



<sup>1</sup>Katedra Herbologii i Technik Uprawy Roślin-Zakład Ekologii Rolniczej,  
Wydział Agrobiotechnologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,  
Akademicka 13, 20-950 Lublin, Polska

<sup>2</sup>Katedra Biotechnologii, Mikrobiologii i Żywienia Człowieka,  
Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,  
Akademicka 13, 20-950 Lublin, Polska

\*e-mail: [sylwia.andruszczak@up.lublin.pl](mailto:sylwia.andruszczak@up.lublin.pl)

PIOTR KRASKA <sup>1</sup>, SYLWIA ANDRUSZCZAK <sup>1\*</sup>,  
PAWEŁ GIERASIMIUK<sup>1</sup>, MARTA WESOŁOWSKA-TROJANOWSKA <sup>2</sup>

## Wpływ podpowierzchniowego wnoszenia nawozu mineralnego na plon, skład chemiczny ziarna oraz wybrane właściwości gleby w warunkach bezplużnej uprawy pszenicy ozimej

The effect of subsurface mineral fertilizer application on the yield and chemical grain composition of winter wheat and some soil properties under reduced tillage conditions

**Sreszczenie.** Badania przeprowadzono w latach 2015–2017, w oparciu o eksperyment polowy założony jesienią 2014 roku w miejscowości Rogów, powiat zamojski. Celem doświadczenia była ocena wpływu podpowierzchniowego wprowadzania zróżnicowanych dawek wieloskładnikowego nawozu mineralnego Polifoska®6 NPK(S) 6-20-30(7) na wybrane właściwości fizyko-chemiczne i biologiczne gleby, a także plon i jakość plonu ziarna pszenicy ozimej wysiewanej w zmianowaniu soja – pszenica ozima – kukurydza w warunkach uprawy bezorkowej. Nawóz mineralny w dawce 200 i 400 kg·ha<sup>-1</sup> wnoszono pod powierzchnię gleby równomiernie w zakresie 10–30 cm głębokości pracy elementu wysiewająco-spulchniającego. Obiekt kontrolny stanowiły poletka z powierzchniową aplikacją nawozu. Po zbiorze oceniono plon i elementy struktury plonu ziarna pszenicy. Wykonano również analizy chemiczne ziarna celem określenia jakości zebranego plonu. W pobieranych corocznie próbach glebowych oznaczano zawartość Corg w warstwie 0–30 cm, natomiast w glebie pobieranej do głębokości 90 cm (z podziałem na 3 warstwy co 30 cm) określono pH oraz zawartość fosforu, potasu i magnezu. Dodatkowo określono liczbę i biomasę dżdżownic.

**Cytowanie:** Kraska P., Andruszczak S., Gierasimiuk P., Wesołowska-Trojanowska M., 2023. Wpływ podpowierzchniowego wnoszenia nawozu mineralnego na plon, skład chemiczny ziarna oraz wybrane właściwości gleby w warunkach bezplużnej uprawy pszenicy ozimej. *Agron. Sci.* 78(3), 47–78. <https://doi.org/10.24326/as.2023.5089>

Plon ziarna pszenicy ozimej był istotnie zróżnicowany tylko w latach badań. W obiektach z głębokim wniesieniem nawozu Polifoska®6 odnotowano wzrost zawartości P i K w ziarnie w porównaniu z wariantem, w którym pszenicę ozimą nawożono powierzchniowo. Wyższa dawka nawozu mineralnego spowodowała ponadto wzrost zawartości N, P, K i Mg w ziarnie w porównaniu z dawką niższą o połowę.

Zawartość  $C_{org}$  w powierzchniowej 0–30 cm warstwie gleby wyraźnie zwiększała się w kolejnych latach prowadzenia uprawy bezpłużnej. Najniższe pH określono w 0–30 cm warstwie gleby. W tym poziomie stwierdzono również większą zawartość P i K niż w warstwach gleby o głębokości 30–60 cm i 60–90 cm.

W obiektach z głębokim sposobem aplikacji nawozu Polifoska®6 stwierdzono ogólną tendencję występowania większej liczby dżdżownic w porównaniu z nawożeniem powierzchniowym. Odnotowano również nieznaczny wzrost biomasy tych organizmów. Występowaniu większej masy dżdżownic sprzyjało ponadto zastosowanie wyższej dawki nawozu mineralnego.

**Słowa kluczowe:** uprawa roli, podpowierzchniowe nawożenie mineralne, właściwości chemiczne gleby, jakość ziarna, dżdżownice

## WSTĘP

W ramach zrównoważonego rolnictwa coraz większym zainteresowaniem cieszą się technologie bezpłużnej uprawy roli. W porównaniu z uprawą płużną są one mniej pracochłonne i energochłonne, a dodatkowo korzystnie kształtują aktywność biologiczną oraz chemiczne i fizyczne właściwości gleby [Nouri i in. 2018a, 2018b, Fonteyne i in. 2019, Harasim i in. 2020, Futa i in. 2021, Kornilowicz-Kowalska i in. 2022]. Stwierdzono, że uprawa bezpłużna zwiększa zawartość materii organicznej w glebie, a to z kolei skutkuje zwiększeniem jej aktywności biologicznej. Dodatkowo ograniczeniu ulega erozja wodna i wietrzna oraz znacząco zmniejsza się ryzyko wypłukania pierwiastków poza agrocenozę [Woźniak i Soroka 2018, Kraska i in. 2021]. Korzyści wynikające z zastosowania uproszczeń w uprawie, zarówno pod względem opłacalności uprawy, jak i aspektów środowiskowych, zaobserwować można po długoletnim okresie ich stosowania [Kassam i in. 2009, Małecka i in. 2012b]. Wśród pozytywnych cech wymieniane jest także zmniejszenie emisji dwutlenku węgla do atmosfery [Chalise i in. 2020].

Lakew [2019] uważa, że składniki pokarmowe muszą być podane w odpowiedniej ilości, formie i czasie tak, by w jak największym stopniu zapewnić roślinom właściwe warunki do prawidłowego wzrostu i rozwoju. Randall i in. [2001], Costa i in. [2009] oraz 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. Według Michalskiego i Kowalika [2007] korzystne efekty zlokalizowanego nawożenia silniej uwidaczniają się w trudniejszych warunkach agrotechnicznych, stąd zaleca się je w systemie bezorkowym.

Warunkiem efektywnego wykorzystania składników z nawozów jest ich pozostawianie w zasięgu korzeni roślin [Gaj i in. 2013]. Równomierne rozmieszczenie składników w profilu warstwy ornej ma szczególne znaczenie w przypadku nawozów słabo przemieszczających się w glebie, takich jak fosfor i potas [Wróbel i Pabin 2008]. Wgłębne stosowanie nawozów, zwłaszcza zawierających P, może ograniczyć stężenie tego pierwiastka na powierzchni pola. W ten sposób ogranicza się zagrożenie dla środowiska związane z erozją wodną i spływami wody z powierzchni pól. Jednocześnie uważa się, że

wgłębne stosowanie nawozów poprawia dostępność składników w nich zawartych, a tym samym poprawia efektywność ich stosowania [Randall i Hoefl 1988, Duiker i Beegle 2006, Randall i Vetsch 2008, Nkebiwe i in. 2016, Alam i in. 2018, Kraska i in. 2022].

Z wielu badań wynika, że pszenica ozima reaguje na uproszczenia w uprawie roli zmniejszeniem plonowania w granicach od 3% do nawet 26% [Blecharczyk i in. 2004, Camara i in. 2003, Rieger i in. 2008]. Podobnie Frant i Bujak [2005], Białczyk i Cudzik [2008] oraz Cudzik i in. [2012] dowodzą, że zastosowanie uprawy bezpłużnej obniżyło plon ziarna pszenicy ozimej w porównaniu z uprawą tradycyjną. W innych badaniach wykazano, że pszenica ozima nie reagowała istotnie na testowane systemy uprawy roli [Anken i in. 2004, Golik i in. 2005]. Z kolei Blecharczyk i in. [2006], De Vita i in. [2007] oraz Melaj i in. [2003] wykazali korzystny wpływ uprawy bezorkowej na plonowanie pszenicy ozimej. Kraska i in. [2014] oraz Andruszczak [2017] stwierdzili, że zmniejszenie plonów ziarna zbóż w uprawie bezorkowej wynikało przede wszystkim z obniżenia liczby kłosów na jednostce powierzchni oraz w pewnym stopniu z mniejszej liczby ziaren w kłosie.

Nawożenie jest jednym z ważniejszych czynników oddziałujących zarówno na wielkość plonu, jak i parametry wartości technologicznej ziarna pszenicy ozimej [Podolska i in. 2007, Podolska 2008, Lakew 2019]. Lotfollahi i in. [1997] stwierdzili korzystne oddziaływanie wgłębego stosowania nawozów mineralnych na plon ziarna pszenicy.

W hipotezie badawczej założono, że wgłębna aplikacja nawozu mineralnego, w porównaniu z jego powierzchniowym stosowaniem, w warunkach bezorkowej uprawy roli, dzięki bardziej równomiernemu rozłożeniu w profilu glebowym, wpłynie na lepszą dostępność składników pokarmowych dostarczonych roślinom wraz z nawozem mineralnym, a w efekcie zwiększy plonowanie pszenicy ozimej.

Celem badań była ocena wpływu podpowierzchniowego wprowadzania w systemie bezorkowym zróżnicowanych dawek wieloskładnikowego nawozu mineralnego na plon i jakość ziarna pszenicy ozimej oraz wybrane właściwości gleby.

## 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 w warstwie 0–30 cm charakteryzowała się pH (KCl) o wartości 5,01, zawartością przyswajalnych form P, K i Mg na poziomie odpowiednio 18,84 mg·kg<sup>-1</sup>, 78,92 mg·kg<sup>-1</sup> i 64,07 mg·kg<sup>-1</sup> oraz zawartością C<sub>org</sub> 7,9 g·kg<sup>-1</sup>. W 30–60 cm warstwie gleby pH (KCl) wyniosło 5,94, a zawartość przyswajalnych form P, K i Mg odpowiednio 10,68 mg·kg<sup>-1</sup>, 43,77 mg·kg<sup>-1</sup> i 69,33 mg·kg<sup>-1</sup>. Z kolei w warstwie 60–90 cm pH (KCl) gleby wyniosło 6,61, a zawartość P, K i Mg odpowiednio 16,69 mg·kg<sup>-1</sup>, 44,51 mg·kg<sup>-1</sup> i 65,46 mg·kg<sup>-1</sup>.

### Opis doświadczenia polowego

Statyczne dwuczynnikowe doświadczenie polowe założono metodą split-plot w czterech powtórzeniach. Pierwszy czynnik badawczy uwzględniał dwa sposoby aplikacji nawo-

żenia 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 przedsięwzięnie wieloskładnikowego nawozu mineralnego Polifoska®6 NPK(S) 6-20-30(7). Wielkość pojedynczego poletka wynosiła 175 m<sup>2</sup>. Między obiektami z różnymi sposobami nawożenia mineralnego zastosowano 20-metrową izolację przestrzenną niezbędną do prawidłowego wykonania poszczególnych zabiegów agrotechnicznych.

W doświadczeniu wysiewano rośliny w zmianowaniu: soja, pszenica ozima, kukurydza. Pszenica ozima odmiany Patras hodowcy Saaten Union została wpisana do Krajowego Rejestru w 2012 r. i została zakwalifikowana do grupy jakościowej A [Korbas i in. 2017]. Według COBORU odmiana Patras cechuje się dobrą plennością, odznacza się mniejszą reakcją na intensywny poziom agrotechniki oraz średnią tolerancją na zakwaszenie gleby.

W roku założenia doświadczenia przedplonem pszenicy ozimej był rzepak ozimy, po zbiorze którego zastosowano wapnowanie poprzez wysianie kredy (zawartość CaO – 39,2%; CaCO<sub>3</sub> – 70%) w ilości 5 t·ha<sup>-1</sup> (New Holland Tm 165 + rozsiewacz Joskin Siroko).

Składniki pokarmowe w postaci fosforu i potasu oraz częściowo azotu zostały wniesione za pośrednictwem nawozu wieloskładnikowego Polifoska®6 NPK(S) 6-20-30(7), aplikowanego przedsięwzięnie w ilości 200 (F85) lub 400 (F170) kg·ha<sup>-1</sup>. Procentowa zawartość wszystkich składników w zastosowanym nawozie była następująca: N – 6%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 20%, K<sub>2</sub>O – 30%, SO<sub>3</sub> – 7%. Nawożenie mineralne pod rośliny zmianowania wyniosło (kg·ha<sup>-1</sup>):

F85 = N-12, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-40 (17,5 P), K<sub>2</sub>O-60 (50 K), SO<sub>3</sub>-14 (5,5 S)

F170 = N-24, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-80 (35 P), K<sub>2</sub>O-120 (100 K), SO<sub>3</sub>-28 (11 S).

Sumarycznie w przeliczeniu na czysty składnik NPKS stanowiło to odpowiednio: F85 – 85 kg·ha<sup>-1</sup>; F170 – 170 kg·ha<sup>-1</sup>.

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 sprzężającej 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 pszenicy zastosowano zestaw uprawowo-siewny TERRASEM C6.

Pogłówne dawki azotu w pszenicy ozimej wniesiono w postaci nawozu RSM 26 – gęstość 1,28 kg·dm<sup>-3</sup> (wraz z ruszeniem wiosennej wegetacji; N-26%, SO<sub>3</sub>-7,5%) w ilości 300 dm<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> (99,84 kg·ha<sup>-1</sup> N; 28,8 kg·ha<sup>-1</sup> SO<sub>3</sub> – 11,5 kg·ha<sup>-1</sup> S) oraz RSM 32 – gęstość 1,32 kg·dm<sup>-3</sup> (ostatni tydzień kwitnienia; N-32%) w ilości 250 dm<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> (105,60 kg·ha<sup>-1</sup> N).

Przed siewem pszenicy wykonywano kultywatorowanie, przy czym na poletkach z powierzchniową aplikacją nawozu zabieg ten wykonano bezpośrednio po jego wysiewie, natomiast w wariantcie z wgłębnią aplikacją – podczas tego samego przejazdu. Zastosowane środki ochrony roślin w łanie pszenicy ozimej zamieszczono w tabeli 1.

Ziarno pszenicy ozimej odmiany Patras wysiewano w ilości 170 kg·ha<sup>-1</sup>. Aplikację środków ochrony roślin wykonano za pomocą opryskiwacza samojezdnego Bargam Gimpeur New 28 m. Zbiór roślin wykonano w fazie pełnej dojrzałości kombajnem New Holland CR 8090.

Tabela 1. Zaprawy nasienne i ochrona chemiczna w łanie pszenicy ozimej  
Table 1. Seed dressings and chemical crop protection in winter wheat canopy

Ochrona roślin/ Plant protection	
Zaprawy nasienne Seed dressings	<p>Scenic 080 FS – protiokonazol (substancja z grupy triazoli) – 37,5 g·dm<sup>-3</sup>; fluoksastrobina (substancja z grupy strobiluryn) – 37,5 g·dm<sup>-3</sup>; tebukonazol (substancja z grupy triazoli) – 5 g·dm<sup>-3</sup>;</p> <p>Scenic 080FS – prothioconazole (a substance from the triazole group) – 37.5 g·dm<sup>-3</sup> fluoxastrobin (a substance from the strobilurin group) – 37.5 g·dm<sup>-3</sup> tebuconazole (a substance from the triazole group) – 5 g·dm<sup>-3</sup></p>
Herbicydy Herbicides	<p>Axial 50 EC (BBCH 37*) 0,9 dm<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> – pinoksaden (związek z grupy fenylopirazolin) – 50 g·dm<sup>-3</sup>;</p> <p>Mustang 306 SE (BBCH 12–32) 0,6 dm<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> – florasulam (substancja z grupy triazolopirymidyn) – 6,25 g·dm<sup>-3</sup>; 2,4-D (substancja z grupy fenoksykwasów) – 300 g·dm<sup>-3</sup>;</p> <p>Axial 50 EC (BBCH 37*) 0.9 dm<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> – pinoxaden (a compound from the phenylpyrazoline group) – 50 g·dm<sup>-3</sup></p> <p>Mustang 306 SE (BBCH 12–32) 0.6 dm<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> – florasulam (substance from the triazolopyrimidine group) – 6.25 g dm<sup>-3</sup> 2,4-D (a substance from the group of phenoxy acids) – 300 g·dm<sup>-3</sup></p>
Fungicydy Fungicides	<p>Capalo 337,5 SE (BBCH 25–29) 2 dm<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> – fenpropimorf (związek z grupy morfolin) – 200 g·dm<sup>-3</sup>; epoksykonazol (związek z grupy triazoli) – 62,5 g·dm<sup>-3</sup>; metrafenon (związek z grupy pochodnych ketonu difenylowego) – 75 g·dm<sup>-3</sup></p> <p>Optan 183 SE (BBCH 25–69) 1,5 dm<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> – piraklostrobina (substancja z grupy strobiluryn) – 133 g·dm<sup>-3</sup>; epoksykonazol (substancja z grupy triazoli) – 50 g·dm<sup>-3</sup></p> <p>Caramba 60 SL (BBCH 30–59) 1,5 dm<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> – metkonazol (związek z grupy triazoli) – 60 g·dm<sup>-3</sup></p> <p>Tebu 250 EW (BBCH 30–59) 1 dm<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> – tebukonazol (związek z grupy triazoli) – 250 g·dm<sup>-3</sup></p> <p>Capalo 337.5 SE (end of tillering) 2 dm<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> – phenpropimorph (a compound from the morpholine group) – 200 g·dm<sup>-3</sup>; epoxiconazole (a compound from the group of triazoles) – 62.5 g·dm<sup>-3</sup>; metrofenone (a compound from the group of diphenyl ketone derivatives) – 75 g·dm<sup>-3</sup>;</p> <p>Optan 183 SE (BBCH 25–69) 1.5 dm<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> – pyraclostrobin (a substance from the strobilurin group) – 133·g dm<sup>-3</sup>; epoxiconazole (a substance from the triazole group) – 50 g·dm<sup>-3</sup></p> <p>Caramba 60 SL (BBCH 30–59) 1.5 dm<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> – metconazole (compound from the group of triazoles) – 60 g·dm<sup>-3</sup></p> <p>Tebu 250 EW (BBCH 30–59) 1 dm<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> – tebuconazole (compound from the group of triazoles) – 250 g·dm<sup>-3</sup></p>
Insektycydy Insecticides	<p>Cyberkill max 500 EC (BBCH 30–59) 0,05 dm<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> – cypermetryna (związek z grupy pyretroidów) – 500 g·dm<sup>-3</sup></p> <p>Cyberkill max 500 EC (BBCH 30–59) 0.05 dm<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> – cypermethrin (pyrethroid compound) – 500 g dm<sup>-3</sup></p>

\* Bleiholder i in. [2018]

## Ocena poziomu plonowania pszenicy ozimej i cech struktury plonu

Przed zbiorem pszenicy ozimej określono liczbę kłosów w czterech punktach każdego poletka wyznaczonych losowo ramką o powierzchni 0,25 m<sup>2</sup>. Na próbie roślin pobranej z czterech powierzchni 0,25 m<sup>2</sup> z każdego poletka określono liczbę i masę ziaren w kłosie. Masę tysiąca ziaren (g) oznaczono w dwóch powtórzeniach po 500 ziaren. Plon ziarna (dt·ha<sup>-1</sup>) określono po zbiorze wykonanym w fazie dojrzałości pełnej (wilgotność ziarna 12%).

## Oznaczanie wybranych cech jakościowych ziarna pszenicy ozimej

W ziarnie pszenicy ozimej 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), P (mineralizacja w kwasie siarkowym i wodzie utlenionej, oznaczenie metodą spektrofotometryczną wanadomolibdenową), K (mineralizacja w kwasie siarkowym i wodzie utlenionej; oznaczenie metodą fotometrii płomieniowej), Mg (mineralizacja w kwasie siarkowym i wodzie utlenionej, oznaczenie metodą spektrometrii absorpcji atomowej – metoda ASA). Oznaczenia wykonano w Stacji Chemiczno-Rolniczej w Lublinie oraz w Centralnym Laboratorium Badawczym Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie.

## Oznaczanie pH i wybranych właściwości chemicznych gleby

Przed założeniem doświadczenia jesienią w 2014 r. pobrano próby glebowe w celu określenia zasobności w podstawowe pierwiastki i pH w warstwie 0–90 cm (P, K, Mg) oraz zawartości węgla organicznego w warstwie 0–30 cm. W kolejnych latach glebę z warstw 0–30 cm, 30–60 cm oraz 60–90 cm pobierano po zbiorze pszenicy ozimej. Z każdego poletka za pomocą zmodyfikowanej laski Egnera w 10 losowo wybranych miejscach pobrano próbki gleby. Następnie, próbki gleby pobrane z czterech poletek, stanowiących powtórzenia w ramach danego wariantu doświadczenia, połączono w jedną zbiorczą. W próbach zbiorczych z każdego obiektu oznaczono: zawartość węgla organicznego – metodą Tiurina, azot ogólny – metodą Kjeldahla, fosfor i potas przyswajalny – metodą Egnera-Riehma, magnez przyswajalny – metodą ASA po ekstrakcji 0,0125 mol CaCl<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>, pH<sub>KCl</sub> – metodą potencjometryczną. Oznaczenia wykonano w Stacji Chemiczno-Rolniczej w Lublinie.

W drugiej połowie lipca przeprowadzono ocenę zasiedlenia gleby przez dżdżownice. Biomasa dżdżownic określono poprzez przełożenie gleby z powierzchni próbnej 25 cm × 25 cm pobranej do głębokości 25 cm w czterech losowo wybranych miejscach każdego poletka na plandekę. Dżdżownice były ręcznie wybierane z gleby i ważone.

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

## Warunki meteorologiczne prowadzenia badań

W 2015 r. najcieplejszym miesiącem był lipiec, dla którego średnia temperatura dobowa wynosiła 21,7°C (tab. 2). Największe opady określono w maju (62,2 mm). Dla tego miesiąca w okresie wielolecia odnotowano 57,4 mm opadu. Czerwiec był miesiącem

skrajnie suchym, gdzie suma miesięczna opadów wynosiła zaledwie 15,5 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 kwiecień i maj charakteryzowały się zmiennymi warunkami wilgotnościowymi. Kwiecień był miesiącem wilgotnym, maj był zaś miesiącem 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. (o 163,3 mm) i wyniosła 320,1 mm. Największą sumą opadów charakteryzował się lipiec (131,5 mm) – tabela 3.

W 2017 r. czerwiec był miesiącem bardzo suchym (wartość wskaźnika Sielanianowa  $k = 0,50$ ) – tabela 4. Najcieplejszym miesiącem w 2017 r. był lipiec (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 kwietnia do lipca w 2017 r. była wyższa niż w 2015 r. o 100,2 mm i o 3,2 mm od sumy z wielolecia dla tego okresu (tab. 3).

Do oceny warunków termicznych oraz pluwiometrycznych, w trzech analizowanych okresach wegetacyjnych, zastosowano współczynnik hydrotermiczny Sielanianowa [Stachowski 2010] w postaci:  $k = P \times 10 / \sum t$ , gdzie P to miesięczna suma opadów atmosferycznych w mm, a  $\sum t$  – suma średnich dobowych temperatur wyższych niż 0°C.

Tabela 2. Średnia dobowa temperatura powietrza (°C) panująca w okresie wegetacyjnym wg Stacji Meteorologicznej w Bezku z uwzględnieniem wielolecia 1974–2010

Table 2. Average daily air temperature (°C) in the growing season according to the Bezek Meteorological Station, as compared to the long-term mean figures (1974–2010)

Lata/Years	Miesiąc/Month				
	IV	V	VI	VII	IV–VII
2015	7,7	13,1	17,1	21,7	14,9
2016	9,4	14,8	18,1	19,9	15,5
2017	7,4	14,2	17,9	20,1	14,9
1974–2010	7,8	13,5	16,3	18,2	13,9

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	Miesiąc/Month				
	IV	V	VI	VII	IV–VII
2015	33,7	62,2	15,5	45,4	156,8
2016	67,7	54,5	66,4	131,5	320,1
2017	59,5	71,0	27,0	99,5	257,0
Średnia wieloletnia Long-term mean 1974–2010	37,9	57,4	76,9	81,6	253,8

Tabela 4. Charakterystyka trzech okresów wegetacyjnych na podstawie współczynnika hydrotermicznego Sielianinowa ( $k$ ) w latach 2015–2017 według Stacji Meteorologicznej w Bezku  
 Table 4. Sielianinov hydrothermal coefficients ( $k$ ) during the growing seasons in the years of the experiment (2015–2017) according to the Meteorological Station at Bezek

Miesiąc Month	Lata/Years		
	2015	2016	2017
IV	$k = 1,47$ optymalny/optimal	$k = 2,40$ wilgotny/humid	$k = 2,66$ bardzo wilgotny very humid
V	$k = 4,75$ skrajnie wilgotny extremely humid	$k = 1,23$ dość suchy rather dry	$k = 1,67$ dość wilgotny rather humid
VI	$k = 0,30$ skrajnie suchy extremely dry	$k = 1,23$ dość suchy rather dry	$k = 0,50$ bardzo suchy very dry
VII	$k = 0,70$ bardzo suchy very dry	$k = 2,20$ wilgotny humid	$k = 1,66$ dość wilgotny rather humid

## WYNIKI

### Plon i struktura plonu ziarna pszenicy ozimej

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

Największą obsadę kłosów pszenicy ozimej określono w 2015 r., istotnie mniejszą w 2017 r., a najmniejszą w drugim roku badań (tab. 6). W obiektach, gdzie zastosowano zwiększony poziom nawożenia mineralnego obsada kłosów była istotnie większa niż w wariantcie F85 z niższą dawką NPKS. Większą liczbę kłosów pszenicy ozimej stwierdzono w warunkach powierzchniowego wysiewu nawozu Polifoska®6 NPK(S) 6-20-30(7) w porównaniu z wglębną aplikacją nawozu, jednak obserwowana zależność miała jedynie charakter tendencji.

Plonowanie pszenicy ozimej w największym stopniu uzależnione było od przebiegu warunków pogodowych w latach badań. Największy plon ziarna pszenicy uzyskano w 2015 r. Średnio o 4,4% niższy plon stwierdzono w 2017 r., natomiast najslabiej pszenica plonowała w 2016 r. (tab. 6). Chociaż plon ziarna uzyskany w drugim roku badań był średnio o 10,9% istotnie mniejszy w stosunku do 2015 r., to należy uznać go za wysoki, ponieważ niemal dwukrotnie przekraczał średnią krajową, wynoszącą w 2017 r. 48,8 dt·ha<sup>-1</sup> [Mały Rocznik Statystyczny Polski 2019].

Sposób aplikacji nawozu nie miał istotnego wpływu na wielkość plonu pszenicy ozimej. Zaznaczyła się jednak tendencja większego plonowania w warunkach powierzchniowej aplikacji nawozu mineralnego niż w obiektach z nawożeniem wglębnym. Nieco większe plony ziarna wydała pszenica ozima nawożona dawką NPKS na poziomie 170 kg·ha<sup>-1</sup>, jednak różnice w stosunku do wariantu F85 (średnio 3,1%) były statystycznie nieistotne (tab. 6).

W porównaniu z wysiewem powierzchniowym wglębny sposób aplikacji nawozu mineralnego istotnie zmniejszył masę 1000 ziaren pszenicy ozimej (tab. 6). Zwiększony poziom nawożenia mineralnego ujemnie wpłynął na dorodność ziarna pszenicy, zmniejsz-



szając istotnie wartość masy tysiąca ziaren (MTZ) średnio o 5% w porównaniu z niższą o połowę dawką nawozu wieloskładnikowego. Stwierdzona interakcja między czynnikami doświadczenia wskazuje jednak, że istotne zmniejszenie MTZ pod wpływem wyższej dawki nawożenia mineralnego nastąpiło jedynie w warunkach powierzchniowego wnoszenia nawozu, natomiast w wariancie z jego wglębną aplikacją masa tysiąca ziaren pszenicy w obiektach F85 i F170 była zbliżona (tab. 7).

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

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	SL	Y × SL	MFA × SL	FD × SL
WY	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
MTG	ns	**	**	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns
PD	**	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
NGE	**	**	ns	**	ns	**	ns	ns	ns	ns
MGE	**	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N	**	ns	**	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P	**	**	**	**	**	**	ns	ns	ns	ns
K	**	**	**	**	**	**	ns	ns	ns	ns
Mg	**	ns	**	**	**	**	ns	ns	ns	ns
TOC	**	**	**	**	**	**	ns	ns	ns	ns
pH	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
PS	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
KS	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
MgS	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
NE	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
ME	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Y – lata; MFA – sposób wnoszenia nawozu mineralnego; FD – dawka nawożenia mineralnego (NPKS – Polifoska® 6); SL – warstwa gleby (cm)

WY – plon pszenicy ( $\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ ); MTG – masa tysiąca ziaren (g); PD – obsada roślin (na  $1 \text{ m}^2$ ); NGE – liczba ziaren z kłosa; MGE – masa ziaren z kłosa (g); N – zawartość azotu w ziarnie pszenicy; P – zawartość fosforu w ziarnie pszenicy (g); K – zawartość potasu w ziarnie pszenicy; Mg – zawartość magnezu w ziarnie pszenicy (g); TOC – węgiel organiczny w glebie ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ); pH – pH gleby (w  $1 \text{ M KCl}$ ); PS – zawartość fosforu przyswajalnego w glebie ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ); KS – zawartość potasu przyswajalnego w glebie ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ); MgS – zawartość magnezu przyswajalnego w glebie ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ); NE – liczba dżdżownic (w próbce gleby  $25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$ ); ME – masa dżdżownic (g; w próbce gleby  $25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$ )

\*\* istotne przy  $p = 0,05$ ; ns – nieistotne przy  $p = 0,05$

Y – year; MFA – method of fertilizer application; FD – fertilizer dose (NPKS – Polifoska® 6); SL – soil layer (cm)  
WY – wheat yield ( $\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ ); MTG – mass of thousand grains (g); PD – plant density (per  $1 \text{ m}^2$ ); NGE – the number of grains from the ear; MGE – the mass of grains from the ear (g); N – nitrogen content in wheat grain ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ); P – phosphorus content in wheat grain ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ); K – potassium content in wheat grain ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ); Mg – magnesium content in wheat grain ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ); TOC – total organic carbon in soil ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ); pH – soil pH (in  $1 \text{ M KCl}$ ); PS – content of available phosphorus in soil ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ); KS – content of available potassium in soil ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ); MgS – content of available magnesium in soil ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ); NE – number of earthworms (in a soil sample of  $25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$ ); ME – mass of earthworms (g; in a soil sample of  $25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$ )

\*\* significant at  $p = 0.05$ ; ns – not significant at  $p = 0.05$

Tabela 6. Obsada, plon oraz wybrane elementy struktury plonu ziarna pszenicy ozimej  
Table 6. Plant density, yield and selected elements of winter wheat grain yield structure

Wyszczególnienie Specification		Obsada roślin (na 1 m <sup>2</sup> ) Plant density (per 1 m <sup>2</sup> )	Plon pszenicy Wheat yield (dt·ha <sup>-1</sup> )	Masa tysięcy ziaren The mass of thousand grains (g)	Liczba ziaren z kłosa The number of grains from the ear	Masa ziaren z kłosa The mass of grains from the ear (g)
Lata Years	2015	704,8	102,27	36,7	40,0	1,46
	2016	529,6	91,11	37,2	46,8	1,73
	2017	626,9	97,80	36,2	44,4	1,58
NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>		68,54	8,510	ns	4,93	0,150
MFA	S	641,3	99,65	38,6	41,2	1,58
	Sub-S	599,5	94,47	34,8	46,3	1,61
	NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	ns	ns	1,55	3,34	ns
FD	F85	596,3	91,07	37,7	43,7	1,61
	F170	644,6	97,86	35,8	43,7	1,56
	NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	46,53	ns	1,55	ns	ns

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<sup>-1</sup>; F170 – dawka nawożenia 170 kg NPKS ha<sup>-1</sup>

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<sup>-1</sup>; F170 – fertilizer dose 170 kg NPKS·ha<sup>-1</sup>

Tabela 7. Wpływ interakcji czynników doświadczenia na wybrane elementy struktury plonu  
ziarna pszenicy ozimejTable 7. Influence of the interaction of experimental factors on the selected elements  
of winter wheat grain yield structure

Interakcje czynników doświadczenia Interaction of experimental factors		Masa tysiąca ziaren The mass of thousand grains (g)	Liczba ziaren z kłosa The number of grains from the ear	Masa ziaren z kłosa The mass of grains from the ear (g)
Y × MFA	2015 × S	38,5	40,6	1,55
	2015 × Sub-S	34,9	39,3	1,37
	2016 × S	39,2	42,1	1,64
	2016 × Sub-S	35,3	51,4	1,81
	2017 × S	38,3	40,8	1,53
	2017 × Sub-S	34,2	48,0	1,64
	NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	ns	8,57	0,261
MFA × FD	S × F85	41,1	39,2	1,61
	S × F170	36,1	43,1	1,54
	Sub-S × F85	34,2	48,2	1,65
	Sub-S × F170	35,4	44,3	1,57
	NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	2,91	6,27	ns

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<sup>-1</sup>; F170 – dawka nawożenia 170 kg NPKS·ha<sup>-1</sup>; ns – różnice nieistotne  
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<sup>-1</sup>; F170 – fertilizer dose 170 kg NPKS·ha<sup>-1</sup>; ns – not significant difference

W 2016 r. stwierdzono istotnie większą liczbę i masę ziaren w kłosie pszenicy ozimej niż w 2015 r. (tab. 6). Wymienione elementy struktury plonu zależały od sposobu wniesienia nawozu mineralnego – wyższe wartości tych cech uzyskano w warunkach wgłębnej aplikacji nawozu, jednak potwierdzone statystycznie różnice w porównaniu z wariantem, w którym nawóz rozsiewano na powierzchnię pola uzyskano tylko w odniesieniu do liczby ziaren w kłosie.

Stwierdzona interakcja pomiędzy czynnikami doświadczenia wskazuje, że wgłębne zastosowanie niższej dawki nawozu mineralnego istotnie zwiększyło liczbę ziaren w kłosie pszenicy ozimej w porównaniu z wariantem, w którym zmniejszoną dawkę NPKS zaaplikowano powierzchniowo (tab. 7).

### Zawartość wybranych pierwiastków w ziarnie pszenicy ozimej

Intensyfikacja poziomu nawożenia mineralnego (poziom F170) przyczyniła się do istotnego zwiększenia zawartości N, P, K i Mg w ziarnie pszenicy ozimej w odniesieniu do obiektu, w którym zastosowano mniejszą o połowę dawkę nawozu mineralnego (tab. 8). Jednocześnie zawartość P i K w ziarnie pozyskanym z obiektów z wgłębnią aplikacją nawozu mineralnego była większa niż z poletek nawożonych powierzchniowo (tab. 8).

Tabela 8. Zawartość wybranych makroelementów w ziarnie pszenicy ozimej ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )  
 Table 8. The content of selected macroelements in winter wheat ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

Wyszczególnienie Specification		Azot Nitrogen	Fosfor Phosphorus	Potas Potassium	Magnez Magnesium
Lata/Years	2015	24,70	2,69	4,08	1,66
	2016	21,34	3,45	4,24	1,13
	2017	23,24	2,95	3,48	0,90
	NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	1,236	0,033	0,036	0,015
MFA	S	23,33	3,01	3,64	1,23
	Sub-S	22,89	3,05	4,22	1,23
	NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	ns	0,022	0,025	ns
FD	F85	22,51	2,93	3,91	1,18
	F170	23,68	3,13	3,96	1,28
	NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	0,835	0,022	0,025	0,010

Objaśnienia jak w tabeli 6./ Explanation as in table 6.

Zawartość ocenianych makroelementów w ziarnie istotnie zależała od warunków pogodowych w latach badań. Pszenica ozima zebrana w 2015 r. charakteryzowała się największą zawartością N i Mg oraz jednocześnie najniższą zawartością P w porównaniu z pozostałymi latami. W 2016 r. w ziarnie pszenicy stwierdzono najwięcej P i K, a najmniej N, natomiast w ziarnie zebranym w ostatnim roku badań oznaczono najniższą zawartość K i Mg (tab. 8).

Statystyczna analiza uzyskanych wyników badań wskazuje, że wpływ sposobu aplikacji nawozu mineralnego na zawartość azotu w ziarnie pszenicy zależał od warunków pogodowych w latach badań. W 2016 r. wglębne wprowadzenie nawozu, w porównaniu z jego powierzchniowym wysiewem, spowodowało istotne zmniejszenie zawartości tego makroelementu w ziarnie pszenicy, natomiast w latach obserwowano nieznaczny i statystycznie nieistotny wzrost zawartości N w ziarnie (tab. 9). Podpowierzchniowe wniesienie nawozu mineralnego w latach 2015 i 2017 spowodowało istotne zwiększenie zawartości P w ziarnie pszenicy ozimej w porównaniu z nawożeniem powierzchniowym, z kolei w 2016 r. sposób aplikacji nawozu nie miał wpływu na ten parametr (tab. 9).

W latach 2015 i 2017 zawartość P w ziarnie pszenicy w obiektach z wyższym poziomem nawożenia mineralnego była większa niż w wariantach z dawką NPKS w ilości  $85 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (tab. 9). Podobną zależność określono w odniesieniu do K i Mg. Z kolei w 2016 r. więcej K i Mg zawierało ziarno z poletek z mniejszym nawożeniem mineralnym (tab. 9). Zarówno w obiektach powierzchniowego, jak i wglębnego stosowania nawożenia mineralnego zastosowanie większej dawki nawozu skutkowało większą zawartością P w ziarnie pszenicy (tab. 9).

Interakcja między sposobem aplikacji nawozu a latami badań wykazała, że w warunkach powierzchniowego wnoszenia nawozu najmniejszą zawartość K w ziarnie uzyskano w ostatnim roku badań, największą zaś w 2016 r. W obiektach z wglębną aplikacją nawozu mineralnego zawartość K w kolejnych latach istotnie malała (tab. 9).

Analiza statystyczna potwierdziła istotne współdziałanie sposobu aplikacji nawozu z dawką nawożenia NPKS. Wyższa dawka nawozu mineralnego zastosowana powierzchniowo spowodowała istotne zwiększenie zawartości K w ziarnie pszenicy, natomiast wniesiona pod powierzchnię przyczyniła się do spadku zawartości badanego pierwiastka w ziarnie (tab. 9). Podobną zależność obserwowano w odniesieniu do Mg (tab. 9).

Tabela 9. Wpływ interakcji czynników doświadczenia na zawartość wybranych makroelementów w ziarnie pszenicy ozimej ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

Table 9. Influence of the interaction of experimental factors on the content of selected macronutrients in winter wheat ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

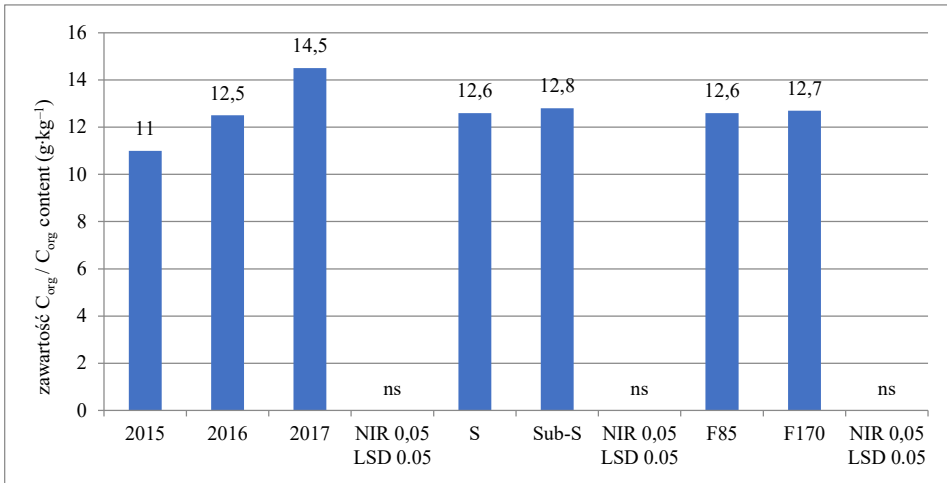
Interakcje czynników doświadczenia Interaction of experimental factors		Azot Nitrogen	Fosfor Phosphorus	Potas Potassium	Magnez Magnesium
Y × MFA	2015 × S	24,40	2,72	3,63	1,65
	2015 × Sub-S	25,00	2,83	4,52	1,68
	2016 × S	22,95	3,48	4,04	1,18
	2016 × Sub-S	19,73	3,53	4,44	1,09
	2017 × S	22,65	2,83	3,25	0,89
	2017 × Sub-S	23,83	3,04	3,71	0,93
	NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	2,164	0,057	0,064	0,027
Y × FD	2015 × F85*	24,42	2,56	3,92	1,51
	2015 × F170*	25,25	2,83	4,23	1,82
	2016 × F85	20,68	3,57	4,48	1,17
	2016 × F170	22,00	3,53	4,00	1,09
	2017 × F85	22,68	2,85	3,32	0,86
	2017 × F170	23,80	3,04	3,64	0,94
	NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	ns	0,057	0,064	0,027
MFA × FD	S × F85	23,01	2,86	3,49	1,11
	S × F170	23,66	3,16	3,79	1,36
	Sub-S × F85	22,00	2,99	4,32	1,25
	Sub-S × F170	23,71	3,11	4,13	1,21
	NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	ns	0,042	0,046	0,019

Objaśnienia jak w tab. 7./ Explanation as in Tab. 7.

### Zawartość $C_{\text{org}}$ , pH gleby oraz zawartość wybranych makroelementów w glebie w stanowisku po zbiorze pszenicy ozimej

W warunkach prowadzonych badań w stanowisku po zbiorze pszenicy ozimej czynniki doświadczalne nie różnicowały istotnie zawartości węgla organicznego w glebie (ryc. 1). Warto jednak podkreślić, że w kolejnych latach obserwowano systematyczne zwiększanie się zawartości  $C_{\text{org}}$  w 0–30 warstwie gleby.

W stanowisku po pszenicy ozimej w każdym kolejnym roku badań pH gleby zwiększało się istotnie (tab. 10). Potwierdzone statystycznie różnice w wartości pH stwierdzo-



Objaśnienia jak w tabeli 6./ Explanations as in table 6.

Ryc. 1. Zawartość C<sub>org</sub> w 0–30 cm warstwie gleby w stanowisku po zbiorze pszenicy ozimej (g·kg<sup>-1</sup>)  
 Fig. 1. C<sub>org</sub> content in the 0–30 cm soil layer in the field after winter wheat harvest (g·kg<sup>-1</sup>)

no również w zależności od warstwy gleby – wraz ze wzrostem głębokości następowało istotne zwiększenie pH gleby. Na wartość pH gleby istotny wpływ miał również sposób aplikacji nawozu mineralnego. Niższą wartość pH stwierdzono w glebie pobranej z obiektu, w którym nawóz aplikowano wgłębnie w porównaniu z powierzchniowym wysiewem. Jednocześnie wykazano, że zwiększone nawożenie NPKS prowadzi do istotnego spadku pH gleby.

W pierwszym roku doświadczenia, w porównaniu z pozostałymi latami, stwierdzono najniższą zawartość P i K w glebie (tab. 10). Z kolei najwyższe zawartości tych pierwiastków wykazano odpowiednio w 2016 r. i 2017 r. Nieco inną zależność wykazano w odniesieniu do zawartości Mg w glebie – największą zawartością tego pierwiastka charakteryzowała się gleba w pierwszym roku badań (tab. 10).

Wierzchnia warstwa gleby do głębokości 30 cm zawierała istotnie więcej P i K, a mniej Mg niż głębsze warstwy. W glebie pobranej z głębokości 30–60 cm stwierdzono najniższą zawartość P i jednocześnie najwyższą zawartość Mg, natomiast w najgłębszej warstwie gleby oznaczono najniższą zawartość K (tab. 9).

Istotnie większą zawartość P w glebie po uprawie pszenicy ozimej stwierdzono w wariantach z podpowierzchniową aplikacją nawozu mineralnego, a K i Mg w glebie pochodzącej z poletek, gdzie nawóz wysiewano powierzchniowo. Na wzrost zawartości P i K w glebie istotny wpływ miało zastosowanie wyższej dawki nawożenia mineralnego (F170). W glebie pobranej z obiektu F170 stwierdzono jednak istotny spadek zawartości Mg w porównaniu z nawożeniem na poziomie 85 kg NPKS na hektar (F85) – tabela 9.

### Ocena wpływu interakcji czynników doświadczenia na wybrane właściwości fizyko-chemiczne gleby

We wszystkich latach badań pH gleby istotnie zwiększało się wraz z głębokością (tab. 11). Podpowierzchniowe wniesienie nawozu mineralnego w 2015 r. przyczyniło się do zwiększenia pH gleby, natomiast w latach 2016 i 2017 nastąpił spadek pH

Tabela 10. Ocena pH oraz zawartości przyswajalnych form wybranych makroelementów ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) w glebie po zbiorze pszenicy ozimej  
 Table 10. Evaluation of pH and content of available forms of some macronutrients ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) in the soil after harvest of winter wheat

Wyszczególnienie Specification		pH (KCl)	Fosfor Phosphorus	Potas Potassium	Magnez Magnesium
Lata Year	2015	5,64	12,53	59,29	66,84
	2016	6,02	23,46	67,48	57,29
	2017	6,54	20,21	76,75	57,62
	NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	0,009	0,217	1,00	0,731
SL	0–30 cm	5,35	27,44	101,08	53,94
	30–60 cm	6,05	12,92	57,51	64,14
	60–90 cm	6,80	15,83	44,92	63,67
	NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	0,009	0,217	1,00	0,731
MFA	S	6,22	18,29	73,61	60,91
	Sub-S	5,92	19,18	62,06	60,25
	NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	0,006	0,147	0,682	0,497
FD	F85	6,10	16,49	66,64	61,58
	F170	6,04	20,97	69,03	59,58
	NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	0,006	0,147	0,682	0,497

Y – lata; MFA – sposób wnoszenia nawozu mineralnego; FD – dawka nawożenia mineralnego (NPKS – Polifoska; SL – warstwa gleby (cm); ns – różnice nieistotne

Y – year; MFA – method of fertilizer application; FD – fertilizer dose (NPKS – Polifoska®); SL – soil layer (cm); ns – not significant difference

w porównaniu z obiektem, w którym nawóz aplikowano na powierzchnię. W pierwszych dwóch latach badań intensyfikacja nawożenia mineralnego istotnie zmniejszyła wartość pH gleby w stosunku do obiektu z niższą dawką NPKS, natomiast w ostatnim roku doświadczenia odnotowano odwrotną zależność (tab. 11).

Oceniając wpływ sposobu aplikacji nawozu mineralnego na pH gleby, wykazano, że podpowierzchniowe wniesienie nawozu, w porównaniu z jego wysiewem na powierzchnię gleby, powoduje zmniejszenie wartości pH w każdej z ocenianych warstw (tab. 11). Jednocześnie w warstwie do 30 cm pod wpływem zastosowania wyższej dawki NPKS wykazano istotny wzrost pH gleby. Odwrotną zależność odnotowano w głębszych warstwach gleby, tj. 30–90 cm.

Niezależnie od lat badań największą wartość pH określono w glebie nawożonej tradycyjnie (powierzchniowo) dawką NPKS na poziomie  $85 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

We wszystkich latach badań największą zawartość P stwierdzono w wierzchniej warstwie gleby – do głębokości 30 cm. W 2016 r. zawartość tego składnika w glebie zmniejszała się istotnie w kolejnych poziomach profilu glebowego, natomiast w latach 2015 i 2017 najniższym pH odznaczała się gleba pobrana z warstwy 30–60 cm.

Tabela 11. Wpływ interakcji czynników doświadczenia na pH gleby oraz zawartość przyswajalnych form wybranych makroelementów ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) w trzech warstwach gleby w stanowisku po zbiorze pszenicy ozimej

Table 11. Effect of interactions of the experimental factors on soil pH and content of available forms of some macronutrients ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) in three soil layers in the field after harvest of winter wheat

Interakcje czynników doświadczenia Interaction of experimental factors		pH (KCl)	Fosfor Phosphorus	Potas Potassium	Magnez Magnesium
Y × SL	2015 × 0–30 cm	4,87	21,67	86,20	59,92
	2015 × 30–60 cm	5,66	6,76	45,45	71,98
	2015 × 60–90 cm	6,40	9,17	46,21	68,62
	2016 × 0–30 cm	5,41	36,48	108,20	51,42
	2016 × 30–60 cm	6,02	18,40	54,86	58,31
	2016 × 60–90 cm	6,64	15,49	39,37	62,13
	2017 × 0–30 cm	5,77	24,18	108,82	50,47
	2017 × 30–60 cm	6,47	13,60	72,23	62,13
	2017 × 60–90 cm	7,38	22,84	49,19	60,27
	NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	0,022	0,502	2,327	1,694
Y × MFA	2015 × S	5,51	8,99	62,22	66,72
	2015 × Sub-S	5,78	16,08	56,36	66,96
	2016 × S	6,21	22,48	71,63	60,29
	2016 × Sub-S	5,84	24,44	63,33	54,29
	2017 × S	6,93	23,40	86,99	55,73
	2017 × Sub-S	6,14	17,02	66,51	59,52
	NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	0,016	0,375	1,737	1,265
Y × FD	2015 × F85	5,83	8,97	53,96	67,46
	2015 × F170	5,45	16,10	64,62	66,22
	2016 × F85	6,12	23,49	68,72	57,07
	2016 × F170	5,93	23,42	66,23	57,50
	2017 × F85	6,35	17,02	77,25	60,22
	2017 × F170	6,72	23,40	76,24	55,03
	NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	0,016	0,375	1,737	1,265
SL × MFA	0–30 cm × S	5,40	24,63	105,02	53,11
	0–30 cm × Sub-S	5,30	30,26	97,13	54,76
	30–60 cm × S	6,30	14,16	55,11	63,87
	30–60 cm Sub-S	5,80	11,69	59,91	64,41
	60–90 cm × S	6,96	16,08	46,95	65,75
	60–90 cm × Sub-S	6,65	15,59	42,89	61,59
	NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	0,016	0,375	1,737	1,265



SL × FD	0–30 cm × F85	5,32	25,07	97,13	54,05
	0–30 cm × F170	5,37	29,82	105,02	53,82
	30–60 cm × F85	6,14	12,19	59,91	65,72
	30–60 cm × F170	5,96	13,65	55,11	62,57
	60–90 cm × F85	6,84	12,22	42,89	64,98
	60–90 cm × F170	6,77	19,44	46,95	62,37
	NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	0,016	0,375	1,737	1,265
MFA × FD	S × F85	6,25	15,34	72,01	63,16
	S × F170	6,19	21,24	75,21	58,67
	Sub-S × F85	5,95	17,65	61,28	60,01
	Sub-S × F170	5,88	20,70	62,85	60,50
	NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	0,012	0,275	1,275	0,929

Y – lata; MFA – sposób wnoszenia nawozu mineralnego; FD – dawka nawożenia mineralnego (NPKS – Polifoska® 6); SL – warstwa gleby (cm); S – powierzchniowa aplikacja nawozu mineralnego, Sub-S – podpowierzchniowa aplikacja nawozu mineralnego; F85 – dawka nawożenia 85 kg NPKS·ha<sup>-1</sup>; F170 – dawka nawożenia 170 kg NPKS·ha<sup>-1</sup>, ns – różnice nieistotne

Y – years; MFA – method of fertilizer application; FD – fertilizer dose (NPKS – Polifoska® 6); SL – soil layer (cm); S – surface fertilizer application, Sub-S – subsurface fertilizer application; F85 – fertilizer dose 85 kg NPKS·ha<sup>-1</sup>; F170 – fertilizer dose 170 kg NPKS·ha<sup>-1</sup>, ns – not significant difference

W latach 2015–2016 wgłębna aplikacja nawozu mineralnego istotnie zwiększyła zawartość P w glebie, natomiast w 2017 r. większą zawartość fosforu stwierdzono w glebie pobranej z polettek, na których nawóz mineralny rozsiewano powierzchniowo. Zastosowanie wyższej dawki NPKS w uprawie pszenicy ozimej istotnie zwiększyło zawartość P w glebie po zbiorze pszenicy w latach 2015 i 2017, natomiast w 2016 r. zróżnicowanie poziomu nawożenia mineralnego nie miało wpływu na zawartość tego składnika w glebie.

W wierzchniej warstwie gleby (0–30 cm) większą zawartość P określono w obiektach z wgłębnią aplikacją nawozu mineralnego. Z kolei w warstwach 30–60 cm i 60–90 cm większą zawartość fosforu określono w glebie z polettek, gdzie nawóz wysiewano powierzchniowo. Jednocześnie, we wszystkich ocenianych warstwach gleby większą zawartość P określono w glebie pobranej z polettek, gdzie nawóz mineralny zastosowano w większej dawce (tab. 11).

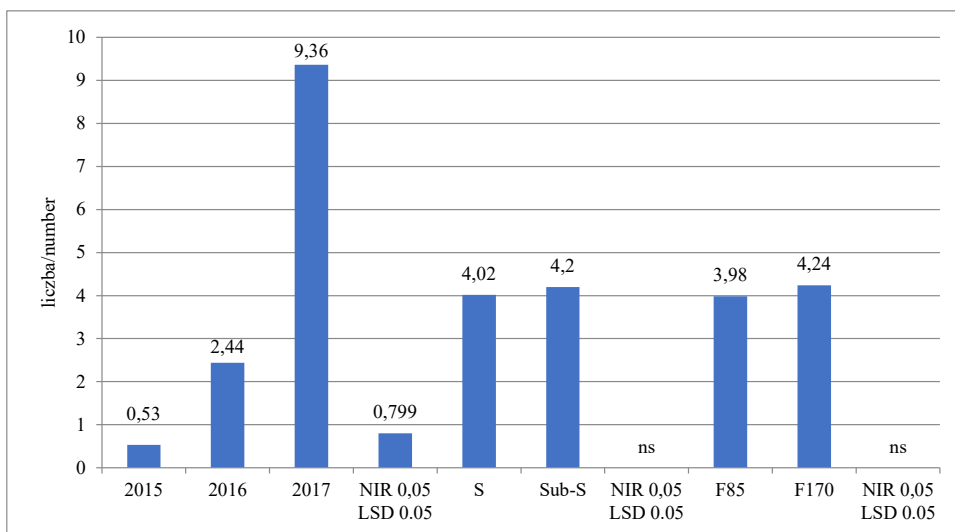
Interakcja czynników doświadczalnych wykazała, że zastosowanie większej dawki NPKS istotnie zwiększało zawartość P w glebie, przy czym zależność tę stwierdzono zarówno w warunkach wgłębnej, jak i podpowierzchniowego wniesienia nawozu mineralnego.

W ocenianych sezonach wegetacji największą zawartość K określono w wierzchniej warstwie gleby (0–30 cm). Jednocześnie wykazano ogólną zależność zmniejszania się zawartości tego składnika w kolejnych badanych warstwach gleby do głębokości 90 cm (tab. 11). Większą zawartość K w glebie we wszystkich latach badań stwierdzono w obiektach z nawożeniem powierzchniowym niż w wariantach z wgłębnią aplikacją nawozu. Wyższy poziom nawożenia NPKS istotnie zwiększył zawartość K w glebie tylko w 2015 r., natomiast w 2016 r. stwierdzono istotne obniżenie zawartości K w glebie z polettek, gdzie zastosowano wyższą dawkę nawożenia mineralnego. W warstwie

0–30 cm zawartość K w glebie z poletek, gdzie nawóz mineralny rozsiewano powierzchniowo była większa niż gdy nawóz wprowadzano wgłębnie. Intensyfikacja nawożenia mineralnego spowodowała istotne zwiększenie zawartości K w warstwach 0–30 cm oraz 60–90 cm, odnotowano natomiast zmniejszenie koncentracji tego składnika w warstwie gleby 30–60 cm. Istotne współdziałanie czynników doświadczalnych wykazało, że największą zawartość potasu zawierała gleba w warunkach zastosowania 170 kg NPKS·ha<sup>-1</sup> aplikowanych powierzchniowo.

W latach 2015 i 2017 w warstwie gleby 30–60 cm zawartość Mg była istotnie większa niż w pozostałych ocenianych poziomach gleby (tab. 11). Z kolei w 2016 r. w glebie po zbiorze pszenicy ozimej wraz ze wzrostem głębokości stwierdzono wzrost zawartości Mg. W 2016 r. wgłębna aplikacja nawozu mineralnego, w porównaniu z jego powierzchniowym wysiewem, spowodowała istotne zmniejszenie zawartości Mg w glebie, z kolei w 2017 r. odnotowano odwrotną zależność. Wykazano również, że w 2017 r. intensyfikacja nawożenia mineralnego istotnie zmniejszyła zawartość Mg w glebie po zbiorze pszenicy ozimej.

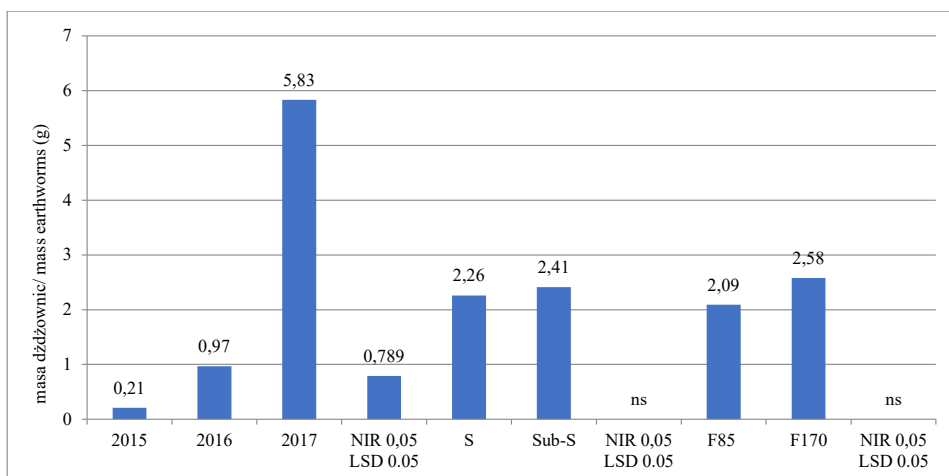
Większą zawartość Mg w warstwie gleby 0–30 cm stwierdzono w wariacie z nawożeniem podpowierzchniowym, niż gdy nawóz wysiewano na powierzchnię gleby. Zwiększony poziom nawożenia mineralnego obniżył zawartość Mg w glebie, jednak potwierdzone statystycznie różnice stwierdzono tylko w odniesieniu do warstwy 30–90 cm. Niezależnie od lat badań i ocenianej warstwy gleby najwięcej magnezu w glebie stwierdzono w warunkach stosowania niższej dawki NPKS wysiewanej powierzchniowo, a najmniej w glebie pochodzącej z poletek nawożonych powierzchniowo, ale wyższą dawką nawozu mineralnego.



Objaśnienia jak w tabeli 6./ Explanations as in table 6.

Ryc. 2. Liczba dżdżownic określona w glebie obsiewanej pszenicą ozimą z powierzchni 25 cm × 25 cm × 25 cm

Fig. 2. Number of earthworms determined in a 25 cm × 25 cm × 25 cm soil block after harvest of winter wheat



Objaśnienia jak w tabeli 6./ Explanations as in table 6.

Ryc. 3. Masa dżdżownic (g) określona w glebie obsiewanej pszenicą ozimą z powierzchni 25 cm × 25 cm × 25 cm

Fig. 3. Mass of earthworms in (g) determined in a 25 cm × 25 cm × 25 cm soil block after harvest of winter wheat

### Liczba i masa dżdżownic w glebie

Liczba dżdżownic stwierdzona w stanowisku pod pszenicą ozimą w każdym kolejnym roku doświadczenia zwiększała się istotnie (ryc. 2). Z kolei ich biomasa w ostatnim roku badań (2017 r.) była istotnie większa niż w latach 2015–2016 (ryc. 3). W doświadczeniu nie wykazano istotnego wpływu sposobu aplikacji i dawki nawozu mineralnego na występowanie dżdżownic w glebie, ale uzyskane różnice miały charakter tendencji. Nieco większą liczbę i masę dżdżownic stwierdzono w obiektach z wglębną aplikacją nawozu mineralnego w porównaniu z nawożeniem powierzchniowym. Występowaniu dżdżownic sprzyjała ponadto wyższa dawka nawożenia mineralnego (ryc. 2 i 3).

### DYSKUSJA

#### Plon i struktura plonu pszenicy ozimej

Ze względu na wieloaspektowość oddziaływania modyfikacje systemu uprawy roli, powinny być dostosowane do wymagań roślin uprawnych oraz właściwości gleby [Lepiarczyk i in. 2007]. W wielu doświadczeniach stwierdzono zmniejszenie plonowania pszenicy wysiewanej w bezorkowych wariantach uprawy roli [Camara i in. 2003, Blecharczyk i in. 2004, Rieger i in. 2008, Małecka i in. 2012a, Hausherr Lüder i in. 2019]. W badaniach Małeckiej i in. [2012a, 2012b], Haliniarz i in. [2013], Kraski i in. [2014], Joniec i in. [2015] oraz Andruszczak [2017] zmniejszenie plonów ziarna zbóż w bezorkowych systemach uprawy roli wynikało głównie z obniżenia liczby kłosów na jednostce powierzchni. W badaniach Kraski [2011c] plon ziarna pszenicy jarej uzyskany w warunkach uprawy płużnej był od 8,8% do 9,7% większy niż z obiektów uprawy bezpłużnej, a taki stan wynikał z korzystniejszej obsady kłosów, jak również z wytworzenia

większej masy tysiąca ziaren pszenicy jarej. Podobnie Weber [2011] stwierdził, że liczba kłosów na jednostce powierzchni jest decydującym elementem, wpływającym na wielkość plonu pszenicy ozimej, natomiast mniejszy wpływ wywierają masa i liczba ziaren z kłosa. Podobną zależność odnoszącą się do liczby kłosów stwierdzono w omawianych badaniach. Największy plon ziarna uzyskano w 2015 r., w którym obsada kłosów była największa, mimo że czerwiec i lipiec tego roku były miesiącami, w których wystąpił deficyt opadów. Prawdopodobnie zapas wody pozimowej w glebie, a także optymalne warunki w kwietniu oraz wilgotne w maju pozwoliły uzyskać wysoki plon ziarna. Jednocześnie warto zwrócić uwagę na fakt, że plon ziarna pszenicy ozimej uzyskany w tych badaniach był wysoki i znacznie przekraczał poziom uzyskany przez Małecką i in. [2012a] w warunkach uprawy płużnej. Z kolei Anken i in. [2004] nie stwierdzili różnic w plonowaniu pszenicy wysiewanej w warunkach różnych systemów uprawy roli. Z kolei Piskier [2006] zauważył, że wieloletnie stosowanie uprawy bezorkowej nie wywiera wyraźnego wpływu na plonowanie pszenicy ozimej. Halvorson i in. [1999], Blecharczyk i in. [2006] oraz Melaj i in. [2003] stwierdzili natomiast przyrost plonu pszenicy wysiewanej w warunkach uprawy bezorkowej.

W badaniach Webera i Kieloch [2014], w których porównywano różne warianty uprawy bezpłużnej, plon ziarna pszenicy ozimej był blisko dwukrotnie mniejszy, a MTZ wyraźnie większa niż uzyskane w omawianym doświadczeniu. Woźniak i Soroka [2018] zanotowali zmniejszenie plonu ziarna pszenicy, MTZ oraz masy ziarna z kłosa w warunkach uprawy bezpłużnej. Liczba ziaren w kłosie pszenicy ozimej określona w prezentowanych badaniach była zbliżona lub większa niż określona przez Małecką i in. [2012a] w obiektach uprawianych bezpłużnie.

W badaniach Pabina i in. [2008], niezależnie od wykonywanych zabiegów uprawowych, występowanie suszy było głównym czynnikiem ograniczającym plonowanie roślin. Jednocześnie w warunkach umiarkowanego niedoboru opadów istotnie niższe plony dawały rośliny wysiewane w systemie uproszczonej uprawy roli.

W badaniach Haliniarz i in. [2013] wyższy poziom nawożenia mineralnego zwiększał plon ziarna pszenicy ozimej średnio o  $0,3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Jednocześnie nie wykazano istotnego współdziałania sposobów uprawy roli i poziomów nawożenia mineralnego. Kuś i Filipiak [1988] stwierdzili, że aby uzyskać wysoki plon ziarna pszenicy ozimej obsada kłosów powinna wynosić  $600 \text{ szt} \cdot \text{m}^{-2}$ , liczba ziaren w kłosie 30–31 sztuk, a MTZ nie mniej niż 46 g. W badaniach własnych obsada kłosów była zbliżona lub nieco większa niż podawana przez wspomnianych autorów. Jednak określono wyraźnie większą liczbę ziaren w kłosie z jednocześnie mniejszą masą 1000 ziaren. Małecka [2003] stwierdziła wyraźny wpływ nawożenia mineralnego, zwłaszcza azotem, na zmiany w wielkości plonu ziarna pszenicy ozimej, które wynikały ze zróżnicowania poszczególnych elementów struktury plonu. Podobnie Wojtkowiak i in. [2018a, 2018b] uzyskali zwiększenie plonu oraz MTZ badanych odmian pszenicy ozimej wskutek zwiększenia poziomu nawożenia azotowego.

W prezentowanych badaniach stwierdzono wyraźną tendencję występowania większego plonu ziarna w kombinacji doświadczalnej z powierzchniowym stosowaniem nawozu mineralnego. Mogło to wynikać z faktu, że pszenica główną masę korzeniową wykształca w warstwie od 10 do 20 cm [Batalin 1962, Pałys i in. 2004]. W związku z tym koncentracja składników pokarmowych i ich dostępność w wierzchniej warstwie gleby była dla pszenicy korzystniejsza niż w obiektach z wglębną aplikacją nawozu mineralnego.

W uprawie bezorkowej zastosowanie nawożenia wglębnego ma istotny wpływ na przywrócenie zasobności gleby na różnych jej głębokościach. Pobieranie skład-

ników pokarmowych przez rośliny jest ułatwione. Jednocześnie eliminuje się możliwość nadmiernej koncentracji składników pokarmowych w wierzchniej warstwie gleby w bezorkowym systemie uprawy roli. Przede wszystkim dotyczy to potasu [Kraska i in. 2006, Małecka i in. 2007, Kraska 2011c, Van de Putte i in. 2012]. Umieszczenie nawozu w bezpośredniej bliskości nasion zwiększa dostępność składników pokarmowych dla roślin oraz przyczynia się do stymulacji ich początkowego wzrostu [Kruczek 2005].

Zlokalizowana metoda aplikacji nawozów w badaniach wielu autorów była bardziej korzystna dla plonowania roślin niż tradycyjny sposób nawożenia. Wprowadzenie nawozu pod powierzchnię gleby pozwala na zwiększenie wykorzystania składników pokarmowych, a tym samym na zmniejszenie dawki nawozu [Mallarino i in. 1999, Borges i Mallarino 2001, Skowrońska 2018, Preston i in. 2019]. Shapiro i in. [2016] uważają, że podpowierzchniowy sposób aplikacji składników pokarmowych działa jak regulator wzrostu korzeni i procesów zachodzących w ryzosferze. Większa efektywność nawożenia zlokalizowanego nie jest jednak w pełni jednoznaczna. Niektóre prace wskazują na małą przydatność tej metody aplikacji nawozów [Bordoli i Mallarino 1998, Mallarino i in. 1999, Borges i Mallarino 2001]. Alston [1980] w badaniach z pszenicą wykazał, że głębokie umieszczanie nawozu w glebie o wysokiej zawartości składników odżywczych jest bezzasadne. Również Deibert i in. [1985], Adjetey i in. [1999] oraz Barbieri i in. [2014] w uprawie pszenicy nie zalecają podpowierzchniowego sposobu jej nawożenia.

Dodatnie efekty zlokalizowanego nawożenia uwidaczniają się w warunkach niskiej zawartości składnika w glebie, a także w okresach suszy oraz w trudniejszych warunkach agrotechnicznych, jakie stwarza np. system bezorkowy [Vyn i in. 2002, Yin i Vyn 2004]. Należy wspomnieć, że analiza wskaźnika hydrotermicznego w 2015 r. wskazała czerwiec i lipiec jako skrajnie suche lub bardzo suche. Z kolei w latach 2016 i 2017 czerwiec odznaczał się dużym niedoborem opadów.

W badaniach Małeckiej i in. [2012a] stwierdzono, że warianty uprawy bezorkowej przyczyniały się na ogół do nieznacznej podwyższenia koncentracji azotu w ziarnie zbóż, co prawdopodobnie było związane z większą jego zawartością i pobraniem z wierzchniej warstwy gleby. W omawianych badaniach zawartość N w ziarnie była zbliżona lub większa od stwierdzonej przez Małecką i in. [2012a] w warunkach uprawy bezplużnej (23,6–24,3 g·kg<sup>-1</sup> sm). Gembarzewski i in. [1995] stwierdzili, że zawartość azotu w ziarnie pszenicy zwiększała się wraz ze wzrostem jej plonu. W omawianych badaniach wystąpiła podobna zależność. W obiektach z powierzchniowym wysiewem nawozu mineralnego uzyskano większy plon ziarna pszenicy i jednocześnie wyższą zawartość w nim azotu niż w kombinacji z wglębną jego aplikacją.

W badaniach własnych zawartość P i K w ziarnie pszenicy ozimej była nieznacznie większa niż stwierdzona przez Woźniaka i Sorokę [2018] w warunkach uprawy bezorkowej.

W badaniach Wojtkowiak i in. [2018a] ziarno ocenianych odmian pszenicy ozimej zawierało średnio od 0,264 do 0,329 g P·kg<sup>-1</sup>, od 0,390 do 0,526 g K·kg<sup>-1</sup> oraz od 0,112 do 0,266 g Mg·kg<sup>-1</sup>. Porównując te wyniki do rezultatów badań własnych, uzyskano wyraźnie większą zawartość Mg, natomiast zawartość P i K kształtowała się na podobnym poziomie.

Zastosowanie wyższej dawki nawozu mineralnego skutkowało zwiększeniem zawartości analizowanych makroelementów w ziarnie pszenicy ozimej, co potwierdza wyniki badań Wojtkowiak i in. [2018a], którzy uzyskali większą zawartość P i K w ziarnie pszenicy wskutek zwiększenia nawożenia azotem.

### Fizyko-chemiczne i biologiczne właściwości gleby

W systemach uproszczonej uprawy roli następuje nierównomierne rozmieszczenie składników pokarmowych poprzez ich większą akumulację w wierzchniej warstwie gleby [Kraska 2011a, 2011b, Hausherr Lüder i in. 2019]. W szczególności dotyczy to zawartości węgla organicznego, azotu ogólnego oraz fosforu i potasu. W badaniach Małeckiej i in. [2012b] w warunkach uprawy uproszczonej w warstwie gleby 0–10 cm odnotowano wzrost zawartości węgla organicznego i azotu ogólnego odpowiednio o 30,4% i 21,4%, a w technologii siewu bezpośredniego o 37,3% i 27,6% w odniesieniu do uprawy płuźnej. W warstwie gleby 10–20 cm zawartość węgla organicznego i azotu ogólnego kształtowała się na zbliżonym poziomie we wszystkich wariantach uprawowych. Podobny kierunek zmian uzyskali inni autorzy [Limousin i Tessier 2007, Martin-Rueda i in. 2007, Thomas i in. 2007, López-Fando i Pardo 2009, Shi i in. 2012, Haruna i Nkongolo 2019]. Podobnie w badaniach Kraski [2011a] oraz Woźniaka i Soroki [2018] uprawa bezpłuźna zwiększała w wierzchniej warstwie gleby zawartość węgla organicznego, azotu ogólnego oraz potasu. Również Kraska i Pałys [2004], Alvarez [2005], Kraska i in. [2006], Małecka i in. [2007] oraz Van den Putte i in. [2012] stwierdzili, że uproszczenia w uprawie roli sprzyjają zwiększeniu zawartości węgla organicznego, azotu ogólnego i potasu w glebie. Parylak [2007] stwierdziła natomiast, że uproszczenia w uprawie roli w monokulturze pszenicy ozimej nie wpływały na zmiany zawartości węgla organicznego i azotu w 0–20 cm warstwie gleby.

Większa zawartość węgla organicznego i azotu ogólnego w glebie w warunkach uprawy bezpłuźnej jest wynikiem wolniejszej mineralizacji substancji organicznej oraz mniejszej aeracji gleby. Zawartość substancji organicznej oraz jej tempo mineralizacji wpływa również na zawartość makroelementów w glebie. W uproszczonej uprawie roli i siewie bezpośrednim akumulacja resztek roślinnych w powierzchniowej warstwie gleby sprzyja większej koncentracji P, K i Mg w porównaniu z uprawą tradycyjną [Blecharczyk i in. 2007, Martin Rueda i in. 2007, López-Fando i Pardo 2009, Kraska 2011a]. W omawianych badaniach w trzecim roku eksperymentu stwierdzono istotne zwiększenie zawartości  $C_{org}$  w wierzchniej (0–30 cm) warstwie gleby w odniesieniu do pierwszych dwóch lat prowadzenia eksperymentu. Potwierdziły się wyniki badań innych autorów związane ze zwiększeniem zawartości materii organicznej w wierzchniej warstwie gleby w warunkach uprawy uproszczonej.

Bielińska i in. [2009] udowodnili istotny wzrost zawartości przyswajalnych form fosforu w glebie w warunkach stosowania uprawy bezorkowej i siewu bezpośredniego. Z kolei Kraska [2011a] odnotował niższą zawartość fosforu w warstwie gleby (0–20 cm), na której stosowano uprawę powierzchniową w odniesieniu do uprawy płuźnej. Natomiast w badaniach Małeckiej i in. [2012b] zawartość tego składnika w glebie była podobna we wszystkich obiektach uprawowych.

W omawianych badaniach w wierzchniej warstwie gleby oceniono większą zawartość P i K niż w warstwach głębszych. Dodatkowo w warstwie 0–30 cm w wariantach z wgłębnym stosowaniem nawozu mineralnego stwierdzono większą zawartość P niż w obiektach, gdzie nawóz wysiewano powierzchniowo. Według Batalina [1962] główna masa systemu korzeniowego pszenicy ozimej zlokalizowana jest w 0–25 cm warstwie gleby.

W warstwie gleby 0–30 cm większą zawartość potasu stwierdzono w obiektach z powierzchniowym wysiewem nawozu mineralnego niż w wariantach z jego stosowaniem wgłębnym. Wróbel i Pabin [2008] jako przyczynę zwiększonej koncentracji K w wierzchniej warstwie gleby w warunkach uprawy bezpłuźnej wskazują powolne przemieszczanie się K w głąb profilu glebowego. Warto zwrócić uwagę na fakt, że większy

plon ziarna pszenicy ozimej określono w obiektach, w których nawóz wysiewano na powierzchnię gleby.

W badaniach Wróbla i Pabina [2008] zmianom koncentracji głównych składników pokarmowych w glebie, gdzie wprowadzono uproszczenia w uprawie roli, towarzyszyło zmniejszenie wartości  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  w warstwie 0–5 cm w odniesieniu do warstwy 10–15 cm. Jedną z przyczyn zakwaszania warstw powierzchniowych gleby w warunkach uprawy uproszczonej jest zwiększona mineralizacja substancji organicznej oraz nagromadzenie produktów rozkładu i substancji nawozowych o działaniu zakwaszającym [Lilienfein i in. 2000]. W badaniach własnych również stwierdzono niższe pH gleby w powierzchniowej 0–30 cm warstwie gleby w porównaniu z warstwami głębszymi we wszystkich ocenianych stanowiskach. Haruna i Nkongolo [2019] stwierdzili podobną zależność, oceniając pH gleby w warstwach 0–10; 10–20; 20–40 i 40–60 cm.

Kraska i in. [2006], Blecharczyk i in. [2007] oraz Małecka i in. [2007] stwierdzili, że zastosowanie uprawy uproszczonej prowadzi do zwiększenia zawartości magnezu w wierzchniej warstwie gleby. Z kolei Włodek i in. [2003] ustalili odwrotną zależność – w obiektach z uprawą tradycyjną uzyskali większą zawartość magnezu w glebie niż na poletkach z uprawą uproszczoną. Z kolei Biskupski i in. [2009] nie stwierdzili wpływu uprawy roli na zawartość magnezu w 0–40 cm warstwie gleby. W prezentowanych badaniach również nie stwierdzono jednoznacznych tendencji związanych z koncentracją Mg w warstwach profilu glebowego w zależności od sposobu wnoszenia nawozu mineralnego w warunkach uprawy bezplużnej.

Zdaniem Biskupskiego i in. [2009] zmienność wyników badań związanych z zawartością przyswajalnych form pierwiastków w glebie w różnych sposobach uprawy roli może wynikać stąd, iż w warunkach stosowania uproszczeń w uprawie roli gleba może wykazywać niższą temperaturę niż w warunkach uprawy tradycyjnej. To z kolei może wpływać na spowolnienie reakcji chemicznych zachodzących w glebie [Biskupski i in. 2009].

W badaniach Małeckiej [2003] nawożenie azotem korzystnie oddziaływało na zawartość węgla organicznego w glebie. Stosowanie zwiększonych dawek nawożenia azotowego powoduje zwiększenie poziomu plonowania roślin, jednocześnie zwiększając ilość resztek pozbiorowych. To z kolei sprzyja kumulacji materii organicznej i węgla organicznego w glebie [Janowiak i Murawska 1999]. W omawianych badaniach zwiększony poziom nawożenia mineralnego dotyczył przede wszystkim P i K. Wszystkie rośliny zmianowania wskutek zwiększonego nawożenia mineralnego plonowały na wyższym poziomie. Zmniejszenie zawartości P i K w glebie wskutek zwiększonego nawożenia mineralnego mogło być związane z większym pobraniem składników pokarmowych z plonami. Na taką możliwość wskazuje Skowrońska [2018], która uważa, że podobnie jak w przypadku salda azotu, zawartość P w głównej mierze zdeterminowana jest wielkością uzyskiwanych plonów i wynoszeniem składników pokarmowych z agroekosystemu. W badaniach własnych taką sytuację obserwowano w latach 2016 i 2017 dla K, a w 2017 r. dla Mg.

Ograniczenie intensywności uprawy gleby zmniejsza tempo mineralizacji substancji organicznej, a to z kolei pozytywnie wpływa na poprawę struktury gleby. Jednocześnie zwiększa się liczebność i aktywność mikroorganizmów glebowych [Marinari i in. 2000, Morris i in. 2010, Melero i in. 2011, Majchrzak i in. 2016, Idowu i in. 2019, Niewiadomska i in. 2020, Futa i in. 2021]. Tabatabai i in. [1992] stwierdzili z kolei, że nawożenie azotem mineralnym może wpływać na mikroorganizmy glebowe oraz enzymy poprzez wyższy plon roślin, co z kolei wpływa na ilość resztek poźniwnych, a także, w zależności od dawki i rodzaju nawozu, na kształtowanie się pH gleby.

Ważną rolę w funkcjonowaniu ekosystemu odgrywają dżdżownice, modyfikując strukturę gleby i szereg jej właściwości [Dziejowski i Ropelewska 2012]. W szczególności zwiększają one makroporowatość gleby, przenoszą składniki odżywcze wzdłuż profilu gleby i tworzą stabilne agregaty [Ernst i Emmerling 2009, Baldivieso-Freitas i in. 2018]. W omawianych wynikach badań zarówno liczba, jak i biomasa dżdżownic w glebie zwiększały się w kolejnych latach prowadzenia eksperymentu. Jednak nawet przy wysokiej zawartości materii organicznej uprawa płuzna może powodować zmniejszenie liczby dżdżownic [Czarnecki i Paprocki 1997].

Szulc i Dubas [2007] wykazali, że uprawa bezorkowa sprzyja występowaniu dżdżownic, szczególnie w latach suchych o małej ilości opadów w sezonie wegetacyjnym. Podobnie Capoviez i in. [2012], Pelosi i in. [2015], Romaneckas i in. [2016], Woźniak i Soroka [2018] oraz Dekemati i in. [2019] wyraźnie większą biomasę i aktywność dżdżownic stwierdzili w warunkach uprawy konserwującej niż płuznej. Według Curry i in. [2002] oraz Woźniaka i Kaweckiej-Radomskiej [2016] intensywne uprawy roli silnie ogranicza występowanie dżdżownic w glebie. W badaniach własnych w obiektach, gdzie zastosowano wyższą dawkę nawożenia mineralnego, obserwowano wyraźną tendencję występowania większej biomasy dżdżownic. Mogło to być związane z lepszym zaopatrzeniem roślin w składniki pokarmowe i wytworzeniem większej biomasy, która w postaci resztek poźniwnych zasilila pulę glebowej materii organicznej. W warunkach podpowierzchniowego nawożenia pszenicy ozimej zaobserwowano ponadto tendencję występowania większej liczby i masy dżdżownic w glebie niż w wariancie z wysiewem nawozu na powierzchnię gleby. Według D'Hose i in. [2018] uprawa bezorkowa przyczynia się do zwiększenia zawartości próchnicy w glebie, która jest dodatnio skorelowana z liczbą dżdżownic. Ze względu na brak ingerencji narzędzi uprawowych w układ gleby zapewniona jest większa stabilność glebowa, z zachowaniem ilości resztek poźniwnych na ujednoliconym poziomie [Emmerling 2001, Ernst i Emmerling 2009, Arai i in. 2018].

#### WNIOSKI

1. Plon ziarna pszenicy ozimej był istotnie zróżnicowany tylko w latach badań. W obiektach, gdzie nawóz stosowano na powierzchnię pola, stwierdzono jednak wyraźną tendencję wyższego plonowania pszenicy (średnio o 5,3%) w odniesieniu do wariantu z wglębną aplikacją nawozu.
2. Podpowierzchniowa aplikacja nawozu mineralnego wpłynęła na zwiększenie liczby i masy ziaren z kłosa pszenicy ozimej, a także zawartości P i K w ziarnie. Z kolei większą wartość MTZ pszenicy stwierdzono w przypadku ziarniaków pochodzących z obiektów z powierzchniową aplikacją nawozu.
3. Pszenica ozima nawożona dawką 170 kg NPKS·ha<sup>-1</sup>, w porównaniu z dawką 85 kg·ha<sup>-1</sup> odznaczała się większą obsadą kłosów i jednocześnie mniejszą masą tysiąca ziaren. Dodatkowo, zastosowanie wyższej dawki nawozu mineralnego Polifoska®6 zwiększyło plon ziarna średnio o 3,0%. Intensyfikacja poziomu nawożenia mineralnego przyczyniła się ponadto do zwiększenia zawartości N, P, K i Mg w ziarnie.
4. Zawartość C<sub>org</sub> w wierzchniej warstwie gleby (0–30 cm) nie zależała istotnie od sposobu aplikacji i dawki nawozu mineralnego. Wyraźne zwiększanie wartości tej cechy odnotowano natomiast w kolejnych latach prowadzenia bezpłuznej uprawy gleby.



5. Zawartość P i K w warstwie gleby (0–30 cm) była większa niż w głębszych poziomach profilu glebowego (30–60 cm i 60–90 cm). Wraz ze wzrostem głębokości obserwowano zwiększanie się pH gleby.
6. W warunkach głębokiej aplikacji nawozu mineralnego wartość pH we wszystkich ocenianych warstwach gleby była niższa niż w obiekcie z nawożeniem powierzchniowym. Nawóz mineralny stosowany w podwójnej dawce wpłynął na zwiększenie pH w powierzchniowej warstwie gleby.
7. Liczba i masa dżdżownic w glebie zwiększała się w kolejnych latach badań. Występowaniu tych organizmów sprzyjał głęboki sposób aplikacji nawozu mineralnego, jednak uzyskanych różnic w stosunku do nawożenia powierzchniowego nie udowodniono statystycznie.

## PIŚMIENNICTWO

- Adjetey J.A., Campbell L.C., Searle P.G.E., Saffigna P., 1999. Studies on depth of placement of urea on nitrogen recovery in wheat grown on a redbrown earth in Australia. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 54, 227–232. <https://doi.org/10.1023/A:1009775622609>
- 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(9), 32–34. <https://doi.org/10.3390/su10093234>
- Alston A.M., 1980. Response of wheat to deep placement of nitrogen and phosphorus fertilisers on a soil high in phosphorus in the surface layer. *Aust. J. Agr. Res.* 31(1), 13–24. <https://doi.org/10.1071/AR9800013>
- Alvarez R., 2005. A review of nitrogen fertilizer and conservation tillage effects on soil organic carbon storage. *Soil Use Manag.* 21(1), 38–52. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2005.tb00105.x>
- Andruszczak S., 2017. Reaction of winter spelt cultivars to reduced tillage system and chemical plant protection. *Zemdirbyste* 104(1), 15–22. <https://doi.org/10.13080/z-a.2017.104.003>
- Anken T., Weisskopf P., Zihlmann U., Forrer H., Jansa J., Perhacova K., 2004. Long-term tillage systems of effects under moist cool conditions in Switzerland. *Soil Till. Res.* 78(2), 171–183. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.02.005>
- Arai M., Miura T., Tsuzura H., Minamiya Y., Kaneko N., 2018. Two-year responses of earthworm abundance, soil aggregates, and soil carbon to no-tillage and fertilization. *Geoderma* 332, 135–141. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.10.021>
- Baldivieso-Freitas P., Blanco-Moreno J.M., Gutierrez-Lopez M., Peigne J., Perez-Ferrer A., Trigo-Aza D., Sans F.X., 2018. Earthworm abundance response to conservation agriculture practices in organic arable farming under Mediterranean climate. *Pedobiologia* 66, 58–64. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2017.10.002>
- 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, 507105. <https://doi.org/10.1155/2014/507105>
- Batalin M., 1962. Studium nad resztkami poźniwnymi roślin uprawnych w łanie. *Rocz. Nauk Rol.* 98(D), ss. 155.
- Białczyk W., Cudzik A., 2008. Ocena uproszczeń uprawowych w aspekcie ich energo- i czasochłonności oraz plonowania roślin. *Inż. Roln.* 4(102), 75–80.
- Bielińska E.J., Gibczyńska M., Kawecka-Radomska M., 2009. Wpływ trzech systemów uprawy na aktywność fosfatyz glebowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 542, 673–678.

- Biskupski A., Sienkiewicz-Cholewa U., Włodek S., Pabın J., 2009. Zróżnicowanie zawartości węgla i składników pokarmowych w doświadczeniu z wieloletnim stosowaniem uproszczeń w uprawie roli. *Rocz. Gleb.* 60, 1, 5–11.
- Blecharczyk A., Małecka I., Sawinska Z., 2004. Reakcja pszenicy ozimej na wieloletnie stosowanie siewu bezpośredniego. *Fragm. Agron.* 21(2), 125–137.
- Blecharczyk A., Małecka I., Sierpowski J., 2007. Wpływ wieloletniego oddziaływania systemów uprawy roli na fizyko-chemiczne właściwości gleby. *Fragm. Agron.* 93(1), 7–13.
- Blecharczyk A., Szpitalniak J., Małecka I., 2006. Wpływ doboru przedplonów oraz systemów uprawy roli i nawożenia azotem na plonowanie pszenicy ozimej. *Fragm. Agron.* 23(2), 273–286.
- Bleiholder H., Buhr L., Feller C., Hack H., Hess M., Klose R., Lancashire P.D., Meier U., Stauss R., Meyer U., 2018. Growth stages of mono- and dicotyledonous plants. *BBCB Monograph*. Julius Kühn-Institut (JKI), Quedlinburg. <https://doi.org/10.5073/20180906-074619>
- Blumenschein Th.G., Nelson K.A., Motavalli P.P., 2018. Impact of a new deep vertical lime placement practice on corn and soybean production in conservation tillage systems. *Agronomy* 8(7), 104. <https://doi.org/10.3390/agronomy8070104>
- Bordoli J.M., Mallarino A.P., 1998. Deep and shallow banding of phosphorus and potassium as alternatives to broadcast fertilization for no-till corn. *Agron. J.* 90(1), 27–33. <https://doi.org/10.2134/agronj1998.00021962009000010006x>
- Borges R., Mallarino A.P., 2001. Deep banding phosphorus and potassium fertilizers for corn managed with ridge tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65(2), 376–384. <https://doi.org/10.2136/sssaj2001.652376x>
- Camara K., Payne W., Rasmussen P., 2003. Long-term effects of tillage, nitrogen, and rainfall on winter wheat yields in the Pacific Northwest. *Agron. J.* 95(4), 828–835. <https://doi.org/10.2134/agronj2003.8280>
- Capoviez Y., Samartino S., Cadoux S., Bouchant P., Guy R., Boizard H., 2012. Role of earthworms in regenerating soil structure after compaction in reduced tillage systems. *Soil Biol. Biochem.* 55, 93–103. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.06.013>
- Chalise D., Kumar L., Sharma R., Kristiansen P., 2020. Assessing the impacts of tillage and mulch on soil erosion and corn yield. *Agronomy* 10(1), 63. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010063>
- Costa S.E.V.G.A., Souza E.D., Anghinoni I., Flores J.P.C., Cao E.G., Holzschuh M.J., 2009. Phosphorus and root distribution and corn growth related to long term tillage systems and fertilizer placement. *Rev. Bras. Cienc. Solo* 33, 1237–1247.
- Cudzik A., Białczyk W., Czarnecki J., Brennenthul M., Kaus A., 2012. Ocena systemów uprawy w aspekcie zużycia paliwa, plonowania roślin i właściwości gleby. *Inż. Roln.* 2(137), 17–27.
- Curry P.J., Byrne D., Schmidt O., 2002. Intensive cultivation can drastically reduce earthworm populations in arable land. *Eur. J. Soil Biol.* 38(2), 127–130. [https://doi.org/10.1016/S1164-5563\(02\)01132-9](https://doi.org/10.1016/S1164-5563(02)01132-9)
- Czarnecki A.J., Paprocki R., 1997. An attempt to characterize complex properties of agroecosystems based on soil fauna, soil properties and farming system in the north of Poland. *Biol. Agric. Hortic.* 15(1–4), 11–23. <https://doi.org/10.1080/01448765.1997.9755178>
- De Vita P., Di Paolo E., Fecondo G., Di Fonzo N., Pisante M., 2007. No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. *Soil Till. Res.* 92(1–2), 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.01.012>
- Deibert E.J., Hoag B.K., Goos R.J., 1985. Nitrogen fertilizer placement in no-tillage and conventional tillage systems with continuous spring wheat. *J. Fertil.* 2, 105–110.
- Dekemati I., Simon B., Vinogradov S., Birkas M., 2019. The effects of various tillage treatments on soil physical properties, earthworm abundance and crop yield in Hungary. *Soil Till. Res.* 194, <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104334>
- D'Hose T., Molendijk L., Van Vooren L., van den Berg W., Hoek H., Runia W., van Evert F., ten Berge H., Spiegel H., Sanden T., Grignani C., Ruysschaert G., 2018. Responses of soil biota to non-inversion tillage and organic amendments: An analysis on European multiyear field experiments. *Pedobiologia* 66, 18–28. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2017.12.003>

- Duiker, S.W., Beegle D.B., 2006. Soil fertility distributions in long-term no-till, chisel/disk and moldboard plow/disk systems. *Soil Till. Res.* 88(1–2), 30–41. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.04.004>
- Dziejowski J., Ropelewska E., 2012. Zmiany aktywności metabolicznej gleby wywołane obecnością dżdżownic gatunku *Lumbricus terrestris* L. – test mikrokalorymetryczny. *Inż. Ekol.* 31, 17–24.
- Emmerling Ch., 2001. Response of earthworm communities to different types of soil tillage. *Appl. Soil Ecol.* 17(1), 91–96. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00132-3](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00132-3)
- Ernst G., Emmerling Ch., 2009. Impact of five different tillage systems on soil organic carbon content and the density, biomass, and community composition of earthworms after a ten year period. *Eur. J. Soil Biol.* 45(3), 247–251. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2009.02.002>
- 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.
- Fonteyne S., Gamiño M.-A.M., Tejada A.S., Verhulst N., 2019. Conservation agriculture improves long-term yield and soil quality in irrigated maize-oats rotation. *Agronomy* 9, 845. <https://doi.org/10.3390/agronomy9120845>
- Frant M., Bujak K., 2005. Wpływ uproszczeń w uprawie roli i poziomie nawożenia mineralnego na plonowanie pszenicy ozimej. *Fragm. Agron.* 22(2), 47–52.
- Futa B., Kraska P., Andruszczak S., Gierasimiuk P., Jaroszek-Sierocińska M., 2021. Impact of subsurface application of compound mineral fertilizer on soil enzymatic activity under reduced tillage. *Agronomy* 11(11), 2213. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112213>
- Gaj R., Górski D., Przybył J., 2013. Phosphorus and potassium fertilization on winter wheat yield and quality. *J. Elem.* 18(1), 55–67. <https://doi.org/10.5601/jelem.2013.18.1.04>
- Gembarzewski H., Obojski J., Strączyński S., Sienkiewicz U., 1995. Zawartość makro- i mikroelementów w glebach oraz w roślinach ziemniaka i pszenicy ozimej z pól o wysokiej produktywności. Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa, S(80), 5–38.
- Golik S., Chidichimo H., Sarandon S., 2005. Biomass production, nitrogen accumulation and yield in wheat under two tillage systems and nitrogen supply in the Argentine Rolling Pampa. *World J. Agric. Sci.* 1(1), 36–41.
- Haliniarz M., Gawęda D., Bujak K., Frant M., Kwiatkowski C., 2013. Yield of winter wheat depending on the tillage system and level of mineral fertilization. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 12(4), 59–72.
- Halvorson A.D., Black A.L., Krupinsky J.M., Merrill S.D., 1999. Dryland winter wheat response to tillage and nitrogen within an annual cropping system. *Agron. J.* 91(4), 702–707. <https://doi.org/10.2134/agronj1999.914702x>
- Harasim E., Antonkiewicz J., Kwiatkowski C.A., 2020. The effects of catch crops and tillage systems on selected physical properties and enzymatic activity of loess soil in a spring wheat monoculture. *Agronomy* 10(3), 334. <https://doi.org/10.3390/agronomy10030334>
- Haruna S.I., Nkongolo N.V., 2019. Tillage, cover crop and crop rotation effects on selected soil chemical properties. *Sustainability* 11(10), 2770. <https://doi.org/10.3390/su11102770>
- Hausherr Lüder R.-M., Qin R., Richner W., Stamp P., Streit B., Noulas Ch., 2019. Effect of tillage systems on spatial variation in soil chemical properties and winter wheat (*Triticum aestivum* L.) performance in small fields. *Agronomy* 9(4), 182. <https://doi.org/10.3390/agronomy9040182>
- Idowu O.J., Sultana S., Darapuneni M., Beck L., Steiner R., 2019. Short-term conservation tillage effects on corn silage yield and soil quality in an irrigated, arid agroecosystem. *Agronomy* 9(8), 455. <https://doi.org/10.3390/agronomy9080455>
- Janowiak J., Murawska B., 1999. Kształtowanie się ogólnej zawartości C i N w glebie pod wpływem nawożenia organicznego i mineralnego w wieloletnim doświadczeniu statycznym. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 465, 331–339.
- Joniec A., Gala-Czekaj D., Chowaniak M., 2015. Porównanie plonowania pszenicy ozimej w tradycyjnej i uproszczonej uprawie roli. *Episteme* 26(3), 215–220.

- Kassam A., Friedrich T., Shaxson F., Pretty J., 2009. The spread of conservation agriculture: justification, sustainability and uptake. *Int. J. Agric. Sustain.* 7(4), 292–320. <https://doi.org/10.3763/ijas.2009.0477>
- Korbas M., Horoszkiewicz-Janka J., Mrówczyński M., 2017. Metodyka integrowanej ochrony pszenicy ozimej i jarej dla doradców. Instytut Ochrony Roślin – Państwowy Instytut Badawczy, 40–44.
- Korniłłowicz-Kowalska T., Andruszczak S., Bohacz J., Kraska P., Możejko M., Kwocińska-Poppe E., 2022. The effect of tillage and no-tillage system on culturable fungal communities in the rhizosphere and soil of two spelt cultivars. *Appl. Soil Ecol.* 174, 104–413. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104413>
- Kraska P., 2011a. Effect of conservation tillage and catch crops on some chemical properties of rendzina soil. *Acta Sci. Pol., Agric.* 10(3), 77–92.
- Kraska P., 2011b. The content of some micronutrients in rendzina soil cultivated using different tillage systems and catch crops. *Pol. J. Agron.* 4, 7–11.
- Kraska P., 2011c. Content of some elements in grain of spring wheat cv. Zebra depending on soil tillage systems and catch crops. *J. Elem.* 16(3), 407–419. <https://doi.org/10.5601/jelem.2011.16.3.06>
- 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>
- Kraska P., Andruszczak S., Kwocińska-Poppe E., Pałys E., 2014. The effect of tillage systems and catch crops on the yield, grain quality and health of spring wheat. *Acta Sci. Pol., Agric.* 13(1), 21–38.
- Kraska P., Pałys E., 2004. Wpływ zróżnicowanych zabiegów agrotechnicznych na niektóre właściwości warstwy ornej gleby. *Acta Agroph.* 4(2), 351–359.
- Kraska P., Pałys E., Jedruszczak M., 2006. Conservation tillage system and chemical properties of sandy soil under crops in crop rotation. ISTRO. 17 th Triennial Conference August 28<sup>th</sup> – September 3<sup>rd</sup>, Kiel, Germany “Sustainability – its Impact on Soil Management and Environment”, 566–570.
- Kruczek A., 2005. Wpływ nawożenia rzędowego różnymi rodzajami nawozów na plonowanie kukurydzy. *Acta Sci. Pol., Agric.* 4(2), 37–46.
- Kuś J., Filipiak K., 1988. Próba wyznaczenia optymalnego zagęszczenia łanu pszenicy ozimej odmiany Grana. *Mat. Konf. Obsada a produktywność roślin uprawnych. Puławy 8–9 listopada 1988, Cz. 2*, 28–36.
- Lakew A., 2019. Influence of N and P fertilizer rates on yield and yield components of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) in Sekota District of Wag-Himira Zone, North Eastern Ethiopia. *Arch. Agric. Environ. Sci.* 4(1), 8–18. <https://dx.doi.org/10.26832/24566632.2019.040102>
- Lepiarczyk A., Stępnik K., Szylak A., 2007. Wpływ systemów uprawy roli na niektóre właściwości fizyczne gleby pod wybranymi roślinami. *Fragm. Agron.* 1(93), 157–163.
- Lilienfein J., Wilcke W., Vilela L., Lima S.D., Thomas R., 2000. Effect of no-tillage and conventional tillage systems on the chemical composition of soil. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 163(4), 411–419. [https://doi.org/10.1002/1522-2624\(200008\)163:4<411::AID-JPLN411>3.0.CO;2-V](https://doi.org/10.1002/1522-2624(200008)163:4<411::AID-JPLN411>3.0.CO;2-V)
- Limousin G., Tessier D., 2007. Effect of no-tillage on chemical gradients and topsoil acidification. *Soil Till. Res.* 92(1–2), 167–174. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.02.003>
- Lotfollahi M., Alston A.M., McDonald G.K., 1997. Effect of nitrogen fertilizer placement on grain protein concentration of wheat under different water regimes. *Aust. J. Agr. Res.* 48(2), 241–250. <https://doi.org/10.1071/A96066>
- López-Fando C., Pardo M.T., 2009. Changes in soil chemical characteristics with different tillage practices in a semi-arid environment. *Soil Till. Res.* 104(2), 278–284. <https://doi.org/10.1016/j.still.2009.03.005>
- Ma P., Andruszczak S., Gierasimiuk P., Chojnacka S., 2022. Wpływ podpowierzchniowego wnoszenia nawozu mineralnego na plon i jakość nasion soi w warunkach uprawy bezpluźnej. *Agron. Sci.* 77(4), 109–131. <http://doi.org/10.24326/as.2022.4.8>

- Majchrzak L., Sawinska Z., Natywa M., Skrzypczak G., Głowicka-Wołoszyn R., 2016. Impact of different tillage systems on soil dehydrogenase activity and spring wheat infection. *J. Agric. Sci. Technol.* 18(20), 1871–1881.
- Mallarino A.P., Bordoli J.M., Borges R., 1999. Phosphorus and potassium placement effects on early growth and nutrient uptake of no-till corn and relationships with grain yield. *Agron. J.* 91(1), 37–45. <https://doi.org/10.2134/agronj1999.00021962009100010007x>
- Małecka I., 2003. Studia nad plonowaniem pszenicy ozimej w zależności od warunków pogodowych i niektórych czynników agrotechnicznych. *Rocz. Akad. Rol. Pozn., Rozpr. Nauk.* 335, 3–121.
- Małecka I., Blecharczyk A., Dobrzeński T., 2007. Zmiany fizycznych i chemicznych właściwości gleby w wyniku stosowania uproszczeń w uprawie roli. *Fragm. Agron.* 24(1), 182–189.
- Małecka I., Blecharczyk A., Sawińska Z., Piechota T., Waniorek B., 2012a. Plonowanie zbóż w zależności od sposobów uprawy roli. *Fragm. Agron.* 29(1), 114–123.
- Małecka I., Swędrzyńska D., Blecharczyk A., Dytman-Hagedorn M., 2012b. Wpływ systemów uprawy roli pod groch na właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne gleby. *Fragm. Agron.* 29(4), 106–116.
- Mały Rocznik Statystyczny Polski, 2019. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- Marinari S., Masciandaro G., Ceccanti B., Grego S., 2000. Influence of organic and mineral fertilisers on soil biological and physical properties. *Bioresour. Technol.* 72(1), 9–17. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00094-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00094-2)
- Martin-Rueda I., Munoz-Guerra L.M., Yunta F., Esteban E., Tenorio J.L., Lucena J.J., 2007. Tillage and crop rotation effects on barley yield and soil nutrients on a *Calcicortidic Haploxeralf*. *Soil Till. Res.* 92(1–2), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.10.006>
- Melaj M., Echeverria H., Lopez S., Studdert G., Andrade F., Barbaro N., 2003. Timing of nitrogen fertilization in wheat under conventional and no-tillage system. *Agron. J.* 95(6), 1525–1531. <https://doi.org/10.2134/agronj2003.1525>
- Melero S., Panettieri M., Madejón E., Gómez Macpherson H., Moreno F., Murillo J.M., 2011. Implementation of chiseling and mouldboard ploughing in soil after 8 years of no-till management in SW, Spain: Effect on soil quality. *Soil Till. Res.* 112(2), 107–113. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.12.001>
- Michalski T., Kowalik I., 2007. Nawożenie startowe jako metoda poprawy efektywności nawożenia i obniżki kosztów produkcji kukurydzy. *Inż. Roln.* 6(94), 167–174.
- Morris N.L., Miller P.C.H., Orson J.H., Froud-Williams R.J., 2010. The adoption of non-inversion tillage systems in the Unighted Kingdom and the agronomic impact on soils, crops and environment – A review. *Soil Till. Res.* 108, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.03.004>
- Niewiadomska A., Majchrzak L., Borowiak K., Wolna-Maruwka A., Waraczewska Z., Budka A., Gaj R., 2020. The influence of tillage and cover cropping on soil microbial parameters and spring wheat physiology. *Agronomy* 10, 200. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020200>
- 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., Youssef F., Basaran M., Lee J., Saxton A.M., Erpul G., 2018b. The effect of fallow tillage management on aeolian soil losses in semiarid Central Anatolia, Turkey. *Agrosyst. Geosci. Environ.* 1(1), 1–13. <https://doi.org/10.2134/age2018.07.0019>
- Nouri A., Lee J., Yin X., Tyler D. D., Jagadamma S., Arelli P., 2018a. Soil physical properties and soybean yield as influenced by long-term tillage systems and cover cropping in the Midsouth USA. *Sustainability* 10(12), 46–96. <https://doi.org/10.3390/su10124696>
- Pabin J., Włodek S., Biskupski A., 2008. Niektóre uwarunkowania środowiskowe i produkcyjne przy stosowaniu uproszczonych sposobów uprawy roli. *Inż. Rol.* 1(99), 333–338.
- Pałys E., Kraska P., Kuraszkiewicz R., 2004. Wpływ systemów uprawy roli na masę resztek późniejszych pszenicy ozimej uprawianej na rędzinie. *Annales UMCS, E Agric.* 59(2), 527–533.

- Parylak D., 2007. Zmiany środowiska glebowego pod wpływem upraszczania uprawy roli w monokulturze pszenicy ozimej. *Fragm. Agron.* 1, 213–220.
- Pelosi C., Bertrand M., Thénard J., Mougin Ch., 2015. Earthworms in a 15 years agricultural trial. *Appl. Soil Ecol.* 88, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.12.004>
- Piskier T., 2006. Zmiany fizycznych właściwości gleby w następstwie uprawy bezorkowej. *Inż. Roln.* 4, 97–102.
- Podolska G., 2008. Wpływ dawki i sposobu nawożenia azotem na plon i wartość technologiczną ziarna odmian pszenicy ozimej. *Acta Sci. Pol., Agric.* 7(1), 57–65.
- Podolska G., Stankowski S., Dworakowski T., 2007. Wpływ dawki nawożenia azotem na wielkość plonu i wartość technologiczną ziarna wybranych odmian pszenicy ozimej. *Fragm. Agron.* 2(94), 274–282.
- Preston C.L., Ruiz D.D.A., Mengel D.B., 2019. Corn response to long-term phosphorus fertilizer application rate and placement with strip-tillage. *Agron. J.* 111(2), 1–10. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.07.0422>
- Randall G., Vetsch J., 2008. Optimum placement of phosphorus for corn/soybean rotations in a strip-tillage system. *J. Soil Water Conserv.* 63(5), 152A–153A. <https://doi.org/10.2489/jswc.63.5.152A>
- Randall G.W., Hoefl R.G., 1988. Placement methods for improved efficiency of P and K fertilizers: a review. *J. Prod. Agric.* 1(1), 70–79. <https://doi.org/10.2134/jpa1988.0070>
- Randall G.W., Vetsch J.A., Murrell T.S., 2001. Corn response to phosphorus placement under various tillage practices. *Better Crops* 85(3), 12–15.
- Rieger S., Richner W., Streit B., Frossard E., Liedgens M., 2008. Growth, yield and yield components of winter wheat and the effects of tillage intensity, preceding crops, and N fertilization. *Eur. J. Agron.* 28(3), 405–411. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.11.006>
- Romanekas K., Avizienyte D., Boguzas V., Sarauskis E., Jasinskas A., Marks M., 2016. Impact of tillage systems on chemical, biochemical and biological composition of the soil. *J. Elem.* 21(2), 513–526. <https://doi.org/10.5601/jelem.2015.20.2.923>
- Shapiro C., Attia A., Ulloa S., Mainz M., 2016. Use of five nitrogen source and placement systems for improved nitrogen management of irrigated corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 80(6), 1663–1674. <https://doi.org/10.2136/sssaj2015.10.0363>
- Shi X.H., Yang X.M., Drury C.F., Reynolds W.D., McLaughlin N.B., Zhang X.P., 2012. Impact of ridge tillage on soil organic carbon and selected physical properties of a clay loam in southwestern Ontario. *Soil. Till. Res.* 120, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.01.003>
- Skowera B., 2014. Zmiany warunków hydrotermicznych na obszarze Polski (1971–2010). *Fragm. Agron.* 31(2), 74–87.
- Skowera B., Puła J., 2004. Skrajne warunki pluwiotermiczne w okresie wiosennym na obszarze Polski w latach 1971–2000. *Acta Agroph.* 3(1), 171–177.
- Skowrońska M., 2018. Bilans składników pokarmowych w warunkach zróżnicowanego nawożenia i siewu kukurydzy. *Przem. Chem.* 95(8), 1595–1598. <https://doi.org/10.15199/62.2018.11.3>
- Stachowski P., 2010. Ocena suszy meteorologicznej na terenach pogórnicznych w rejonie Konina. *Rocz. Ochr. Śr.* 12, 587–606.
- Szulc P., Dubas A., 2007. Występowanie dżdżownic (*Lumbricide*) na polu kukurydzy uprawianej w systemie bezorkowym. *Fragm. Agron.* 24(4), 198–203.
- Tabatabai M.A., Fu M.H., Basta M.T., 1992. Effect of cropping systems on nitrification in soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 23(15–16), 1885–1891. <https://doi.org/10.1080/00103629209368711>
- Thomas G.A., Dalal R.C., Standley J., 2007. No-till effect on organic matter, pH, cation exchange capacity and nutrient distribution in a Luvisol in the semi-arid subtropics. *Soil Till. Res.* 94(2), 295–304. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.08.005>

- Van den Putte A., Govers G., Diels J., Langhans Ch., Clymans W., Vanuytrecht E., Merckx R., Raes D., 2012. Soil functioning and conservation tillage in the Belgian Loam Belt. *Soil Till. Res.* 122(1), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.02.001>
- Vyn T.J., Galic D.M., Janovicek K.J., 2002. Corn response to potassium placement in conservation tillage. *Soil Till. Res.* 67, 159–169. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00061-2](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00061-2)
- Weber R., 2011. Wpływ wysokości ścierniska przedplonu i sposobu uprawy roli na plonowanie kilku odmian pszenicy ozimej. *Probl. Inż. Roln.* 1, 31–39.
- Weber R., Kieloch R., 2014. Wpływ bezpłużnych sposobów uprawy roli na zmienność plonowania wybranych odmian pszenicy ozimej. *Fragm. Agron.* 31(4), 108–115.
- Włodek S., Hryńczuk B., Pabin J., Biskupski A., 2003. Zawartość składników pokarmowych w warstwach poziomu próchniczego gleby uprawianej różnymi sposobami. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.* 493, 727–732.
- Wojtkowiak K., Stępień A., Orzech K., 2018a. Wpływ nawożenia azotem na elementy składowe plonów, zawartość makroskładników oraz wskaźniki technologiczne w ziarnie czterech odmian pszenicy ozimej (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare*). *Fragm. Agron.* 35(2), 146–155.
- Wojtkowiak K., Stępień A., Pietrzak-Fiećko R., Warechowska M., 2018b. Effects of nitrogen fertilisation on the yield, micronutrient content and fatty acid profiles of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. *J. Elem.* 23(2), 483–495. <https://doi.org/10.5601/jelem.2017.22.3.1524>
- Woźniak A., Soroka M., 2018. Effect of crop rotation and tillage system on the weed infestation and yield of spring wheat and on soil properties. *Appl. Ecol. Environ. Res.* 16(3), 3087–3096. [https://doi.org/10.15666/aecer/1603\\_30873096](https://doi.org/10.15666/aecer/1603_30873096)
- Woźniak A., Kawecka-Radomska M., 2016. Crop management effect on chemical and biological properties of soil. *Int. J. Plant Prod.* 10(3), 391–401. <https://doi.org/10.22069/IJPP.2016.2904>
- Wróbel S., Pabin J., 2008. Wpływ systemu uprawy roli na zawartość makroskładników w glebie i roślinach kukurydzy uprawianej w monokulturze. *Rocz. Gleb.* 59(1), 226–232.
- Yin X., Vyn T.J., 2004. Residual effects of potassium placement for conservation-till corn on subsequent no-till soybean. *Soil Till. Res.* 75(2), 151–159. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(03\)00155-7](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(03)00155-7)

**Źródło finansowania:** Dotacja na utrzymanie potencjału badawczego MEiN.

**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 some soil physico-chemical and biological properties, as well as on winter wheat yield and yield quality in crop rotation soybean – winter wheat – maize under reduced tillage conditions.

The mineral fertilizer was applied at a rate of 200 and 400 kg·ha<sup>-1</sup>, 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 winter wheat were estimated. A chemical analysis of grains was also performed in order to determine the quality of harvested yield. In soil samples taken every year, C<sub>org</sub> content in the 0–30 cm soil layer was determined, whereas pH and phosphorus, potassium, and magnesium contents were determined in soil samples taken to a depth of 90 cm (broken down into 3 layers every 30 cm). Additionally, number and biomass of earthworms were determined.

Winter wheat grain yield significantly varied only between years. In the treatments with deep application of the fertilizer Polifoska®6, the grain P and K content was found to increase in comparison with the treatment where winter wheat was surface fertilized. Furthermore, the higher rate of mineral fertilizer caused an increase in grain N, P, K and Mg content compared to the half lower rate.

The C<sub>org</sub> content in the 0–30 cm topsoil layer distinctly increased during the successive years of reduced till cropping. The lowest pH values were determined in the 0–30 cm

soil layer. At this level, a higher P and K content was also found than in the soil layers with a depth of 30–60 cm and 60–90 cm, respectively.

In the treatments with deep application of the fertilizer Polifoska®6, a general trend towards a higher number of earthworms was found in comparison with surface fertilization. A slight increase in the biomass of these organisms was also recorded. Furthermore, application of the higher rate of mineral fertilizer promoted a higher earthworm biomass.

**Key words:** soil tillage, subsurface mineral fertilization, chemical soil properties, yield quality, earthworms

Otrzymano/Received: 22.02.2023

Zaakceptowano/Accepted: 6.09.2023

Online first: 30.11.2023

Opublikowano/Published: 22.01.2023