

UNIWERSYTET TECHNOLOGICZNO-PRZYRODNICZY
im. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH
W BYDGOSZCZY
WYDZIAŁ ROLNICTWA I BIOTECHNOLOGII
Katedra Podstaw Produkcji Roślinnej i Doświadczalnictwa

mgr inż. Marek Różniak

STRESZCZENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

na temat:

OCENA MOŻLIWOŚCI UPRAWY PSZENICY OZIMEJ
W TECHNOLOGII STRIP-TILL

Promotor:

dr hab. inż. Iwona Jaskulska,
prof. nadzw. UTP

BYDGOSZCZ 2016

WSTĘP

Współczesne rolnictwo, w tym polowa produkcja roślinna, powinno realizować cele produkcyjno-ekonomiczne oraz środowiskowe. Konieczna jest duża produkcja o dobrej jakości, wysoka efektywność nakładów, a jednocześnie ograniczanie niekorzystnego oddziaływania na środowisko. W agrotechnice należy preferować elementy, zabiegi i środki zwiększające wykorzystanie zasobów gleby i potencjału roślin, a ograniczać działania mało efektywne oraz zagrażające środowisku, co wpisuje się w ideę rolnictwa konserwującego i zrównoważonego rozwoju (Kassam i in. 2015, Kotecki 2015). Nowoczesne, proekologiczne technologie uprawy roślin powinny uwzględniać aktualne wyniki prac badawczych i rozwojowych, a zwłaszcza postęp biologiczny i techniczny. Jednocześnie ich elementy powinny efektywnie ten postęp wykorzystywać. Dużą rolę przywiązuje się do ograniczenia płużnej uprawy roli i zastępowania jej uprawą uproszczoną – bezorkową. Pozwala to zmniejszyć degradację gleby: erozję, przesuszenie, spadek zawartości materii organicznej, jak również ograniczyć emisję gazów cieplarnianych do atmosfery. Uprawa bezpłużna jest ponadto mniej energo- i czasochłonna (Świącicki i in. 2011).

Według Harasima (2009) jednym z podstawowych kierunków zmian w dotychczasowych technologiach uprawy roślin do 2020 roku będzie uproszczenie uprawy roli. Oznacza to m.in. zmniejszenie liczby uprawek w całokształcie uprawy, łączenie zabiegów uprawowych z siewem i nawożeniem, a przede wszystkim zastępowanie tradycyjnej uprawy - wykonywanej pługiem uprawą bezpłużną. Sposób i zakres uproszczeń zależeć będzie od uwarunkowań środowiskowych, ekonomicznych i organizacyjnych, w których gospodarstwa rolne prowadzą polową produkcję roślinną oraz oczekiwanych korzyści i akceptacji ewentualnych skutków negatywnych. Uproszczenie uprawy roli może powodować obniżkę plonu i zwiększać presję agrofagów, ale jednocześnie zmniejsza nakłady paliwa, energii i pracy. Ograniczenie pracochłonności ułatwia organizację prac polowych i pozwala w wielu przypadkach dotrzymać optymalny termin siewu, zwłaszcza roślin ozimych po późno zbieranych przedplonach. Duże znaczenie produkcyjne i środowiskowe ma poprawa właściwości gleby, jak trwałość struktury gruzełkowatej, zwiększenie zawartości materii organicznej oraz aktywności biologicznej, ograniczenie podatności na erozję wodną i wietrzną. Przejawy niekorzystnego oddziaływania klasycznej uprawy płużnej na środowisko oraz w wielu przypadkach na efekty produkcyjno-ekonomiczne czy organizacyjne polowej produkcji roślinnej są przesłankami do stosowania uprawy bezpłużnej i zerowej połączonej z siewem bezpośrednim. W niektórych krajach taka uprawa, choć także nie wolna od wad, stosowana jest na większości pól (Derpsch i in. 2011). Sposobem uprawy, który łączy w sobie zalety głębokiego spulchniania roli w miejscu wzrostu korzeni roślin i braku jakiegokolwiek mechanicznego oddziaływania narzędzi w międzyrzędziach, jest uprawa pasowa (ang. strip-till). Najczęściej jest ona stosowana w agrotechnice roślin wysiewanych w rzędach o szerokiej rozstawie, jak kukurydza czy okopowe (Zimny i in. 2015). Aktualnie konstrukcja niektórych nowoczesnych agregatów umożliwia wykorzystanie tej technologii również w uprawie zbóż.

HIPOTEZA I CEL PRACY

Hipoteza robocza

Założono, że głębokie spulchnienie pasa roli, w którym umieszczone zostają nawozy mineralne i materiał siewny oraz nieuprawione międzyrzędzia stwarzają nie mniej korzystne warunki do wzrostu i plonowania pszenicy ozimej niż klasyczna uprawa płuzna lub cało powierzchniowa uprawa bezpłuzna. W przypadku ewentualnego braku korzystnego wpływu technologii strip-till na plonowanie pszenicy ozimej nie mniej ważnym argumentem wskazującym na zasadność jej stosowania będzie korzystne oddziaływanie na niektóre właściwości gleby oraz redukcja nakładów paliwa i czasu pracy.

Cel główny i cele szczegółowe

Celem głównym badań było określenie możliwości uprawy pszenicy ozimej w technologii strip-till poprzez porównanie jej efektów siedliskowych (właściwości gleby), produkcyjnych (plon ziarna i jego jakość) oraz ekonomiczno-organizacyjnych (nakłady paliwa i czasu pracy) z efektami klasycznej płuznej uprawy roli oraz uprawy bezorkowej uzupełnionych nawożeniem przedsiewnym i tradycyjnym siewem rzędowym.

Wobec tak sformułowanego celu głównego za cele szczegółowe przyjęto określenie wpływu sposobu uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu pszenicy ozimej na:

- właściwości fizyczne łoża siewnego i warstw niżej położonych (gęstość objętościowa, wilgotność) w okresie siewu i wegetacji pszenicy oraz po zbiorze roślin,
- zawartość azotu mineralnego w glebie,
- wschody roślin, elementy plonowania i plon ziarna,
- parametry jakości ziarna,
- zużycie paliwa i czasochłonność badanych elementów agrotechniki,
- zmiany środowiska glebowego w zakresie: pH, zasobności w makroskładniki, obecności mikroorganizmów i dżdżownic.

METODYKA BADAŃ

W celu weryfikacji przyjętej hipotezy badawczej wykonano trzyletnie doświadczenie polowe. Badano w nim wpływ zróżnicowanych technologii obejmujących zabiegi uprawy roli, przedsiewnego stosowania nawozów mineralnych oraz siewu na wzrost i plonowanie pszenicy ozimej, ze szczególnym uwzględnieniem technologii strip-till. Poznaniu przyczyn reakcji roślin lub ich braku na stosowane technologie służyły pomiary i analizy materiału roślinnego w kolejnych latach badań. Analizie poddano również właściwości gleby w okresie wegetacji roślin i po ich zbiorze.

DOŚWIADCZENIE POŁOWE

Lokalizacja i układ doświadczenia

W latach 2013-2016 wykonano dwuczynnikowe doświadczenie polowe w układzie losowanych podbloków. Eksperyment zlokalizowano w miejscowości Śmielin (53°09'04"N; 17°29'11"E), gmina Sadki, powiat nakielski, województwo kujawsko-pomorskie. W 2013 roku po zbiorze przedplonu – rzepaku ozimego wyznaczono trzy podbloki, stanowiące poziomy pierwszego czynnika, na których stosowano zróżnicowane technologie podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsięwziętego i siewu pszenicy ozimej, odpowiednio:

- **płużna** (orka siewna średnio głęboka, przedsięwzięte nawożenie mineralne, przygotowanie łoża siewnego, siew siewnikiem rzędowym),
- **bezpłużna** (cało powierzchniowa, bezpłużna, spulchniająca, średnio głęboka uprawa roli; przedsięwzięte nawożenie mineralne; siew rzędowy agregatem uprawowo-siewnym),
- **strip-till** (pasowa uprawa roli, przedsięwzięte nawożenie mineralne i siew pasowy jednym przejazdem agregatu).

Drugi czynnik stanowił sposób późniejszej uprawy roli wykonywanej przed uprawą podstawową (bezpośrednio po zbiorze przedplonu), tj.:

- **plytka uprawa** roli z rozdrobnioną słomą na powierzchni przy użyciu brony talerzowej,
- **brak uprawy** późniejszej (mulcz z rozdrobnionej słomy przedplonu).

Warunki siedliskowe

Doświadczenie polowe zlokalizowano na glebie brunatnej właściwej, należącej do kompleksów pszennego bardzo dobrego i dobrego, klas bonitacyjnych II oraz IIIa. Pod względem uziarnienia w warstwie uprawnej 0-20 cm jest to glina piaszczysta i pył gliniasty. Gleba przed założeniem doświadczenia zawierała (przyswajalne formy makroskładników): 105 mg P·kg⁻¹ gleby, 308 mg K·kg⁻¹ gleby, 103 mg Mg·kg⁻¹ gleby, a jej pH_{KCl} wynosiło 6,1.

Warunki meteorologiczne w rejonie badań monitorowano w SOO w Chrzastowie. W miesiącu siewu pszenicy ozimej (wrześniu) w 2013 i 2015 roku suma opadów była o około 10 mm większa od przeciętnej w latach, chociaż w 2015 roku następny miesiąc – październik był już niedoborowym pod względem ilości opadów. W wielu miesiącach wiosennych, bardzo istotnych dla wegetacji i plonowania zbóż ozimych, sumy miesięczne były również mniejsze niż przeciętnie w wieloleciu. Największe niedobory opadów w tym okresie wystąpiły w 2015 roku po miesiącach jesiennych i zimowych 2014/2015 o małej sumie opadów. W lipcu – miesiącu dojrzewania i zbioru pszenicy ozimej, suma opadów w 2014 i 2015 roku była znacznie mniejsza niż przeciętna, natomiast w 2016 roku większa.

Temperatura powietrza w poszczególnych miesiącach trwania badań była zbliżona do średniej wieloletniej. Tylko w niektórych miesiącach wegetacji pszenicy ozimej mniejszym niż średnio w wieloleciu sumom opadów towarzyszyły wyższe temperatury powietrza. Zimy w latach badań były cieplejsze niż przeciętnie. Najzimniejszym miesiącem był styczeń, zwłaszcza w 2014 i 2016 roku. W ostatnim roku badań bardzo niska temperatura minimalna, poniżej -20°C, utrzymująca się przez kilka nocy przy braku okrywy śnieżnej, spowodowała straty roślin pszenicy ozimej.

Warunki agrotechniczne

Uprawę roli, przedsięwziętą aplikację nawozów mineralnych oraz siew pszenicy ozimej, w zależności od technologii będących istotą badań, wykonywano przy użyciu maszyn i narzędzi stosowanych w praktyce rolniczej (tab. 1).

W badaniach występowała pszenica ozima 'Opal', wysiewana w zależności od roku badań: 16 września 2013 r., 15 września 2014 r. i 12 września 2015 r. W każdym roku używano kwalifikowany materiał siewny (C 1) o zdolności kiełkowania 95-98% i czystości 99%, zaprawiony preparatem Jockey New 113 FS. Na wszystkich obiektach stosowano jednakową gęstość siewu – 250 ziaren na m². Rozstawa rzędów na obiektach z płużną i bezpłużną podstawową uprawą roli wynosiła 14,3 cm, a w technologii strip-till 12 cm pomiędzy rzędami w pasie i 36,4 cm pomiędzy sąsiednimi pasami.

Nawożenie przedsięwzięte stosowano w formie nawozu wieloskładnikowego Opticomplex 8 (NPKS 8:20:30:5) w dawce 150 kg·ha⁻¹. W technologii płużnej i bezpłużnej był on stosowany na całej powierzchni pola, a w technologii strip-till tylko w spulchnianych pasach roli. Nawożenie pogłównie azotem w postaci saletry amonowej stosowano wiosną w trzech dawkach: faza BBCH 25-28 – w momencie wznawiania wegetacji (70 kg N·ha⁻¹), BBCH 32-33 (60 kg N·ha⁻¹) i BBCH 53-55 (40 kg N·ha⁻¹). W okresie wegetacji rośliny chroniono przed agrofagami i pielęgnowano jednakowo na wszystkich obiektach przy użyciu zalecanych w okresie badań preparatów.

Pszenicę ozimą zbierano w pełnej dojrzałości roślin, przy wilgotności ziarna 13-15% z powierzchni całych jednostek doświadczalnych. Zbioru dokonywano, w zależności od roku badań, pomiędzy 22 lipca a 8 sierpnia.

Tabela 1. Maszyny i narzędzia do uprawy roli, nawożenia przedsięwziętego oraz siewu w zależności od zastosowanej technologii

Technologia	Uprawa poźniwna		Głębokość zabiegu (cm)
	uprawa	brak	
	brona talerzowa – Joker 3CT	-	5-10
Płużna	pług Maschio Gaspardo s4, agregat uprawowy Horsch Tiger 6 AS, rozsiewacz nawozów Amazone ZG-TS 8200, agregat uprawowo-siewny Horsch Pronto 4DC		20-22 8-10 powierzchnia 5-8
Bezpłużna	agregat uprawowy Horsch Tiger 4 AS, rozsiewacz nawozów Amazone ZG-TS 8200, agregat uprawowo-siewny Horsch Pronto 4DC		18-20 powierzchnia 8-10
Strip-till	agregat Mzuri Pro-Til 4T		18-20

Obserwacje, pomiary i oznaczenia

Corocznie w okresie przygotowania roli do siewu, a następnie w trakcie wegetacji pszenicy ozimej na każdej jednostce eksperymentalnej wykonano oceny i analizy właściwości gleby:

- Gęstość objętościowa gleby – określano ją w strefie rzędów roślin oraz w środku międzyrzędzi. Użyto cylinderków f-my Eijkelkamp o pojemności 100 cm³, a ocenę wykonywano w następujących terminach i warstwach gleby:
 - bezpośrednio po siewie: 0-5 cm (łóże siewne), 10-15 cm (głębokość oddziaływania narzędzi uprawowych każdej z technologii, 25-30 cm (poniżej oddziaływania narzędzi uprawowych – bez podziału na rzędy i międzyrzędzia),
 - wiosną bezpośrednio po wznowieniu wegetacji pszenicy ozimej w warstwie 10-15 cm,
 - bezpośrednio po zbiorze: warstwy 10-15 cm i 25-30 cm (bez podziału na rzędy i międzyrzędzia).
- Wilgotność wagowa gleby łóża siewnego (0-5 cm) określona została metodą suszarkową bezpośrednio przed siewem pszenicy ozimej.
- Wilgotność objętościowa mierzona była przez cały okres wegetacji pszenicy ozimej, z wyłączeniem miesięcy zimowych, w czterech warstwach: 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm za pomocą rur cienkościennych ATS1, sondy PR2/4 i czytnika HH2 (obiekty z podstawową uprawą roli bez uprawy późniejszej). Pomiary wykonywano dwa razy w miesiącu, średnio co dwa tygodnie (w technologii strip-till zarówno w rzędach roślin, jak i międzyrzędziach).
- Zawartość azotu mineralnego w glebie (suma NH₄⁺ i NO₃⁻) określono spektrofotometrycznie. Próbkę glebową pobierano z rzędów i międzyrzędzi warstwy 0-15 cm: jesienią po zakończeniu wegetacji, wiosną po wznowieniu wegetacji, bezpośrednio po zbiorze pszenicy ozimej.

Oceny, pomiary i analizy roślin:

- obsada roślin w fazie BBCH 12-13, metodą ramkową na powierzchni 1 m²,
- wskaźnik zieloności liści – BBCH 41-43 (Miernik chlorofilu SPAD-502 Konica Minolta),
- obsada kłosów – BBCH 89,
- liczba ziaren w kłosie,
- masa ziarna z kłosa,
- plon ziarna w t ha⁻¹ przy zawartości wody 15%.

Ponadto wykonano ocenę cech jakości ziarna:

- masa 1000 ziaren według PN-68/R-74017,
- gęstość ziarna w stanie zsypanym, zawartość białka ogólnego, zawartość glutenu mokrego, wskaźnik sedymentacji metodą pomiaru w bliskiej podczerwieni przy użyciu analizatora Infratec 1241,
- liczba opadania zgodnie z PN-ISO 3093 – aparat typ SWD.

Po zakończeniu doświadczenia polowego w trzecim roku badań określono w warstwie gleby 0-15 cm zawartość:

- węgla organicznego i azotu ogólnego przy zastosowaniu makroanalizatora elementarnego Vario Max CN firmy Elementar,
- fosforu przyswajalnego – metoda Egnera-Riehma, PN-R-04023:1996,
- potasu przyswajalnego – metoda Egnera-Riehma, PN-R-04022:1996 + Az1:2002,
- magnezu przyswajalnego – metoda Schachtschabela, PN-R-04020:1994 + Az1:2004,
- wskaźnik pH w 1 mol·dm⁻³ roztworze KCl – potencjometrycznie, PN-ISO 10390: 1997.

W trzecim roku badań polowych oceniono również właściwości biologiczne gleby w warstwie 0 – 15 cm kształtujące się pod wpływem każdej technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu pszenicy ozimej:

- liczbę dżdżownic na powierzchni 1 m² – liczba osobników w przestrzeni glebowej,
- liczbę bakterii ogółem (10⁷ jtk·g⁻¹s.m. gleby) – metoda Wallace i Lockhead (1950),
- liczbę grzybów ogółem (10⁴ jtk·g⁻¹s.m. gleby) – metoda Martin (1950),
- aktywność dehydrogenaz – według Casida i in. (1964)
- aktywność fosfatazy kwaśnej i zasadowej – zgodnie z Tabatabai i Bremner (1969).

W każdym roku badań mierzono zużycie paliwa i czas wykonywania każdego zabiegu agrotechnicznego z zakresu uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu, właściwych dla danej technologii. Zużycie paliwa określono metodą objętościową „pełnego zbiornika” (Rychlik 2006), a nakład czasu pracy jako rzeczywisty czas wykonywania poszczególnych zabiegów na danym obiekcie doświadczenia.

OPRACOWANIE WYNIKÓW

Wyniki pomiarów i analiz cech posiadających rozkład normalny podano analizie statystycznej wykonując analizę wariancji i ocenę istotności różnic pomiędzy średnimi dla obiektów. Zgodnie z rodzajem i układem doświadczenia wykorzystano model analizy wariancji właściwy dla doświadczeń dwuczynnikowych o czynnikach występujących w układzie losowanych podbloków, a dla oceny różnic międzyobektowych użyto test Tukeya na poziomie istotności $p = 0,05$. Ponieważ ocenę gęstości gleby oraz zawartości azotu mineralnego w glebie spulchnianej przez narzędzia każdej technologii podstawowej uprawy roli wykonywano w strefie rzędów pszenicy ozimej i w międzyrzędziach, miejsce pobierania próbek glebowych przyjęto jako trzeci czynnik doświadczalny.

Cechy, których wyniki pomiarów nie miały rozkładu normalnego, np. pH gleby lub były monitorowane w układzie nieortogonalnym – objętościowa wilgotność gleby w okresie wegetacji pszenicy ozimej, nie poddano analizie wariancji, wyliczono natomiast ich średnie arytmetyczne.

Na podstawie zbioru wyników obsady roślin określono jej równomierność na każdym obiekcie. Jako miarę przyjęto odchylenie standardowe oraz wartość wyników odstających i ekstremalnych. Wyniki analizy przedstawiono na wykresach pudełkowych, typu ramkawy.

Wyniki opracowano dla każdego roku badań, a następnie ich syntezę dla całego okresu. W prezentacji syntetycznego opracowania wyników przyjęto ogólną zasadę, że w przypadku braku istotnej interakcji lata x czynnik i/lub lata x interakcja czynników w opracowaniu zamieszczono tylko średnie z lat badań.

Do opracowania wyników wykorzystano pakiety programów komputerowych: ANALWAR-5.2-FR, Statistica 7.0, Microsoft Office.

WYNIKI BADAŃ

TECHNOLOGIA UPRAWY ROLI, NAWOŻENIA I SIEWU A WŁAŚCIWOŚCI GLEBY

Gęstość objętościowa

Średnio w latach 2013/2014 – 2015/2016 gęstość gleby łoża siewnego po uprawie pasowej była większa niż silnie spulchnionej gleby uprawianej płuźnie, a zwłaszcza bezpłuźnie (tab. 2). Bardziej zagęszczona gleba w warstwie siewu nasion występowała również po rezygnacji z uprawy późniejszej oraz w międzyrzędziach pszenicy ozimej niż w jej rzędach. Większe zagęszczenie gleby łoża siewnego w międzyrzędziach występowało tylko w technologii strip-till. Ten sposób podstawowej uprawy roli powodował zwiększenie gęstości wierzchniej warstwy roli w międzyrzędziach zwłaszcza, gdy nie był poprzedzony uprawą późniejszą.

Tabela 2. Gęstość gleby łoża siewnego 0-5 cm ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)

Uprawa późniejsza - II	Miejsce - III	Uprawa podstawowa - I			średnia
		Płuźna	Bezpłuźna	Strip-till	
2013/2014 – 2015/2016					
uprawa	rzęd	1,22	1,20	1,26	1,23
	międzyrzędzie	1,22	1,20	1,32	1,25
średnia		1,22	1,20	1,29	1,24
brak	rzęd	1,24	1,21	1,30	1,25
	międzyrzędzie	1,22	1,20	1,54	1,32
średnia		1,23	1,21	1,42	1,29
średnia	rzęd	1,23	1,21	1,28	1,24
	międzyrzędzie	1,22	1,20	1,43	1,28
średnia		1,23	1,20	1,36	
$\text{NIR}_{p=0,05}$ I = 0,027 II = 0,016 III = 0,015 II/I = 0,028 I/II = 0,033 III/I = 0,027 I/III = 0,032 III/II = 0,022 II/III = 0,022					

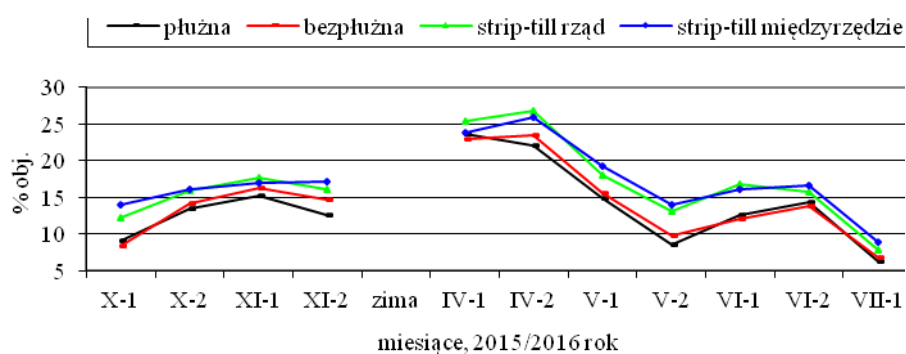
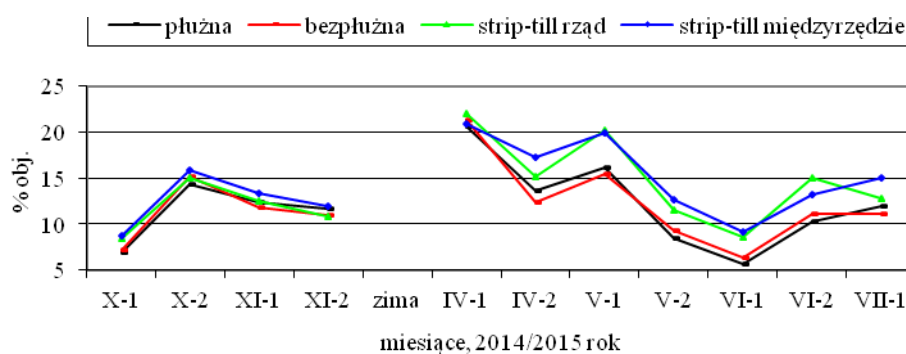
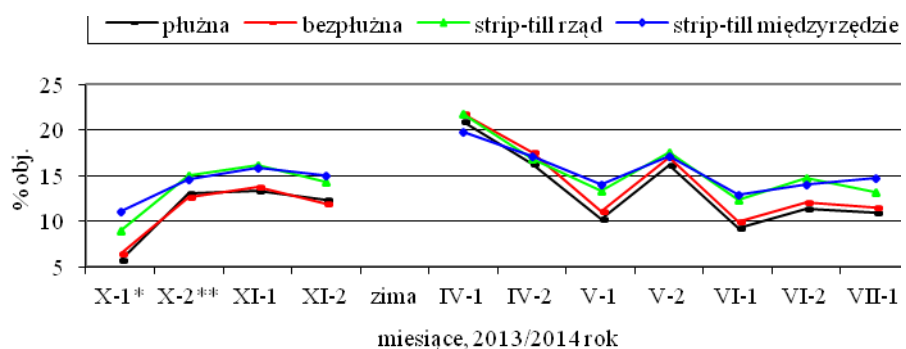
W warstwie najniższej położonej (25-30 cm), na którą nie oddziaływały narzędzia uprawowe żadnej z badanych technologii, zróżnicowanie gęstości objętościowej gleby po zbiorze pszenicy ozimej ujawniło się w trzecim roku eksperymentu polowego (tab. 3). Technologia strip-till spowodowała istotne zmniejszenie zagęszczenia gleby. Oddziaływanie to oraz tendencja spadku gęstości objętościowej gleby w warstwie podornej pod wpływem uprawy pasowej we wcześniejszych latach przyczyniły się do istotnie mniejszego zagęszczenia gleby uprawianej pasowo średnio w trzyletnim okresie badań.

Tabela 3. Gęstość gleby po zbiorze pszenicy ozimej w warstwie 25-30 cm ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)

Uprawa pożniwna - II	Uprawa podstawowa - I			średnia
	Płużna	Bezpłużna	Strip-till	
2013/2014				
uprawa	1,72	1,72	1,71	1,71
brak	1,73	1,72	1,70	1,71
średnia	1,72	1,72	1,70	
NIR _{p=0,05} I = n.i. II = n.i. II/I = n.i. I/II = n.i.				
2014/2015				
uprawa	1,70	1,71	1,70	1,70
brak	1,72	1,71	1,69	1,70
średnia	1,71	1,71	1,69	
NIR _{p=0,05} I = n.i. II = n.i. II/I = n.i. I/II = n.i.				
2015/2016				
uprawa	1,72	1,71	1,62	1,68
brak	1,71	1,71	1,61	1,68
średnia	1,71	1,71	1,62	
NIR _{p=0,05} I = 0,063 II = n.i. II/I = n.i. I/II = n.i.				
2013/2014 – 2015/2016				
uprawa	1,71	1,71	1,67	1,70
brak	1,72	1,71	1,67	1,70
średnia	1,71	1,71	1,67	
NIR _{p=0,05} I = 0,037 II = n.i. II/I = n.i. I/II = n.i.				

Wilgotność gleby

Wilgotność wierzchniej warstwy gleby, jesienią każdego roku badań, była najmniejsza w początkowym okresie wzrostu pszenicy ozimej, tj. w pierwszej połowie października i wynosiła od kilku do kilkunastu procent objętościowych, a następnie zwiększała się do pierwszej, drugiej połowy listopada. Gleba w technologii strip-till miała wilgotność o kilka punktów procentowych większą niż na obiektach uprawianych płużnie i bezpłużnie. Tylko w 2014/2015 roku gleba maksymalną wilgotność w warstwie 0-10 cm osiągnęła w drugiej połowie października, a jej różnica pomiędzy obiektami uprawianymi w różny sposób była najmniejsza (rys. 1). W okresie wiosenno-letniej wegetacji pszenicy ozimej wilgotność gleby, bezpośrednio po zimie podobna na poszczególnych obiektach, następnie zmniejszała się wraz z upływem czasu, w większym stopniu po uprawie płużnej i bezpłużnej, a w mniejszym po uprawie pasowej. Jedynie w drugiej połowie maja, w pierwszym roku badań wilgotność na wszystkich obiektach miała podobną wartość.



* 1 – pierwsza połowa danego miesiąca
 ** 2 – druga połowa danego miesiąca

Rys. 1. Przebieg wilgotności gleby w warstwie 0-10 cm w latach badań

Zawartość azotu mineralnego

Zawartość azotu mineralnego w glebie wiosną po nawożeniu pogłównym i wznowieniu wegetacji przez pszenicę ozimą w zależności od późniejszej i podstawowej uprawy roli oraz miejsca, czyli rzędów roślin i międzyrzędzi, kształtowała się podobnie we wszystkich latach badań. Średnio w całym okresie, podobnie jak jesienią, technologia strip-till powodowała, że zawartość azotu w glebie w strefie rzędów roślin była większa niż w ich międzyrzędziach oraz większa niż w rzędach roślin po uprawie pluznej i bezpluznej. Natomiast w międzyrzędziach uprawianych bezpluznie występowało istotnie więcej azotu niż w rzędach (tab. 4).

Tabela 4. Zawartość azotu mineralnego wiosną średnio w okresie badań ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. gleby)

Uprawa poźniwna - II	Miejsce - III	Uprawa podstawowa - I			średnia
		Pluźna	Bezpluźna	Strip-till	
2013/2014 – 2015/2016					
uprawa	rząd	39,1	38,8	44,7	40,9
	międzyrzędzie	40,2	41,8	37,4	39,8
średnia		39,7	40,3	41,0	40,3
brak	rząd	38,5	39,7	44,7	41,0
	międzyrzędzie	41,1	42,4	38,0	40,5
średnia		39,8	41,1	41,3	40,7
średnia	rząd	38,8	39,3	44,7	40,9
	międzyrzędzie	40,6	42,1	37,7	40,1
średnia		39,7	40,7	41,2	
$\text{NIR}_{p=0,05}$ I = n.i. II = n.i. III = n.i. II/I = n.i. I/II = n.i. III/I = 2,02 I/III = 2,76 III/II = n.i. II/III = n.i.					

Średnio, w trzech latach badań zawartość azotu mineralnego w glebie w strefie występowania rzędów zebranej pszenicy ozimej była istotnie mniejsza niż w jej międzyrzędziach, zwłaszcza po uprawie pasowej, a na obiekcie po uprawie pluźnej mniejsza niż po strip-till (tab. 5). Pozostałość większej ilości azotu w technologii strip-till niż po uprawie pluźnej i bezpluźnej dotyczyła tylko międzyrzędzi. W strefie rzędów jego zawartość w glebie nie zależała natomiast od technologii uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu pszenicy ozimej.

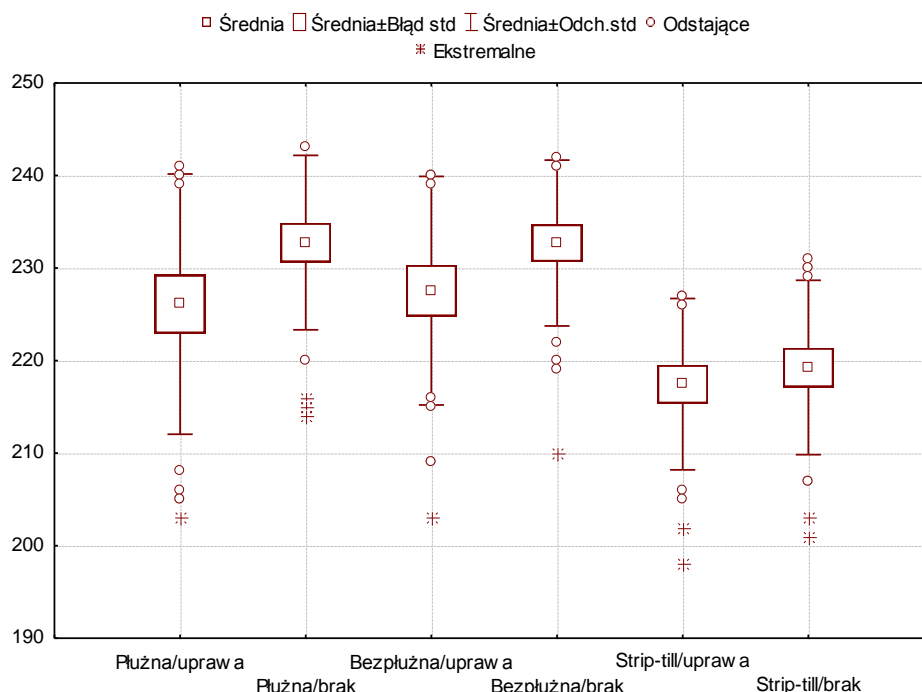
Tabela 5. Zawartość azotu mineralnego po zbiorze średnio w okresie badań ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. gleby)

Uprawa poźniwna - II	Miejsce - III	Uprawa podstawowa - I			średnia
		Pluźna	Bezpluźna	Strip-till	
2013/2014 – 2015/2016					
uprawa	rząd	11,5	12,2	12,4	12,0
	międzyrzędzie	10,7	12,6	15,5	12,9
średnia		11,1	12,4	13,9	12,5
brak	rząd	11,4	11,8	12,3	11,8
	międzyrzędzie	10,8	12,7	15,1	12,9
średnia		11,1	12,2	13,7	12,3
średnia	rząd	11,4	12,0	12,4	11,9
	międzyrzędzie	10,8	12,6	15,3	12,9
średnia		11,1	12,3	13,8	
$\text{NIR}_{p=0,05}$ I = 1,55 II = n.i. III = 0,42 II/I = n.i. I/II = n.i. III/I = 0,72 I/III = 1,62 III/II = n.i. II/III = n.i.					

OBSADA ROŚLIN I PLON ZIARNA PSZENICY OZIMEJ

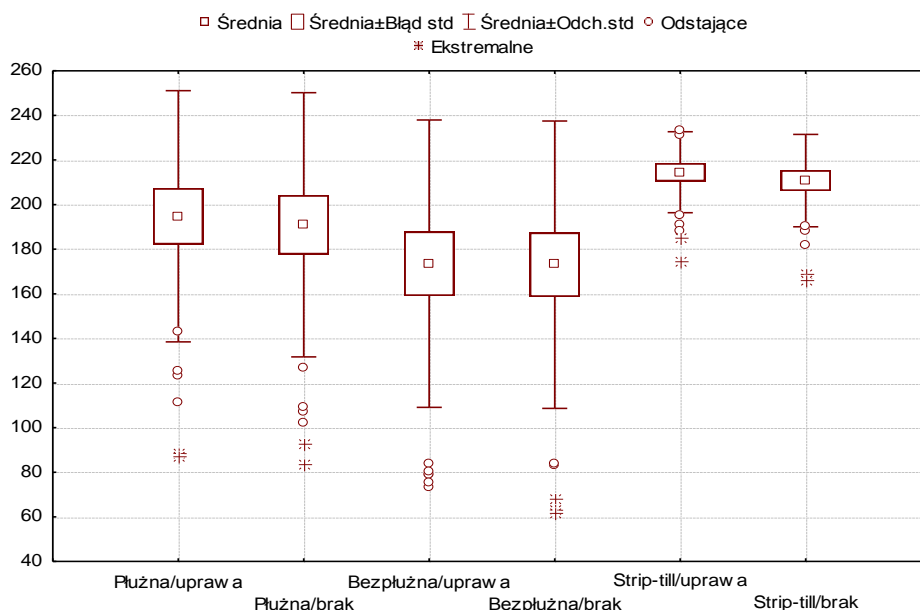
Równomierność obsady

W pierwszym roku badań, najbardziej korzystnym dla wschodów pszenicy ozimej, wielkość odchylenia standardowego obsady roślin była podobna na wszystkich obiektach doświadczalnych. Zbliżona była również wielkość obsad ekstremalnych (rys. 2). Brak uprawy późniejszej, a następnie podstawowa uprawa płuzna i bezpłuzna powodowały, że wielkość odchylenia standardowego obsady roślin na tych obiektach była nieco mniejsza niż po uprawie późniejszej, a minimalna obsada ekstremalna wynosiła 210- 213 szt. m^{-2} . Najbardziej odbiegające *in minus* wyniki od średniej obsady wynosiły około 200 roślin na m^2 – w technologii strip-till.



Rys. 2. Równomierność obsady roślin w pierwszym roku badań w zależności od technologii uprawy roli, nawożenia przedsięwzięcia i siewu

W trzecim roku badań wpływ porównywanych technologii na równomierność obsady roślin był podobny jak w drugim roku. Uprawa płuzna, a zwłaszcza bezpłuzna spowodowały, że obsada w różnych miejscach obiektów była silnie zróżnicowana, a minimalna obsada wynosiła około 80 szt. m^{-2} – uprawa płuzna i 60 szt. m^{-2} – uprawa bezpłuzna (rys. 3). Bardziej wyrównana obsada pszenicy ozimej wystąpiła w wyniku zastosowania technologii strip-till. Odchylenie standardowe tej cechy w tym przypadku było kilkakrotnie mniejsze, a najmniejsza stwierdzona obsada roślin na tym obiekcie wynosiła nie mniej niż 160 roślin/ m^2 .



Rys. 3. Równomierność obsady roślin w trzecim roku badań w zależności od technologii uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu

Plon ziarna

Plon pszenicy ozimej uprawianej w technologii strip-till w 2014/2015 roku był istotnie większy w porównaniu zarówno do uprawy plużnej, jak i bezplużnej (tab. 6). Średnio w całym okresie stwierdzono, że plon ziarna pszenicy ozimej wysiewanej po tradycyjnej plużnej podstawowej uprawie roli i w technologii strip-till był podobny, ale istotnie większy niż po uprawie bezplużnej.

Tabela 6. Plon ziarna ($t\text{ha}^{-1}$)

Uprawa poźniwna II	Uprawa podstawowa - I			średnia
	Plużna	Bezplużna	Strip-till	
2013/2014				
uprawa	10,34	10,31	10,13	10,26
brak	10,37	10,26	10,11	10,24
średnia	10,35	10,29	10,12	
NIR _{p=0,05} I = n.i. II = n.i. II/I = n.i. I/II = n.i.				
2014/2015				
uprawa	9,23	9,04	9,58	9,28
brak	9,21	8,97	9,54	9,24
średnia	9,22	9,01	9,56	
NIR _{p=0,05} I = 0,317 II = n.i. II/I = n.i. I/II = n.i.				
2015/2016				
uprawa	7,59	6,70	7,50	7,26
brak	7,54	6,70	7,30	7,18
średnia	7,56	6,70	7,40	
NIR _{p=0,05} I = 0,409 II = n.i. II/I = n.i. I/II = n.i.				
2013/2014 – 2015/2016				
uprawa	9,05	8,68	9,07	8,93
brak	9,04	8,64	8,98	8,89
średnia	9,04	8,66	9,02	
NIR _{p=0,05} I = 0,333 II = n.i. II/I = n.i. I/II = n.i.				

JAKOŚĆ ZIARNA

Zawartość białka ogólnego w dwóch pierwszych latach badań nie zależała ani od technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia i siewu, ani od późniejszej uprawy roli.

W 2015/2016 roku zawartość białka ogólnego w ziarnie różnicował pierwszy z czynników doświadczenia (tab. 7). Ziarno z obiektu, na którym stosowano technologię strip-till zawierało istotnie więcej białka niż ziarno po uprawie płuźnej. Zawartość ta była także większa niż w ziarnie z obiektu uprawianego bezpłuźnie, chociaż różnica 0,2 punktu procentowego nie była istotna statystycznie.

Zależność zawartości białka w ziarnie od czynników doświadczenia średnio w okresie badań wyglądała podobnie jak w trzecim roku. Późniejsza uprawa roli nie miała wpływu na tę cechę, a ziarno z obiektu uprawianego w technologii strip-till zawierało istotnie więcej białka od ziarna pszenicy wysiewanej po podstawowej płuźnej uprawie roli, rzutowym nawożeniu przedsięwziętym i siewie rzędowym.

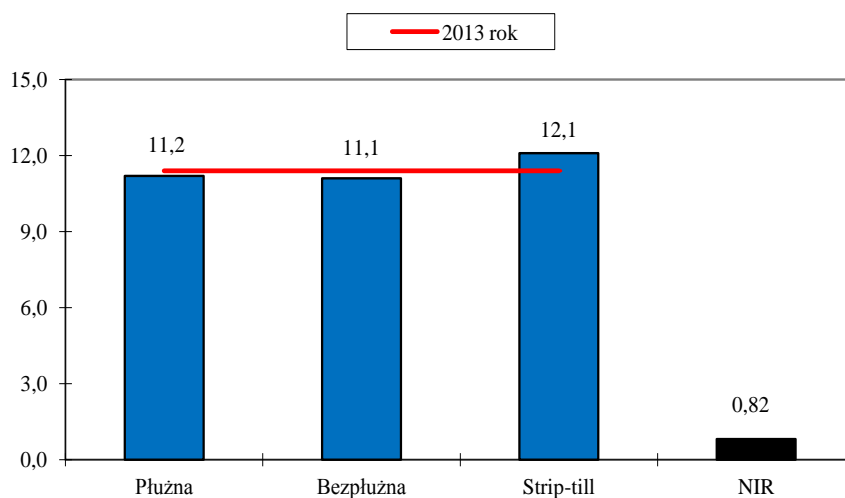
Tabela 7. Zawartość białka ogólnego (%)

Uprawa późniejsza - II	Uprawa podstawowa - I			średnia
	Płuźna	Bezpłuźna	Strip-till	
2015/2016				
uprawa	14,0	14,3	14,6	14,3
brak	14,0	14,3	14,5	14,2
średnia	14,0	14,3	14,5	
NIR _{p=0,05}	I = 0,27	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.
2013/2014 – 2015/2016				
uprawa	13,8	14,0	14,2	14,0
brak	13,8	14,0	14,0	13,9
średnia	13,8	14,0	14,1	
NIR _{p=0,05}	I = 0,22	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.

EFEKT ŚRODOWISKOWY – WŁAŚCIWOŚCI GLEBY

Zawartość węgla organicznego

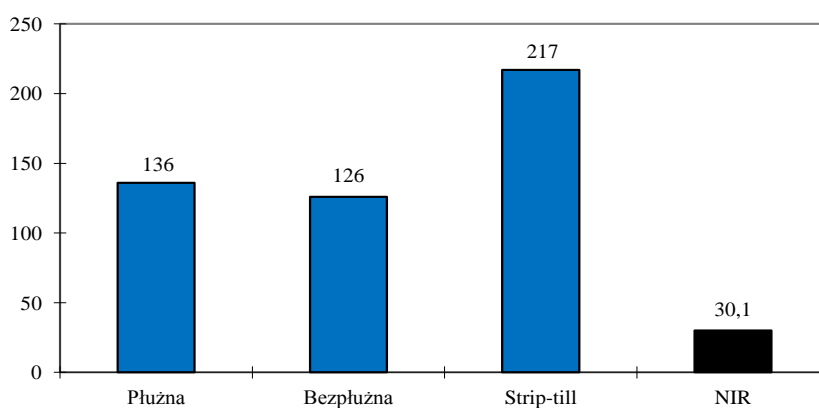
Po trzech latach badań zawartość węgla organicznego w powierzchniowej warstwie gleby 0-15 cm na obiekcie, na którym stosowano technologię strip-till wynosiła 12,1 g·kg⁻¹ gleby. Była ona istotnie większa niż na obiektach uprawianych płuźnie i bezpłuźnie oraz jednocześnie większa w porównaniu ze średnią zawartością węgla organicznego w warstwie 0-20 cm przed założeniem doświadczenia – 11,4 g·kg⁻¹ gleby (rys. 4).



Rys. 4. Zawartość węgla organicznego (g·kg⁻¹ gleby) po trzech latach stosowania technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu

Liczba bakterii

Sposób uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu wpłynął istotnie na występowanie bakterii w wierzchniej warstwie gleby. Po trzech latach stosowania technologii strip-till liczba bakterii ogółem była o 81 jtk·10⁷·g⁻¹ s.m. gleby oraz 91 jtk·10⁷·g⁻¹ s.m. gleby większa niż na obiektach uprawianych odpowiednio plużnie i bezplużnie (rys. 5).

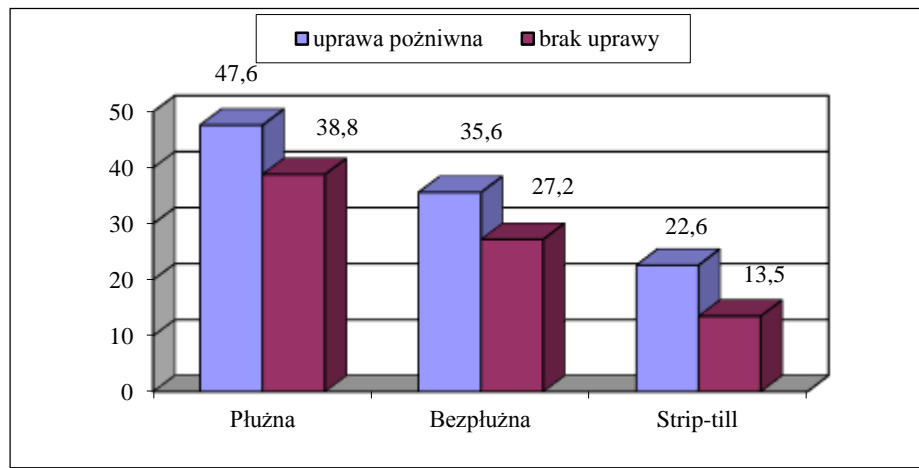


Rys. 5. Liczba bakterii ogółem (jtk·10⁷·g⁻¹ s.m. gleby) w warstwie 0-15 cm po trzech latach stosowania technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu

NAKLADY

Zużycie paliwa

W trzyletnim okresie badań średnioroczne zużycie paliwa na zabiegi płużnego sposobu uprawy roli, przedsiewnego nawożenia mineralnego oraz siewu pszenicy ozimej wynosiło blisko 50 l ha^{-1} przy dodatkowym stosowaniu płytkiej uprawy późniwnej oraz niespełna 40 l ha^{-1} w przypadku jej braku (rys. 6). Zastąpienie orki uprawą bezpłużną zmniejszyło nakłady paliwa odpowiednio o $12,0 \text{ l ha}^{-1}$ i $11,6 \text{ l ha}^{-1}$, a zastosowanie technologii strip-till zredukowało jego zużycie o $25,0 \text{ l ha}^{-1}$ i $25,3 \text{ l ha}^{-1}$.



Rys. 6. Średnie w latach badań zużycie paliwa (l ha^{-1}) w zależności od technologii uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu

WNIOSKI

1. Elementem agrotechniki pszenicy ozimej różnicującym właściwości gleby, wzrost i plonowanie roślin oraz jakość ziarna, choć w różnym stopniu w latach badań, był sposób podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu. Mniejsze, często nieistotne, znaczenie miała natomiast płytka uprawa późniwna.
2. Technologia strip-till powodowała większe zagęszczenie i lepsze uwilgotnienie łoża siewnego niż klasyczna uprawa płużna oraz średnio głęboka, cało powierzchniowa uprawa bezpłużna. W warstwach niżej położonych oddziaływanie to było mniejsze.
3. Efektem technologii strip-till było przestrzenne zróżnicowanie zawartości azotu mineralnego w glebie. Spowodowała ona, w przeciwieństwie do uprawy płużnej i bezpłużnej, zwiększenie koncentracji azotu w rzędach roślin w porównaniu z międzyrzędziami w okresie jesiennej i wiosennej wegetacji pszenicy ozimej, a zmniejszenie jego zawartości bezpośrednio po zbiorze.
4. Pasowa uprawa roli z jednoczesną aplikacją nawozów oraz siewem umożliwiła uzyskanie takiego samego plonu ziarna jak po klasycznej płużnej uprawie z nawożeniem

przedsiewnym i siewem rzędownym, a istotnie większego niż po średnio głębokiej uprawie bezpłużnej.

5. Większy plon ziarna po uprawie strip-till wynikał z równomiernych wschodów, większej obsady kłosów i masy ziarna z kłosa.
6. Ziarno pszenicy ozimej uprawianej pasowo zawierało więcej białka ogólnego i glutenu mokrego, ale miało mniejszą gęstość w stanie zsypanym, od ziarna uzyskanego po uprawie płużnej.
7. Korzystne oddziaływanie technologii strip-till na rośliny pszenicy ozimej, jej plon i jakość ziarna ujawniało się przede wszystkim w latach o nie sprzyjających plonowaniu warunkach agrotechnicznych i siedliskowych.
8. Technologia strip-till umożliwiła kilkukrotne zmniejszenie nakładów paliwa na uprawę roli, nawożenie przedsiewne i siew, a szczególnie skrócenie czasu pracy w porównaniu z technologiami, w których stosowano płużną lub bezpłużną uprawę roli.
9. Po trzech latach pasowej uprawy roli z jednoczesną aplikacją nawozów i siewem nastąpiło zwiększenie zawartości przyswajalnych form makroskładników w wierzchniej warstwie w porównaniu z glebą uprawianą płużnie oraz zmniejszenie gęstości objętościowej warstwy położonej poniżej zasięgu działania elementów roboczych narzędzi uprawowych.
10. Regularne, kilkuletnie stosowanie technologii strip-till wpłynęło korzystnie na właściwości biologiczne gleby. Zawierała ona więcej dżdżownic i mikroorganizmów ogółem oraz odznaczała się większą aktywnością dehydrogenaz niż gleba uprawiana płużnie i bezpłużnie.

LITERATURA

Bibliografia obejmuje 184 pozycje, z tego w streszczeniu zacytowano:

Casida L., Klein D., Santoro T., 1964. Soil dehydrogenase activity. *Soil Sci.* 98, 371-376.

Derpsch R., Friedrich T., Landers J., Raimbow R., Reicosky D., Sá J.C.M., Sturny W.G., Wall P., Ward R.C., 2011. About the necessity of adequately defining no-tillage - a discussion paper. *Proceedings of the 5th World Congress of Conservation Agriculture*, 26-29 September 2011, Brisbane, Australia, 1-4.

Harasim A., 2009. Przewidywane kierunki zmian w technologiach produkcji roślinnej. W: Stan i kierunki zmian w produkcji rolniczej (wybrane zagadnienia). *Studia i Raporty IUNG – PIB* 17, 93-106.

Kassam A., Friedrich T., Derpsch R., Kienzle J., 2015. Overview of the worldwide spread of conservation agriculture. *Field Actions Science Reports*: <http://factsreports.revues.org/3966>

Kotecki A., 2015. Dokąd zmierza agronomia w Polsce. *Fragm. Agron.* 32(4), 7-21.

Święcicki W.K., Surma M., Koziara W., Skrzypczak G., Szukała J., Bartkowiak-Broda I., Zimny J., Banaszak Z., Marciniak K., 2011: Nowoczesne technologie w produkcji roślinnej – przyjazne dla człowieka i środowiska, *Pol. J. Agron.* 7, 102-112.

Martin J.P., 1950. Use of acid, rose bengal and streptomycin in the plate method for estimating soil fungi. *Soil Sci.* 69, 215-232.

Rychlik A., 2006. Metody pomiaru zużycia paliwa pojazdów użytkowych, *Eksploatacja i Niezawodność* 4, 37-41.

Tabatabai M. A., Bremner J. M., 1969. Use of p-nitrophenyl phosphate for assays of soil phosphatase activity. *Soil Biol. Biochem.* 1,4, 301-307.

Wallace R., Lockhead A., 1950. Qualitative studies of soil microorganisms. Aminoacid requirements of rhizosphere bacteria. *Can. J. Res., sec. C* 28, 1-6.

Zimny L., Zych A., Waławowicz R., 2015. Systemy uprawy buraka cukrowego w Polsce w badaniach ankietowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 581, 135-145.