



Katedra Herbologii i Techniki Uprawy Roślin-Zakład Ekologii Rolniczej,
Wydział Agrobiotechnologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,
Akademicka 13, 20-950 Lublin, Polska
*e-mail: piotr.kraska@up.lublin.pl

PIOTR KRASKA *, SYLWIA ANDRUSZCZAK ,
PAWEŁ GIERASIMIUK, SYLWIA CHOJNACKA

Wpływ podpowierzchniowego wnoszenia nawozu mineralnego na plon i jakość nasion soi w warunkach uprawy bezplużnej

The effect of subsurface mineral fertilizer application on the yield
and seed quality of soybean under no-tillage conditions

Streszczenie. Badania przeprowadzono w latach 2015–2017, opierając się na eksperymencie polowym założonym jesienią 2014 r. w miejscowości Rogów (powiat zamojski). Celem badań była ocena wpływu podpowierzchniowego wprowadzania zróżnicowanych dawek wieloskładnikowego nawozu mineralnego Polifoska®6 NPK(S) 6-20-30(7) na plon oraz wybrane cechy jakości plonu nasion soi. Soję wysiewano w zmianowaniu soja – pszenica ozima – kukurydza w warunkach uprawy bezorkowej. Nawóz mineralny w dawce 200 i 400 kg·ha⁻¹ wnoszono pod powierzchnię gleby równomiernie w zakresie 10–30 cm głębokości pracy elementu wysiewającego-spulchniającego. Obiekt kontrolny stanowiły poletka z powierzchniową aplikacją nawozu. Po zbiorze oceniono plon i elementy struktury plonu. Wykonano również analizy chemiczne nasion soi celem określenia jakości zebranego plonu. Wgłębna aplikacja nawozu mineralnego korzystnie wpłynęła na poziom plonowania soi oraz przyczyniła się do zwiększenia zawartości aminokwasów Met i Trp, a także P, K i Mg w nasionach. W porównaniu z powierzchniowym wysiewem nawozu stwierdzono jednak zmniejszenie zawartości Glu i Ala w nasionach. Nasiona soi zebrane z powierzchni, na którą wniesiono wyższą dawkę nawozu Polifoska®6 odznaczały się większą zawartością białka ogólnego i P. Z kolei więcej włókna, aminokwasów (z wyjątkiem Cys, Met i Trp), a także N, K i Mg zawierały nasiona soi w wariantach z niższą dawką nawożenia mineralnego.

Słowa kluczowe: soja, plon nasion, jakość nasion, uprawa bezplużna, podpowierzchniowe nawożenie mineralne

WSTĘP

Współczesne rolnictwo odznacza się coraz większym zasobem dostępnych środków produkcji, zwłaszcza pod kątem wieloczynnościowych narzędzi oraz maszyn, a także na-

wozów i środków ochrony roślin o bardziej precyzyjnym działaniu. Wszystkie te aspekty pozwalają na zwiększenie wydajności uprawy, przez co możliwe jest zastosowanie uproszczeń w agrotechnice [Khaledian i in. 2010, Farmah i in. 2011, Szulc i Dubas 2013, Kraska i in. 2021].

Głównym celem uprawy bezorkowej jest zachowanie naturalnych zasobów środowiska glebowego przy jednoczesnym osiągnięciu wysokich plonów. Podstawową cechą takiej uprawy jest wyeliminowanie odwracania wierzchniej warstwy roli, a w zależności od intensywności i głębokości uprawy, na powierzchni lub pod powierzchnią gleby pozostawiane są resztki roślin przedplonu [Kassam i in. 2009]. Według Fiszer i in. [2006] oraz Cudzik i in. [2012] ocena efektywności plonotwórczej systemów uprawy roli nie może ograniczać się jedynie do wielkości plonów, lecz powinna uwzględnić również poziom nakładów ponoszonych na uprawę.

Soja uznawana jest za jedną z najbardziej wartościowych roślin uprawnych [Boczar 2016]. Swoją popularność zawdzięcza wysokiej wartości użytkowej nasion, jak również korzystnemu wpływowi na glebę i rośliny następcze [Jakubus i in. 2015, Biel i in. 2017]. Soja znajduje się na liście upraw wiążących azot, stanowiących tzw. obszar proekologiczny, który jest jedną z praktyk zazielenienia, będącego komponentem systemu dopłat bezpośrednich [Kania i in. 2016]. Jest ważnym źródłem białka i tłuszczu w przemyśle spożywczym i paszowym [Sharma i in. 2014]. Nasiona soi zawierają od 38% do 42% białka ogólnego i od 19% do 22% tłuszczu w suchej masie [Bellaloui i Gillen 2010]. Są również cennym źródłem wielu składników mineralnych [Biel i in. 2018].

Białko soi jest pełnowartościowym białkiem roślinnym, którego produkcja jest stosunkowo tania, a jego dodatkowym atutem jest możliwość stosowania w żywieniu ludzi i zwierząt hodowlanych [Dobek i Dobek 2008, Li i in. 2012]. Korzystny skład aminokwasowy białka sojowego, a także wysoka zawartość nienasyconych kwasów tłuszczowych decydują o dużej przydatności soi jako surowca do produkcji olejów i pasz [Tyczewska i in. 2014]. Oprócz rolniczego zagospodarowania plonu soi jest ona wykorzystywana także w przemyśle spożywczym, chemicznym, kosmetycznym i farmaceutycznym. Dodatkowo może spełniać rolę jako międzyplon uprawy zbóż. Takie rozwiązanie pozwala na zwiększenie plonowania roślin zbożowych [Šařec i in. 2005]. Warunki siedliskowe, poprawna agrotechnika, a zwłaszcza nawożenie mineralne stanowią najważniejsze czynniki wpływające na wysokość i jakość plonu nasion soi [Jarecki i Bobrecka-Jamro 2015a, 2015b]. Dodatkowo soja odznacza się zdolnością do symbiozy z bakteriami brodawkowymi *Bradyrhizobium japonicum*, które odpowiedzialne są za powstawanie brodawek korzeniowych. W brodawkach korzeniowych azot atmosferyczny redukowany jest do przyswajalnej dla roślin formy amonowej. Stanowi to jeden z głównych czynników wpływających na wzrost, rozwój oraz plonowanie soi [Martyniuk i in. 2013].

Poza nawożeniem azotowym na jakość nasion soi istotny wpływ wywierają warunki atmosferyczne w okresie wegetacji oraz odmiana uprawianej rośliny [Pisulewska i in. 1999]. Zdaniem Jareckiego i Bobreckiej-Jamro [2016] wiązaniu azotu z powietrza nie sprzyja susza oraz wysokie temperatury. Może to prowadzić nie tylko do ograniczenia zawiązywania brodawek korzeniowych, ale również do całkowitego ich braku. Zaobserwowali to Luboiński i Markowicz [2017], dowodząc, że susza w trakcie okresu wegetacji przyczyniła się do 50% zmniejszenia plonowania soi. Książak [2015] twierdzi, że na symbiozę soi z bakteriami brodawkowymi pozytywny wpływ wywiera optymalna zawartość fosforu i potasu w glebie. Dodatkowo symbioza uzależniona jest w dużym stopniu od

zasobności gleby w azot, a tym samym od wielkości wniesionych dawek nawozu mineralnego [Bury i Nawracała 2004].

Nawożenie mineralne jako jeden z elementów agrotechniki, bezpośrednio wpływa na wielkość i jakość plonu roślin uprawnych. Współczesne technologie agrotechniczne pozwalają na umieszczanie nawozów mineralnych na różnej głębokości. Najbardziej popularnym sposobem przedsięwzięcia wniesienia nawozów mineralnych jest wysiew powierzchniowy, wymagający następnie uprawek mieszających nawóz z glebą na głębokość kilku–kilkunastu centymetrów. Innym wariantem nawożenia przedsięwzięcia jest podpowierzchniowy wysiew nawozów mineralnych, kiedy podczas jednego przejazdu następuje ich umieszczenie w glebie równomiernie w pełnym zakresie pracy elementu spulchniająco-wysiewającego nawet do kilkudziesięciu centymetrów w głąb profilu glebowego, zmniejszając dodatkowo nakłady pracy, ilość wykonywanych uprawek oraz redukując ugniataanie gleby. W Polsce bezorkowa uprawa roli zyskała uznanie wśród rolników, szczególnie posiadających duże gospodarstwa rolne. Niewątpliwie do zalet takiej uprawy zalicza się ograniczenie erozji wodnej, wietrznej oraz poprawę jakości środowiska glebowego. W literaturze tematu bardzo często podaje się, jako jeden z ujemnych skutków uprawy bezorkowej kumulację składników pokarmowych w wierzchniej warstwie gleby. Taka sytuacja dotyczy szczególnie fosforu i potasu. Wgłębną aplikacją nawozów mineralnych redukuje to zjawisko i zapewnia w miarę równomierny dostęp do składników pokarmowych dla korzeni rozwijających się roślin.

W hipotezie badawczej założono, że wgłębną aplikacją nawozu mineralnego, w porównaniu z jego powierzchniowym stosowaniem, w warunkach bezorkowej uprawy roli, dzięki bardziej równomiernemu rozłożeniu w profilu glebowym umożliwi lepszą dostępność dla roślin składników pokarmowych dostarczonych wraz z nawozem mineralnym, a w efekcie zwiększy poziom plonowania soi.

Celem badań była ocena wpływu podpowierzchniowego wprowadzania zróżnicowanych dawek wieloskładnikowego nawozu mineralnego na plon i jakość nasion soi uprawianej w systemie bezorkowym.

METODY I ZAKRES BADAŃ

Lokalizacja doświadczenia i opis warunków glebowych

Badania przeprowadzono w latach 2015–2017, opierając się na eksperymencie polowym założonym jesienią 2014 r. w gospodarstwie rolnym w miejscowości Rogów, gmina Grabowiec, powiat zamojski (50°48'22.4"N; 23°30'00.5"E). Doświadczenie zostało założone na glebie brunatnej (CAMBISOLS) [FAO 2015].

W 2014 r. przed założeniem doświadczenia gleba charakteryzowała się pH = 5,01 (KCl) w warstwie 0–30 cm; w warstwie 30–60 cm pH = 5,94; w warstwie 60–90 cm pH = 6,61, zawartością przyswajalnego fosforu w warstwie 0–30 cm 18,84 mg·kg⁻¹; w warstwie 30–60 cm – 10,68 mg·kg⁻¹; w warstwie 60–90 cm – 16,69 mg·kg⁻¹, zawartością przyswajalnego potasu w warstwie 0–30 cm 78,92 mg·kg⁻¹; w warstwie 30–60 cm – 43,77 mg·kg⁻¹; w warstwie 60–90 cm – 44,51 mg·kg⁻¹, zawartością przyswajalnego magnezu w warstwie 0–30 cm 64,07 mg·kg⁻¹; w warstwie 30–60 cm – 69,33 mg·kg⁻¹; w warstwie 60–90 cm – 65,46 mg·kg⁻¹. Zawartość C_{org} w warstwie gleby 0–30 cm wynosiła 7,9 g·kg⁻¹.

Skład granulometryczny gleby pod doświadczeniem przedstawiał się następująco (zawartość frakcji w proc.): 2,0–1,0 mm – <0,01%; 1,0–0,5 mm – 0,11%; 0,5–0,25 mm – 1,62%; 0,25–0,10 mm – 2,87%; 0,10–0,05 mm – 19,01%; 0,05–0,02 mm – 41,40%; 0,02–0,005 mm – 22,47%; 0,005–0,002 mm – 6,72; <0,002 – 5,80%.

Opis doświadczenia polowego

Statyczne, dwuczynnikowe doświadczenie polowe założono metodą split-plot w czterech powtórzeniach. Pierwszy czynnik badawczy uwzględnił dwa sposoby aplikacji nawożenia mineralnego w warunkach uprawy bezpłużnej. W jednym wariantcie nawóz mineralny wieloskładnikowy wysiewano rzutowo na powierzchnię pola, w drugiej kombinacji nawóz aplikowano wgłębnie za pomocą specjalnie skonstruowanego kultywatora, równomiernie w zakresie 10–30 cm głębokości pracy elementu wysiewająco-spulchniającego. Drugim czynnikiem były zróżnicowane dawki wnoszonego przedsięwzięcia wieloskładnikowego nawozu mineralnego Polifoska®6 NPK(S) 6-20-30(7). Wielkość poletka wynosiła 175 m². Między obiektami z różnymi sposobami nawożenia mineralnego zastosowano 20-metrową izolację przestrzenną niezbędną do prawidłowego wykonania poszczególnych zabiegów agrotechnicznych.

Wybrana do doświadczenia odmiana soi – Annushka pochodząca z Hodowli Soi Agroyoumis Polska została wpisana do Wspólnotowego Katalogu Odmian Roślin Rolniczych (CCA) w 2009 r. Rekomendowana jest do uprawy na terenie całego kraju. Annushka to odmiana bardzo wczesna (grupa wczesności 0000). Okres wegetacji trwa ok. 100–130 dni. Przedplonem dla soi był rzepak ozimy, po zbiorze którego zastosowano wapnowanie wysiewając kredę (zawartość CaO 39,2%; CaCO₃ – 70%) w ilości 5 t·ha⁻¹ (New Holland Tm 165 + rozsiewacz Joskin Siroko).

Składniki pokarmowe w postaci fosforu i potasu oraz azotu zostały wniesione za pośrednictwem nawozu wieloskładnikowego Polifoska®6 NPK(S) 6-20-30(7), aplikowanego przedsięwzięcia w ilości 200 (A1) lub 400 (A2) kg·ha⁻¹. Procentowa zawartość wszystkich składników w zastosowanym nawozie była następująca: N – 6%, P₂O₅ – 20%, K₂O – 30%; SO₃ – 7%. Nawożenie mineralne wyniosło (kg·ha⁻¹):

$$A1 = N - 12, P_2O_5 - 40 (17,5 P), K_2O - 60 (50 K); SO_3 - 14 (5,5 S)$$

$$A2 = N - 24, P_2O_5 - 80 (35 P), K_2O - 120 (100 K); SO_3 - 28 (11 S).$$

Sumarycznie w przeliczeniu na czysty składnik NPK(S) stanowiło to odpowiednio: A1 85 kg·ha⁻¹; A2 170 kg·ha⁻¹.

Powierzchniowy wysiew nawozów wykonano rozsiewaczem Amazone ZA TS 4200, natomiast wgłębny – za pośrednictwem kultywatora o sztywnych łapach, z redlicami przystosowanymi do podpowierzchniowego wysiewu nawozów. Redlice były sprzężone z koszem zasypowym za pośrednictwem turbiny sprężającej powietrze w celu transportu nawozów poprzez mechanizm rozdzielający do redlic. Urządzenie dodatkowo umieszcza nawóz równomiernie w zakresie 10–30 cm głębokości pracy elementu wysiewająco-spulchniającego podczas jednego przejazdu. Do siewu soi zastosowano zestaw uprawowo-siewny TERRASEM C6. W łanie soi, jako roślinie wiążącej azot atmosferyczny, nie zastosowano pogłównie nawożenia azotem. Środki ochrony roślin wykorzystane w łanie soi zamieszczono w tabeli 1.

Tabela 1. Zaprawy nasienne i ochrona chemiczna w łanie soi
Table 1. Seed dressings and chemical crop protection in soybean canopy

Ochrona roślin/ Plant protection	
Zaprawy nasienne Seed dressings	T75 DS/WS (tiuram ^a – 750 g·k ⁻¹) w 2 g·kg ⁻¹ nasion Nitragina – 300 g·ha ⁻¹ T75 DS/WS (thiram – 750 g·k ⁻¹) in 2 g·kg ⁻¹ seeds Nitragine – 300 g·ha ⁻¹
Herbicydy oraz adiuwanty Herbicides and adjuvants	Roundup 360 SL (przed wschodami; glifosat ^b – 360 g·dm ⁻³) – 1,5 dm ³ ·ha ⁻¹ Corum 502,4 SL (bentazon ^c – 480 g·dm ⁻³ ; imazamoks ^d – 22,4 g·dm ⁻³) – 1,25 dm ³ ·ha ⁻¹ + Dash HC (oleinian metylu – 348,75 g·dm ⁻³ ; alkohol tłuszczowy ^e – 209,25 g·dm ⁻³) – 1,0 dm ³ ·ha ⁻¹ (BBCH 12–25) Roundup 360 SL (before emergence; glyphosate – 360 g·dm ⁻³) – 1,5 dm ³ ·ha ⁻¹ Corum 502,4 SL (bentazone – 480 g·dm ⁻³ ; imazamoks ^d – 22,4 g·dm ⁻³) – 1,25 dm ³ ·ha ⁻¹ + Dash HC (methyl oleate – 348,75 g·dm ⁻³ ; fatty alcohol – 209,25 g·dm ⁻³) – 1,0 dm ³ ·ha ⁻¹ (BBCH 12–25)

^a Tiuram – związek z grupy ditiokarbaminianów./ Thiram – a compound from the group of dithiocarbamates.

^b Glifosat – związek z grupy kwasów aminofosforowych w formie soli potasowej./ Glyphosate – a compound from the group of aminophosphoric acids in the form of a potassium salt.

^c Bentazon – związek z grupy diazyn./ Bentazone – a compound from the diazine group.

^d Imazamoks – związek z grupy imidazolinonów/ a compound from the group of imidazolinones.

^e Alkohol tłuszczowy – alkoksylowany ester kwasu fosforowego./ Fatty alcohol – alkoxylated ester of phosphoric acid.

Przed siewem wykonywano kultywatorowanie, przy czym na poletkach z powierzchnią aplikacją nawozu zabieg ten wykonano bezpośrednio po jego wysiewie, natomiast w wariancie z głębłą aplikacją – podczas tego samego przejazdu.

Nasiona soi odmiany Annushka wysiewano w ilości 120 kg·ha⁻¹. Aplikację środków ochrony roślin wykonano za pomocą opryskiwacza samojezdnego Bargam Gimpeur New 28 m. Zbiór soi wykonano w fazie dojrzałości pełnej kombajnem New Holland CR 8090.

Przed zbiorem określono obsadę roślin soi (szt·m⁻²) w czterech punktach każdego poletka wyznaczonych ramką o powierzchni 0,25 m². Na próbie roślin pobranej z czterech powierzchni 0,25 m² z każdego poletka określono wysokość roślin (cm), wysokość osadzenia 1 strąka (cm), liczbę strąków na 1 roślinie, liczbę i masę nasion z 1 rośliny. Masę tysiąca nasion (g) określono w dwóch powtórzeniach po 500 nasion. Plon nasion (dt·ha⁻¹; wilgotność nasion 12%) określono po zbiorze wykonanym w fazie dojrzałości pełnej.

W nasionach soi określono zawartość wybranych makroelementów (N, P, K, Mg). W próbach zbiorczych z kombinacji oznaczono: azot ogólny metodą Kjeldahla (mineralizacja w kwasie siarkowym, oznaczanie metodą destylacyjną Kjeldahla, detekcja miareczkowa), fosfor – (mineralizacja w kwasie siarkowym i wodzie utlenionej, oznaczenie metodą spektrofotometryczną wanadomolibdenową), potas – (mineralizacja w kwasie siarkowym i wodzie utlenionej, oznaczenie metodą fotometrii płomieniowej), magnez – (mineralizacja w kwasie siarkowym i wodzie utlenionej, oznaczenie metodą spektrometrii absorpcji atomowej – metoda ASA). W nasionach soi oceniono dodatkowo zawartość aminokwasów białkowych wraz z tryptofanem metodą chromatografii jonowymiennej (analyzer aminokwasów INGOS). Oznaczenia wykonano w Stacji Chemiczno-Rolniczej w Lublinie oraz w Centralnych Laboratorium Badawczym Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie.

Wybrane wskaźniki wartości technologicznej nasion soi określono techniką NIR (near infra-red), wykorzystującą zjawisko odbicia światła z zakresu bliskiej podczerwieni od analizowanej substancji, przy użyciu komputerowego analizatora transmisyjnego całego ziarna Omega G firmy Bruins Instruments (Niemcy) będącego na wyposażeniu Katedry Herbolgii i Technik Uprawy Roślin. Oznaczeniu podlegały: zawartość białka ogólnego, tłuszczu, włókna.

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie metodą analizy wariancji. Średnie porównano za pomocą najmniejszych istotnych różnic na podstawie testu Tukeya ($p = 0,05$). Obliczenia wykonano za pomocą programu statystycznego ARSTAT opracowanego w Katedrze Zastosowań Matematyki i Informatyki Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie.

Warunki meteorologiczne prowadzenia badań

Do oceny warunków termicznych oraz pluwiometrycznych, w trzech analizowanych okresach wegetacyjnych, zastosowano współczynnik hydrotermiczny Sielianinowa wg Stachowskiego [2010] w postaci $K = P \times 10/\sum t$, gdzie: P – suma miesięczna opadów atmosferycznych (mm); $\sum t$ – suma średnich dobowych temperatur $>0^{\circ}\text{C}$.

Charakterystyka wilgotnościowa miesięcy oraz interpretacja współczynnika hydrotermicznego została określona za Skowerą i Pułą [2004] oraz Skowerą [2014] w zależności od wartości współczynnika k : skrajnie suchy – $k \leq 0,4$; bardzo suchy – $0,4 < k \leq 0,7$; suchy – $0,7 < k \leq 1,0$; dość suchy – $1,0 < k \leq 1,3$; optymalny – $1,3 < k \leq 1,6$; dość wilgotny – $1,6 < k \leq 2,0$; wilgotny – $2,0 < k \leq 2,5$; bardzo wilgotny – $2,5 < k \leq 3,0$; skrajnie wilgotny – $k > 3,0$.

W 2015 r. najcieplejszymi miesiącami były lipiec i sierpień, których średnia temperatura dobową wynosiła odpowiednio $21,7^{\circ}\text{C}$ i $22,2^{\circ}\text{C}$ (tab. 2). Największe sumy opadów wystąpiły we wrześniu (94,2 mm) i maju (62,2 mm). Dla tych miesięcy w wieloleciu odnotowano odpowiednio 57,1 mm i 57,4 mm opadu. Czerwiec i sierpień były miesiącami skrajnie suchymi, kiedy suma miesięczna opadów wynosiła zaledwie odpowiednio 15,5 mm oraz 6,9 mm. Lipiec był miesiącem bardzo suchym z miesięczną sumą opadów na poziomie 45,4 mm. Wartości te były znacznie niższe w porównaniu z sumą opadów określoną dla wielolecia (tab. 3).

W drugim roku badań (2016) kwiecień i maj charakteryzowały się zmiennymi warunkami wilgotnościowymi. Kwiecień był miesiącem wilgotnym, maj był zaś miesiącem

Tabela 2. Średnia dobowa temperatura ($^{\circ}\text{C}$) powietrza panująca w okresie wegetacyjnym wg Stacji Meteorologicznej w Bezku z uwzględnieniem wielolecia 1974–2010

Table 2. Average daily temperature ($^{\circ}\text{C}$) in the growing season according to the Bezek Meteorological Station, as compared to the long-term mean figures (1974–2010)

Lata Years	Kwiecień April	Maj May	Czerwiec June	Lipiec July	Sierpień August	Wrzesień September	Październik October
2015	7,7	13,1	17,1	21,7	22,2	16,5	6,9
2016	9,4	14,8	18,1	19,9	18,9	15,2	6,8
2017	7,4	14,2	17,9	20,1	20,1	13,6	9,3
1974–2010	7,8	13,5	16,3	18,2	17,6	12,9	7,7

Tabela 3. Miesięczne sumy opadów atmosferycznych (mm) występujące w okresie wegetacyjnym wg Stacji Meteorologicznej w Bezku z uwzględnieniem wielolecia 1974–2010

Table 3. Monthly sums of rainfall (mm) occurring during the growing season according to the Meteorological Station in Bezek, as compared to the long-term mean figures (1974–2010)

Lata Years	Kwiecień April	Maj May	Czerwiec June	Lipiec July	Sierpień August	Wrzesień September	Październik October
2015	33,7	62,2	15,5	45,4	6,9	94,2	44,3
2016	67,7	54,5	66,4	131,5	53,4	11,0	120,7
2017	59,5	71,0	27,0	99,5	39,3	105,3	110,9
1974–2010	37,9	57,4	76,9	81,6	69,8	57,1	40,8

Tabela 4. Charakterystyka trzech okresów wegetacyjnych na podstawie współczynnika hydrotermicznego Sielanianowa (k) w latach 2015–2017 według Stacji Meteorologicznej w Bezku

Table 4. Sielanianov hydrothermal coefficients (k) during the growing seasons in the years of the experiment (2015–2017) according to the Meteorological Station at Bezek

Miesiąc Month	2015	2016	2017
Kwiecień April	k = 1,47 optymalny/optimal	k = 2,40 wilgotny/humid	k = 2,66 bardzo wilgotny/ very humid
Maj May	k = 4,75 skrajnie wilgotny/ extremely humid	k = 1,23 dość suchy/ rather dry	k = 1,67 dość wilgotny/ rather humid
Czerwiec June	k = 0,30 skrajnie suchy/ extre- mely dry	k = 1,23 dość suchy/ rather dry	k = 0,50 bardzo suchy/ very dry
Lipiec July	k = 0,70	k = 2,20 wilgotny/humid	k = 1,66 dość wilgotny/

dość suchym, podobnie jak czerwiec (tab. 4). Najcieplejszym miesiącem był lipiec, dla którego średnia temperatura wynosiła 19,9°C (tab. 2). Suma opadów w okresie wegetacyjnym w 2016 r. była zdecydowanie wyższa niż w 2015 r. i wyniosła 505,2 mm (była większa niż w 2015 r. o 203,0 mm). Największą sumą opadów charakteryzowały się miesiące lipiec (131,5 mm) oraz październik (120,7 mm) – tabela 3.

W 2017 r. czerwiec i sierpień były miesiącami bardzo suchymi (wartość wskaźnika Sielanianowa odpowiednio $k = 0,50$ i $k = 0,65$) – tabela 4. Najcieplejszymi miesiącami w 2017 r. był lipiec i sierpień (20,1°C) – Tabela 2. W okresie wiosenno-letnim największe opady odnotowano w maju i lipcu, co potwierdza wskaźnik Sielanianowa, według którego były to miesiące dość wilgotne (tab. 3 i 4). Suma opadów w okresie od marca do października w 2017 r. była wyższa niż w 2015 r. o 210,3 mm i o 91 mm od sumy z wielolecia dla tego okresu (tab. 3).

WYNIKI BADAŃ

Wyniki badań wykazały związki badanych cech z głównymi czynnikami eksperymentu i istotną interakcję między czynnikami eksperymentalnymi (tab. 5).

Obsada roślin soi istotnie zależała od sposobu aplikacji nawozu mineralnego. Więcej roślin na 1 m² stwierdzono w obiektach, gdzie nawóz NPK(S) 6-20-30(7) stosowano powierzchniowo w porównaniu z poletkami z wglębną aplikacją nawozu mineralnego (tab. 6). Wielkość zastosowanej dawki nawozu wieloskładnikowego nie różnicowała istotnie obsady roślin.

Tabela 5. Wpływ lat, sposobu aplikacji nawozu, dawki nawozu i interakcji czynników doświadczalnych na badane cechy soi

Table 5. Effect of years, method of fertilizer application, fertilizer dose and interaction of experimental factors on examined features

Cecha/Feature	Y	MFA	FD	Y × MFA	Y × FD	MFA × FD
SY	**	**	ns	ns	ns	ns
MTN	ns	**	ns	ns	ns	ns
PD	ns	**	ns	ns	ns	ns
PH	**	ns	ns	ns	ns	ns
NP	ns	**	ns	ns	ns	ns
NSP	**	**	ns	ns	ns	ns
MSP	**	**	ns	**	ns	ns
HP	ns	**	ns	ns	**	ns
N	**	ns	**	**	**	ns
P	**	**	**	**	**	**
K	**	**	**	**	**	**
Mg	**	**	**	**	**	**
TPC	ns	ns	**	ns	ns	ns
FAC	**	ns	ns	ns	ns	ns
FC	**	ns	**	ns	ns	ns

Objaśnienia: Y – lata, MFA – sposób wnoszenia nawozu mineralnego, FD – dawka nawozu mineralnego (NPKS – Polifoska®6); SY – plon soi (dt·ha⁻¹), MTN – masa 1000 nasion (g), PD – obsada roślin na 1 m², PH – wysokość roślin (cm), NP – liczba strąków na roślinie, NSP – liczba nasion z rośliny, MSP – masa nasion z rośliny (g), HP – wysokość osadzenia pierwszego strąka (cm), N – zawartość azotu w nasionach soi (g·kg⁻¹), P – zawartość fosforu w nasionach soi (g·kg⁻¹), K – zawartość potasu w nasionach soi (g·kg⁻¹), Mg – zawartość magnezu w nasionach soi (g·kg⁻¹), TPC – zawartość białka ogólnego w nasionach soi (%), FAC – zawartość tłuszczu w nasionach soi (%), FC – zawartość włókna w nasionach soi (%); ** – istotne przy p = 0,05; ns – nieistotne przy p = 0,05.

Explanation: Y – years, MFA – method of fertilizer application, FD – fertilizer dose (NPKS – Polifoska®6), SY – soybean yield (dt·ha⁻¹), MTN – mass of thousand seeds (g), PD – plant density per 1 m², PH – plant height (cm), NP – the number of pods on the plant, NSP – the number of seeds from the plant, MSP – the mass of seeds from the plant (g), HP – the height of the first pod (cm), N – nitrogen content of soybeans (g·kg⁻¹), P – phosphorus content of soybeans (g·kg⁻¹), K – potassium content of soybeans (g·kg⁻¹), Mg – magnesium content of soybeans (g·kg⁻¹), TPC – total protein content of soybeans (%), FAC – content of soybeans (%), FC – fiber content of soybeans (%); ** – significant at p = 0.05; ns – not significant at p = 0.05.

Tabela 6. Plon i struktura plonu nasion soi
Table 6. Yield and yield structure of soybeans

Wyszczególnienie Specification		SY	MTN	PD	PH	NP	NSP	MSP	HFP
Y	2015	16,7	113,1	97,8	58,6	13,5	15,2	1,7	13,5
	2016	26,2	110,0	93,0	68,3	15,3	26,1	2,9	14,8
	2017	21,8	116,8	97,2	72,2	14,5	19,9	2,3	13,7
	NIR _{0,05} HSD _{0,05}	3,61	ns	ns	7,06	ns	3,49	0,49	ns
MFA	S	19,4	108,8	100,8	66,1	13,0	18,1	1,9	15,4
	Sub-S	23,8	117,7	91,0	66,7	15,8	22,8	2,7	12,6
	NIR _{0,05} HSD _{0,05}	2,45	6,91	8,11	ns	1,79	2,37	0,33	1,14
FD	F85	21,2	111,0	97,3	64,3	14,3	20,0	2,2	14,2
	F170	21,9	115,6	94,5	68,4	14,6	20,9	2,4	13,8
	NIR _{0,05} HSD _{0,05}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Objaśnienia: SY – plon nasion soi (dt·ha⁻¹), MTN – masa 1000 nasion (g), PD – obsada roślin na 1 m², PH – wysokość roślin (cm), NP – liczba strąków na roślinie, NSP – liczba nasion z rośliny, MSP – masa nasion z rośliny (g), HFP – wysokość osadzenia pierwszego strąka (cm); Y – lata, MFA – sposób wnoszenia nawozu mineralnego, FD – dawka nawożenia mineralnego (NPKS – Polifoska® 6); S – powierzchniowa aplikacja nawozu mineralnego, Sub-S – podpowierzchniowa aplikacja nawozu mineralnego, F85 – dawka nawożenia 85 kg NPKS ha⁻¹, F170 – dawka nawożenia 170 kg NPKS ha⁻¹; NIR_{0,05} – najmniejsza istotna różnica przy p = 0,05; ns – różnica nieistotna.

Explanations: SY – soybean yield (dt·ha⁻¹), MTN – mass of thousand seeds (g), PD – plant density per m², PH – plant height (cm), NP – the number of pods on the plant, NSP – the number of seeds from the plant, MSP – the mass of seeds from the plant (g), HFP – the height of the first pod (cm); Y – years, MFA – method of fertilizer application, FD – fertilizer dose (NPKS – Polifoska®6); S – surface fertilizer application, Sub-S – sub-surface fertilizer application, F85 – fertilizer dose 85 kg NPKS ha⁻¹, F170 – fertilizer dose 170 kg NPKS ha⁻¹; HSD_{0,05} – the lowest significant difference at p = 0.05; ns – not significant difference.

Zarówno sposób aplikacji nawozu mineralnego, jak i dawka nawożenia nie miały istotnego wpływu na wysokość roślin. We wszystkich latach zaznaczyła się jednak wyraźna tendencja występowania wyższych roślin na poletkach, gdzie zastosowano większą dawkę nawożenia mineralnego (tab. 6). Niezależnie od czynników doświadczalnych w 2016 i 2017 r. rośliny soi były istotnie wyższe niż w 2015 r.

Wgłębna aplikacja nawozu mineralnego przyczyniła się do istotnego zwiększenia liczby strąków na roślinie oraz liczby i masy nasion z rośliny w stosunku do obiektu, gdzie nawóz stosowano powierzchniowo. Dawka nawożenia NPKS nie miała natomiast wpływu na wartość wymienionych cech struktury plonu soi. Jednocześnie wykazano, że liczba i masa nasion z jednej rośliny różniły się istotnie w latach badań – największe wartości osiągnęły w 2016 r., istotnie mniejsze w 2017 r., najmniejsze zaś w pierwszym roku doświadczenia. W 2016 r. na obiektach z wgłębnią aplikacją nawozu mineralnego uzyskano istotnie większą masę nasion z rośliny niż na poletkach z powierzchniowym sposobem wysiewu. Podobną zależność stwierdzono w pozostałych latach badań, jednak różnice nie zostały potwierdzone statystycznie.

W obiektach z powierzchniową aplikacją nawozu mineralnego pierwsze strąki na roślinach soi były osadzone średnio o 2,8 cm istotnie wyżej niż u roślin nawożonych włąębnie. Stwierdzona interakcja między dawką nawożenia mineralnego a latami wskazuje, że w 2017 r. pierwszy strąg na roślinach soi na obiektach z mniejszą dawką nawożenia mineralnego był niżej osadzony niż w 2016 r.

Włąębny sposób aplikacji nawozu mineralnego spowodował istotne zwiększenie masy 1000 nasion soi (MTN) w porównaniu z wariantem, w którym nawóz stosowano powierzchniowo. Stwierdzono również tendencję do występowania większej MTN na poletkach z większą dawką nawożenia mineralnego.

Na obiektach z włąębną aplikacją nawozu mineralnego soja wytworzyła większy plon nasion niż w kombinacji z powierzchniowym sposobem nawożenia. Niezależnie od zastosowanej dawki nawozu różnica ta wyniosła 22,7% i była statystycznie istotna. Plon nasion soi w istotny sposób kształtowały warunki pogodowe w latach badań. Najlepszy pod tym względem okazał się 2016 r., natomiast najniższy plon soi stwierdzono w 2015 r. (tab. 6).

Zastosowanie większej dawki nawożenia mineralnego skutkowało istotnym zwiększeniem zawartości białka ogólnego w nasionach soi (tab. 7). Stwierdzono również tendencję do występowania większej zawartości białka ogólnego w nasionach soi zebranych z poletek, gdzie nawóz mineralny aplikowano włąębnie.

Tabela 7. Zawartość wybranych składników w nasionach soi
Table 7. The content of selected nutrients in soybeans

Wyszczególnienie Specification		Białko ogólne Total protein (g·kg ⁻¹)	Tłuszcz surowy Crude fatt (g·kg ⁻¹)	Włókno surowe Raw fiber (g·kg ⁻¹)
Y	2015	33,1	19,7	5,1
	2016	33,5	18,8	5,0
	2017	33,9	18,5	4,9
	NIR _{0,05} /HSD _{0,05}	ns	0,61	0,19
MFA	S	33,1	19,1	5,0
	Sub-S	33,8	18,9	4,9
	NIR _{0,05} /HSD _{0,05}	ns	ns	ns
FD	F85	32,9	19,1	5,1
	F170	34,0	18,9	4,9
	NIR _{0,05} /HSD _{0,05}	0,91	ns	0,13

Objaśnienia jak w tab. 6./ Explanation as in Tab. 6.

Zarówno dawka nawozu Polifoska®6, jak i sposób jego aplikacji nie różnicowały istotnie zawartości tłuszczu surowego w nasionach soi. Wystąpiły natomiast istotne różnice w latach badań. Większą zawartość tłuszczu w nasionach soi wykazano w 2015 r. w porównaniu z pozostałymi latami.

Zwiększony poziom nawożenia mineralnego istotnie zmniejszył zawartość włókna surowego w nasionach soi, natomiast sposób aplikacji nawozu nie miał wpływu na wartość tej cechy. Jednocześnie stwierdzono, że największą zawartością włókna charakte-

ryzowały się nasiona soi zebrane w 2015 r., natomiast istotnie mniej włókna zawierały nasiona zebrane w ostatnim roku badań.

Zawartość aminokwasów oraz wybranych makroelementów w nasionach soi

Istotnie większą zawartość Cys, Met i Trp określono w nasionach uzyskanych z obiektów, gdzie nawóz mineralny wnoszono włącznie, z kolei powierzchniowe stosowanie nawozu istotnie zwiększyło zawartość Glu i Ala w nasionach (tab. 8). W warunkach powierzchniowej aplikacji nawozu stwierdzono ponadto tendencję do występowania nieco większej zawartości wszystkich pozostałych ocenianych aminokwasów w nasionach soi, w porównaniu z włąbnym stosowaniem NPK(S).

Tabela 8. Zawartość aminokwasów ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) w nasionach soi w zależności od sposobu aplikacji nawozu mineralnego (średnio w latach 2015–2017)

Table 8. Amino acid content ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) in soybeans depending on the method of mineral fertilizer application (average in 2015–2017)

Aminokwas Amino acid	Sposób aplikacji nawozu mineralnego NPK(S) Method of NPK(S) application		NIR _{0,05} HSD _{0,05}
	powierzchniowo surface	włącznie sub-surface	
Asp	36,38	35,83	ns
Thr	13,58	13,42	ns
Ser	16,57	16,40	ns
Glu	58,78	56,80	0,893
Pro	17,10	16,93	ns
Gly	13,18	13,15	ns
Ala	13,82	13,58	0,207
Cys	3,56	5,66	0,085
Val	14,62	14,43	ns
Met	5,23	6,14	0,101
Ile	13,47	13,27	ns
Leu	22,75	22,52	ns
Tyr	10,07	10,04	ns
Phe	15,23	15,03	ns
His	8,56	8,48	ns
Lys	20,77	20,48	ns
Arg	21,83	21,93	ns
Trp	7,05	9,40	0,142

NIR_{0,05} – najmniejsza istotna różnica przy $p = 0,05/\text{HSD}_{0,05}$ – the lowest significant difference at $p = 0.05$.
ns – różnica nieistotna/not significant difference.

Wyższa dawka nawozu mineralnego istotnie zwiększyła zawartość Cys, Met i Trp w nasionach soi, zmniejszając jednocześnie zawartość wszystkich pozostałych aminokwasów (tab. 9).

Zastosowanie nawożenia mineralnego na poziomie 170 kg NPKS na hektar istotnie zwiększyło zawartość P w nasionach soi, powodując jednocześnie istotne zmniejszenie zawartości N, K i Mg w porównaniu z dawką 85 kg·ha⁻¹ (tab. 10).

Wgłębna aplikacja nawozu mineralnego skutkowała istotnym zwiększeniem zawartości P, K i Mg w nasionach soi, w porównaniu z nawożeniem powierzchniowym. Podobną zależność stwierdzono w odniesieniu do zawartości N w nasionach, jednak różnice leżały w granicach błędu statystycznego.

Na zawartość badanych makroelementów w nasionach soi istotny wpływ miały warunki pogodowe w latach badań. Najwięcej N i Mg zawierały nasiona w pierwszym roku doświadczenia. W 2016 r. zawartość N była istotnie mniejsza niż w 2017 r., natomiast zawartość Mg istotnie zmniejszała się w kolejnych latach badań. Największą zawartość P i K określono w nasionach soi w drugim roku eksperymentu. Z kolei najmniejszą zawartością tych pierwiastków odznaczały się nasiona zebrane odpowiednio w 2015 i 2017 r. Jednocześnie w 2015 r. zawartość P była istotnie mniejsza niż w 2017 r., a w odniesieniu do zawartości K stwierdzono odwrotną zależność.

Na obiektach z powierzchniowym stosowaniem nawozu mineralnego zawartość N w nasionach w pierwszym roku doświadczenia była istotnie większa niż w pozostałych

Tabela 9. Zawartość aminokwasów (mg·g⁻¹) w nasionach soi w zależności od dawki nawozu mineralnego (średnio w latach 2015–2017)

Table 9. Amino acid content (mg·g⁻¹) in soybeans depending on the dose of mineral fertilizer (average in 2015–2017)

Aminokwas Amino acid	Dawka nawozu mineralnego NPK (S) Dose of fertilizer NPK (S)		NIR _{0,05} HSD _{0,05}
	85 NPKS·ha ⁻¹	170 NPKS·ha ⁻¹	
Asp	37,12	35,10	0,553
Thr	13,85	13,15	0,202
Ser	16,80	16,17	0,249
Glu	60,02	55,57	0,893
Pro	17,42	16,62	0,256
Gly	13,43	12,90	0,202
Ala	13,95	13,45	0,207
Cys.	4,23	5,00	0,085
Val	14,85	14,20	0,219
Met	5,56	5,81	0,101
Ile	13,62	13,12	0,207
Leu	23,15	22,12	0,345
Tyr	10,29	9,82	0,147
Phe	15,48	14,78	0,243
His	8,69	8,35	0,137
Lys	21,03	20,22	0,312
Arg	22,62	21,15	0,344
Trp	7,57	8,88	0,142

Tabela. 10. Zawartość wybranych makroelementów w nasionach soi ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
 Table 10. The content of selected macroelements in soybeans($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Wyszczególnienie Specification		N	P	K	Mg
Y	2015	56,93	6,03	18,60	3,22
	2016	48,36	7,81	20,84	2,33
	2017	52,48	7,43	18,01	2,13
	NIR _{0,05} /HSD _{0,05}	2,689	0,02	0,355	0,023
MFA	S	51,92	6,94	18,72	2,48
	Sub-S	53,26	7,24	19,58	2,64
	NIR _{0,05} /HSD _{0,05}	ns	0,014	0,239	0,015
FD	F85	53,61	6,92	19,34	2,64
	F170	51,57	7,26	18,96	2,49
	NIR _{0,05} /HSD _{0,05}	1,816	0,014	0,239	0,015

Objaśnienia jak w tab. 6./ Explanation as in Tab. 6.

latach badań. Natomiast w kombinacji z podpowierzchniowym sposobem nawożenia zawartość N w nasionach w 2015 i 2017 r. była istotnie większa niż w drugim roku analiz (tab. 11). Zawartość P w nasionach zebranych z obiektów, gdzie nawóz wniesiono powierzchniowo zwiększała się w kolejnych latach badań. W obiektach z wgłębną aplikacją nawozu mineralnego najwięcej P w nasionach stwierdzono w drugim roku doświadczenia, istotnie mniej w 2017 r., a najmniej w 2015 r.

W drugim roku badań, zarówno na obiektach z powierzchniowym, jak i z wgłębnym sposobem aplikacji nawozu mineralnego, stwierdzono największą zawartość K w nasionach soi w porównaniu z pozostałymi latami. W nasionach zebranych z obiektów, gdzie nawóz zastosowano powierzchniowo najmniejszą zawartość K określono w pierwszym roku, a w obiektach z podpowierzchniową aplikacją – w trzecim roku badań. Zawartość Mg w nasionach soi zmniejszała się w kolejnych latach badań, przy czym zależność tę obserwowano zarówno w warunkach powierzchniowej, jak i wgłębnej aplikacji nawozu mineralnego.

Wpływ dawki nawożenia mineralnego na zawartość makroelementów w nasionach soi zależał od warunków pogodowych w latach badań. Istotny spadek zawartości N w nasionach soi pod wpływem zwiększonego poziomu nawożenia NPKS stwierdzono jedynie w 2017 r., natomiast w pierwszych dwóch latach różnice w zawartości N w nasionach zebranych z poletek, gdzie zastosowano zróżnicowane dawki nawożenia mineralnego były statystycznie nieistotne (tab. 11).

W pierwszym roku doświadczenia w warunkach stosowania wyższej dawki NPKS zawartość P w nasionach była bardzo zbliżona, a zawartość K istotnie mniejsza niż w nasionach zebranych z obiektów, gdzie zastosowano niższą o połowę dawkę nawożenia mineralnego. Z kolei w drugim i trzecim roku badań istotnie większą zawartość P i K stwierdzono w nasionach soi nawożonej wyższą dawką nawozu mineralnego.

Intensyfikacja nawożenia mineralnego w pierwszym i drugim roku doświadczenia przyczyniła się do istotnego zmniejszenia zawartości Mg w nasionach soi w porównaniu z obiektem, na którym zastosowano niższą dawkę NPK(S). Odwrotną zależność obserwowano w trzecim roku badań.

Tabela 11. Wpływ interakcji czynników doświadczenia na zawartość wybranych makroelementów w nasionach soi

Table 11. Influence of the interaction of experimental factors on the content of selected macronutrients in soybeans

Wyszczególnienie Specification		N	P	K	Mg
Y × MFA	2015 × S*	56,35	6,05	16,70	2,99
	2015 × Sub-S *	57,50	6,01	20,50	3,46
	2016 × S	49,63	7,21	20,88	2,28
	2016 × Sub-S	47,08	8,40	20,80	2,37
	2017 × S	49,78	7,55	18,57	2,17
	2017 × Sub-S	55,18	7,32	17,45	2,09
	NIR _{0,05} /HSD _{0,05}	4,708	0,036	0,621	0,039
Y × FD	2015 × F85*	57,20	6,02	20,20	3,43
	2015 × F170*	56,65	6,05	17,00	3,01
	2016 × F85	48,13	7,66	20,47	2,38
	2016 × F170	48,58	7,95	21,22	2,28
	2017 × F85	55,50	7,08	17,37	2,09
	2017 × F170	49,47	7,79	18,65	2,17
	NIR _{0,05} /HSD _{0,05}	4,708	0,036	0,621	0,039
MFA × FD	S × F85	53,34	6,49	19,48	2,64
	S × F170	50,50	7,38	17,96	2,32
	Sub-S × F85	53,88	7,35	19,21	2,63
	Sub-S × F170	52,63	7,14	19,95	2,65
	NIR _{0,05} /HSD _{0,05}	ns	0,027	0,452	0,029

Objaśnienia: N – zawartość azotu w nasionach soi, P – zawartość fosforu w nasionach soi, K – zawartość potasu w nasionach soi, Mg – zawartość magnezu w nasionach soi; Y – lata, MFA – sposób wnoszenia nawozu mineralnego, FD – dawka nawożenia mineralnego (NPKS – Polifoska®6), S – powierzchniowa aplikacja nawozu mineralnego, Sub-S – podpowierzchniowa aplikacja nawozu mineralnego, F85 – dawka nawożenia 85 kg NPKS ha⁻¹, F170 – dawka nawożenia 170 kg NPKS ha⁻¹, NIR_{0,05} – najmniejsza istotna różnica przy p = 0,05; ns – różnica nieistotna.

Explanation: N – nitrogen content of soybeans, P – phosphorus content of soybeans, K – potassium content of soybeans, Mg – magnesium content of soybean; Y – years, MFA – method of fertilizer application, FD – fertilizer dose (NPKS – Polifoska®6), S – surface fertilizer application, Sub-S – subsurface fertilizer application; F85 – fertilizer dose 85 kg NPKS ha⁻¹, F170 – fertilizer dose 170 kg NPKS ha⁻¹, HSD_{0,05} – the lowest significant difference at p = 0.05; ns – not significant difference.

Potwierdzona interakcja czynników doświadczalnych wykazała, że podpowierzchniowa aplikacja wyższej dawki nawozu mineralnego, w porównaniu z dawką NPK(S) na poziomie 85 kg·ha⁻¹, zwiększyła zawartość K i Mg w nasionach soi. Jednak dla Mg różnice nie były statystycznie istotne. Odwrotna zależność wystąpiła w wariancie z powierzchniowym wysiewem nawozu mineralnego.

Wyższa dawka NPK(S) (A2) w warunkach powierzchniowego stosowania nawozu mineralnego powodowała istotne zwiększenie zawartości P w nasionach soi w porównaniu z wariantem A1. Natomiast w przypadku wglębnego zastosowania nawozu większą zawartość P stwierdzono w nasionach soi nawożonej niższą dawką nawozu.

DYSKUSJA

Plon i struktura plonu nasion soi

Plon nasion soi i jego strukturę w istotny sposób kształtuje przebieg warunków termiczno-wilgotnościowych w okresie wegetacji [Bobrecka-Jamro i Pizło 1996, Pisulewska i in. 1997, Ohnishi i in. 2010]. Istotnym elementem powodzenia uprawy roślin bobowatych jest dostosowanie poziomu agrotechniki do warunków klimatyczno-glebowych, ze względu na niską stabilność plonowania tych gatunków [Reckling i in. 2018, Adamič i Leskovšek 2021]. Harasim i in. [2017], w zależności od warunków w okresie wegetacji uzyskali plon nasion soi odmiany Aldana od 1,5 do 2,11 t·ha⁻¹, a MTN od 167,1 do 182,6 g. W badaniach własnych uzyskano zbliżony plon, jednak wyraźnie mniejszą masę 1000 nasion. Mogło to wynikać zarówno z różnic odmianowych, jak i glebowo-klimatycznych. Luboiński i Markowicz [2017], w zależności od lokalizacji, dla odmiany Mavka uzyskali większą masę 1000 nasion (125,7–163,8 g) w obiektach, gdzie zastosowano 64 kg N·ha⁻¹ w porównaniu z dawką 32 i 48 kg N·ha⁻¹. Podobnie jak w badaniach własnych, wraz ze wzrostem poziomu nawożenia azotem wspomniani autorzy uzyskali zwiększenie MTN soi. W badaniach Lorenc-Kozik i Pisulewskiej [2003] nawożenie soi różnymi dawkami azotu przynosiło zróżnicowany skutek w zależności od odmiany i warunków panujących w sezonie wegetacji. Gawęda i in. [2017] również uzyskali bardzo duże zróżnicowanie masy 1000 nasion soi odmiany Nawiko wynoszące od 105 g do 125 g, podobnie jak Jarecki i Bobrecka-Jamro [2015a] dla odmian Augusta i Aldana (138,8–161,4 g). Luboiński i Markowicz [2017] wykazali największą masę tysiąca nasion soi w warunkach stosowania azotu w dawkach 64 i 96 kg·ha⁻¹. W badaniach Caliskana i in. [2008] najdorodniejsze nasiona soi uzyskano w przypadku zastosowania niskich dawek azotu w ilości 40 kg·ha⁻¹.

W omawianych badaniach w 2016 r. plon nasion soi był większy niż w pozostałych latach od 20,2% do 56,9%. Tak duża rozbieżność w wielkości plonowania była wynikiem, przede wszystkim bardzo zmiennych warunków wilgotnościowych. W 2016 r., w którym uzyskano największy plon nasion soi suma opadów od kwietnia do sierpnia była o 77 mm większa niż w 2017 r. i aż o 209,8 mm niż w 2015 r. Luboiński i Markowicz [2017] również uzyskali ok. 50% zróżnicowanie plonu nasion soi w latach badań. Wynikało ono podobnie jak w omawianych badaniach z niedoboru opadów w okresie wiosenno-letnim. Szczególnie niewystarczająca ilość wody w okresie nalewania nasion wpływa na zmniejszenie plonu [Lorenc-Kozik i Pisulewska 2003, Zielińska-Dawidziak i in. 2012, Pittelkow i in. 2015]. Gawęda i in. [2014] w różnych sezonach wegetacji w warunkach siewu bezpośredniego uzyskali plon nasion soi odmiany Augusta od 1,95 do 2,45 t·ha⁻¹, a odmiany Aldana od 2,50 do 2,86 t·ha⁻¹. Z kolei Fecák i in. [2010] w warunkach uprawy bezorkowej w trzech sezonach wegetacji zwiększając dawkę startową N z 25 do 50 kg·ha⁻¹ uzyskali zmniejszenie plonu nasion o 8,8% w porównaniu z obiektami uprawianymi płuznie. Podobnie w omawianych badaniach przyrost plonu nasion soi na obiektach ze zwiększoną dawką nawożenia mineralnego w porównaniu z nawożeniem A1

wyniósł za okres trzech lat 3,3%. Jednak w 2017 r. większy plon nasion soi określono na obiektach z mniejszym nawożeniem mineralnym. Jednym z czynników korzystnie wpływającym na wielkość plonu nasion mogło być wprowadzenie wraz z aplikacją nawozu Polifoska®6 niewielkiej ilości siarki, która poprawia symbiozę roślin soi z bakteriami brodawkowatymi [Fageria i Moreira 2011]. Hosseini i in. [2016] uzyskali zróżnicowany plon nasion soi w warunkach różnych wariantów uprawy bezorkowej. Zastosowanie brony talerzowej na ogół zmniejszało plon nasion w porównaniu z innymi wariantami. Jug i in. [2010], stosując uprawę bezorkową z broną talerzową, uzyskali o 5,5% większy plon nasion niż w obiektach uprawianych płuźnie. Z kolei Čápřtãňã i in. [2018], w porównaniu z uprawą płuźną, uzyskali o 5,0% większy plon nasion soi w warunkach, gdy zastosowali bronę talerzową i kultywator oraz o 4,6% większy, gdy wykonali samo kultywatorowanie. Podobnie da Silva i in. [2022], uzyskali większy o 7,8% plon nasion soi w warunkach uprawy bezpłuźnej niż płuźnej. Lanca Rodrigues i in. [2009] oraz Kováč i in. [2014] większy plon nasion soi uzyskali na obiektach uprawy bezorkowej niż z siewu bezpośredniego. Również Nouri i in. [2018] uzyskali większy plon nasion soi w warunkach uprawy bezorkowej w porównaniu z płuźną, gdzie orkę zastąpiono kultywatorowaniem lub broną talerzową. W prezentowanych badaniach w uprawie bezorkowej o wielkości uzyskanego plonu nasion soi decydował sposób stosowania nawozu mineralnego. W obiektach gdzie nawóz mineralny zastosowano podpowierzchniowo uzyskano o 22,7% większy plon nasion soi w porównaniu z poletkami z powierzchniową aplikacją. Mogło to wynikać z lepszego rozwoju systemu korzeniowego i większej dostępności składników pokarmowych dostarczonych wraz z nawozem mineralnym równomiernie rozłożonym w wierzchniej warstwie gleby. Podobnie Nkebiwe i in. [2016] oraz Alam i in. [2018] stwierdzili, że w głębsze stosowanie nawozów poprawia dostępność składników w nich zawartych, a tym samym poprawia efektywność ich stosowania. Również Barbieri i in. [2014] uważają, że sposób aplikacji składników pokarmowych może mieć istotny efekt plonotwórczy w warunkach niskiej zasobności gleby oraz zastosowanego systemu uprawy roli.

W badaniach Harasim i in. [2017] liczba strąków na roślinie soi (7,7–14,3) była mniejsza niż uzyskana w badaniach własnych. Podobnie jak obsada roślin. Z kolei Jarecki i Bobrecka-Jamro [2015a] określili dla soi odmian Augusta i Aldana zbliżoną do uzyskanej w badaniach własnych liczbę strąków na roślinie (od 14,2 do 15,2). Lorenc-Kozik i Pisulewska [2003] dla odmiany Aldana, w zależności od roku badań określiły liczbę strąków na poziomie od 11,2 do 28,4, a dla odmiany Nawiko 14,9–37,3.

W badaniach Gawędy i in. [2016, 2017] w warunkach uprawy uproszczonej wysokość osadzenia 1 strąka na roślinach soi odmiany Mazowia (średnio od 6,7 do 13,3 cm) oraz Nawiko (średnio od 7,4 do 12,2 cm) była niższa niż w badaniach własnych. Jarecki i Bobrecka-Jamro [2015a] dla odmian Augusta i Aldana uzyskali wysokość osadzenia pierwszego strąka na wysokości odpowiednio 11,3 cm oraz 10,8 cm.

Optymalne rozmieszczenie roślin soi w łanie zmniejsza wzajemne zacienianie się roślin, co wpływa na wzrost plonu nasion [Kořpak 1996]. Zwiększenie obsady roślin soi wiąże się z mniejszymi stratami wody z gleby, co pośrednio przyczynia się do wzrostu plonu nasion, ale również wpływa na ich jakość [Taylor 1980]. W omawianych badaniach jedynie powierzchniowy sposób zastosowania nawozu mineralnego istotnie wpłynął na zwiększenie obsady roślin soi. Jednak nie przełożyło się to znacząco na zwiększenie plonu nasion. W warunkach Polski optymalna ilość wysiewu soi kształtuje się w szerokich granicach od 60 do 100 nasion na 1 m² i jest przede wszystkim zależna od interakcji ge-

notypowo-środowiskowej [Bobrecka-Jamro i in. 1995, Kołpak 1996]. W prezentowanych badaniach obsada w zależności od sezonu wegetacyjnego kształtowała się na poziomie 93–97 roślin, a więc w górnych granicach zalecanych norm.

Wysokość roślin soi w badaniach Gawędy i in. [2016, 2017] oraz Harasim i in. [2017] była podobna lub większa od uzyskanej w ramach omawianego eksperymentu. W badaniach Bujaka i in. [2001] upraszczanie uprawy roli poprzez zrezygnowanie z wykonywania orki wywoływało tendencję do wydłużania łodyg soi i zwiększało wysokość osadzenia pierwszego dolnego strąka. W różnych wariantach uprawy bezorkowej pierwsze strąki były osadzone na wysokości od 9,6 cm do 10,1 cm, a więc niżej niż w omawianych badaniach.

Jakość plonu nasion soi

Biel i in. [2017] w nasionach badanych odmian soi stwierdzili zawartość białka na poziomie $375,95 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. Podobne wartości wykazali Mateos-Aparicio i in. [2008]. W badaniach własnych uzyskano mniejszą zawartość białka ogólnego w nasionach soi, co mogło wynikać zarówno z różnic związanych z dobozem odmiany, jakością gleby, jak i przebiegiem warunków termiczno-wilgotnościowych. Szwejkowska [2005] podaje, że zawartość białka ogólnego w nasionach strączkowych zależy nie tylko od właściwości genetycznych odmiany, ale również od warunków klimatycznych panujących podczas okresu wegetacyjnego oraz od czynników agrotechnicznych, w tym szczególnie od nawożenia azotem. Harasim i in. [2017], w zależności od zastosowanej agrotechniki uzyskali w nasionach soi zawartość białka od 32,8% do 33,9%, a tłuszczu od 18,2% do 18,7%. Podobne zawartości stwierdzono w badaniach własnych. Batista i in. [2015] wskazują, że oprócz zawartości białka ważną cechą ilościową z punktu widzenia hodowlanego jest także zawartość tłuszczu w nasionach soi.

Gawęda i in. [2017] na obiektach uprawy bezorkowej uzyskali w różnych latach badań od 29,6% do 35,0% białka ogólnego oraz od 17,2% do 18,6% tłuszczu. W innych badaniach w nasionach soi stwierdzili od 31,7% do 35,6% białka, a tłuszczu od 16,5% do 18,9% [Gawęda i in. 2016, 2020]. Z kolei Fecák i in. [2010] w warunkach uprawy bezorkowej, w zależności od dawki startowej azotu wynoszącej 50 lub 25 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ w nasionach soi stwierdzili odpowiednio od 34,5% do 34,8% białka ogólnego oraz od 17,2% do 17,3% tłuszczu.

Z badań Wilcox i Shibles [2001] wynika, że w ciepłe i suche lata nasiona soi gromadzą zwykle więcej białka, a mniej oleju, z kolei w chłodniejszych latach z wystarczającą ilością opadów nasiona zawierają więcej oleju, a mniej białka. W badaniach własnych, analizując wartości wskaźnika hydrotermicznego oraz zawartości białka i tłuszczu w nasionach soi, takiej zależności nie można jednoznacznie potwierdzić. Wykazano natomiast, że w 2017 r., kiedy uzyskano największą zawartość białka ogólnego, stwierdzono jednocześnie najmniejszą zawartość tłuszczu. Rotundo i Westgate [2009] potwierdzają występowanie takiej zależności.

Barker i Sawyer [2005] nie stwierdzili istotnego wpływu sposobu aplikacji azotu (rzutowo na powierzchnię lub podpowierzchniowo) na zawartość białka i tłuszczu w nasionach soi. Dodatkowo, zwiększając dawkę azotu z 45 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ do 90 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ również nie uzyskali istotnych różnic w zawartości tych składników. Podobnie Fecák i in. [2010] nie stwierdzili znaczących zmian w zawartości białka ogólnego w nasionach soi po zastosowaniu zróżnicowanego nawożenia azotem. Z kolei Pisulewska i in. [1999] dodają, iż nawożenie azotem poprawia ilość białka w nasionach, polepszając jego strawność.

W badaniach Jareckiego i Bobreckiej-Jamro [2015b] nawożenie azotem i zastosowanie szczepienia nasion Nitraginą nie miały istotnego wpływu na zawartość tłuszczu surowego, włókna i makroelementów.

W badaniach Gawędy i in. [2016, 2017] zawartość włókna w nasionach soi odmiany Mazovia określona na obiektach, gdzie stosowano siew bezpośredni zawierała się w przedziale od 5,0% do 5,3%, a odmiany Nawiko od 5,0% do 5,4%. Był to poziom zawartości włókna bardzo zbliżony do stwierdzonego w omawianych badaniach.

Soja stanowi bogate źródło białka i aminokwasów egzogennych, zawiera przy tym niewielkie ilości włókna surowego i substancji antyżywniowych. Nasiona soi są doskonałym źródłem bioaktywnych peptydów wykazujących właściwości prozdrowotne. Są one wykorzystywane w profilaktyce chorób cywilizacyjnych, takich jak choroby układu krążenia, otyłość, zaburzenia funkcji immunologicznej i nowotwory [Borawska i in. 2014].

W badaniach Jareckiego i Bobreckiej-Jamro [2015b] nawożenie azotem oraz szczepienie nasion Nitraginą zwiększało zawartość kwasu glutaminowego i metioniny w nasionach soi, powodując jednocześnie obniżenie zawartości cysteiny. Jednak w przypadku większości ocenianych aminokwasów (poza Cys, Met i Tyr) ich zawartość w nasionach była mniejsza po zastosowaniu dawki startowej azotu ($25 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$), w porównaniu z kontrolą bez nawożenia. Podobne zależności uzyskano w omawianych badaniach. Zastosowanie wyższej dawki nawozu mineralnego skutkowało zwiększeniem zawartości w nasionach tylko Cys, Met i Trp. Większa zawartość w nasionach soi cysteiny i metioniny mogła wynikać z faktu, iż w nawozie mineralnym Polifoska®6 znajdowała się niewielka zawartość siarki, która korzystnie wpływa na syntezę tych aminokwasów przez rośliny [Fageria i Moreira 2011, Filipek-Mazur i in. 2017]. Zawartość aminokwasów w nasionach zależała ponadto od sposobu aplikacji nawozu. Wgłębne zastosowanie nawozu Polifoska®6 istotnie zwiększyło zawartość cysteiny, metioniny i tryptofanu, spadła natomiast zawartość glutaminy i alaniny. W przypadku pozostałych aminokwasów (z wyjątkiem argininy) na obiektach z nawożeniem podpowierzchniowym obserwowano niewielkie zmniejszenie ich zawartości w nasionach.

Biel i in. [2018], określając zawartość makroelementów w nasionach soi w odniesieniu do fosforu, uzyskali wartości w zakresie od 10,32 do 10,37 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. W badaniach własnych zawartość tego pierwiastka była na znacznie mniejszym poziomie. Kozak i in. [2008] stwierdzili zbliżoną do prezentowanych w badaniach zawartość P, która w zależności od lat badań wynosiła 4,7–6,4 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Z kolei zawartość K w nasionach soi jedynie w 2016 r. była zbliżona do uzyskanej przez Biel i in. [2018] (od 20,48 do 22,63 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$). Z kolei Kozak i in. [2008] określili zawartość K w nasionach soi na poziomie 13,2–19,9 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Zawartość Mg stwierdzona w badaniach Biel i in. [2018] wyniosła od 2,02 do 2,09 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ i była wyraźnie mniejsza od uzyskanej w badaniach własnych. Kozak i in. [2008] w nasionach soi wykazali zawartość Mg w granicach od 3,4 do 3,8 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, a więc zbliżoną do stwierdzonej w 2015 r. W badaniach Jareckiego i Bobreckiej-Jamro [2015b] po zastosowaniu dawki startowej N pod soję na poziomie 25 kg zawartość P w nasionach soi wyniosła 5,84 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, zawartość K – 18,33 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, zaś Mg – 2,06 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Wartości te były wyraźnie mniejsze od stwierdzonych w omawianych badaniach. W badaniach Kozaka i in. [2008] skład chemiczny nasion soi był w największym stopniu zależny od przebiegu pogody w latach badań, a w dalszej kolejności od czynnika odmianowego i liczby wysianych nasion na 1 m^2 . Z kolei Kołpak [1989] podaje, że zróżnicowana obsada roślin oraz nawożenie azotem nie modyfikowały zawartości fosforu i potasu w nasionach soi.

Podobnie Jasińska i in. [1987] stwierdzili, że skład chemiczny i wartość energetyczna nasion soi w niewielkim stopniu zależały od gęstości siewu.

Zawartość ocenianych pierwiastków w nasionach soi zebranych z obiektów, gdzie nawóz mineralny wnoszono powierzchniowo lub włąbnie uzależniona była głównie od zróżnicowanych warunków pogodowych w kolejnych sezonach wegetacji. W badaniach Stanisławskiej-Głubiak i Korzeniowskiej [2010] zastosowanie pod powierzchnię gleby nawożenia PKMg w formie nawozu wieloskładnikowego POLIMAG 305 nie zmieniło zawartości fosforu, potasu i magnezu w nasionach grochu, w porównaniu z rzutowym stosowaniem wymienionego nawozu.

WNIOSKI

1. W warunkach włąbnej aplikacji nawozu mineralnego plony nasion soi były większe średnio o 22,7% niż w wariancie z nawożeniem powierzchniowym. Wniesienie nawozu NPK(S) pod powierzchnię gleby spowodowało ponadto zwiększenie liczby strąków na roślinie, liczby i masy nasion z rośliny oraz masy 1000 nasion. Z kolei obsada roślin w wariancie z nawożeniem włąbnym była istotnie mniejsza, niż gdy nawóz wysiewano na powierzchnię.

2. Włąbne zastosowanie nawozu mineralnego pod soję wpłynęło na zwiększenie zawartości P, K i Mg w nasionach. Zwiększyła się również zawartość aminokwasów, takich jak Cys, Met i Trp. Z kolei zawartość Glu i Ala była większa, gdy nawóz mineralny wysiewano powierzchniowo.

3. Zróżnicowany poziom nawożenia mineralnego nie miał wpływu na plonowanie soi, wykazano natomiast istotne różnice w składzie chemicznym uzyskanych nasion. Zastosowanie 170 kg NPK(S) na hektar, w porównaniu z dawką 85 kg·ha⁻¹ wpłynęło na zwiększenie zawartości białka ogólnego i fosforu w nasionach soi. Zmniejszyła się natomiast zawartość włókna, a także N, K i Mg. Poza Cys, Met i Trp, zawartość wszystkich pozostałych aminokwasów była większa w nasionach soi nawożonej niższą dawką nawozu mineralnego.

Źródło finansowania: Dotacja na utrzymanie potencjału badawczego MEiN.

PIŚMIENNICTWO

- Adamič S., Leskovšek R., 2021. Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) growth, yield, and nodulation in the early transition period from conventional tillage to conservation and no-tillage systems. *Agronomy* 11, 2477. <https://doi.org/10.3390/agronomy11122477>
- Alam Md.K., Bell R.W., Salahin N., Pathan Sh., Mondol A.T.M.A.I., Alam M.J, Rashid M.H., Paul P.L.C., Hossain M.I., Shil N.C., 2018. Banding of fertilizer improves phosphorus acquisition and yield of zero tillage maize by concentrating phosphorus in surface soil. *Sustainability* 10, 3234. <https://doi.org/10.3390/su10093234>
- Barbieri, P.A., Sainz Rozas, H.R., Covacevich, F., Echeverría, H.E., 2014. Phosphorus placement effects on phosphorous recovery efficiency and grain yield of wheat under no-tillage in the humid pampas of Argentina. *Int. J. Agron.* 12. <https://doi.org/10.1155/2014/507105>
- Barker D.W., Sawyer J.E., 2005. Nitrogen application to soybean at early reproductive development. *Agron. J.* 97, 615–619. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0615>

- Batista R.O., Hamawaki R.L., Sousa L.B., Nogueira A.P.O., Hamawaki O.T., 2015. Adaptability and stability of soybean genotypes in off-season cultivation. *Genet. Mol. Res.* 14(3), 9633–9645. <http://dx.doi.org/10.4238/2015.August.14.26>
- Bellaloui N., Gillen A.M., 2010. Soybean seed protein, oil, fatty acids, N, and S partitioning as affected by node position and cultivar differences. *Agric. Sci.* 1, 110–118. <https://doi.org/10.4236/as.2010.13014>
- Biel W., Gawęda D., Łysoń E., Hury G., 2017. Wpływ czynników genetycznych i agrotechnicznych na wartość odżywczą nasion soi. *Acta Agroph.* 24(3), 395–404.
- Biel W., Gawęda D., Jaroszewska A., Hury G., 2018. Content of minerals in soybean seeds as influenced by farming system, variety and row spacing. *J. Elem.* 23(3), 863–873. <https://doi.org/10.5601/JELEM.2017.22.3.1483>
- Bobrecka-Jamro D., Pałka M., Sierpiński W., 1995. Wpływ gęstości siewu i przedplonów na cechy morfologiczne nowych odmian soi. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie, Rol.* 32, 5–17.
- Bobrecka-Jamro D., Pizło H., 1996. Wpływ czynników agrotechnicznych na plonowanie soi w warunkach Polski południowo-wschodniej. *Biul. IHAR* 198, 31–44.
- Boczar P., 2016. Znaczenie gospodarcze soi oraz możliwości rozwoju jej produkcji w Polsce. *Zesz. Nauk. Szk. Gł. Gosp. Wiej. Probl. Rol. Światowego* 16(31), 3, 35–48.
- Borawska J., Darewicz M., Iwaniak A., Minkiewicz P., 2014. Biologicznie aktywne peptydy pochodzące z białek żywności jako czynniki prewencji wybranych chorób dietozależnych. *Bromat. Chem. Toksykol.* 47(2), 230–236.
- Bujak K., Jędruszczak M., Frant M., 2001. Wpływ uproszczeń w uprawie roli na plonowanie soi. *Biul. IHAR* 220, 263–272.
- Bury M., Nawracała J., 2004. Wstępna ocena potencjału plonowania odmian soi (*Glycine max* (L.) Merrill) uprawianych w rejonie Szczecina. *Rośl. Oleiste* 25(2), 415–422.
- Caliskan S., Ozkaya I., Caliskan M., Arslan M., 2008. The effects of nitrogen and iron fertilization on growth, yield and fertilizer use efficiency of soybean in a Mediterranean-type soil. *Field Crops Res.* 108, 126–132.
- Căpățână N., Bolohan C., Oprea C.A., Marin D.I., 2018. Influence of soil tillage systems and inoculation on soybean nodulation and yield. *Sci. Papers, A Agron.* 61(1), 46–52.
- Cudzik A., Białczyk W., Czarnecki J., Brennensthal M., Kaus A., 2012. Ocena systemów uprawy w aspekcie zużycia paliwa, plonowania roślin i właściwości gleby. *Inż. Rol.* 2(137), 2, 17–27.
- Dobek T.K., Dobek M., 2008. Efektywność produkcji soi w polskich warunkach. *Inż. Rol.* 4(102), 233–240.
- Fageria N. K., Moreira A., 2011. The role of mineral nutrition on root growth of crop plants. W: L.D. Sparks (red.), *Advances in agronomy*, 110, Academic Press, Burlington, 251–331.
- FAO, 2015. World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Update 2015. Rome, 144–181.
- Farmah B.S., Fernández F.G., Nafziger E.D., 2011. No-till and strip-till soybean production with surface and subsurface phosphorus and potassium fertilization. *Agron. J.* 103(6), 1862–1869. <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0149>
- Fecák P., Šariková D., Černý I., 2010. Influence of tillage system and starting N fertilization on seed yield and quality of soybean *Glycine max* (L.) Merrill. *Plant Soil Environ.* 56, 105–110.
- Filipek-Mazur B., Gorczyca O., Tabak M., 2017. Wpływ nawozów mineralnych zawierających siarkę na zawartość azotu, siarki oraz aminokwasów siarkowych w nasionach rzepaku jarego i ziarnie pszenicy ozimej. *Fragm. Agron.* 34(3), 33–43.
- Fischer A., Dworzecki Z., Kaźmierczak P., Morkowski A., 2006. Analiza porównawcza tradycyjnej i bezorkowej uprawy pszenicy ozimej. *J. Res. Appl. Agric. Eng.* 51(3), 23–25.
- Gawęda D., Cierpiąła R., Bujak K., Wesołowski M., 2014. Soybean yield under different tillage systems. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus* 13(1), 43–54.
- Gawęda D., Cierpiąła R., Harasim E., Haliniarz M., 2016. Effect of tillage systems on yield, weed infestation and seed quality elements of soybean. *Acta Agroph.* 23(2), 175–187.

- Gawęda D., Haliniarz M., Cierpiąła R., Klusek I., 2017. Yield, weed infestation and seed quality of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) under different tillage systems. *J. Agric. Sci.* 23(2), 268–275.
- Gawęda D., Nowak A., Haliniarz M., Woźniak A., 2020. Yield and economic effectiveness of soybean grown under different cropping systems. *Int. J. Plant Prod.* 11. <https://doi.org/10.1007/s42106-020-00098-1>
- Harasim E., Kwiatkowski C., Gawęda D., Gocół M., 2017. Effect of cover crops and different doses of herbicides on the yield and quality of soybean grown in direct sowing. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus* 16(1), 121–132.
- Hosseini S.Z., Firouzi S., Aminpanah H., Sadeghnejhad H.R., 2016. Effect of tillage system on yield and weed populations of soybean (*Glycine Max* L.). *An Acad Bras Cienc* 88(1), 377–384. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201620140590>
- Jakubus M., Tatuśko N., Nawracała J., Pluta M., 2015. Wpływ uprawy soi w monokulturze i zmianowaniu na skład chemiczny roślin i zasobność gleby w składniki pokarmowe. *Agron. Sci.* 70(3), 31–40. <https://doi.org/10.24326/as.2015.3.4>
- Jarecki W., Bobrecka-Jamro D., 2015a. Wpływ nawożenia dolistnego na plon i skład chemiczny nasion soi (*Glycine Max* (L.) Merrill). *Fragm. Agron.* 32(4), 22–31.
- Jarecki W., Bobrecka-Jamro D., 2015b. Effect of fertilization with nitrogen and seed inoculation with nitragina on seed quality of soya bean (*Glycine max* (L.) Merrill). *Acta Sci. Pol. Agricultura*, 14(3), 51–59.
- Jarecki W., Bobrecka-Jamro D., 2016. Reakcja roślin soi na szczepienie nasion nitraginą oraz nawożenie startowe azotem. *Nauka Przyr. Technol.* 10(1), 12.
- Jasińska Z., Kotecki A., Malarz W., 1987. Wpływ rozstawy rzędów i ilości wysiewu na plonowanie soi na glebie brunatnej – średniej. *Biul. IHAR* 164, 117–124.
- Jug D., Sabo M., Jug I., Stipešević B., Stošić M., 2010. Effect of different tillage systems on the yield and yield components of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. *Acta Agron. Hung.* 58(1), 65–72. <https://doi.org/10.1556/AAgr.58.2010.1.8>
- Kania J., Zajac T., Śliwa J., 2016. Efektywność ekonomiczna uprawy soi i rzepaku w zachodniej części Polski. *Rocz. Nauk. SERiA* 18(3)3, 133–138.
- Kassam A., Friedrich T., Shaxson F., Pretty J., 2009. The spread of conservation agriculture: justification, sustainability and uptake. *Int. J. Agric. Sustain.* 7, 292–320. <https://doi.org/10.3763/ijas.2009.0477>
- Khaledian M.R., Mailhol J.C., Ruelle P., Mubarak I., Perret S., 2010. The impacts of direct seeding into mulch on the energy balance of crop production system in the SE of France. *Soil Till. Res.* 106(2), 218–226. <https://doi.org/10.1016/j.still.2009.10.002>
- Kołpak R., 1989. Kształtowanie się składu chemicznego nasion soi w zależności od obsady roślin i nawożenia azotem. *Mat. konf. nauk. Przyrodnicze i agrotechniczne uwarunkowania produkcji nasion roślin strączkowych*, 8–9 listopada 1989, IUNG, Puławy, 193–201.
- Kołpak R., 1996. Plonowanie soi oraz kształtowanie się cech morfologicznych na tle obsady i nawożenia roślin. *Biul. IHAR*, 198, 53–63.
- Kováč L., Jakubová J., Šariková D., 2014. Effect of tillage system and soil conditioner application on soybean (*Glycine max* (L.) Merrill.) and its crop management economic indicators. *Agriculture* 60(2), 60–69.
- Kozak M., Malarz W., Kotecki A., Černý I., Serafin-Andrzejewska M., 2008. Wpływ zróżnicowanej ilości wysiewu i biostymulatora Asahi SL na skład chemiczny nasion i resztek pozbiorowych soi uprawnej. *Rośl. Oleiste* 29, 217–230.
- Kraska P., Andruszczak S., Gierasimiuk P., Rusecki H., 2021. The effect of subsurface placement of mineral fertilizer on some soil properties under reduced tillage soybean cultivation. *Agronomy* 11(5), 859. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050859>
- Księżak J. (red.), 2015. Wybrane zagadnienia uprawy roślin strączkowych. Fundacja Programów Pomocy dla Rolnictwa FAPA, Warszawa, ss. 60.

- Lanca Rodríguez J.G., Gamero C.A., Costa Fernandes J., Mirás-Avalos J.M., 2009. Effects of different soil tillage systems and coverages on soybean crop in the Botucatu Region in Brazil. *Span. J. Agric. Res.* 7(1), 173–180. <https://doi.org/10.5424/sjar/2009071-409>
- Li Y.S., Du M., Zhang Q.Y., Wang G.H., Hashemi M., Liu X.B., 2012. Greater differences exist in seed protein, oil, total soluble sugar and sucrose content of vegetable soybean genotypes [*Glycine max* (L.) Merrill] in Northeast China. *Aust. J. Crop Sci.* 6, 1681–1686.
- Lorenc-Kozik A.M., Pisulewska E., 2003. Wpływ zróżnicowanego nawożenia azotem i mikroelementami na plonowanie wybranych odmian soi. *Rośl. Oleiste* 24, 131–142.
- Luboiński A., Markowicz M., 2017. Wpływ systemu nawożenia azotem na plonowanie trzech odmian soi (*Glycine Max* (L.) Merr.). *Fragm. Agron.* 34(3), 66–75.
- Martyniuk S., Kozel M., Stalenga J., 2013. Wpływ różnych szczepów bakterii symbiotycznych na plony i brodawkowanie lufinu i soi. *J. Res. Appl. Agric. Eng.* 58(4), 67–70.
- Mateos-Aparicio I., Redondo-Cuenca A., Villanueva-Suárez M.J., Zapata-Revilla M.A., 2008. Soybean, a promising health source. *Nutr. Hosp.* 23(4), 305–312.
- Nkebiwe P.M., Weinmann M., Bar-Tal A., Muller T., 2016. Fertilizer placement to improve crop nutrient acquisition and yield: A review and meta-analysis. *Field Crops Res.* 196, 389–401. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.07.018>
- Nouri A., Lee J., Yin X., Tyler D. D., Jagadamma S., Arelli P., 2018. Soil physical properties and soybean yield as influenced by long-term tillage systems and cover cropping in the Midsouth USA. *Sustainability* 10, 4696. <https://doi.org/10.3390/su10124696>
- Ohnishi S., Miyoshi T., Shirai S., 2010. Low temperature stress at different flower developmental stages affects pollen development, pollination, and pod set in soybean. *Environ. Exp. Bot.* 69(1), 56–62. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.02.007>
- Pisulewska E., Kulig B., Ziółek W., 1997. Zmienność i współzależność elementów struktur plonu nasion z krajowych odmian soi w zależności od terminu i sposobu zbioru oraz lat badań. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Rolnictwo* 69(308), 59–71.
- Pisulewska E., Lorenc-Kozik A., Borowiec F., 1999. Wpływ zróżnicowanego nawożenia azotem na plon, zawartość oraz skład kwasów tłuszczowych w nasionach dwóch odmian soi. *Rośl. Oleiste* 20(2), 511–520.
- Pittelkow C.M., Linqvist B.A., Lundy M.E., Liang X., Groenigen K.J., Lee J., Gestel N., Six J., Venterea R.T., Kessel Ch., 2015. When does no-till yield more? A global meta-analysis. *Field Crops Res.* 183, 156–168. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2015.07.020>
- Reckling M., Döring T.F., Bergkvist G., Stoddard F.L., Watson C.A., Seddig S., Chmielewski F.M., Bachinger J., 2018. Grain legume yields are as stable as other spring crops in long-term experiments across northern Europe. *Agron. Sustain. Dev.* 38, 63. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0541-3>.
- Rotundo J.L., Westgate M.E., 2009. Meta-analysis of environmental effects on soybean seed composition. *Field Crop. Res.* 110, 147–156. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.07.012>.
- Šařec O., Šařec P., Dobek T., 2005. Uprawa i zbiór soi. Materiały konferencyjne 8 Międzynarodowej Konferencji Naukowej pt. „Teoretyczne i aplikacyjne problemy inżynierii rolniczej”. Wrocław–Polanica Zdrój 2, 218–220.
- Sharma S., Kaur M., Goyal R., Gill B.S., 2014. Physical characteristics and nutritional composition of some new soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) genotypes. *J. Food Sci. Technol.* 51, 551–557. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0517-7>
- da Silva G.F., Calonego J.C., Luperini B.C.O., Chamma L., Alves E.R., Rodrigues S.A., Putti F.F., da Silva V.M., de Almeida Silva M., 2022. Soil – plant relationships in soybean cultivated under conventional tillage and long-term no-tillage. *Agronomy* 12, 697. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030697>
- Skowera B., Puła J., 2004. Skrajne warunki pluwiotermiczne w okresie wiosennym na obszarze Polski w latach 1971–2000. *Acta Agroph.* 3(1), 171–177.

- Skowera B., 2014. Zmiany warunków hydrotermicznych na obszarze Polski (1971–2010) *Fragm. Agron.* 31(2), 74–87.
- Stanisławska-Głubiak E., Korzeniowska J., 2010. Skuteczność zlokalizowanego nawożenia kukurydzy i grochu w tradycyjnym i zerowym systemie uprawy roli. *Fragm. Agron.* 27(1), 160–169.
- Szulc P., Dubas A., 2013. Plonowanie kukurydzy (*Zea Mays* L.) po orce i nawożeniu obornikiem zastosowanych jednorazowo po wieloletniej bezorkowej uprawie roli i nawożeniu wyłącznie mineralnym. *Fragm. Agron.* 30(4), 173–180.
- Szwejkowska B., 2005. Wpływ intensywności uprawy grochu siewnego na zawartość i plon białka. *Acta Sci. Pol. Agricultura* 4(1), 153–161.
- Taylor H.M., 1980. Soybean growth and yields affected by row spacing and by seasonal water supply. *Agron. J.* 69, 729–732.
- Tyczewska A., Gracz J., Twardowski T., Małycka A., 2014. Soja przyszłością polskiego rolnictwa? *Nauka* 4, 121–138.
- Wilcox J.R., Shibles R.M., 2001. Interrelationships among seed quality attributes in soybean. *Crop Sci.* 41, 11–14.
- Zielińska-Dawidziak M., Nawracała J., Piasecka-Kwiatkowska D., Król E., Staniek H., Krejpcio Z., 2012. Wpływ roku zbioru nasion soi (*Glycine max* L. Merrill) na akumulację żelaza z roztworów FeSO₄. *Fragm. Agron.* 29(4), 183–193.

Summary. The present study was conducted during the period 2015–2017 based on a field experiment established in 2014 in the village of Rogów, Zamość County, Poland. The aim of this experiment was to evaluate the effect of subsurface application of different rates of a mineral compound fertilizer named Polifoska®6 NPK(S) 6-20-30(7) on yield of soybean, and some yield quality. The soybean was sown in soybean – winter wheat – maize crop rotation under no-tillage conditions. The mineral fertilizer was applied at a rate of 200 and 400 kg ha⁻¹, and it was spread evenly under the soil surface at a depth range of 10–30 cm according to the operation of a soil loosener and fertilizer spreader attachment. Plots with surface fertilizer application were the control treatment. After harvest, yield and yield components of the soybean seeds were estimated. A chemical analysis of seeds was also performed in order to determine the quality of harvested yield. Deep mineral fertilizer application had a beneficial effect on soybean yield levels and contributed to an increase in the seed content of Met and Trp as well as of P, K, and Mg. Nevertheless, the seed content of Glu and Ala was found to decrease compared to surface fertilizer application. Soybean fertilized with the higher rate of the fertilizer Polifoska®6 was characterized by a greater seed total protein and P content. In turn, soy-beans contained more fiber, amino acids (except for Cys, Met, and Trp), and also N, K, and Mg in the treatment with the lower rate of mineral fertilization.

Key words: soybean, seed yield, yield quality, no-tillage, subsurface mineral fertilization

Otrzymano/Received: 9.11.2022
Zaakceptowano/Accepted: 11.12.2022

