych soi uprawnej była kształtowana pod wpływem zmiennych warunków wilgotnościowo-termicznych. W badaniach czynnik zróżnicowanej rozstawy rzędów (15 cm, 30 cm) istotnie determinował: liczbę strąków płodnych, liczbę i masę nasion z rośliny, masę 1000 nasion. Wzrastająca liczba wysiewanych nasion soi z 50 do 90 sztuk na 1 m² powodowała istotny wzrost wysokości osadzenia pierwszego strąka, powodując jednocześnie stopniowe zmniejszanie liczby rozgałęzień pierwszego rzędu, liczby strąków na roślinie, liczby i masy nasion z rośliny oraz masy 1000 nasion.

Słowa kluczowe: soja, *Glycine max*, rozstawa rzędów, ilość wysiewu

Cytowanie: Gniadzik-Zasańska M., Kozak M., Wondołowska-Grabowska A., 2024. Wpływ zróżnicowanej rozstawy rzędów i ilości wysiewu na rozwój i plonowanie soi (*Glycine max* (L.) Merrill). Cz. I. Rozwój i cechy morfologiczne soi. *Agron. Sci.* 79(1), 41–59. <https://doi.org/10.24326/as.2024.5259>

WSTĘP

Wysoka wartość odżywcza nasion soi jest znana ludzkości od ponad 3700 lat. W ujęciu globalnym soję uprawia się głównie na potrzeby produkcji paszy i w przemyśle spożywczym. Wobec zwiększającej się liczby ludności na świecie, która w 2021 r. wynosiła 7,8 miliarda ludzi, a w 2050 r. osiągnie ok. 9,2 miliarda [Bongaarts 2009, Suzuki 2021], zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego staje się nadrzędnym celem wszystkich państw na świecie. Zainteresowanie soją jest spowodowane bogatym składem chemicznym nasion, w tym m.in. zawartością 35%–45% białka oraz 18%–22% tłuszczu [Medic i in. 2014, Natarajan 2014]. Białko soi zawiera wszystkie egzogenne aminokwasy, w przeważającej ilości lizynę, i ma znaczącą wartość biologiczną [Young i Pellett 1994, Lee i in. 2003, Popovic i in. 2012]. Zawartość tłuszczu (oleju) w nasionach soi uzależniona jest przede wszystkim od cech genetycznych odmiany i przebiegu warunków wilgotnościowo-termicznych w okresie jej wzrostu [Hou i in. 2006, Abdelghany i in. 2020]. Należy zauważyć, że soja zajmuje drugie miejsce na światowym rynku surowców wykorzystywanych do produkcji oleju, ustępując miejsca jedynie olejowcowi gwinejskiemu, zw. popularnie palmą olejową [Clemente i Cahoon 2009, Sultan i in. 2015, Taheripour i in. 2019]. W uprawie soi istotna jest odpowiednia architektura ładu, która prowadzi do minimalizacji konkurencji między roślinami i pozwala na maksymalizację wykorzystania dostępnych zasobów środowiska [Bellaloui i in. 2015]. Rozmieszczenie roślin w łanie istotnie determinuje wzrost, rozwój roślin i uzyskane plony nasion [De Bruin i Pedersen 2008, Sobko i in. 2019]. W warunkach dużego zagęszczenia, w porównaniu z niską obsadą, rośliny konkurują o dostęp do światła, co przyczynia się do wykształcenia mniejszej liczby rozgałęzień i/lub związania mniejszej liczby strąków [Toleikiene i in. 2021]. Wysokie zagęszczenie roślin na jednostce powierzchni determinuje również niższą masę wykształconych nasion i samej rośliny [Sichilima i in. 2018]. Właściwy rozkład przestrzenny roślin stanowi jeden z najbardziej istotnych czynników determinujących uzyskany plon nasion [Walker i in. 2010, Bellaloui i in. 2015].

Celem prowadzonych w latach 2015–2017 badań polowych była ocena wpływu zmiennej architektury ładu soi, kształtowanej przez zróżnicowaną rozstawę rzędów i liczbę wysianych nasion na 1 m², na rozwój i cechy morfologiczne soi uprawianej w warunkach agroekologicznych województwa dolnośląskiego. Przyjęta hipoteza robocza zakładała, że zróżnicowana architektura ładu oraz zmienne warunki wilgotnościowo-termiczne w latach prowadzenia badań wpłyną istotnie na kształtowanie rozwoju i cech morfologicznych roślin soi.

WARUNKI BADAŃ

Lokalizacja i warunki glebowe

Doświadczenia polowe zostały zrealizowane na polach doświadczalnych Instytutu Agroekologii i Produkcji Roślinnej Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, w latach 2015–2017. Pola doświadczalne zlokalizowane są w Ramiszowie (17°02'E, 51°31'N, 122 m n.p.m.) oddalonym o ok. 10 km od centrum Wrocławia.

Badania polowe zakładano na glebie klasyfikowanej jako gleba płowa opadowo-glejowa w rzędzie gleb płowoziemnych [Systematyka Gleb Polski 2019], wytworzona z gliny piaszczystej na glinie zwykłej, zaliczanej do drugiego kompleksu przydatności rolniczej –

pszennego dobrego, klasy bonitacyjnej III b. Każdego roku przed założeniem doświadczeń polowych pobierano próbki gleby zgodnie z normą [PN-R-04031:1997] w celu oznaczenia zawartości składników pokarmowych – potasu, magnezu, fosforu i pH gleby w 1 M KCl. W doświadczeniu zawartość fosforu w glebie w latach 2015 i 2016 była wysoka, natomiast w 2017 r. bardzo wysoka. Zasobność gleby w potas we wszystkich latach prowadzenia badań była średnia. Zawartość magnezu w glebie była zróżnicowana – w 2015 r. wysoka, w 2016 r. średnia, natomiast w 2017 r. bardzo wysoka. Odczyn gleby w latach 2015–2017 był kwaśny (tab. 1).

Tabela 1. Niektóre właściwości chemiczne gleby w latach 2015–2017
Table 1. Some chemical properties of soil in 2015–2017 years

Lata Years	Zawartość składników pokarmowych (mg·kg ⁻¹ gleby) Nutrients content (mg·kg ⁻¹ soil)			pH 1 M KCl
	P	K	Mg	
2015	77,8	159,8	81,3	5,9
2016	97,0	151,8	63,8	5,8
2017	70,3	141,4	115,9	5,6

Warunki klimatyczne i agrotechniczne

Ramiszów zlokalizowany jest w rejonie środkowej Odry. Długość okresu wegetacyjnego wynosi średnio 220–237 dni, a jego rozpoczęcie obserwowane jest w pierwszej dekadzie marca, natomiast zakończenie w pierwszej dekadzie listopada [Tomczyk i Szyga-Pluta 2016]. Wiosenne prace polowe rozpoczynane są w pierwszej lub drugiej dekadzie marca – w zależności od przebiegu warunków meteorologicznych [Kozmiński i Michalska 2001]. Soja odmiany ‘Merlin’ była wysiewana w każdym roku badań po przedplonie zbożowym, którym była pszenica ozima. Siew nasion soi wykonano siewnikiem poletkowym Tool Carrier 2700 produkcji Wintersteiger na głębokość 3–4 cm. W 2015 r. jedynym dopuszczonym w Polsce preparatem herbicydowym do stosowania w uprawie soi był Sencor Liquid 600 SC (s.a. metrybuzyna), który został użyty do ograniczenia występującego zachwaszczenia w dawce 0,55 dm³·ha⁻¹. W kolejnych latach badań liczba środków ochrony roślin dopuszczonych do stosowania w Polsce w uprawie soi uległa stopniowemu zwiększeniu. W 2016 r. zastosowano przedwschodowo Afalon Dyspersyjny 450 SC (s.a. linuron) – 1,5 dm³·ha⁻¹ oraz powschodowo Corum 502,4 SL (s.a. bentazon, imazamoks) – 1,5 dm³·ha⁻¹ + Dash HC (s.a. oleinian metylu, alkohol tłuszczowy) – 0,6 dm³·ha⁻¹. W 2017 r. aplikowano przedwschodowo Boxer 800 EC (s.a. prosulfokarb) – 4,0 dm³·ha⁻¹ i dwukrotnie powschodowo dzieloną dawkę Corum 502,4 SL – 0,62 dm³·ha⁻¹ + Dash HC – 0,3 dm³·ha⁻¹ (25.05.2017 r. i 9.06.2017 r.).

Rozwój roślin soi na tle warunków termiczno-wilgotnościowych

Warunki pogodowe w poszczególnych latach badań (tab. 2–4) były zróżnicowane i miały znaczący wpływ na rozwój i cechy morfologiczne soi. W celu uzupełnienia charakterystyki warunków pogodowych w okresie wegetacji soi, w latach badań, posłużono

się hydrotermicznym wskaźnikiem Sielianinowa $K = 10P / \sum t$ [Molga 1980, 1986, Radomski 1987], przyjmując 11 przedziałów dla K : $<0,3$ – skrajnie suchy, $0,31 \div 0,5$ – bardzo suchy, $0,51 \div 0,7$ – suchy, $0,71 \div 0,9$ – dość suchy, $0,91 \div 1,0$ – umiarkowanie suchy, $1,01 \div 1,2$ – przeciętny, $1,21 \div 1,5$ – optymalny, $1,51 \div 1,9$ – dość wilgotny, $1,91 \div 2,4$ – wilgotny, $2,41 \div 3,0$ – bardzo wilgotny, $>3,1$ skrajnie wilgotny. Ponadto przeprowadzono klasyfikację warunków termicznych w poszczególnych latach badań według metody zaproponowanej przez Miętusa i in. [2002]. Podstawę tej klasyfikacji stanowi szereg empirycznych kwantyli średniej dobowej temperatury powietrza w danym miesiącu wyznaczonych dla lat 2015, 2016, 2017. Pełen zakres zmienności średniej temperatury powietrza w danym miesiącu w Ramiszowie został podzielony na 11 przedziałów kwantylowych według schematu: ekstremalnie ciepły, anomalnie ciepły, bardzo ciepły, ciepły, lekko ciepły, normalny, lekko chłodny, chłodny, bardzo chłodny, anomalnie chłodny, ekstremalnie chłodny.

Do opisu fazy rozwojowych roślin soi wykorzystano skalę BBCH [Witzenberger i in. 1989]. W 2015 r. siew soi został wykonany 22.04.2015 r. (tab. 5). Warunki termiczne były korzystne dla szybkiego kiełkowania nasion i wschodów roślin. Niestety opady w drugiej dekadzie kwietnia kształtowały się na znikomym poziomie 0,4 mm, a w trzeciej dekadzie wyniosły tylko 4,6 mm przy średniej temperaturze powietrza 11,8°C, co spowodowało stopniowe rozpoczęcie długiego okresu niedoboru wilgoci (tab. 2). Dodatkowo średnia temperatura powietrza w kwietniu wynosiła 8,9°C, co było początkowo korzystne dla szybkiego rozwoju roślin (tab. 2). Początek wschodów roślin został odnotowany 30.04.2015 r., tj. 8 dni od siewu (tab. 5), a pełnię fazy wschodów zaobserwowano 5.05.2015 r. Pierwsza para liści jednolistkowych (zarodkowych) została wykształcona 9.05.2015 r., w warunkach narastających niedoborów opadów, tj. przy średniej temperaturze powietrza w pierwszej dekadzie miesiąca wynoszącej 13,2°C i opadach 15,1 mm. Dalsze niedobory wilgoci (tab. 2) zaobserwowano w drugiej i trzeciej dekadzie maja (opady odpowiednio 5,8 mm i 0,1 mm) przy zbliżonych do wielolecia wartościach temperatury powietrza (13,1°C i 14,0°C). Pierwszy liść trójlistkowy zaobserwowano (faza listnienia właściwego) 15.05.2015 r. (tab. 5), wykształcenie drugiego–trzeciego liścia trójlistkowego (właściwego) – 20.05.2015 r., natomiast rozwój czwartego liścia właściwego stwierdzono 25.05.2015 r.

W czerwcu 2015 r. odnotowano zwiększone opady na poziomie 73,3 mm, które przyczyniły się do poprawienia bilansu wodnego w glebie. Temperatura powietrza w tym okresie zbliżona była do średniej z wielolecia, co korzystnie wpływało na rozwój kolejnych liści. Soja osiągnęła fazę piątego–szóstego liścia trójlistkowego 12.06.2015 r., a 16.06.2015 r. zaobserwowano pojawienie się fazy szóstego–siódmego liścia (tab. 2 i 5).

Faza pąkowania soi w 2015 r. rozpoczęła się w 58. dniu po siewie, a początek fazy kwitnienia odnotowano 23.06.2015 r. (tab. 5). Pełnię fazy kwitnienia zaobserwowano w pierwszej dekadzie lipca, co przypadało na okres wysokiej temperatury powietrza oraz stopniowo zmniejszających się opadów. Doprowadziło to w efekcie do powstania drugiego okresu z silnymi niedoborami opadów w rozwoju soi w 2015 r. Wykształcenie dolnych strąków oraz kwitnienie górnych kwiatów odnotowano 16.07.2015 r. Z kolei pojawienie się strąków w środkowej części rośliny – 21.07.2015 r., a w części wierzchołkowej rośliny – 30.07.2015 r., co przypadało na okres wysokiej temperatury powietrza (średnio 19,6°C) oraz niewielkich opadów na poziomie 6,2 mm (tab. 2 i 5).

Tabela 2. Warunki meteorologiczne w 2015 r.
Table 2. Meteorological conditions on 2015

Dekada Decade	Miesiąc/Month											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Temperatura/Temperature (°C)												
I	1,9	-0,3	4,7	4,8	13,2	17,9	21,1	24,3	15,4	10,6	7,1	6,3
II	4,0	1,4	5,0	10,1	13,1	16,3	20,2	23,4	17,1	6,5	9,7	4,5
III	1,0	3,9	6,3	11,8	14,0	15,7	19,6	20,4	12,8	8,1	1,8	5,4
Średnie miesięczne Mean of month	2,3	1,5	5,4	8,9	13,5	16,6	20,3	22,7	15,1	8,4	6,2	5,4
Średnie wieloletnie Mean of multiyears (1985–2014)	-0,53	0,27	3,7	9,2	14,4	17,1	19,3	18,6	13,8	9,2	4,3	0,84
Kwantylna kla- syfikacja termiczna Quantile thermal classification	bardzo chłodny very cool	ciepły warm	ciepły warm	normalny normal	chłodny cool	normalny normal	ciepły warm	bardzo ciepły very warm	ciepły warm	chłodny	ciepły warm	bardzo ciepły very warm
Opady/Precipitation (mm)												
I	33,8	14,6	1,4	10,8	15,1	14,9	11,5	–	16,4	–	4,5	8,8
II	5,0	0,10	8,6	0,4	5,8	29,3	37,9	1,8	6,8	17,2	34,4	12,5
III	7,2	0,90	29,5	4,6	0,1	29,1	6,2	3,8	–	2,8	13,5	2,7
Sumy miesięczne Sum of month	46,0	15,6	39,5	15,8	21,0	73,3	55,6	5,6	23,2	20,0	52,4	24,0
Średnie wieloletnie Mean of multiyears (1985–2014)	31,3	27,7	36,8	30,5	51,3	59,5	78,9	61,7	45,3	34,9	38,4	36,5
Współczynnik Sielaninowa Sielianinow's coefficient	skrajnie wilgotny extremely humid	skrajnie wilgotny extremely humid	skrajnie wilgotny extremely humid	suchy dry	Bardzo suchy very dry	optymalny optimum	dość suchy quite dry	skrajnie suchy extremely dry	suchy dry	dość suchy quite dry	bardzo wilgotny extremely humid	skrajnie suchy extremely dry

Tabela 3. Warunki meteorologiczne w 2016 r.
Table 3. Meteorological conditions on 2016

Dekada Decade	Miesiąc/Month											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Temperatura/Temperature (°C)												
I	-5,0	6,1	2,6	9,8	13,1	18,1	18,5	18,6	18,8	9,7	4,1	2,3
II	-1,8	2,4	3,2	9,5	13,6	17,0	18,6	17,0	17,5	8,1	3,2	0,6
III	2,8	2,9	6,7	6,7	18,8	20,8	21,2	18,2	13,0	7,7	3,0	0,8
Średnie miesięczne Mean of month	-1,2	3,8	4,3	8,7	15,3	18,6	19,5	17,9	16,4	8,5	3,4	1,2
Średnie wieloletnie Mean of multiyars 1985–2014	-0,5	0,3	3,7	9,2	14,4	17,1	19,3	18,6	13,8	9,2	4,3	0,8
Kwantylna klasyfikacja termiczna Quantile thermal classification	ciepły warm	bardzo ciepły very warm	normalny normal	chłodny cool	ciepły warm	ciepły warm	normalny normal	chłodny cool	bardzo ciepły very warm	chłodny cool	chłodny cool	normalny normal
Opady/Precipitation (mm)												
I	10,2	8,0	19,2	25,1	2,5	1,0	24,0	6,6	7,7	60,0	16,3	–
II	11,8	19,5	10,5	13,4	0,4	25,5	75,4	1,1	37,0	13,5	15,6	14,6
III	11,4	28,7	26,2	7,9	2,4	18,1	14,9	19,4	–	10,3	4,4	7,4
Sumy miesięczne Sum of month	33,4	56,2	55,9	46,4	5,3	44,6	114,3	27,1	44,7	83,8	36,3	36,1
Średnie wieloletnie Mean of multiyars 1985–2014	31,3	27,72	36,8	30,5	51,3	59,5	78,9	61,7	45,3	34,9	38,4	36,5
Współczynnik Sielaninowa Sielianinow's coefficient	skrajnie suchy extremely dry	skrajnie wilgotny extremely humid	skrajnie wilgotny extremely humid	dość wilgotny quite humid	skrajnie suchy extremely dry	dość suchy quite dry	Dość wilgotny quite humid	bardzo suchy very dry	umiarkowanie suchy moderately dry	skrajnie wilgotny extremely humid	skrajnie wilgotny extremely humid	skrajnie wilgotny extremely humid

Tabela 4. Warunki meteorologiczne w 2017 r.
Table 4. Meteorological conditions on 2017

Dekada Decade	Miesiąc/Month											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Temperatura/Temperature (°C)												
I	-4,9	-2,0	6,2	11,0	9,4	17,2	18,2	22,1	14,7	10,9	7,7	2,4
II	-2,2	-0,4	5,4	6,1	16,0	18,1	18,6	18,9	12,8	13,4	4,4	1,8
III	-3,0	6,2	8,6	6,7	17,0	20,0	20,0	17,5	12,2	11,8	4,4	4,3
Średnie miesięczne Mean of month	-3,4	0,9	6,8	7,9	14,2	18,5	19,0	19,4	13,3	12,0	5,5	2,9
Średnie wieloletnie Mean of multiyars (1985–2014)	-0,5	0,3	3,7	9,2	14,4	17,1	19,3	18,6	13,8	9,2	4,3	0,8
Kwantylna klasyfikacja termiczna Quantile thermal classification	bardzo ciepły very warm	ciepły warm	bardzo ciepły very warm	chłodny cool	normalny normal	ciepły warm	normalny normal	ciepły warm	chłodny cool	bardzo ciepły very warm	ciepły warm	bardzo ciepły very warm
Opady/Precipitation (mm)												
I	5,7	4,4	9,8	14,2	13,9	0,5	43,0	6,9	35,4	32,1	6,0	3,7
II	8,0	6,2	19,8	13,8	0,9	0,1	0,9	35,7	12,7	1,2	12,7	6,1
III	3,2	13,6	1,5	29,0	9,3	51,9	68,3	1,0	17,6	38,1	9,7	19,8
Sumy miesięczne Sum of month	16,9	24,2	31,1	57,0	24,1	52,5	112,2	43,6	65,7	71,4	28,4	29,6
Średnie wieloletnie Mean of multiyars (1985–2014)	31,27	27,72	36,77	30,5	51,3	59,5	78,9	61,7	45,3	34,90	38,36	36,45
Współczynnik Sielaninowa Sielianinow's coefficient	skrajnie suchy extremely dry	skrajnie wilgotny extremely humid	optymalny optimum	bardzo wilgotny very humid	suchy dry	umiarkowanie suchy moderately dry	wilgotny humid	dość suchy quite dry	dość wilgotny quite humid	wilgotny humid	dość wilgotny quite humid	skrajnie wilgotny extremely humid

Tabela 5. Rozwój soi odmiany Merlin w 2015 r.
Table 5. Growth of Merlin cultivar soybean in 2015

Faza rozwojowa Development stages	Skala BBCH BBCH scale	Data początku fazy Starting dates of stages	Liczba dni od siewu Number of days since sowing
Siew Sowing	00	22.04.2015	–
Wschody Emergence	10	30.04.2015	8
Pierwsza para liści jednolistkowych First pair of single-leaf leaves	11	9.05.2015	17
Pierwszy liść trójlistkowy First trifoliate leaf	12	15.05.2015	23
Pąki kwiatowe na pędzie głównym Flower buds on the main shoot	51	19.06.2015	58
Początek kwitnienia Beginning of flowering	61	23.06.2015	62
Pełnia kwitnienia Flowering	65	7.07.2015	73
Koniec kwitnienia End of flowering	69	15.07.2015	83
Prawie wszystkie strąki osiągnęły typową długość Almost all pods have reached their typical length	79	3.08.2015	100
Pierwszy dojrzały strąk, nasiona typowej barwy, suche i twarde First ripe pod, seeds of typical color, dry and hard	80	24.08.2015	121
Większość strąków dojrzałych, nasiona typowej barwy, suche i twarde Most of the pods are ripe, seeds of typical color, dry and hard	89	30.08.2015	127
Zebrałe nasiona, okres spoczynku Harvested seeds, dormant period	99	3.09.2015	131

Sierpień, w którym najczęściej na roślinach soi dochodzi do zawiązywania się strąków oraz wypełniania ich nasionami, był w 2015 r. okresem głębokiej suszy – suma opadów wyniosła tylko 5,6 mm, podczas gdy średnia z wielolecia kształtowała się na poziomie 61,7 mm (tab. 2).

Początek dojrzałości zielonej soja osiągnęła 6.08.2015 r., a pełnię tej fazy 9.08.2015 r. Niekorzystne warunki wilgotnościowo-termiczne (susza) miały ujemny wpływ na wypełnianie strąków nasionami i były przyczyną przyspieszonego dojrzewania roślin soi. Początek dojrzałości pełnej odnotowano po 127 dniach od siewu, tj. 30.08.2015 r. Zbiór soi wykonano w okresie dojrzałości pełnej 3.09.2015 r. (tab. 2). W czasie zbioru obserwowano pękanie niektórych strąków wywołane bardzo silną suszą. Pękanie i osypywanie nasion nie jest cechą typową dla strąków soi, które posiadają mocny szew łączący obie strączyny. Właściwość ta w latach o normalnym przebiegu warunków wilgotnościowo-termicznych zapobiega pękaniu i osypywaniu się nasion ze strąków przed zbiorem kombajnowym i w jego czasie.

W 2016 r. siew soi wykonano 25 kwietnia w okresie korzystnych warunków wilgotnościowo-termicznych (tab. 3 i 6), co wpłynęło na szybkie kiełkowanie nasion i równomierne wschody roślin (6.05.2016 r.). Układ warunków termicznych w całym okresie wegetacji był korzystny dla wzrostu i rozwoju roślin. Od czerwca do września 2016 r. średnia temperatura powietrza była wyższa od wielolecia, średnio od 0,2°C do 2,6°C. Wyjątek stanowił sierpień, w którym średnia miesięczna temperatura powietrza była niższa o 0,7°C od średniej z wielolecia. W trzeciej dekadzie kwietnia 2016 r. suma opadów wynosiła 7,9 mm, a w całym miesiącu maju opady wyniosły tylko 5,3 mm i były o 46 mm niższe niż w wieloleciu 1985–2014. Spowodowało to rozpoczęcie długotrwałego okresu niedoborów opadów, który trwał aż do drugiej dekady czerwca (tab. 3). Deficyt opadów spowodował skrócenie okresu rozwoju wegetatywnego roślin i przyspieszenie rozwoju generatywnego.

Pierwsza para liści jednolistkowych (zarodkowych) wykształciła się 11.05.2016 r., a pierwszy liść trójlistkowy (właściwy) zaobserwowano na początku trzeciej dekady maja (tab. 6). Pojawienie się trzeciego–czwartego liścia właściwego odnotowano 3.06.2016 r. Poprawa warunków wilgotnościowych nastąpiła w drugiej i trzeciej dekadzie czerwca (opady odpowiednio 25,5 mm i 18,1 mm) oraz w lipcu (suma opadów wyższa o 35,4 mm niż w wieloleciu). Początek fazy kwitnienia zaobserwowano 13.06.2016 r. i trwała ona do 15.07.2016 r. Od drugiej dekady lipca 2016 r. soja wykształcała kolejne strąki, które stopniowo wypełniały się nasionami. Okres zawiązywania i wypełniania strąków nasionami trwał do końca sierpnia. Sierpień 2016 r. charakteryzował się niekorzystnym układem warunków termiczno-wilgotnościowych. Suma opadów w całym miesiącu wyniosła 27,1 mm i była niższa o 34,6 mm od sumy z wielolecia. Spowodowało to rozpoczęcie drugiego okresu niedoborów wilgoci dla soi (tab. 3). Pierwsza dekada września cechowała się wysoką średnią temperaturą powietrza 18,8°C i niską sumą opadów (7,7 mm), co stworzyło dogodne warunki do dojrzewania nasion w strąkach. Nie zaobserwowano jednak, jak w 2015 r., zjawiska pęknięcia strąków i osypywania się nasion. Zbiór soi został wykonany jednoetapowo 12.09.2016 r (tab. 6).

Tabela 6. Rozwój soi odmiany Merlin w 2016 r.
Table 6. Growth of Merlin cultivar soybean in 2016

Faza rozwojowa Development stages	Skala BBCH BBCH scale	Data początku fazy Starting dates of stages	Liczba dni od siewu Number of days since sowing
Siew Sowing	00	25.04.2016	–
Wschody Emergence	10	6.05.2016	11
Pierwsza para liści jednolistkowych First pair of single-leaf leaves	11	11.05.2016	16
Pierwszy liść trójlistkowy First trifoliolate leaf	12	21.05.2016	26
Pąki kwiatowe na pędzie głównym Flower buds on the main shoot	51	8.06.2016	44
Początek kwitnienia Beginning of flowering	61	13.06.2016	49
Pełnia kwitnienia Flowering	65	20.06.2016	56
Koniec kwitnienia End of flowering	69	15.07.2016	81
Prawie wszystkie strąki osiągnęły typową długość Almost all pods have reached their typical length	79	20.08.2016	117
Pierwszy dojrzały strąk, nasiona typowej barwy, suche i twarde First ripe pod, seeds of typical color, dry and hard	80	4.09.2016	132
Większość strąków dojrzałych, nasiona typowej barwy, suche i twarde Most of the pods are ripe, seeds of typical color, dry and hard	89	10.09.2016	138
Zebrałe nasiona, okres spoczynku Harvested seeds, dormant period	99	12.09.2016	140

Tabela 7. Rozwój soi odmiany Merlin w 2017 r.
Table 7. Growth of Merlin cultivar soybean in 2017

Faza rozwojowa Development stages	Skala BBCH BBCH scale	Data początku fazy Starting dates of stages	Liczba dni od siewu Number of days since sowing
Siew Sowing	00	25.04.2017	–
Wschody Emergence	10	9.05.2017	14
Pierwsza para liści jednolistkowych First pair of single-leaf leaves	11	15.05.2017	20
Pierwszy liść trójlistkowy First trifoliolate leaf	12	19.05.2017	24
Pąki kwiatowe na pędzie głównym Flower buds on the main shoot	51	17.06.2017	53
Początek kwitnienia Beginning of flowering	61	21.06.2017	57
Pełnia kwitnienia Flowering	65	3.07.2017	69
Koniec kwitnienia End of flowering	69	15.07.2017	81
Prawie wszystkie strąki osiągnęły typową długość Almost all pods have reached their typical length	79	16.08.2017	113
Pierwszy dojrzały strąk, nasiona typowej barwy, suche i twarde First ripe pod, seeds of typical color, dry and hard	80	6.09.2017	134
Większość strąków dojrzałych, nasiona typowej barwy, suche i twarde Most of the pods are ripe, seeds of typical color, dry and hard	89	20.09.2017	148
Zebrane nasiona, okres spoczynku Harvested seeds, dormant period	99	29.09.2017	157

W 2017 r. siew soi wykonano w terminie 25.04. (tab. 7). Warunki wilgotnościowe (tab. 4) w kwietniu nie były korzystne dla początkowego rozwoju soi. Suma opadów w kwietniu 2017 r. wyniosła 57,0 mm i była wyższa o 27,2 mm od sumy z wielolecia. W trzeciej dekadzie kwietnia średnia temperatura powietrza wynosiła 6,7°C, a w pierwszej dekadzie maja 9,4°C, co w połączeniu z wysoką sumą opadów opóźniło kiełkowanie nasion i wschody roślin. W maju obserwowano z kolei deficyt opadów, gdyż suma opadów wynosiła 24,1 mm, co w odniesieniu do średnich wartości z wielolecia było wartością niższą o 27,2 mm. Dodatkowo pierwsza i druga dekada czerwca 2017 r. cechowały się niewielkimi opadami – odpowiednio 0,5 mm i 0,1 mm, co pogłębiło efekt niedoboru wilgoci dla roślin. Pełnię fazy wschodów odnotowano 9.05.2017 r., a pojawienie się pierwszej pary liści jednolistkowych (zarodkowych) zauważono 15.05.2017 r. (tab. 7). Pierwszy liść trójlistkowy (właściwy) pojawił się 19.05.2017 r., drugi–trzeci liść właściwy 25.05.2017 r., a trzeci–czwarty liść właściwy 7.06.2017 r. Postępujący niedobór wilgoci glebowej (tab. 4) został zniwelowany wysokimi opadami dopiero w trzeciej dekadzie czerwca (51,9 mm) i w lipcu (miesięczna suma opadów 112,2 mm). Początek fazy kwitnienia odnotowano 21.06.2017 r., a jej zakończenie 15.07.2017 r. (tab. 7). 7.07.2017 r. odnotowano na polu doświadczalnym wystąpienie silnego gradobicia, które w znaczący sposób uszkodziło rośliny. Częściowemu uszkodzeniu uległy wierzchołki pędów, kwiatostany, blaszki liściowe oraz dolne strąki. Sierpień charakteryzował się wysoką średnią temperaturą powietrza (19,4°C) i jednocześnie niższą sumą opadów o 18,1 mm niż dla tego miesiąca w wieloleciu, co skutkowało kolejnym niedoborem wilgoci glebowej. Wysokie sumy opadów w pierwszej dekadzie września (35,4 mm) wydłużyły dojrzewanie roślin i opóźniły termin zbioru. Soję zebrano 29.09.2017 r. (tab. 7).

METODYKA BADAŃ

Doświadczenia polowe założono jako dwuczynnikowe w układzie split-plot, w czterech powtórzeniach. Czynnikiem badawczymi były zróżnicowana rozstawa rzędów (15 cm, 30 cm) oraz wzrastająca liczba wysiewanych nasion na 1 m² (50, 70, 90 szt.). Powierzchnia pojedynczego poletka do siewu wynosiła 16,5 m² (1,5 m × 11 m), a do zbioru odpowiednio 15,0 m² (1,5 m × 10 m). Przed zbiorem soi na 10 losowo wybranych roślinach z każdego poletka doświadczalnego oceniono następujące cechy: wysokość roślin (cm), wysokość osadzenia pierwszego strąka (cm), liczbę rozgałęzień pierwszego rzędu (szt.), liczbę strąków na roślinie (szt.), liczbę nasion z jednej rośliny (szt.), masę nasion z jednej rośliny (g), masę nasion w jednym strąku (g), masę strączy z jednej rośliny (g), masę łodyg z jednej rośliny (g). Masę 1000 nasion (g) obliczono z czterech losowo wydzielonych prób nasion (4 × 100 szt.) wg ISTA [2006]. Syntezę wyników przeprowadzono po zakończeniu trzyletnich eksperymentów polowych. Analizę wariancji (ANOVA) wykonano zgodnie z metodyką doświadczeń polowych w układzie split-plot [Elandt 1964]. Uzyskane wyniki oceniono testem t-Studenta za pomocą NIR (najmniejsza istotna różnica) przy poziomie ufności P = 0,05. Do obliczeń statystycznych wykorzystano programy: AWA [Bartkowiak 1978], Statistica 13.3 PL oraz Microsoft Excel.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Spośród ocenianych cech morfologicznych soi współdziałanie badanych czynników wywarło istotny wpływ na wysokość roślin przed zbiorem (tab. 8). Najwyższe rośliny soi przed zbiorem uzyskano w uprawie w rozstawie rzędów 15 cm przy wysiewie 90 nasion na 1 m² oraz w rozstawie rzędów 30 cm przy wysiewie 70 nasion na 1 m². Jednakże nie odnotowano istotnego wpływu zróżnicowanej rozstawy rzędów na wysokość roślin przed zbiorem, wysokość osadzenia pierwszego strąka oraz liczbę rozgałęzień pierwszego rzędu (tab. 8). Wpływ zwiększanej liczby wysianych nasion na 1 m² na wysokość roślin, wysokość osadzenia pierwszego strąka oraz liczbę rozgałęzień pierwszego rzędu ma związek z większą konkurencją roślin na mniejszej dostępnej powierzchni do wzrostu i rozwoju. Przy wysiewie 90 nasion na 1 m² wysokość roślin była o 2,0 cm (2,99%) wyższa od wysokości roślin przy wysiewie 50 szt. na 1 m². Wysokość osadzenia pierwszego strąka, w wyniku zwiększenia liczby wysiewanych nasion na 1 m², również wzrosła – przy 50 nasionach na 1 m² wysokość ta wynosiła 8,8 cm, a przy 90 nasionach – 12,2 cm (wzrost o 38,6%). Wysokość osadzenia pierwszego strąka przy liczbie wysiewu 70 szt. na 1 m² wynosiła 10,5 cm. Wysokość osadzenia pierwszego strąka ma duże znaczenie ekonomiczne ze względu na ryzyko powstawania strat plonu nasion podczas zbioru, wynikających z uszkodzeń dolnych strąków przez zespół tnący kombajnu zbożowego. Według badań Kang i in. [2017], Ribeiro i in. [2017], Beiküfner i in. [2019] optymalna wysokość osadzenia pierwszego strąka produkcyjnego soi powinna mieścić się w zakresie 10–14 cm, co w badaniach własnych uzyskano przy liczbie wysiewu 70 i 90 nasion na 1 m² (tab. 8).

Średnia liczba rozgałęzień pierwszego rzędu w trzyleciu badawczym wyniosła 1,60 szt. Wraz ze zwiększaniem liczby wysiewanych nasion na 1 m² ulegała zmniejszeniu liczba rozgałęzień pierwszego rzędu. Największą liczbę rozgałęzień (2,0 szt.) uzyskano przy najmniejszej liczbie wysianych nasion soi (50 szt. na 1 m²), co potwierdza fakt, iż rośliny posiadające większą przestrzeń do rozwoju charakteryzują się dużą zdolnością do tworzenia rozgałęzień bocznych [Worku i Astatkie 2015]. Architektura łanu ma zatem istotny wpływ na cechy morfologiczne roślin soi. Przy bardziej gęstym siewie rośliny są większe oraz osadzają wyżej pierwszy strąk produkcyjny. W ciepłym i dość wilgotnym 2015 r. rośliny osiągnęły największą wysokość (74 cm) i były one wyższe o 21,6% w porównaniu z roślinami w 2017 r., również suchym, ale o niższej sumie temperatury w okresie wegetacji. Wyższe osadzenie pierwszego strąka uzyskano w latach 2016 i 2017, średnio o 0,6 cm. Największą liczbę rozgałęzień pierwszego rzędu osiągnięto w ciepłym 2016 r. o optymalnej sumie opadów w okresie wegetacyjnym (tab. 8).

Średnio w trzyleciu badane czynniki oraz ich współdziałanie wywierały istotny wpływ na liczbę strąków płodnych i liczbę nasion z rośliny (tab. 8). W trzyletnim doświadczeniu rośliny zawiązywały średnio ok. 18,83 strąków. Największą liczbę strąków na roślinie odnotowano w uprawie soi wysiewanej w rozstawie rzędów 30 cm, przy wysiewie 50 nasion na 1 m². Z kolei liczba strąków i liczba nasion z rośliny malały wraz ze wzrostem zagęszczenia roślin na 1 m². Sichilima i in. [2018] wykazali różnice odmianowe w reakcji na wzrost gęstości siewu, która spowodowała m.in. zmniejszenie na roślinie liczby rozgałęzień, strąków i nasion. W ciepłym 2015 r. soja zawiązała o 24,9% mniej strąków i pozyskano 40% mniej nasion z rośliny niż w 2016 r. Liczba nasion w strąku w 2015 r. była niższa odpowiednio o 19% i 23% w porównaniu z kolejnymi latami badań.

Tabela 8. Cechy morfologiczne roślin soi przed zbiorem (średnie dla współdziałania, czynników i lat)

Table 8. Morphological features of soybean plants before harvest (means for factor interaction, means for factors and years)

Czynniki doświadczenia Experiment factors		Cechy morfologiczne Morphological features		
rozstawa rzędów row spacing	liczba nasion (szt.·m ⁻²) number of seeds (pcs.·m ⁻²)	wysokość roślin height of plants (cm)	wysokość osadzenia pierwszego strąka height to the first pod (cm)	liczba rozgałęzień pierwszego rzędu (szt.) number of first branches (pcs.)
15 cm	50	65	8,9	2,0
	70	66	10,4	1,7
	90	69	11,9	1,1
30 cm	50	64	8,8	2,0
	70	68	10,6	1,6
	90	66	12,4	1,1
NIR/LSD ($\alpha = 0,05$)		1,7	r.n.	r.n.
Średnie dla czynników i lat/ Means for factors and years				
Rozstawa rzędów Row spacing	15 cm	67	10,4	1,6
	30 cm	66	10,6	1,6
NIR/LSD ($\alpha = 0,05$)		r.n.	r.n.	r.n.
Liczba nasion (szt.·m ⁻²) Number of seeds (pcs.·m ⁻²)	50	65	8,8	2,0
	70	67	10,5	1,7
	90	67	12,2	1,1
NIR/LSD ($\alpha = 0,05$)		1,3	0,36	0,14
Lata Years	2015	74	10,1	1,5
	2016	68	10,7	1,9
	2017	57	10,7	1,3
NIR/LSD ($\alpha = 0,05$)		1,2	0,29	0,13
15 cm	50	23,0	45,2	1,9
	70	19,0	38,4	2,0
	90	15,3	31,9	2,1
30 cm	50	24,4	45,4	1,8
	70	16,7	35,2	2,1
	90	14,8	28,1	1,9
NIR – LSD ($\alpha = 0,05$)		0,99	1,83	0,15

Tabela 8. – cd.

Table 8. – cd.

Czynniki doświadczenia Experiment factors		Cechy morfologiczne Morphological features		
rozstawa rzędów row spacing	liczba nasion (szt.·m ⁻²) number of seeds (pcs.·m ⁻²)	wysokość roślin height of plants (cm)	wysokość osadzenia pierwszego strąka height to the first pod (cm)	liczba rozgałęzień pierwszego rzędu (szt.) number of first branches (pcs.)
Średnie dla czynników i lat/ Means for factors and years				
Rozstawa rzędów Row spacing	15 cm	19,1	38,5	2,0
	30 cm	18,6	36,2	1,9
NIR/LSD ($\alpha = 0,05$)		0,49	1,28	r.n.
Liczba nasion (szt.·m ⁻²) Number of seeds (pcs.·m ⁻²)	50	23,7	45,3	1,9
	70	17,8	36,8	2,1
	90	15,0	30,1	2,0
NIR/LSD ($\alpha = 0,05$)		0,74	1,13	0,10
Lata Years	2015	18,4	31,3	1,7
	2016	24,5	52,3	2,1
	2017	13,6	28,5	2,2
NIR/LSD ($\alpha = 0,05$)		0,61	1,56	0,12
15 cm	50	0,323	7,51	167
	70	0,324	6,34	165
	90	0,349	5,29	163
30 cm	50	0,325	8,01	172
	70	0,346	5,75	167
	90	0,320	4,53	166
NIR/LSD ($\alpha = 0,05$)		0,0248	0,388	2,1
Średnie dla czynników and years/ Means for factors and years				
Rozstawa rzędów Row spacing	15 cm	0,332	6,38	165
	30 cm	0,330	6,09	168
NIR/LSD ($\alpha = 0,05$)		r.n.	0,210	1,2
Liczba nasion (szt.·m ⁻²) Number of seeds (pcs.·m ⁻²)	50	0,324	7,76	169
	70	0,335	6,04	166
	90	0,335	4,91	164
NIR/LSD ($\alpha = 0,05$)		r.n.	0,282	1,4
Lata Years	2015	0,232	4,25	139
	2016	0,387	9,45	184
	2017	0,375	5,01	177
NIR/LSD ($\alpha = 0,05$)		0,0187	0,258	1,5

r.n. – różnica nieistotna statystycznie/ no significant difference

Wyniki otrzymane w 2017 r. były niższe z powodu wystąpienia strat i uszkodzeń roślin po gradobiciu (7.07.). Liczba strąków płodnych oraz liczba nasion w strąku determinują wielkość uzyskanego plonu nasion [Oz i in. 2009]. Badania Lorenc-Kozik i Pisulewskiej [2003] dowiodły, że w latach cieplejszych, na roślinach soi była zawiązywana większa liczba strąków niż w latach chłodniejszych. W badaniach własnych wykazano wpływ rozkładu opadów na liczbę zawiązanych strąków na roślinie. W 2015 r., który charakteryzował się wyższą temperaturą powietrza w okresie wegetacji roślin, soja zawiązywała mniejszą liczbę strąków niż w 2016 r. Z kolei w wilgotnym i ciepłym 2017 r., rośliny soi zawiązywały mniejszą liczbę strąków o 10,9 szt. (o 44,5%), ale z większą liczbą nasion w strąku oraz uzyskiwały mniejszą liczbę nasion z rośliny o 23,8 szt., tj. o 45,5% mniej niż w 2016 r. (tab. 8).

Masa nasion w strąku, masa nasion z rośliny i masa 1000 nasion były istotnie zależne od współdziałania czynników doświadczenia (tab. 8). Soja uprawiana w rozstawie rzędów 15 cm, przy wysiewie 90 nasion na 1 m² charakteryzowała się istotnie największą masą nasion z rośliny, ale jednocześnie najmniejszą masą 1000 nasion. Zróżnicowana rozstawa rzędów istotnie kształtowała masę nasion z rośliny i masę 1000 nasion. Większa rozstawa rzędów (15 cm) sprzyjała zwiększeniu masy nasion z rośliny, natomiast szersza rozstawa rzędów (30 cm) wzrostowi masy 1000 nasion. Wyniki badań nad gęstością siewu soi wskazują na potrzebę optymalnego zagęszczenia roślin na jednostce powierzchni, przy zachowaniu odpowiedniej rozstawy rzędów, dostosowanej do właściwości odmian i warunków uprawy [Pyzik 1982]. Zwiększająca się liczba wysiewanych nasion na jednostce powierzchni z 50 do 90 sztuk powodowała istotne sukcesywne obniżanie masy nasion z rośliny i masy 1000 nasion. Największą masę nasion z rośliny i masę 1000 nasion otrzymano przy zastosowaniu najmniejszej gęstości siewu (50 szt. na 1 m²), średnio o 2,85 g i 5,0 g w odniesieniu do wartości uzyskanych przy największej gęstości siewu (90 szt. na 1 m²). Badania własne dowodzą, że masa nasion w strąku, masa nasion z rośliny i masa 1000 nasion soi zależały przede wszystkim od przebiegu warunków pogodowych w poszczególnych okresach wegetacyjnych, ponieważ różnice między latami badań w odniesieniu do tych cech, dla wartości skrajnych, wynosiły odpowiednio 0,155 g, 5,2 g i 45 g. Dotychczasowe badania wskazują, że wzrost zagęszczenia roślin na jednostce powierzchni zmniejszał masę rośliny i nasion z rośliny [Ball i in. 2000, Gan i in. 2002]. Zmniejszenie masy jednej rośliny i masy nasion z rośliny wiąże się z nadmiernie rozwiniętą powierzchnią liści, małym przyrostem suchej masy przypadającej na jednostkę powierzchni liścia i silnym wpływem zagęszczenia na szybkie tempo starzenia się liści [Małek i in. 2012]. Masa 1000 nasion w 2015 r. była o 24,5% niższa niż w 2016 r., w którym uzyskano najwyższą wartość (184 g). Masa nasion z rośliny w 2016 r. była najwyższa (9,45 g) z uwagi na fakt, że w 2015 r. występowała długotrwała susza, co spowodowało spadek o 55%, natomiast w 2017 r. gradobicie przyczyniło się do obniżenia masy nasion z rośliny o 47% (tab. 8).

WNIOSKI

1. Długość okresów wegetacyjnych soi kształtowana była pod wpływem zmiennych warunków wilgotnościowo-termicznych w poszczególnych latach badań, natomiast nie zależała bezpośrednio od analizowanych czynników badawczych. Najdłuższy, w trzyleciu badawczym, okres wegetacji wynoszący 157 dni odnotowano w najbardziej zmiennym pogodowo (m.in. gradobicie) 2017 r.

2. W doświadczeniu czynnik zróżnicowanej rozstawy rzędów (15 cm, 30 cm) istotnie determinował: liczbę strąków na roślinie, liczbę i masę nasion z rośliny oraz masę 1000 nasion. Potwierdzono zatem hipotezę roboczą dotyczącą istotnego wpływu tego czynnika na kształtowanie cech morfologicznych roślin soi.

3. Wzrastająca liczba wysiewanych nasion soi z 50 do 90 sztuk na 1 m² powodowała istotny wzrost wysokości osadzenia pierwszego strąka soi, powodując jednocześnie stopniowe zmniejszanie liczby rozgałęzień pierwszego rzędu, liczby strąków na roślinie, liczby i masy nasion z rośliny oraz masy 1000 nasion.

4. Wzajemna konkurencyjność roślin pod wpływem wzrastającej liczby wysiewanych nasion na jednostce powierzchni doprowadzała do zmniejszenia wartości większości cech morfologicznych soi, co potwierdza dotychczasowe badania w tym zakresie.

PIŚMIENNICTWO

- Abdelghany A.M., Zhang S., Azam M., Shaibu A.S., Feng Y., 2020. Profiling of seed fatty acid composition in 1025 Chinese soybean accessions from diverse ecoregions. *Crop J.* 8(4), 635–644. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2019.11.002>
- Ball R.A., Purcell L.C., Vories E.D., 2000. Optimizing soybean plant population for a short-season production system in the southern USA. *Crop Sci.* 40(3), 757–764. <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.403757x>
- 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.
- Bongaarts J., 2009. Human population growth and the demographic transition. *Philos. Trans. – R. Soc., Biol. Sci.* 364(1532), 2985–2990. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0137>
- Beiküfner M., Hüsing B., Trautz D., Kühling I., 2019. Comparative harvest efficiency of soybeans between cropping systems affected by first pod height and plant length. *Org. farming* 5(1), 3–13. <https://doi.org/10.12924/of2019.05010003>
- Bellaloui N., Bruns H.A., Abbas H.K., Mengistu A., Fisher D.K., Reddy K.N., 2015. Effects of row-type, row-spacing, seeding rate, soil-type, and cultivar differences on soybean seed nutrition under US Mississippi Delta conditions. *PLoS ONE* 10(6), e0129913. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129913>
- Clemente T.E., Cahoon E.B., 2009. Soybean oil: genetic approaches for modification of functionality and total content. *Plant Physiol.* 151(3), 1030–1040. <https://doi.org/10.1104/pp.109.146282>
- De Bruin J.L., Pedersen P., 2008. Effect of row spacing and seeding rate on soybean yield. *Agron. J.* 100(3), 704–710. <https://doi.org/10.2134/agronj2007.0106>
- Elandt R., 1964. *Statystyka matematyczna w zastosowaniu do doświadczeń rolniczego*. Warszawa, PWN.
- Gan Y.I., Van-Keulen S.H., Kuiper P.J.C., 2002. Physiological response of soybean genotypes to plant density. *Field Crops Res.* 74, 231–241.
- Hou G., Ablett G.R., Pauls K.P., Rajcan I., 2006. Environmental effects on fatty acid levels in soybean seed oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 83(9), 759–763. <https://doi.org/10.1007/s11746-006-5011-4>
- Kang B.K., Kim H.T., Choi M.S., Koo S.C., Seo J.H., Kim H.S., Shin S.O., Yun H.T., Oh I.S., Kulkarni K.P., 2017. Genetic and environmental variation of first pod height in soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. *Plant Breed. Biotechnol.* 5(1), 36–44. <https://doi.org/10.9787/PBB.2017.5.1.036>
- Kozmiński C., Michalska B., 2001. *Atlas klimatycznego ryzyka uprawy roślin w Polsce*. Akademia Rolnicza, Szczecin.

- Lee S.J., Yan W., Kuk A., Chung M., 2003. Effects of year, site, genotype and their interactions on various soybean isoflavones. *Field Crops Res.* 81(2–3), 181–192. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(02\)00220-4](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00220-4)
- Lorenc-Kozik A., Pisulewska E., 2003. Wpływ zróżnicowanego nawożenia azotem i mikroelementami na plonowanie wybranych odmian soi. *Rośl. Oleiste* 24, 131–142.
- Malek M.A., Shafiquzzaman M., Rahman M.S., Ismail M.R., Mondal M.M.A., 2012. Standardization of soybean row spacing based on morpho-physiological characters. *Legume Res.* 35, 138–143.
- Medic J., Atkinson C., Hurburgh C.R., 2014. Current knowledge in soybean composition. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 91(3), 363–384. <https://doi.org/10.1007/s11746-013-2407-9>
- Miętus M., Owczarek M., Filipiak J., 2002. Warunki termiczne na obszarze Wybrzeża i Pomorza w świetle wybranych klasyfikacji, *Materiały Badawcze IMGW, Seria Meteorologia*, 36, ss. 56.
- Molga M., 1980. *Meteorologia rolnicza*. PWRiL, Warszawa.
- Molga M., 1986. *Podstawy klimatologii rolniczej*. PWRiL, Warszawa.
- Natarajan S., 2014. Analysis of soybean seed proteins using proteomics. *J. Data Min. Genom. Proteom.* 05(01), 10–12. <https://doi.org/10.4172/2153-0602.1000e113>
- Oz M., Karasu A., Goksoy A.T., Turan Z.M., 2009. Interrelationships of agronomical characteristics in soybean (*Glycine max*) grown in different environments. *Int. J. Agric. Biol.* 11(1), 85–88.
- PN-R-04031:1997. *Analiza chemiczno-rolnicza gleby – Pobieranie próbek*.
- Popovic V., Malesevic M., Miladinovic J., Maric V., Zivanovic L., 2012. Effect of agroecological factors on variations in yield, protein and oil contents in soybean grain. *Rom. Agric. Res.* (30), 241–247.
- Pyzik J., 1982. Wpływ warunków przyrodniczych i czynników agrotechnicznych na plon i skład chemiczny nasion oraz niektóre cechy morfologiczne nowych form soi. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie. Rozprawa habilitacyjna* 87, 1–33, Kraków.
- Radomski C., 1987. *Agrometeorologia*. PWN, Warszawa.
- Ribeiro A., Marchetti B., Bruzi A.T., Zuffo A.M., Zambiazzi E.V., Soares I.O., Dias Vilela N.J., de Andrade J., Pereira R., Moreira S.G., 2017. Productive performance of soybean cultivars grown in different plant densities. *Crop Prod., Cienc. Rural* 47(7), <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160928>
- Sichilima I., Mataa M., Mweetwa A.M., 2018. Morpho-physiological and yield responses associated with plant density variation in soybean (*Glycine max* L. (Merrill)). *Int. J. Environ. Agric. Biotechnol.* 3(1), 274–285. <https://doi.org/10.22161/ijeab/3.1.35>
- Sobko O., Hartung J., Zikeli S., Claupein W., Gruber S., 2019. Effect of sowing density on grain yield, protein and oil content and plant morphology of soybean (*Glycine max* L. Merrill). *Plant Soil Environ.* 65(12), 594–601. <https://doi.org/10.17221/346/2019-PSE>
- Sultan S.M., Dikshit N., Vaidya U.J., 2015. Oil content and fatty acid composition of soybean (*Glycine max* L.) genotypes evaluated under rainfed conditions of Kashmir Himalayas in India. *J. Appl. Nat. Sci.* 7(2), 910–915. <https://doi.org/10.31018/jans.v7i2.706>
- Suzuki E., 2021. World's population will continue to grow and will reach nearly 10 billion by 2050, <https://blogs.worldbank.org/opendata/worlds-population-will-continue-grow-and-will-reach-nearly-10-billion-2050> [dostęp: 3.08.2023].
- Taheripour F., Hertel T.W., Ramankutty N., 2019. Market-mediated responses confound policies to limit deforestation from oil palm expansion in Malaysia and Indonesia. *Proc. Natl Acad. Sci. U.S.A.* 116(38), 19193–19199. <https://doi.org/10.1073/PNAS.1903476116>
- Toleikiene M., Slepetyš J., Sarunaite L., Lazauskas S., Deveikyte I., Kadziuliene Z., 2021. Soybean development and productivity in response to organic management above the northern boundary of soybean distribution in Europe. *Agronomy* 11(2), 214. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020214>
- Tomczyk A., Szyga-Pluta K., 2016. Okres wegetacyjny w Polsce w latach 1971–2010. *Prz. Geogr.* 88(1), 75–86. <https://doi.org/10.7163/PrzG.2016.1.4>

- Walker E.R., Mengistu A., Bellaloui N., Koger C.H., Roberts R.K., Larson J.A., 2010. Plant population and row-spacing effects on maturity group III soybean. *Agron. J.* 102, 821–826.
- Witzenberger A., Van Den Boom T., Hack H., 1989. Erläuterungen zum BBCH-Dezimal-Code für die Entwicklungsstadien des Getreides-mit Abbildungen. *Gesunde Pflanzen* 41(11), 384–388.
- Worku M., Astatkie T., 2015. Effects of row spacing on productivity and nodulation of two soybean varieties under hot sub-moist tropical conditions in south-western Ethiopia. *J. Agric. Rural Develop. Tropics Subtropics* 116(2), 99–106.
- Young V., Pellett P., 1994. Plant proteins in relation to human protein and amino acid nutrition, *Am. J. Clinical Nutr.* 59(5), 1203–1212.

Źródło finansowania: Projekt wewnętrzny UP we Wrocławiu.

Abstract. In 2015–2017, in the proving grounds of the Institute of Agroecology and Plant Production of Wrocław University of Environmental and Life Sciences, field studies were carried out on the different row spacing and sowing amount on the development and yielding of soybean. The test included the assessment of the impact of the varied spacing of rows (15 cm, 30 cm) and the number of sown seeds (50, 75, 90) per unit area. In both of test, the “split-plot” method was used, four repetitions, with two variable factors. The length of the growing seasons of soybean was influenced by the variable thermal and humidity conditions in individual years of the research. In the studies, the factor of differentiated row spacing (15 cm, 30 cm) significantly determined: the number of pods, the number and mass of seeds per plant, the mass of 1000 seeds. The increasing number of sown soybean seeds from 50 to 90 pieces per 1 m² resulted in a significant increase in the height of the first pod placement, while causing a gradual decrease in the number of 1st order branches, the number of pods per plant, the number and weight of seeds per plant and the weight of 1000 seeds.

Keywords: soybean, *Glycine max*, row spacing, sowing amount

Otrzymano/Received: 22.08.2023

Zaakceptowano/Accepted: 15.04.2024

Opublikowano/Published: 07.08.2024