UNIWERSYTET
PRZYRODNICZY
WE WROCŁAWIU
WYDZIAŁ PRZYRODNICZO-TECHNOLOGICZNY

**mgr inż. Magdalena Giemza-Mikoda**

# Warunki wzrostu i plonowanie jęczmienia jarego w różnych systemach uprawy

The growth conditions and yielding of spring barley under different tillage systems

**Praca doktorska**
**wykonana pod kierunkiem**
**dr. hab. inż. Romana Wacławowicza, prof. uczelni**
**w Instytucie Agroekologii i Produkcji Roślinnej**

Wrocław 2021

*Składam serdeczne podziękowania Panu dr. hab. inż. Romanowi Wacławowiczowi, prof. uczelni, promotorowi mojej pracy, za motywację, kierownictwo naukowe, wielogodzinne dyskusje, a także za wsparcie, cierpliwość i wyrozumiałość.*

*Pragnę także podziękować byłym i obecnym Pracownikom Instytutu Agroekologii i Produkcji Roślinnej, za życzliwość, okazaną pomoc, wnikliwe spostrzeżenia oraz dzielenie się wiedzą i naukowym doświadczeniem.*

*Dziękuję również wszytkim, którzy pomogli mi w realizacji badań, a w szczególności moim Najbliższym i Przyjaciołom za wiarę we mnie i bezcenne wsparcie w chwilach zwątpienia.*

***Niniejszą pracę dedykuję Cioci Lili***

## Spis treści

1. WSTĘP ..... 5
2. PRZEGLĄD PIŚMIENNICTWA ..... 7
2.1. Idea zrównoważonego rozwoju w rolnictwie ..... 7
2.2. Rola międzyplonów w produkcji roślinnej i środowisku. ..... 9
2.3. Modyfikacje w uprawie roli ..... 12
2.3.1. Zmiany właściwości gleby ..... 15
2.3.2. Oddziaływanie na występowanie agrofagów ..... 17
2.3.4. Poziom plonowania ..... 19
2.3.5. Ekonomiczne aspekty uproszczeń w uprawie roli ..... 21
2.3.6. Sposoby zagospodarowania międzyplonów ..... 21
2.4. Znaczenie nawożenia azotem ..... 23
2.4.1. Poziom plonowania ..... 23
2.4.2. Zmiany w środowisku glebowym ..... 24
2.4.3. Współdziałanie nawożenia mineralnego azotem i organicznego ..... 25
3. CEL BADAŃ ..... 26
4. OPIS DOŚWIADCZENIA ..... 27
4.1. Schemat doświadczenia ..... 27
4.2 Warunki glebowe ..... 28
4.3. Warunki agrometeorologiczne ..... 28
4.4. Zabiegi agrotechniczne ..... 31
4.5. Zakres i metodyka badań ..... 32
4.5.1. Właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne gleby ..... 32
4.5.2. Zachwaszczenie łanu ..... 33
4.5.3. Badania dotyczące jęczmienia jarego ..... 34
4.5.4. Badania dotyczące międzyplonu ..... 34
4.5.5. Efektywność nawożenia i wykorzystanie azotu ..... 34
4.4.6. Uproszczona ocena ekonomiczna ..... 35
5. OMÓWIENIE WYNIKÓW ..... 37
5.1. Plonowanie i wartość nawozowa międzyplonu ścierniskowego ..... 37
5.2. Wybrane właściwości gleby ..... 39
5.2.1. Właściwości fizyczne ..... 39
5.2.2. Właściwości biologiczne ..... 52
5.2.3. Właściwości chemiczne ..... 53
5.3. Zachwaszczenie łanu ..... 58

5.4. Rozwój i plonowanie jęczmienia jarego ..... 60
5.5. Efektywność nawożenia mineralnego ..... 83
5.6. Uproszczona ocena ekonomiczna różnych technologii uprawy jęczmienia jarego ..... 89
6. DYSKUSJA ..... 94
6.1. Zmiany środowiska glebowego ..... 94
6.2. Zachwaszczenie łanu ..... 97
6.3. Poziom plonowania ..... 98
6.4. Uproszczona ocena ekonomiczna ..... 100
7. WNIOSKI ..... 102
8. PIŚMIENNICTWO ..... 104

# 1. WSTĘP

Jednym z głównych założeń europejskiej polityki rolnej jest wdrażanie proekologicznych rozwiązań ograniczających negatywne skutki działalności rolniczej. Podstawowym zadaniem jest więc opracowanie technologii chroniących potencjał produkcyjny środowiska oraz zmniejszających skalę jego degradacji [Derpsch i in. 2010]. W koncepcję tą wpisują się założenia rolnictwa zrównoważonego (zachowawczego), które sprzyja minimalnym zakłóceniom gleby oraz zwiększeniu różnorodności biologicznej środowiska [FAO 2015]. System ten, na ogół przyczynia się do poprawy wykorzystania wody i składników odżywczych, a w efekcie wzrostu produkcyjności roślin uprawnych i utrzymania stabilności ekosystemów.

Wprowadzenie do gleby międzyplonu ścierniskowego, jako rośliny regenerującej stanowisko, na ogół daje wiele korzyści produkcyjnych [Thomas i Archambeaud 2019], środowiskowych [Wojciechowski 2009, Ignaszak i in. 2016] i ekonomicznych [Garbiak i Rynkiewicz 2011, Majchrzak 2015]. Uprawa międzyplonów wymaga jednak dodatkowych nakładów energetycznych i finansowych oraz obarczona jest stosunkowo dużym ryzykiem niepowodzenia uprawy, co w określonych warunkach może mieć wpływ na pogorszenie właściwości gleby, stanu fitosanitarnego roślin i efektów polowej produkcji roślinnej [Starczewski i in. 2008, Wojciechowski 2009, Herra i Liedgens 2009, Jaskulska i Gałęzewski 2009]. W aspekcie środowiskowym ważną rolą międzyplonów jest ograniczenie strat składników pokarmowych, głównie azotu co umożliwia ochronę ekosystemów oraz ograniczenie stosowania nawozów. Jednakże warunkiem wykorzystania przez rośliny uprawne substancji odżywczych zawartych w biomasie międzyplonu jest prawidłowy sposób jego wprowadzenia do gleby.

Głównym zadaniem uprawy roli jest odpowiednie przygotowanie gleby do siewu, stworzenie optymalnych warunków dla kiełkowania nasion, wschodów i rozwoju roślin oraz utrzymanie sprawności roli. Jest to możliwe dzięki wykonaniu określonych zabiegów agrotechnicznych, których zadaniem jest m.in. stworzenie i utrzymanie struktury gruzełkowatej, regulacja stosunków wodno-powietrznych i cieplnych, zagospodarowanie resztek pozbiorowych, plonów ubocznych oraz nawozów naturalnych i organicznych, zapobieganie występowaniu i likwidowanie chorób glebowych oraz poprawa bilansu próchnicznego gleby. Tradycyjna uprawa roli, której podstawowym zabiegiem jest orka, a wraz z nią liczne uprawki doprawiające rolę, jest technologią na ogół spełniającą te zadania. Jednak ze względu na jej dużą praco- i energochłonność często praktykowane są uproszczenia w uprawie roli. W praktyce rolniczej stale poszukuje się alternatywnych rozwiązań, mających na celu ograniczenie nakładów bez szkody dla ich końcowego efektu, jakim jest wartość uzyskanego plonu i stan środowiska glebowego.

Zgodnie z koncepcją zrównoważonego rozwoju w ogniwie zmianowania: rośliny ozime-rośliny jare, bardzo ważną rolę w ograniczaniu wymywania związków azotowych mają

rośliny okrywowe, mogą one być zagospodarowane jesienią lub korzystniej wiosną [Duer i in. 2004]. W zależności od zastosowanego systemu uprawy roli, biomasę roślin międzyplonowych można wprowadzić do gleby na różną głębokość lub pozostawić ją na powierzchni pola w formie mulczu. Wybór technologii uprawy nie jest oczywisty. Zbyt głębokie przyoranie międzyplonów może przyczynić się do niekorzystnego przebiegu procesu mineralizacji zielonej masy. Jest to związane z ograniczonym dostępem tlenu do biomasy, co w konsekwencji może skutkować zakwaszeniem gleby [Thomas i Archambeaud 2019]. Alternatywą może być płytkie wymieszanie międzyplonu z glebą. Jednak jego niedostateczne przykrycie ogranicza proces humifikacji materii organicznej i zmniejsza rolę fitosanitarną [Majchrzak 2015, Wojciechowski i Gajewska 2018].

W Polsce jęczmień jary należy do podstawowych gatunków zbóż i wyróżnia się największą powierzchnią uprawy spośród zbóż jarych, która w 2019 roku wynosiła 750,5 tys. ha, natomiast udział w strukturze zasiewów zbóż kształtował się na poziomie nieco ponad 9,5% [GUS 2020]. Przy dobrym wykorzystaniu warunków siedliska i prawidłowej agrotechnice można uzyskać wysokie plony ziarna jęczmienia, szczególnie w południowo-zachodnich regionach kraju, które ze względu na dość wysoki wskaźnik waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej są do tego celu bardziej predystynowane [Leszczyńska 2015].

# 2. PRZEGLĄD PIŚMIENNICTWA

## 2.1. Idea zrównoważonego rozwoju w rolnictwie

Jednym z głównych zadań Wspólnej Polityki Rolnej Unii Europejskiej jest zwiększenie wsparcia prośrodowiskowych działań w obszarze rolnictwa. Koncepcja zrównoważonego rozwoju rolnictwa powstała jako odpowiedź na globalne problemy przyrodnicze, pojawiające się na przełomie lat 70 i 80 XX wieku, wynikające z postępującego uprzemysłowienia produkcji rolnej [Kołodziejczak 2012]. Istnieje wiele definicji rolnictwa zrównoważonego, większość z nich przyjmuje, że jest to taka organizacja produkcji rolnej, która nie powoduje negatywnych zmian środowiska naturalnego, lub wywołuje zmiany niewielkie i ukierunkowane na eliminację degradacji środowiska. Polska strategia rozwoju zrównoważonego do roku 2025, opublikowana w 1999 r. przez Ministerstwo Ochrony Środowiska, definiuje rozwój zrównoważony jako prawo do zaspokojenia aspiracji rozwojowych obecnej generacji bez ograniczania podobnego prawa przyszłych pokoleń. Z tej definicji jasno wynika, że rozwój gospodarczy i cywilizacyjny obecnego pokolenia nie powinien odbywać się kosztem wyczerpywania zasobów nieodnawialnych i niszczenia środowiska. Według Fotymy i Krasowicza [2007] ta definicja z konieczności ma charakter bardzo ogólny i nie przekłada się wprost na działania w sferze gospodarki i zarządzania. Krasowicz [2009] twierdzi, że głównymi cechami charakteryzującymi rolnictwo zrównoważone na poziomie kraju są m.in.: racjonalne wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej i utrzymanie potencjału produkcyjnego gleb oraz ograniczenie lub eliminacja zagrożeń dla środowiska przyrodniczego a także troska o zachowanie bioróżnorodności. Zdaniem Kutkowskiej [2007] zrównoważone rolnictwo to taki system gospodarowania, w którym łączy się priorytety ekonomiczne, socjalne i etyczne z bezpieczeństwem ekologicznym. Osiąga się to przez odpowiednie zarządzanie, racjonalne wykorzystanie mechanizmów samoregulacji w ekosystemach, a także wyników postępu naukowo-technicznego. W praktyce oznacza to przede wszystkim ograniczenie intensywnej produkcji z wysokim stopniem chemizacji i nadmiernej, ciężkiej mechanizacji.

Do lat 90-tych XX w. rolnictwo Unii Europejskiej koncentrowało się na maksymalizacji plonów, w niewielkim stopniu zwracając uwagę na potrzebę ochrony gleb. W konsekwencji doprowadziło to do postępującej erozji gleb i pogorszenia bilansu materii organicznej w glebie. Początkowo podjęte działania prośrodowiskowe nie przyniosły oczekiwanych rezultatów. Według Verheijnena i in. [2010] straty gleby w Europie wahały się od 3 do 40 ton w przeliczeniu na 1 ha w ciągu roku. Wymywana gleba przeniesiona została do ekosystemów wodnych powodując zanieczyszczenie rzek [Evans i in. 2006]. Niewłaściwa agrotechnika przyczyniła się również do negatywnego oddziaływania na glebę, powietrze a także wody powierzchniowe i podziemne [Mercik i in. 2004, Góral i Rembisz 2017]. Przyczyny takiego stanu tkwią głównie w niewłaściwym stosowaniu przemysłowych środków produkcji, tj. nawozów mineralnych, głównie azotowych oraz środków ochrony roślin,

co prowadzi do zaniku naturalnej flory i fauny, zakłóca gospodarkę wodną i mikroklimat, a w konsekwencji niekorzystnie wpływa na środowisko agroekosystemów [Fotyma i Fotyma 2004]. Degradacja środowiska glebowego spowodowana może być również intensywną uprawą roli, wymusza to poszukiwanie nowych technologii sprzyjających ochronie gleb i bioróżnorodności oraz odtwarzających naturalne biocenozy, szczególnie na obszarach intensywnej produkcji rolnej. Rolnictwo zrównoważone, wspierające zachowanie naturalnego środowiska, nie wyklucza wzrostu produkcji, wymaga jednak zastosowania odpowiedzialnych działań prośrodowiskowych [Dzienia i in. 2006, Harasim i Kwiatkowski 2020]. Kuś [2002] twierdzi, że zrealizowanie tych założeń jest możliwe poprzez wykorzystanie naturalnych możliwości produkcyjnych gleb i roślin, minimalnym zużyciu środków chemicznych oraz umiejętnym łączeniu postępu biologicznego i technicznego. Pomimo opracowania wielu publikacji dotyczących rolnictwa zintegrowanego nadal otwartym problemem jest określenie rolniczych i ekonomicznych aspektów uprawy roślin zgodnie z zasadami tego systemu [Klima i in. 2015]

Rolnictwo odgrywa szczególną rolę w urzeczywistnianiu idei zrównoważonego rozwoju ze względu na jego znaczenie w zarządzaniu zasobami przyrody, zwłaszcza glebą [Toczyński i in. 2013]. Zdaniem Guth i Smędzik-Ambroży [2017] rolnicy wykorzystując zasoby przyrodnicze i posiadając możliwość świadczenia dóbr publicznych oddziałują na ład środowiskowy obszarów wiejskich.

Idea zrównoważonego rozwoju jest wdrażana głównie poprzez przedsięwzięcia w ramach Wspólnej Polityki Rolnej (WPR), w której wprowadzono konkretne rozwiązania, zobowiązujące rolników do stosowania odpowiednich praktyk prośrodowiskowych, mających na celu zwiększenie zdolności ekosystemów do samodzielnej odbudowy. Właściwe użytkowanie gruntów to podstawowy warunek zapewniający utrzymanie a nawet zwiększenie żyzności gleb [Komorowska 2017]. Gospodarstwa rolne często są bezinwentarzowe, pozbawione nawozów naturalnych, istotnych dla kształtowania zasobów próchnicy w glebie. Pojawia się w związku z tym zagrożenie dla żyzności gleb [Kuś 2005], zwłaszcza w połączeniu z intensywnym ich użytkowaniem oraz upraszczaniem płodozmianów i dominacją roślin zbożowych [Krasowicz 2009]. Zdaniem Jaskulskiej i Gałęzewskiego [2009] konieczna jest zatem uprawa roślin międzyplonowych, w tym międzyplonów ścierniskowych przeznaczonych na zielony nawóz, w celu niwelowania niekorzystnych skutków uproszczeń. Uprawa roli ma na celu optymalizację produktywności gleb poprzez zmianę jej fizycznych, chemicznych i biologicznych właściwości. W rolnictwie zrównoważonym propaguje się w coraz większym zakresie różne technologie bezpłużnej uprawy roli często określane mianem uprawy zachowawczej lub konserwującej [Lehmar 2010, Wauters i in. 2010]. Działania prośrodowiskowe opierają się w znacznej mierze na zmniejszeniu intensywności uprawy roli w płodozmianie, a nawet na całkowitym zaniechaniu mechanicznego oddziaływania na glebę oraz przykryciu gleby resztkami

roślinnymi po zbiorze plonu głównego lub poprzez uprawę międzyplonów [Holland 2004, Dzienia i in. 2006].

### 2.2. Rola międzyplonów w produkcji roślinnej i środowisku.

Ograniczenie obsady zwierząt gospodarskich oraz nowoczesne metody ich chowu, doprowadziły do deficytu obornika i wymuszają stosowanie innego substytutu, m.in międzyplonu. [Kołodziejczyk i in. 2007]. Dawniej główną funkcją międzyplonów była produkcja paszy dla zwierząt. Obecnie międzyplony są częścią proekologicznych działań w ramach Wspólnej Polityki Rolnej krajów Unii Europejskiej, realizowanych w formie programu rolnośrodowiskowo-klimatycznego. Do zwiększenia powierzchni uprawy międzyplonów zachęcają rolników płatności, które uzyskują z tytułu ich uprawy, pozwalające ograniczyć ponoszone koszty. Ze względu na oddziaływanie na środowisko oraz warunki i efekty polowej produkcji roślinnej międzyplony stały się obecnie instrumentem kreowania rolnictwa przyjaznego środowisku przyrodniczemu [Jaskulska i Gałęzewski 2009]. Oddziaływanie biomasy międzyplonu na właściwości gleby oraz na zdrowotność, zachwaszczenie i plonowanie roślin zależy między innymi od gatunku rośliny uprawianej w międzyplonie oraz jej składu chemicznego [Wilczewski i Skinder 2005, Wilczewski 2007, Brant i in. 2009, Harasim i Gawęda 2010]. W systematyce międzyplonów można wyróżnić trzy ich rodzaje: ścierniskowy, ozimy oraz wsiewkę międzyplonową. W praktyce rolniczej najczęściej wykorzystywany jest międzyplon ścierniskowy [Jaskulska i Gałęzewski 2009]. Z kolei rośliną najchętniej wysiewaną w międzyplonie ze względu na szybki przyrost biomasy oraz działanie fitosanitarne jest gorczyca biała.

Międzyplony nabierają szczególnego znaczenia jako rośliny okrywowe w uproszczonych systemach uprawy roli, ponieważ nie tylko ograniczają pracochłonność i energochłonność, ale też pełnią funkcję przeciwerozyjną [Derpsch 2001, Tebrügge 2001]. Ponadto korzenie międzyplonu wpływają korzystnie na strukturę gleby i możliwości magazynowania wody, zastępując w dużym stopniu działanie orki głębokiej [Thomas i Archambeaud 2019]. Korzyści uzyskane z uprawy międzyplonów ścierniskowych wynikają z wielkości wytworzonej przez nie biomasy oraz jakości wyrażonej zawartością składników pokarmowych. Małecka i in. [2004] oraz Weber [2010] uważają międzyplony za źródło składników pokarmowych, zwiększające zasobność wierzchniej warstwy gleby, a tym samym poprawiające stopień zaopatrzenia roślin w składniki odżywcze.

Przyoranie międzyplonów ścierniskowych powoduje zmianę właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych gleby [Jaskulski i Jaskulska 2004a, Kęsik i in. 2006, Głąb i Kulig 2008, Kwiatkowski i in. 2020, Harasim i in. 2020]. Skutecznie chronią glebę przed erozją i nieproduktywnym parowaniem wody oraz poprawiają jej stan sanitarny, ponieważ jako rośliny okrywowe, wiążą wierzchnią warstwę gleby systemem korzeniowym i osłaniają powierzchnię częścią nadziemną [Kasper i in. 2009]. Według Kordasa [2000] oraz Pabina

i in. [2007] ma to szczególne znaczenie w warunkach stosowania bezorkowych systemów uprawy roli i siewu bezpośredniego.

Zdaniem Wojciechowskiego [2009], Pałysa i in. [2009] oraz Kwiatkowskiego i in. [2020] oddziaływanie masy roślinnej z międzyplonów powoduje zwiększenie zawartości węgla organicznego, a także azotu, fosforu i potasu w glebie. Ponadto ich uprawa ogranicza przemieszczanie się labilnych składników pokarmowych, zwłaszcza azotanów, poza zasięg systemu korzeniowego roślin [Kuś i Jończyk 2000]. Konsekwencją takiego oddziaływania jest poprawa wartości środowiska i zwiększenie produkcyjności roślin następczych oraz całych zmianowań [Herrera i Liedgens 2009] Ponadto rośliny uprawiane w międzyplonie wiążą w swojej fitomasie dodatkową ilość dwutlenku węgla [Jaskulska i Gałęzewski 2009]. W glebie pokrytej przez rosnące rośliny lub mulcz wolniej zachodzi mineralizacja materii organicznej, co skutkuje mniejszą emisją $CO_2$ do atmosfery. Ograniczając emisję gazów cieplarnianych, redukują przyczyny ocieplania klimatu [Olesen i in. 2007]. Thomsen i Christensen [2004] oraz Kwiatkowski i in. [2020] twierdzą, że wprowadzenie do gleby międzyplonów przyczynia się do wzrostu zawartości próchnicy w glebie i biogenów. Część autorów udowadnia jednak, że w wyniku ich stosowania utrzymanie zawartości próchnicy, jest możliwe jedynie do określonego poziomu [Gondek i Zając 2003, Teesalu i in. 2006].

Opinie badaczy na temat wpływu uprawy międzyplonów na pH gleby są rozbieżne. Zdaniem Rajewskiego i in. [2012] przyoranie międzyplonu powoduje wzrost wartości pH, badania Eichler i in. [2004] wykazały natomiast zmniejszenie wartości tego wskaźnika. Z kolei Pałys i in. [2009] nie stwierdzili wpływu uprawy międzyplonu na pH gleby. Czynnikiem determinującym plon roślin jest wilgotność gleby. Utrzymanie jej odpowiedniego poziomu jest trudne, zwłaszcza na glebach lekkich, jednak zdaniem Pabina i in. [2007], Wojciechowskiego [2009] oraz Harasim i in. [2020] przyoranie międzyplonu wpływa korzystnie na ilość wody w glebie. Przeciwnego zdania jest Jaskulski i Jaskulska [2004a] oraz Wojciechowski [2004], którzy udowodnili, że włączenie międzyplonów do agrotechniki jęczmienia jarego powoduje pogorszenie warunków wilgotnościowych. Autorzy wskazali, że wynika to z ograniczonych opadów w czasie wegetacji roślin międzyplonowych i dodatkowych strat wody w wyniku transpiracji. Zdaniem Wojciechowskiego [2004] uprawa międzyplonu wpływa korzystnie na ograniczenie zagęszczenia warstwy ornej.

Międzyplony ścierniskowe dzięki swoim właściwościom fitosanitarnym ograniczają występowanie chorób i szkodników roślin uprawnych [Banaszak 2003, Kwiatkowski 2008]. Kondycja zdrowotna łanu jest bardzo ważnym czynnikiem kształtującym m.in. wielkość otrzymanego plonu. Korbas i Mrówczyński [2010] oraz Wojciechowski [2009] stwierdzili, że międzyplony pozytywnie wpływają na poprawę zdrowotności roślin uprawnych. Wojciechowski i in. [2015] wykazali korzystny wpływ gorczycy białej na zdrowotność źdźbeł i korzeni pszenicy jarej. Natomiast Adamiak i in. [2000] oraz Lemiańczyk [2002] donoszą,

że wprowadzenie do gleby nawozów zielonych zwiększa porażenie jęczmienia i pszenicy chorobami grzybowymi, zwłaszcza przez mączniaka prawdziwego zbóż i traw.

Uprawa międzyplonu poprzez silną konkurencję z chwastami o wodę i składniki pokarmowe, a zwłaszcza o światło, przyczynia się do zmniejszenia zachwaszczenia rośliny następczej [Grabiński i Sułek 2011]. Badania Kwiatkowskiego [2004] wykazały, że spośród roślin międzyplonowych najlepszy efekt odchwaszczający uzyskano po wysiewie gorczycy białej. Według Wacławowicza i in. [2006] międzyplony mogą mieć wpływ nie tylko na zachwaszczenie łanu rośliny uprawnej, ale zmniejszają również potencjalne zachwaszczenie gleby. Parylak i in. [2009] po wprowadzeniu modyfikacji tradycyjnej agrotechniki w postaci corocznego przyorywania międzyplonu ścierniskowego z gorczycy białej donoszą o istotnym zmniejszeniu liczby chwastów o 17% w porównaniu z określoną w uprawie tradycyjnej. Z kolei Hruszka i Brzozowska [2008] twierdzą, że międzyplony nie chronią w dostatecznym stopniu rośliny następczej przed chwastami, a nawet mogą powodować zwiększenie liczby diaspor chwastów w glebie. O niekorzystnym wpływie międzyplonów ścierniskowych na zachwaszczenie łanu rośliny uprawnej donoszą również Boguzas i in. [2006] a zjawisko to tłumaczą odstąpieniem od wykonania zespołu uprawek pożniwnych.Wprowadzenie do gleby międzyplonów zwiększa żyzność gleby, dostarczając jej składników mineralnych, gromadzonych i uwalnianych z materii organicznej [Thomas i Ahrchambeaud 2019]. Plonotwórczy efekt międzyplonów zależy jednak od wielu czynników siedliskowych i agrotechnicznych, w tym od właściwości gleby oraz ilości i rozkładu opadów [Kuś i Jończyk 2000, Jaskulski 2004, Wojciechowski 2009]. O korzystnym wpływie międzyplonów na plonowanie roślin uprawnych donoszą Olesen i in. [2007] oraz Gawęda i Haliniarz [2013]. Wacławowicz i in. [2005] oraz Zimny i in. [2005] w swoich badaniach również zauważyli, że przyoranie międzyplonu i plonów ubocznych, skutkowało zwyżką plonu. Kulig i in. [2009] twierdzą, że wprowadzenie nawozów zielonych nie oddziałuje znacząco na wysokość plonu ziarna a zdaniem Starczewskiego i in. [2008] oraz Wojciechowskiego [2009] uprawa roślin międzyplonowych może prowadzić do zmniejszenia plonowania zbóż.

Uprawa międzyplonów, mimo korzystnego oddziaływania na siedlisko i istotnej roli w agrotechnice, niejednokrotnie wpływa niekorzystnie na warunki i efekty polowej produkcji roślinnej. Ponadto wymaga nakładów energetycznych i finansowych oraz jest obarczona dużym ryzykiem niepowodzenia, czego skutkiem może być niekiedy pogorszenie właściwości gleby i zmniejszenie plonu [Jaskulska i Gałęzewski 2009]. Szczególnie w latach suchych ten element zmianowania może negatywnie wpływać na plonowanie roślin [Jaskulski 2004].

## 2.3. Modyfikacje w uprawie roli

Uprawa roli ma na celu optymalizację produktywności gleby poprzez zmianę fizycznych, chemicznych i biologicznych jej właściwości [Małecka i in. 2012a]. Obecnie wyróżnia się trzy podstawowe systemy uprawy roli: płużna (klasyczna), bezpłużna (uproszczona) oraz uprawa zerowa (siew bezpośredni) [Jaskulska i in. 2020]. Tradycyjna uprawa roli z odwracaniem skiby jest najbardziej energochłonnym, a przez to kosztownym elementem produkcji roślinnej [Blecharczyk i in. 2004, Kordas 2009]. Często też, pomimo swych walorów plonotwórczych, silnie oddziałuje na środowisko przyrodnicze. Główne wady konwencjonalnej uprawy roli to zwiększone zagęszczenie gleby spowodowane nadmierną liczbą przejazdów maszyn, systematyczna redukcja zawartości materii organicznej w glebie oraz większa podatność na erozję gleby [Brikás i in. 2014].

Zadaniem współczesnych systemów uprawy roli i roślin jest dbałość o zachowanie walorów środowiskowych agroekosystemów oraz krajobrazu rolniczego. W ostatnich latach w krajach UE w ramach rozwoju rolnictwa zrównoważonego, które zakłada wzrost produkcji w warunkach racjonalnego wykorzystania zasobów środowiska przyrodniczego, promuje się w coraz większym stopniu różne techniki bezpłużnej uprawy roli, często określane mianem uprawy zachowawczej lub konserwującej [Dzienia i in. 2006, Smagacz 2012]. W ciągu minionych dekad zaczęto zwracać szczególną uwagę na sposoby uprawy roli wraz z ich wieloaspektową oceną. Nowoczesne systemy uprawy to zestaw technologii włączających m.in. uproszczenia w uprawie gleby, zróżnicowany płodozmian i integrowaną ochronę roślin [Hobbs i in. 2009, Derpsch i Friedrich 2009]. W warunkach Polski tradycyjna (płużna) uprawa roli ze względów ekonomicznych i środowiskowych powszechnie jest modyfikowana, najczęściej poprzez rezygnację z niektórych orek lub ich spłycenie. Z kolei uproszczenia w uprawie roli polegają na zastąpieniu pługa innymi narzędziami, aż do ich zupełnej eliminacji zabiegów uprawowych i wykonania siewu bezpośredniego. Systemy te mają na celu zmniejszenie wielu negatywnych skutków uprawy konwencjonalnej [Kassam i in. 2015]. Dodatkowo uprawa uproszczona znacznie skraca czas przygotowania pola pod zasiew, co w przypadku długotrwałych, niesprzyjających warunków klimatycznych, szczególnie w gospodarstwach wielkopowierzchniowych umożliwia terminowe wykonanie siewu [Kordas 2002]. Taki sposób uprawy ogranicza w znacznym stopniu nadmierną mineralizację glebowej materii organicznej, erozję i zagęszczenie gleby, wymywanie składników pokarmowych do cieków wodnych i w głąb profilu glebowego [Weber 2010]. Oprócz korzyści przyrodniczych działania te umożliwiają zredukowanie nakładów energetycznych, a w efekcie zmniejszenie kosztów produkcji [Dobek i Piernicka 2005, Gorzelany i in. 2011].

W Polskim rolnictwie dominującym systemem uprawy jest uprawa płużna, natomiast udział gruntów ornych objętych systemem uprawy uproszczonej wynosi około 9% [Smagacz 2016]. Według Zimnego i in. [2015] główną przyczyną rezygnacji z uproszczeń, jest obawa przed wzmożonym wzrostem zachwaszczenia, większą presją ze strony szkodników oraz

obniżoną obsadą roślin i redukcją plonu. Ograniczenie stanowi również brak odpowiedniego sprzętu (głównie siewników umożliwiających precyzyjny wysiew nasion w mulcz) oraz przywiązanie do tradycyjnego modelu uprawy roli. Jak podają Kuc i Strochalska [2010], specjalistyczne siewniki po uprzednim zniszczeniu mulczu można zastąpić tradycyjnymi. Nowoczesne maszyny (np. wielobelkowe kultywatory, brony talerzowe, brony łopatkowe) umożliwiają dobre wymieszanie z glebą znacznych ilości masy organicznej, a zatem wprowadzanie do gleby nawozów organicznych nie powinno stanowić czynnika ograniczającego stosowanie uprawy uproszczonej.

Uprawa konserwująca (ang. conservation tillage) jest elementem technologii produkcji, której głównym celem jest zachowanie naturalnych zasobów środowiska przy równoczesnym osiąganiu dużych plonów. Uprawa ta bazuje na wspieraniu naturalnych procesów biologicznych w glebie. Wszelkiego rodzaju zabiegi uprawowe są zredukowane do niezbędnego minimum. Uprawę konserwującą, według Friedricha i in. [2009], określają trzy podstawowe cechy: ograniczona ilość i intensywność zabiegów uprawowych, całoroczne przykrycie powierzchni gleby mulczem z resztek pożniwnych lub roślin okrywowych (międzyplonów) oraz zmianowanie umożliwiające uprawę międzyplonów. Mulczem mogą być zarówno resztki pożniwne, jak i rośliny wysiewane w międzyplonach. Europejskie Stowarzyszenie Rolnictwa Konserwującego (ECAF) określa uprawę konserwującą jako sposób gospodarowania glebą minimalizujący zaburzenia w jej strukturze i bioróżnorodności, a także ograniczający erozję i degradację gleby oraz straty wody. Amerykańska definicja uprawy zachowawczej zakłada natomiast, że co najmniej 30% powierzchni gleby musi zostać przykryte resztkami pozbiorowymi rośliny przedplonowej lub międzyplonem [Köller i Linke 2001]. Poza istotnym ograniczeniem kosztów produkcji uprawa konserwująca powoduje korzystne zmiany w środowisku glebowym [Strochalska i in. 2011]. Za podstawowe korzyści ze stosowania tej technologii uprawy uznaje się ograniczenie erozji wietrznej i wodnej, ze względu na pokrycie powierzchni gleby mulczem. Głębokie penetrowanie profilu glebowego przez korzenie międzyplonu ma działanie strukturotwórcze oraz zapobiega zaskorupianiu się gleby, poprawia się infiltracja i retencja wodna. Rośliny okrywowe zapobiegają wymywaniu składników mineralnych w okresie jesienno-zimowym, głównie azotanów i związków fosforu powodujących zanieczyszczenie wód gruntowych, ograniczają zachwaszczenie i wpływają na wzrost aktywności mikrobiologicznej gleby [Tiessen i in. 2010, Kuc i Tendziagolska 2014].

Sposobem uprawy, który łączy w sobie zalety głębokiego spulchniania roli i braku jakiegokolwiek mechanicznego oddziaływania narzędzi jest uprawa pasowa (ang. strip-till). Istotą tej uprawy jest głębokie, nawet do 30–35 cm, spulchnianie pasów roli, w których wysiewane są nasiona oraz pozostawienie gleby niespulchnionej w międzyrzędziach. W okresie od zbioru przedplonu do siewu następnej rośliny nie wykonuje się żadnych uprawek. Najczęściej jest ona stosowana w agrotechnice roślin wysiewanych w rzędach o szerokiej rozstawie, jak kukurydza, okopowe czy rzepak [Piechota i in. 2014, Zimny

i in. 2015 Schwabe i in. 2016]. Aktualnie konstrukcja niektórych nowoczesnych agregatów umożliwia wykorzystanie tej technologii również w uprawie zbóż [Jaskulska i in. 2018]. Według Jaskulskiej i in. [2020] oraz Jaskulskiej i Jaskulskiego [2020] głębokie spulchnienie wąskiego pasa gleby stwarza bardzo dobre warunki do wzrostu korzeni. Gleba nie jest nadmiernie zwięzła i zagęszczona, panują w niej korzystne stosunki powietrzno-wodne, a korzenie roślin nie napotykają oporu i rozwijają się prawidłowo. Z drugiej strony właściwe proporcje pomiędzy wodą i powietrzem w glebie wpływają pozytywnie na życie mikrobiologiczne, które jest odpowiedzialne za wszystkie jej właściwości. Brak ingerencji w glebę z jednoczesnym mulczowaniem jej wierzchniej warstwy przyczynia się z kolei do zatrzymywania wody w glebie. Yuan i in. [2020] oraz Jaskulska i in. [2020] podkreślają, że technologia strip-till, zwiększa wykorzystanie i skuteczność składników odżywczych, zmniejsza ich straty i ogranicza ryzyko zanieczyszczenia środowiska.

Stosowanie uprawy zerowej (ang. no-tillage), znanej również pod nazwą siewu bezpośredniego (ang. direct drilling) oprócz wielu korzyści, takich jak: zmniejszenie nakładów pracy, ograniczenie tempa mineralizacji substancji organicznej, ochrona gleb przed erozją, stopniowe zmniejszenie glebowego banku nasion oraz redukcja emisji $CO_2$ do atmosfery posiada również wady. Może prowadzić do niekorzystnych zmian właściwości fizykochemicznych środowiska glebowego, np. wzrostu gęstości i zwięzłości gleby, pogarszenia warunków termalnych, ograniczenia dostępności składników mineralnych oraz zmian ustalonego składu gatunkowego zbiorowisk chwastów [Blecharczyk i in. 2007a, Kordas i Spyra 2013]. Ogranicza to niewątpliwie rozwój korzeni i może mieć wpływ na prawidłowy wzrost roślin [Kordas i Klima 2005]. W dłuższym okresie stosowania takiego sposobu uprawy niekorzystne zmiany są zredukowane, głównie w efekcie odbudowy życia biologicznego gleby. Prowadzi to m.in. do zwiększenia retencji wodnej, natomiast zmniejsza się zlewność i skłonność gleby do zaskorupiania [Małecka i in. 2012a, Smagacz 2016]. Zmiany zachodzące w glebie po zastosowaniu uprawy zerowej są silnie uzależnione od ilości i rozkładu opadów, warunków termicznych, struktury gleby, czasu stosowania uprawy, płodozmianu oraz nawożenia [Ogle i in. 2005, Chatterje i Lal 2009]. Powierzchnia, na której stosuje się technologię siewu bezpośredniego w świecie wynosi aktualnie prawie 96 mln ha. Największa powierzchnia przypada na kraje Ameryki Płn. i Płd., takie jak: USA (25,3 mln ha), Brazylia (23,6 ml ha), Kanada (12,5 mln ha), Argentyna (18,3 mln ha) oraz Australia (9 mln ha) [Derpsch 2005]. Do krajów, w których siew bezpośredni stanowi największy udział zaliczyć można Paragwaj (60%), Argentynę (50%) i Brazylię (45%). W Europie siew bezpośredni zajmuje ok. 1 mln ha.

### 2.3.1. Zmiany właściwości gleby

#### 2.3.1.1. Właściwości fizyczne

Wiele badań wskazuje, że zastąpienie uprawy tradycyjnej uprawą bezorkową lub siewem bezpośrednim przyczynia się do wzrostu zagęszczenia gleby, a tym samym zwiększenia jej gęstości objętościowej w warstwie ornej, co niewątpliwie ogranicza możliwość rozwoju korzeni i może mieć wpływ na rozwój roślin [Głąb i Kulig 2008, Morris i in. 2010, Włodek i in. 2012]. Takie zależności obserwowane są szczególnie w początkowym czasie konwersji uprawy. W dłuższej perspektywie skala tych zmian jest znacznie mniejsza. Derpsch [2005] uważa że w systemach bezorkowych pozytywne zmiany w środowisku glebowym, zaczynają być zauważalne dopiero po 5 latach ich stosowania. Również Anken i in. [2004], Holland [2004] oraz Mestelan i in. [2006] zaobserwowali, że dopiero po długoletnim stosowaniu systemów bezorkowych, następuje poprawa właściwości fizycznych gleby, co wynika m.in. z ograniczenia mineralizacji substancji organicznej gleby, powstawania trwałej struktury gruzełkowatej oraz zwiększenia intensywności życia biologicznego, zwłaszcza populacji dżdżownic. W dłuższym okresie stosowania uprawy bezorkowej układ gleby staje się coraz bardziej zbliżony do stanu w środowisku naturalnym, o odpowiednich relacjach pomiędzy gęstością a porowatością [Mestelan i in. 2006]. Gęstość objętościowa charakteryzuje układ gleby, który w zasadniczy sposób decyduje o stosunkach wodno-powietrznych i termicznych gleby. Wraz ze wzrostem gęstości objętościowej zwiększa się również opór mechaniczny. Wyniki badań Czyża [2004] i Kuca [2014] wskazują zmniejszenie gęstości objętościowej gleby po zastosowaniu mulczu i uproszczeń w uprawie roli. Zwięzłość gleby decyduje o oporach, jakie występują podczas wykonywania zabiegów uprawowych oraz odzwierciedla warunki wzrostu i rozwoju systemu korzeniowego. W wielu pracach wykazano wyraźnie zwiększoną zwięzłość po zastosowaniu bezorkowych systemów uprawy, a szczególnie siewu bezpośredniego [Blecharczyk i in. 2004, Machul 2007, Małecka i in. 2007a]. Zmiany te są obserwowane szczególnie w wierzchniej warstwie gleby, w mniejszym stopniu dotyczą poziomów głębszych [Weber 2007, Małecka i in. 2007a]. Zagęszczenie gleby jest wyraźnie powiązane z porowatością i skutkuje zmniejszeniem kapilarnej pojemności wodnej. Blecharczyk i in. [2004] oraz Małecka i in. [2007a] twierdzą, że po siewie bezpośrednim następuje zmniejszenie porowatości ogólnej a szczególnie ilości porów kapilarnych dużych i mikroporów. Wilgotność gleby jest parametrem bardzo zmiennym i zależy od wielu czynników, do których zalicza się między innymi przebieg warunków pogodowych, skład granulometryczny, stosowaną agrotechnikę oraz aktualne potrzeby wodne uprawianych roślin. Wyniki badań Małeckiej i in. [2007a], Czyża i in. [2009], Małeckiej i in. [2012a] i Wacławowicza [2013] wskazują, że wyeliminowanie uprawy płużnej na rzecz uprawy powierzchniowej przyczynia się do zwiększenia wilgotności w wierzchniej warstwie gleby. Większa wilgotność gleby w systemach bezorkowych jest niezmiernie istotna w latach o niedoborach opadów, gdyż ogranicza skutki suszy. Spłycenie

uprawy może również wpływać na pogorszenie gospodarki wodnej w glebie [Jaskulski i Jaskulska 2004a, Pranagal 2007]. Zdaniem Blecharczyka i in. [2007a] rozbieżności mogą wynikać ze zróżnicowanej głębokości uprawy, terminu wykonania zabiegu oraz czasu oddziaływania uprawy na glebę.

Jednym z ważniejszych czynników kształtujących żyzność i urodzajność gleby, a w szczególności jej właściwości wodno-powietrzne, jest stan trwałości struktury gleby [Lenart 2002, Piechota 2005, Suwara 2010, Turski 2010]. Upraszczając uprawę roli można zwiększyć infiltrację wody, poprawić stabilność struktury gleby i usprawnić jej przewietrzanie przez wytworzenie stabilnego układu dużych porów [Smagacz 2016]. W procesie tworzenia struktury gleby główną rolę odgrywają materia organiczna oraz procesy biologiczne zachodzące w glebie [Lenart i in. 2005, Suwara 2010]. Negatywne działanie nadmiernej liczby uprawek, często wykonywanych w nieodpowiednich warunkach agrotechnicznych, wpływa na pogorszenie trwałości struktury gleby [Lenart 2002, Kuc i Wacławowicz 2010]. Niewątpliwą korzyścią wynikającą z uproszczenia uprawy roli jest zwiększenie stabilności agregatów glebowych i ich odporność na rozmywające działanie wody [Turski 2010, Wacławowicz i in. 2012]. Kordas [2000] dodaje, że skutkiem polepszenia stopnia agregacji gleb jest mniejsze zaskorupienie roli na poletkach uprawianych bezorkowo, co w efekcie przyczynia się do lepsze warunki do kiełkowania i wschodów roślin.

#### 2.3.1.2. Właściwości chemiczne

W systemach bezorkowych nie stosuje się odwracania gleby, w związku z czym obserwuje się zwiększanie ilości resztek roślinnych w jej powierzchniowej warstwie. Prowadzi to do nierównomiernego rozmieszczenia składników pokarmowych w profilu glebowym, co przyczynia się do niekorzystnych zmian właściwości chemicznych gleby. Według Blecharczyka i in. [2007a] oraz Rajewskiego i in. [2012] stosowanie uprawy uproszczonej, a szczególnie siewu bezpośredniego prowadzi do zwiększenia w wierzchniej warstwie gleby zawartości węgla organicznego, azotu ogólnego oraz przyswajalnych form potasu i fosforu. Z kolei Kraska [2011] odnotował w swoich badaniach niższą zawartość fosforu w glebie, na której stosowano uprawę powierzchniową w odniesieniu do uprawy płużnej. Zredukowana uprawa często przyczynia się do obniżenia odczynu gleby głównie wskutek zakwaszającego działania nawozów azotowych oraz rozkładu resztek roślinnych pozostawionych na powierzchni gleby [Rajewski i in. 2012]. Poglądów tych nie potwierdzają jednak Cudzik i in. [2011] oraz Wacławowicz [2013]. Tendencję do wyższej kwasowości warstwy powierzchniowej gleby w systemach uprawy bezorkowej niż w tradycyjnej uprawie roli odnotowali również w swoich badaniach, Lopez-Fando i Pardo [2009] oraz Thomas i in. [2007], przypisując to różnicy w procesie mineralizacji substancji organicznej, koncentracji składników pokarmowych, głównie azotu oraz wydzielin korzeniowych.

#### 2.3.1.3. Właściwości biologiczne

Aktywność biologiczna gleby jest bardzo ważnym wskaźnikiem żyzności, mającym znaczący wpływ na produkcyjność roślin. W znacznej mierze uzależniona jest od kategorii gleby oraz systemu uprawy [Sainju i in. 2008]. Kordas [2007], Małecka i in. [2012a] oraz Kordas [2013] dowodzą, że stosowanie upraw bezorkowych, a szczególnie siewu bezpośredniego sprzyja poprawie właściwości biologicznych gleby. Zdaniem Gajdy i in. [2010] około 90% $CO_2$ wydzielającego się z gleby jest pochodzenia drobnoustrojowego, co wskazuje na duże znaczenie mikroorganizmów w metabolizmie glebowym. Według Rahmanna i in. [2008] oraz Morrisa i in. [2010] zastosowanie systemu bezorkowego oraz siewu bezpośredniego sprzyja wzrostowi żyzności gleby wyrażonej m.in. poprzez ogólną liczbę bakterii, promieniowców i grzybów oraz aktywność enzymatyczną. Ograniczenie ingerencji w układ gleby zmniejsza tempo mineralizacji substancji organicznej zwiększając zawartość C organicznego w glebie, a to pociąga za sobą poprawę struktury, aeracji i infiltracji gleby. Biomasa mikroorganizmów, stanowiąca bardzo dynamiczną frakcję glebowej materii organicznej, uważana jest za czuły parametr jakości gleby oraz tempa przemian C i N w glebie [Bojarszczuk i in. 2017]. Uprawa bezorkowa i siew bezpośredni przyczyniają się do zwiększenia populacji dżdżownic, które w wyniku drążenia pionowych makroporów glebowych poprawiają dodatkowo jej strukturę, a produkty przemiany materii organicznej zwiększają stabilność agregatów glebowych. [Smagacz 2013]. W aspekcie mikrobiologicznym uprawa uproszczona stymuluje zwiększenie liczebności mikroorganizmów w glebie oraz ich aktywności metabolicznej [Tomkowiak i in. 2017]. Zdaniem Cudzik i in. [2011] oraz Smagacza [2016] stosowanie uproszczeń w uprawie roli, może być jednym ze sposobów ograniczania efektu cieplarnianego z uwagi na spowolnienie rozkładu materii organicznej oraz zmniejszenie wydzielania $CO_2$ do atmosfery.

### 2.3.2. Oddziaływanie na występowanie agrofagów

#### 2.3.2.1. Zachwaszczenie

Najważniejszym źródłem zachwaszczenia roślin uprawnych są diaspory chwastów znajdujące się w glebie [Woźniak 2007]. Obecność roślin towarzyszących zasiewom jest w znacznym stopniu determinowana także stosowaną agrotechniką [Parylak 2005, Małecka i in. 2012b, Woźniak 2012, Maziarek i in. 2015]. Głównym celem integrowanej ochrony roślin jest zminimalizowanie zagrożeń dla środowiska, wynikających z użycia pestycydów, poprzez zachęcanie do stosowania niechemicznych sposobów regulacji zachwaszczenia [Korbas i Mrówczyński 2010]. Ważną rolę w tym zakresie ma uprawa roli [Parylak 2005, Frant i Bujak 2006]. Dotychczasowe badania dotyczące zmian zachwaszczenia łanów roślin uprawnych w różnych systemach uprawy roli nie są jednoznaczne. Rozbieżności mogą wynikać z odmiennych warunków glebowych, pogodowych, stosowanych zabiegów agrotechnicznych, głównie w obszarze ochrony roślin i nawożenia czy też długości

stosowania systemu uprawy. W literaturze na ogół wskazuje się na wzrost zachwaszczenia łanu w wyniku wprowadzania uproszczeń w uprawie roli [Wacławowicz 2013, Woźniak i Kwiatkowski 2013, Feledyn-Szewczyk i in. 2020] lub siewu bezpośredniego [Ciesielska i Rzeźnicki 2007, Giemza-Mikoda i in. 2012, Majchrzak i Piechota 2014]. W takich warunkach obserwuje się zwiększoną presję, chwastów wieloletnich i samosiewów [Shrestha i in. 2002, Wacławowicz 2009, Feledyn-Szewczyk i in. 2020]. W innych doniesieniach udowodniono jednak, że uproszczone systemy uprawy roli nie wpływają na wzmożone występowanie chwastów [Wesołowski i in. 2010], a nawet mogą sprzyjać ograniczeniu ich występowania [Faltyn i Kordas 2009b, Woźniak i Haliniarz 2012]. Mohler i in. [2006] oraz Woźniak [2007] twierdzą, że wzrost zachwaszczenia w uprawie bezpłużnej, w stosunku do płużnej można wyjaśnić nagromadzeniem na powierzchni gleby świeżo osypanych nasion, skąd one kiełkują i zwiększają zachwaszczenie łanu. Podobnego zadania są również Tørresen i Skuterud [2002]. Według Kordasa [2004] wieloletnie stosowanie uprawy bezorkowej tylko w początkowym okresie powoduje wzrost zachwaszczenia, w późniejszym czasie na skutek zmiany w składzie gatunkowym chwastów polegającej na znacznym zmniejszeniu liczby chwastów rocznych i wzroście wieloletnich następuje zredukowanie zachwaszczenia poniżej występującego w uprawie tradycyjnej. Jedną z metod przeciwdziałania negatywnym skutkom uproszczeń jest stosowanie uprawy konserwującej z wykorzystaniem międzyplonów [Gawęda 2009, Kwiatkowski 2009a]. Międzyplon pozostawiony na polu w postaci mulczu, oprócz ograniczenia rozwoju chwastów na skutek przykrycia powierzchni gleby, czy braku dostępu światła, często ma również oddziaływanie allelopatyczne [Didon i in 2014].

#### 2.3.2.2. Patogeny wywołujące choroby zbóż

Zboża wykazują znaczną podatność na patogeny, szczególnie w latach charakteryzujących się dużą ilością opadów [Fernandez i in. 2016]. Ze względu na duże zagrożenie dla produkcyjności zbóż zwalczanie sprawców chorób, uwzględniające zasady integrowanej ochrony jest niezbędne [Korbas i Mrówczyński 2010]. Zastąpienie uprawy płużnej systemami uproszczonymi niesie za sobą konsekwencje w postaci silniejszej presji chorób [Korbas i in. 2008]. Do szczególnie groźnych sprawców chorób zbóż należą grzyby zasiedlające podstawę źdźbła, podstawę łodyg, a czasami też liście oraz patogeny pozostawiające w glebie grzybnię i liczne struktury przetrwalnikowe [Parylak 2006]. Patogeny wywołujące choroby podstawy źdźbła i korzeni przeżywają na resztkach pożniwnych zbóż oraz na korzeniach chwastów z rodziny traw, dlatego też systemy bezorkowe mogą sprzyjać ich występowaniu [Korbas i in. 2008]. Dodatkowo resztki roślinne pozostawione na powierzchni pola utrzymują korzystną dla patogenów wilgotność i temperaturę w warstwie gleby 10–15 cm, co sprzyja ich aktywności [Cook 2001]. Organizmy wywołujące choroby są bardzo trudne do kontrolowania, ich populacje zmieniają się w czasie, przestrzeni i genotypie. W uprawie jęczmienia straty wywołane przez choroby roślin są szacowane na 9-16% [Orke 2006].

Wyniki badań dotyczące wpływu systemów uprawy roli na występowanie chorób są niejednoznaczne. W bezorkowych systemach uprawy roli na ogół obserwowano większe porażenie podstawy źdźbła i korzeni zbóż niż w uprawie klasycznej [Sawinska i Małecka 2005, Faltyn i Kordas 2009a]. Spotyka się jednak doniesienia o odwrotnych zależnościach [Weber i in. 2001, Smagacz 2008] lub takie, w których nie stwierdzono wpływu systemów uprawy na zróżnicowanie występowania tej grupy chorób [Pląskowska i in. 2002, Parylak 2006]. Jednym z czynników agrotechnicznych stosowanych w celu poprawy zdrowotności roślin jest wprowadzenie do zmianowań międzyplonów ścierniskowych, które spełniają rolę fitosanitarną, poprawiając zdrowotność roślin następczych [Dłużniewska i in. 2003, Narkiewicz-Jodko i in. 2008].

#### 2.3.2.3. Szkodniki

W Polsce najczęściej występującymi szkodnikami, na plantacjach jęczmienia są mszyce, skrzypionki i pryszczarki. Zdaniem Pruszyńskiego i Wolnego [2009] oraz Mrówczyńskiego i in. [2005] przestrzeganie zasad Dobrej Praktyki Ochrony Roślin jest ważnym elementem prawidłowo prowadzonej ochrony przed szkodnikami. Liczebność szkodników można ograniczyć metodami niechemicznymi tj. agrotechniczną, biologiczną, fizyczną, mechaniczną i hodowlaną. Spośród metod agrotechnicznych duże znaczenie przypisuje się uprawie roli. Technologia bezorkowa może w pewnych warunkach przyczynić się do wzrostu nasilenia występowania niektórych agrofagów, szczególnie wielożernych szkodników glebowych [Gallo i Pekar 1999]. Wprowadzenie systemów uproszczonej uprawy wpływa zarówno na organizmy pożyteczne, jak i potencjalnie szkodliwe. W odniesieniu do tej drugiej grupy jednak większy udział organizmów zoofagicznych może redukować ich występowanie [Twardowski 2010]. Zabiegi uprawy roli wpływają na organizmy bezpośrednio poprzez ich uśmiercanie bądź pośrednio poprzez modyfikowanie środowiska życia oraz dostępność pokarmu [Holland 2004]. Przy mniejszej ingerencji maszyn i narzędzi rolniczych na rolę żywe organizmy mają większe szanse na rozwój i przeżycie [Kromp 1999, Twardowski 2004]. Twardowski [2010] twierdzi, że liczebność i bioróżnorodność pożytecznych organizmów epigeicznych oraz glebowych zwiększa się w bezorkowej technologii uprawy roli w, zatem zasadne jest proponowanie uproszczonych metod jej uprawy.

### 2.3.4. Poziom plonowania

Wyniki dotychczasowych badań dotyczące modyfikacji uprawy płużnej i stosowanych uproszczeń uprawy roli na plonowanie roślin są niejednoznaczne. Wielu autorów podkreśla, że korzyści wynikające ze stosowania uproszczeń w uprawie roli, a szczególnie siewu bezpośredniego, są uzależnione od rodzaju gleby i przebiegu pogody [Martinez i in. 2008, Procházková i in. 2018]. W polowej produkcji roślinnej niezmiernie trudne jest ustalenie ścisłych zależności pomiędzy warunkami pogodowymi a produkcyjnością roślin. Jęczmień jary jest jedną z nielicznych roślin uprawnych o szerokim zasięgu ekologicznym i dużych

możliwościach adaptacyjnych [Orzech i in. 2009]. Według Szemplińskiego [2003] wykazuje on znaczą tolerancję na zróżnicowane warunki siedliskowe, natomiast zdaniem Zawiślaka i Adamiaka [1998] jest rośliną bardzo na nie wrażliwą. Jego szczególną zaletą jest oszczędne gospodarowanie wodą oraz duża wytrzymałość na okresowe posuchy [Noworolnik 2008].

Z większości dotychczasowych badań wynika, że zastosowanie uproszczeń w uprawie przyczynia się do ograniczenia plonowania jęczmienia jarego [Włodek i in. 2007, Lepiarczyk i Stępnik 2009, Orzech i in. 2009, Korzeniowska i Stanisławska-Glubiak 2009, Orzech i in. 2011, Małecka i in. 2012b], co może wynikać z większej presji agrofagów, mniejszej dostępności azotu dla roślin, spowodowanej wolniejszą mineralizacją substancji organicznej oraz większą immobilizacją azotu glebowego, niższą temperaturą gleby w okresie wiosennym, większą gęstością i zwięzłością gleby utrudniającą rozwój systemu korzeniowego roślin oraz znaczną ilością resztek pozostających na powierzchni pola, które mogą utrudniać siew i wschody roślin oraz obniżać skuteczność zwalczania chwastów [Camara i in. 2003, Angas i in. 2006, Hansen i in. 2011]. Z kolei według Derpscha [2005] systemy bezorkowe mogą sprzyjać lepszemu rozwojowi roślin i ich plonowaniu, co jest skutkiem pozytywnych zmian w środowisku glebowym, które zaczynają być widoczne dopiero po 5 latach ich stosowania. Wyniki badań Köllera i Linke [2001] oraz Rigera i in. [2008] wskazują, że po okresie przejściowym odznaczającym się mniejszymi plonami, plony pszenicy uprawianej w systemie bezorkowym nie różniły się od uzyskanych w warunkach uprawy płużnej. Soane i Ball [1998] w doświadczeniu prowadzonym w Szkocji, w 24 letnim okresie stosowania uproszczonej uprawy roli odnotowali niewielkie różnice w plonach jęczmienia w porównaniu do wykazanych w uprawie tradycyjnej. Udowodnili oni, że w pierwszych latach prowadzenia doświadczenia plony jęczmienia były zredukowane o 9,2%, a pod koniec badań negatywna reakcja zboża zmniejszyła się do 4,2%. Badania prowadzone w Kanadzie, wykazały natomiast wzrost plonu ziarna jęczmienia jarego uprawianego w systemie uproszczonym lub w warunkach zaniechania uprawy (od 10,3% do 39,8%) [Arshad i Gill 1997]. Centero-Martinez i in. [2003] oraz Angas i in. [2006] analizując plonowanie zbóż w Hiszpanii, stwierdzili, że system uprawy nie wpływa na zróżnicowanie plonowania. Bischoff [2002] oraz Baumhardt i Jones [2002] wskazali na szczególny wpływ przebiegu pogody na produkcyjność roślin. Autorzy ci, w latach suchych, o niesprzyjających dla pszenicy rozkładzie opadów, uzyskali wyższe plony pszenicy uprawianej w siewie bezpośrednim niż tradycyjnym, co wynikało z lepszego uwilgotnienia gleby w warunkach zaniechania uprawy roli. Podobny kierunek zmian w plonowaniu roślin, w latach charakteryzujących się niedoborami opadów wykazali Soon i Clayton [2002] oraz Anken i in. [2004].

### 2.3.5. Ekonomiczne aspekty uproszczeń w uprawie roli

O walorach poszczególnych systemów uprawy roli, obok wskaźników produkcyjnych i ekologicznych, decyduje ocena ekonomiczna [Krasowicz 2009]. Technologie tradycyjne przynoszą zazwyczaj dobre efekty produkcyjne, pomimo poniesienia wysokich kosztów. Uprawa roli jest energochłonnym elementem agrotechniki wpływającym na wielkość oraz strukturę nakładów i kosztów [Orzech i in. 2004, Kordas 2005]. W zależności od sposobu uprawy roli oraz warunków siedliskowo-agrotechnicznych nakłady paliwa na jej wykonanie wynoszą od kliku do kilkudziesięciu litrów na hektar [Morris i in. 2010]. Badania Starczewskiego i in. [2004] wykazały duże różnice zużycia paliwa pomiędzy tradycyjną uprawą roli a zastosowanymi uproszczeniami systemu orkowego (zmniejszenie uprawek pożniwnych i przedsiewnych) lub siewem bezpośrednim, co w efekcie przełożyło się na efekt ekonomiczny.

Elementem poprawy opłacalności produkcji jest dobór takich technologii, które pozwalają na uzyskanie wysokich plonów o pożądanych parametrach jakościowych, przy jednoczesnym ponoszeniu niskich kosztów [Sułek 2017]. Korzystnych efektów w tym względzie można oczekiwać w wyniku zastosowania uprawy uproszczonej, poprzez ograniczenie liczby wykonywanych zabiegów, spłycenie uprawy roli, zastąpienie pługa innymi narzędziami, a nawet całkowite zrezygnowanie z uprawy roli [Nasalski i in. 2004, Jurga i Dobek 2008]. Technologia uprawy roślin w systemie uproszczonym, obok obniżenia kosztów energii, a także robocizny, zwiększa jednak koszty chemicznej ochrony roślin, co wynika przede wszystkim z ograniczenia oddziaływania bezpośredniego i pośredniego narzędzi i maszyn na agrofagi [Jankowiak i Małecka 2008]. Według Włodka i in. [1999] straty plonu mogą znacznie przekraczać wartość uzyskanych korzyści wynikających z uproszczeń uprawy roli. Klikocka [2005] podaje natomiast, że wprowadzenie uproszczeń w uprawie roli, pomimo obniżenia plonu ziarna jest uzasadnione ekonomicznie, ponieważ rezygnacja z wysokonakładowej orki na rzecz innych zabiegów uprawowych w pełni rekompensuje obniżkę plonu. Według Smagacza [2006] oraz Krasowicza i in. [2008] jedynie znaczny spadek plonów może spowodować nieopłacalność ekonomiczną systemów uproszczonej uprawy roli. Uzyskiwanie niższych plonów po stosowaniu uprawy uproszczonej nie zawsze musi oznaczać niższą opłacalność i rezygnację z tych systemów uprawy. Z badań Kordasa [2009] wynika, że stosowanie siewu bezpośredniego zamiast uprawy tradycyjnej obniża nakłady energetyczne o ponad 80% i zdecydowanie podnosi wskaźniki efektywności i energochłonności uprawy. W wyniku takich działań wprawdzie plon pszenicy ozimej zmniejszył się prawie o 16%, ale w pełni był rekompensowany obniżką kosztów uprawy.

### 2.3.6. Sposoby zagospodarowania międzyplonów

Międzyplony to istotny element utrzymania obszarów proekologicznych EFA (ang. *Ecological Focus Area*). Unia Europejska rozszerzając koncepcję zrównoważonego rozwoju zobowiązała producentów rolnych do wdrażania praktyk korzystnych dla klimatu

i środowiska, nazywanych „zazielenieniem” [Hart 2015]. Wzrastająca dynamicznie powierzchnia uprawy międzyplonów w gospodarstwach wskazuje na skuteczność mechanizmu zazieleniania w zachęcaniu rolników do tworzenia obszarów EFA [Wrzaszcz 2017]. Międzyplony pełnią również ważną rolę w ochronie gleb i wód. Koncepcja ta jest realizowana ramach jednego z pakietów programów rolnośrodowiskowo-klimatycznych PROW 2014–2020. W literaturze polskiej i zagranicznej niewiele jest prac podejmujących temat sposobów polowego zagospodarowania międzyplonów. Zdaniem Kusia i Jończyka [2000] Jaskulskiego i Tomalaka [2001] oraz Jaskulskiego i Jaskulskiej [2004b] oddziaływanie wprowadzonej do gleby masy roślinnej w wieloaspektowy sposób przyczynia się do zmian właściwości gleby i plonowania roślin. Działanie to zależy m.in. od warunków pogodowych, rodzaju gleby i sposobu umieszczania międzyplonu w glebie. Najbardziej tradycyjnym sposobem zagospodarowania międzyplonów jest ich przyoranie. Thomas i Archambeaud [2019] na podstawie badań prowadzonych we Francji stwierdzili, że głębokie i nierównomierne przyoranie zbyt dużej zielonej masy roślinnej z glebą jest niekorzystne, ze względu na zmniejszony dostęp tlenu, co prowadzi do niezadowalającego przebiegu procesu mineralizacji, powstania warstwy fermentującej, zakwaszenia gleby, a w konsekwencji utrudnień w ukorzenianiu się rośliny następczej. Według Songina [1998] ważnym jest, aby rozkład biomasy odbywał się przy dostatecznym dostępie powietrza. Efekt ten można uzyskać poprzez jej płytkie wymieszanie z glebą. Sposób rozmieszczenia międzyplonu w glebie wpływa również na warunki fitosanitarne. Wojciechowski i Gajewska [2018] udowodnili mniejsze porażenie korzeni pszenżyta, jeśli międzyplon ścierniskowy został przyorany, niż po jego wymieszaniu z glebą za pomocą talerzówki. Majchrzak [2015] donosi natomiast, że przyoranie międzyplonu na głębokość 25 cm w porównaniu z jego pozostawieniem na powierzchni pola sprzyja uzyskaniu korzystniejszych parametrów określających stopień agregacji gleby. Jaskulski i Jaskulska [2004a] zaobserwowali natomiast, że obecność i sposób polowego zagospodarowania biomasy z międzyplonów na ogół nie wpływają na zwięzłość gleby, jedynie międzyplon z żyta pozostawionego do wiosny zwiększa opory wierzchniej warstwy gleby. W założeniach zrównoważonego gospodarowania proponuje się pozostawienie na okres zimy nieprzyoranych roślin międzyplonowych w formie mulczu [Szafrański i Kulig 2005]. Mulcz to pokrywa ochronna gleby w postaci różnorodnej materii (głównie organicznej) umieszczana na powierzchni i w wierzchniej warstwie gleby. Jej celem jest zniwelowanie lub chociażby częściowe ograniczenie niekorzystnych oddziaływań czynników siedliskowych a w efekcie poprawa sprawności uprawnej gleby w sposób naśladujący naturalne procesy rozkładu w przyrodzie [Zimny 2003]. Mulczowanie jest podstawowym zabiegiem w uprawie konserwującej, której celem jest wzbogacenie gleby w substancję organiczną i składniki pokarmowe, zapobieganie erozji wietrznej i wodnej oraz wymywaniu azotanów, poprawa sprawności uprawnej warstwy gleby, ograniczenie zużycia nawozów mineralnych i chemicznych środków ochrony [Holland 2004, Dzienia i in. 2006, Kęsik i in. 2006, Orzech i in. 2009, Kogut 2011]. Taki sposób zagospodarowania

międzyplonów umożliwia również regulację temperatury wierzchniej warstwy gleby (ograniczanie nagrzewania i wychładzania) oraz redukcję zachwaszczenia [Głowacki i in. 2006, Mizniak 2009]. Z badań Hansena i in. [2000] oraz Kuliga i in. [2009] wynika jednak, że przyoranie przed zimą biomasy z roślin krzyżowych wpływa korzystniej na plon zbóż jarych, niż wprowadzenie mulczu do gleby bezpośrednio przed siewem.

## 2.4. Znaczenie nawożenia azotem

### 2.4.1. Poziom plonowania

Zintegrowany system nawożenia oparty jest na bilansie składników pokarmowych, który uwzględnia pobranie składników przez rośliny oraz ich dopływ m.in. z nawozów mineralnych. Głównym założeniem tego systemu jest nie tylko zapewnienie wysokiej efektywności nawożenia, przekładającej się na lepsze wykorzystanie potencjału plonotwórczego uprawianych roślin, ale także utrzymanie żyzności gleby przy jednoczesnej dbałości o bezpieczeństwo środowiska przyrodniczego [Korbas i Mrówczyński 2010].

Nawożenie azotem wpływa nie tylko na wzrost i plonowanie roślin, ale również na parametry jakościowe ziarna [Noworolnik 2010, Jańczak-Pieniążek i in. 2020]. Przyrost plonu ziarna jęczmienia zdaniem Noworolika [2013] jest głównie efektem zwiększenia obsady kłosów, stymulowanej wzrostem krzewistości produkcyjnej roślin. Liszewski i in. [2011] dodatkowo udowodnili, że nawożenie azotem kształtuje również masę tysiąca ziaren, co może oddziaływać na produkcyjność jęczmienia jarego. Niedobór azotu powoduje ograniczenie wzrostu i rozwoju roślin a nadmiar może przyczynić się do rozwoju chorób grzybowych i wylegania łanu [Pląskowska i Pusz 2010]. Ponadto wysokie dawki azotu mogą niekorzystnie oddziaływać na masę 1000 ziaren [Krajewski i in. 2013, Szmigiel i in. 2015]. Powszechnie znany jest wpływ nawożenia azotem na plonowanie jęczmienia, jednak określenie optymalnej dawki tego składnika jest trudne z uwagi na wpływ wielu czynników. Według Noworolnika i in. [2004] i Wilczewskiego [2014] optymalne dawki azotu kształtują się w szerokim zakresie od 30 do 120 kg $N \cdot ha^{-1}$. Małecka i Blecharczyk [2008] twierdzą, że przyrost plonu ziarna następował do poziomu nawożenia 100 kg $N \cdot ha^{-1}$, natomiast Pecio i Bichoński [2006] oraz Wilczewski [2014] wykazali plonotwórczą efektywność azotu do poziomu nawożenia 70 kg $N \cdot ha^{-1}$. Zdaniem Zbroszczyka i Nowaka [2009] nawożenie azotem stosowane w ilości od 40 do 120 kg $N \cdot ha^{-1}$ nie różnicuje plonu ziarna jęczmienia. Według Kołodziejczyka i in. [2009] czynnikiem ograniczającym efektywność nawożenia azotem na glebach kompleksów pszennych jest ich naturalna żyzność. W opinii Korbasa i Mrówczyńskiego [2010] duże potrzeby nawożenia azotem występują przeważnie na glebach średnich o optymalnym pH, po opadach zimowych znacznie przekraczających normę, po przedplonie nawożonym małą dawką azotu i przy wysokim poziomie agrotechniki. Z kolei niewielkie potrzeby nawożenia azotem wykazuje jęczmień uprawiany na glebach żyznych, gdy opady zimowe były poniżej normy, po przedplonach motylkowych oraz w warunkach obecności i rodzaju nawozów organicznych.

W optymalizacji nawożenia azotem jęczmienia jarego istotną rolę oprócz określenia dawki odgrywa również jej termin stosowania. W praktyce rolniczej wyróżnia się najczęściej dwa lub trzy okresy nawożenia azotem. Dawki do 50 kg $N \cdot ha^{-1}$ można stosować przedsiewnie jednorazowo wiosną w czasie ruszenia wegetacji. Wyższe dawki od 60 do 90 kg $N \cdot ha^{-1}$ zaleca się dzielić na dwie: 60% po ruszeniu wegetacji, w celu uzyskania właściwej krzewistości i zwartości łanu i 40% na początku fazy strzelania w źdźbło, co zagwarantuje wytworzenie odpowiedniej ilości źdźbeł kłosonośnych oraz prawidłową wielkość kłosów i liczbę ziaren w kłosie lub trzy: 50% przy ruszeniu wegetacji, 35% pod koniec fazy krzewienia i 15% na początku kłoszenia w celu poprawy parametrów jakościowych ziarna. W warunkach suszy większe efekty przynosi dokarmianie roślin (II i III dawka) nawozami płynnymi, które w razie potrzeby (objawy niedoboru miedzi, manganu) można łączyć z ciekłymi nawozami mikroelementowymi, a także z niektórymi pestycydami [Noworolnik i in. 2014, Korbas i Mrówczyński 2017]. Nieodpowiednia dawka azotu może wpływać na redukcję plonu. Azot niepobrany przez rośliny uprawne lub mikroorganizmy glebowe podlega wielu procesom, w efekcie których znaczna jego część ulega stratom. Ponadto w środowisku glebowym wywiera istotny wpływ na liczbę oraz jakościową selekcję mikroorganizmów [Barabasz i in. 2002]. Prowadzi to do zachwiania równowagi mikrobiologicznej, a w konsekwencji do degradacji gleby i obniżenia plonowania roślin uprawnych. Według Mazura i Grabowskiego [2008], intensywne nawożenie mineralne ogranicza wpływ przebiegu pogody na wielkość otrzymanych plonów ziarna.

### 2.4.2. Zmiany w środowisku glebowym

Nawożenie azotem nie ma na ogół znacznego wpływu na kształtowanie właściwości fizycznych gleby [Lenart i in. 2005, Wojciechowski 2009]. Jedynie w latach suchych może wpłynąć na znaczne obniżenie zapasu wody w glebie. Zimny i in. [2005] wykazali, że intensyfikacja nawożenia azotem istotnie zmniejsza zwięzłość i porowatość gleby, przy jednoczesnym zwiększeniu gęstości objętościowej. Według Lenarta [2002], Suwary i Gawrońskiej-Kuleszy [2005] oraz Wacławowicza i in. [2012] nawożenie azotem ma negatywny wpływ na parametry struktury gleby. Wacławowicz i Tendziagolska [2008] oraz Wojciechowski [2009] twierdzą, że wskaźniki struktury roli są na ogół w nieznacznym stopniu kształtowane przez nawożenie azotem. Rozbieżności w poglądach autorów mogą wynikać ze zmiennych warunków glebowo-klimatycznych oraz dawki, formy i terminu aplikacji nawozów. Wpływ nawożenia azotem na właściwości chemiczne gleby jest niejednoznaczny. Według Blecharczyka i in. [2002] i Kołodziejczyka i in. [2005] stosowanie wzrastających dawek azotu w płodozmianie spowodowało wzrost zakwaszenia gleby i spadek nasycenia kompleksu sorpcyjnego kationami wapnia magnezu. Zdaniem Mazura [1999] nie należy nawożeniem doprowadzać do przeżyźnienia azotowo-fosforanowo-potasowego środowiska glebowego, czego następstwem może być zanieczyszczenie wód i skażenie płodów rolnych. Samo nawożenie mineralne w krótkim czasie daje pozytywne rezultaty

produkcyjne, a w dłuższym czasie może okazać się niekorzystne dla produkcyjności gleb. Felczyński [2005] i Jankowiak i in. [2005] twierdzą, że nawożenia azotem oddziałuje destrukcyjnie na środowisko glebowe. Również Wojcieska i in. [1991] twierdzą, że nawożenie mineralne, a szczególnie azotem, w zdecydowany sposób zwiększa produkcję rośliną, jednak zbyt duże dawki nawozów mogą się przyczyniać do powstawania w glebie różnych niepożądanych związków, np. nitrozoamin, mikotoksyn czy też amoniaku, które mogą powodować zahamowanie rozwoju części mikroflory glebowej. Stępień [2000] oraz Wojciechowski [2009] w wyniku intensyfikacji nawożenia N stwierdzili zwiększenie zawartości węgla organicznego w glebie, wywołany wzrostem akumulacji materii organicznej. Z kolei Jakowiak i Spychaj-Fabisiak [2006] obserwowali zmniejszenie zawartości $C_{org}$. Według Stanisławskiej-Glubiak i Korzeniowskiej [2005] oraz Kopra i Lemanowicza [2006] stosowanie wyłącznie nawożenia mineralnego pozwala jedynie utrzymać zawartość węgla organicznego na niezmiennym poziomie.

### 2.4.3. Współdziałanie nawożenia mineralnego azotem i organicznego

W badaniach naukowych najczęściej podejmuje się oddzielnie problem wpływu nawożenia mineralnego lub organicznego na warunki siedliskowe, a rzadziej spotyka się, interesujący z punktu widzenia rolników, efekt współdziałania tych nawozów. Zrównoważone nawożenie łączące stosowanie nawozów mineralnych i organicznych zapewnia największe efekty produkcyjne i na ogół nie stwarza zagrożeń dla środowiska naturalnego [Wojciechowski 2009, Wacławowicz 2013]. Według wielu autorów łączne stosowanie nawozów organicznych i azotu mineralnego sprzyja korzystnym zmianom właściwości chemicznych, fizycznych i biologicznych gleb [Stanisławska-Glubiak i Korzeniowska 2005, Suwara i Szulc 2011]. Wojciechowski i in. [2015] wykazali, że łączne stosowanie międzyplonu ścierniskowego i zmniejszonego nawożenia azotem ogranicza porażenie źdźbeł i korzeni pszenicy jarej. Z kolei Adamiak i Stępień [1998] wykazali gorszą efektywność nawożenia azotem w warunkach łączonego nawożenia N z nawożeniem organicznym. Bertol i in. [2003] twierdzą, że zbyt duża ilość masy roślinnej, pochodzącej z międzyplonów, zalegająca na powierzchni gleby i aplikacja nawozów mineralnych bez możliwości ich wymieszania i zaabsorbowania przez glebę może zwiększyć ryzyko wzrostu koncentracji biogenów w wodzie spływającej. Nawożenie w integrowanej produkcji jęczmienia jarego uwzględnia potrzeby pokarmowe roślin i ma na celu uzyskanie oczekiwanego plonu o dobrej jakości, przy zapewnieniu należytej ochrony środowiska przyrodniczego. W zintegrowanej technologii uprawy należy zatem uwzględnić składniki pokarmowe ze wszystkich źródeł (gleba, przedplon, nawozy mineralne, naturalne i organiczne [Korbas i Mrówczyński 2017].

# 3. CEL BADAŃ

W hipotezie badawczej założono, że sposób wprowadzenia do gleby międzyplonu ścierniskowego (gorczycy białej) wpływa na zmianę warunków siedliskowych, a przez to również na wzrost i plonowanie jęczmienia jarego. Przypuszcza się, że właściwe zagospodarowanie międzyplonu umożliwi ograniczenie ilość stosowanych nawozów azotowych. Opinie dotyczące wpływu nawozów organicznych, a szczególnie sposobów ich wprowadzenia do gleby oraz współdziałania nawożenia organiczno-mineralnego na siedlisko pola uprawnego, stan fitosanitarny łanu roślin, jak i produkcyjność jęczmienia są niejednoznaczne. W związku z czym celowe wydaje się poszerzenie wiedzy na ten temat.

Główne cele badań:

- wykazanie zmian w siedlisku pola uprawnego, po zastosowaniu trzech sposobów zagospodarowania międzyplonu ścierniskowego z gorczycy białej,
- określenie wpływu sposobu wprowadzenia gorczycy białej do gleby począwszy od uprawy tradycyjnej, poprzez uproszczoną do zerowej na wzrost, rozwój i plonowanie jęczmienia jarego,
- poznanie możliwości ograniczenia nawożenia azotem w warunkach polowego zagospodarowania międzyplonu ścierniskowego,
- określenie elementów agrotechniki jęczmienia jarego, sprzyjających uzyskaniu najlepszych efektów ekonomicznych.

# 4. OPIS DOŚWIADCZENIA

Eksperyment polowy założono jesienią 2009 r. w Rolniczym Zakładzie Doświadczalnym Swojec (50°07'N, 17°08'E) (obecnie Stacja Badawczo-Dydaktyczna w Swojczycach) należącym do Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Zasadnicze badania przeprowadzono w latach 2010-2012, opierając się na ścisłym dwuczynnikowym doświadczeniu założonym metodą losowanych podbloków (split-plot) w trzech powtórzeniach. Powierzchnia poletek wynosiła 27,5 $m^2$ (długość 5 m, szerokość 5,5 m).

Przedplonem dla jęczmienia jarego w każdym roku badań była pszenica jara, a przedprzedplonem burak cukrowy. Przed wysiewem buraków cukrowych wprowadzono do gleby słomę jęczmienną i międzyplon, a po ich zbiorze, przed siewem pszenicy jarej, rozrzucono uprzednio rozdrobnione liście buraczane w dawce 40 $t \cdot ha^{-1}$. Po zbiorze pszenicy jarej na całym polu wprowadzono do gleby rozdrobnioną słomę pszenną (5 $t \cdot ha^{-1}$).

## 4.1. Schemat doświadczenia

Czynnikiem pierwszego rzędu był sposób uprawy roli uwzględniający uprawę przedzimową i przedsiewną wiosenną (tab. 1). W eksperymencie analizowano cztery jej warianty. Na obiekcie A (obiekt kontrolny) po zbiorze pszenicy jarej wykonano podorywkę pługiem podorywkowym, jesienią przeprowadzono orkę przedzimową na głębokość 20 cm. Przed siewem zastosowano agregat uprawowy składający się z brony wirnikowej i wału strunowego. Siew wykonano siewnikiem tradycyjnym. Na obiekcie B po wymieszaniu słomy z glebą za pomocą pługa na głębokości 12 cm, wysiano gorczycę białą, którą przyorano orką przedzimową na głębokość 15 cm. Przed siewem zastosowano agregat uprawowy. Siew wykonano siewnikiem tradycyjnym. W wariancie C rozdrobnioną słomę wymieszano z glebą kultywatorem podorywkowym. Wysiany międzyplon ścierniskowy pozostawiono na okres jesienno-zimowy na powierzchni pola w postaci mulczu, który wiosną został przykryty kultywatorem o zębach sztywnych. Przed siewem zastosowano agregat uprawowy. Jęczmień wysiano tradycyjnie. Na obiekcie D międzyplon ścierniskowy wysiano siewnikiem do siewu bezpośredniego i pozostawiono go w postaci mulczu na okres jesienno-zimowy. Wiosną zastosowano herbicyd nieselektywny (Roundup Energy 450 SL) i wysiano jęczmień jary siewnikiem do siewu bezpośredniego.

Drugim czynnikiem badawczym było zróżnicowane nawożenie azotem, które stosowano w dawkach: 40 kg $N \cdot ha^{-1}$ (obiekt 1), 80 kg $N \cdot ha^{-1}$ (obiekt 2) lub 120 kg $N \cdot ha^{-1}$ (obiekt 3). Źródłem azotu był nawóz mineralny w formie saletry amonowej (32% N) zastosowany w zależności od dawki w jednym (40 kg $N \cdot ha^{-1}$), dwóch (40+40 kg $N \cdot ha^{-1}$) lub trzech terminach (40+50+30 kg $N \cdot ha^{-1}$): I – przed siewem jęczmienia, II – w fazie strzelania w źdźbło (BBCH 30–32), III – w czasie kłoszenia się roślin (BBCH 51–55).

Nawóz potasowy dostarczono według zasobności gleby. Z uwagi na wysoką zawartość fosforu w glebie, zrezygnowano z nawożenia tym pierwiastkiem. Pozostałe zabiegi

agrotechniczne wykonano zgodnie z obowiązującymi zaleceniami. Jęczmień jary odmiany Mercada został wysiany w ilości zapewniającej obsadę roślin 350 szt·m$^{-2}$.

Tabela 1. Schemat doświadczenia

| Czynnik I – Systemy uprawy | | | |
|---|---|---|---|
| **A. uprawa tradycyjna** | **B. uprawa tradycyjna + międzyplon** | **C. uprawa uproszczona + międzyplon** | **D. uprawa zerowa + międzyplon** |
| - podorywka,<br>- orka zięblа,<br>- agregat uprawowy (wiosna),<br>- siew tradycyjny jęczmienia jarego | - podorywka,<br>- wysiew międzyplonu,<br>- orka zięblа,<br>- agregat uprawowy (wiosna),<br>- siew tradycyjny jęczmienia jarego | - kultywator podorywkowy,<br>- wysiew międzyplonu,<br>- kultywator o zębach sztywnych (wiosna)<br>- agregat uprawowy,<br>- siew tradycyjny jęczmienia jarego | - bezpośredni wysiew międzyplonu,<br>- siew bezpośredni jęczmienia jarego |
| Czynnik II – Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
| **40** | **80 (40+40)** | **120 (40+50+30)** | |

### 4.2 Warunki glebowe

Doświadczenie zostało zlokalizowane na czarnej ziemi właściwej, wytworzonej z gliny lekkiej na glinie średniej, podścielonej gliną lekką. Glebę tę zaliczono do klasy IIIa, kompleksu pszennego dobrego. Gleba, na której założono doświadczenie charakteryzowała się następującymi właściwościami: pH w KCl 5,7 i zawierała w warstwie ornej: 1,2 g·kg gleby$^{-1}$ azotu, 169 mg ·kg gleby$^{-1}$ fosforu i 212 mg· kg gleby$^{-1}$ potasu.

### 4.3. Warunki agrometeorologiczne

Warunki pogodowe w czasie realizacji doświadczenia określono na podstawie danych pochodzących ze Stacji Agro i Hydrometeorologii Wrocław-Swojec i scharakteryzowano w oparciu o sumy miesięcznych opadów, porównując je z potrzebami opadowymi określonymi przez Dzieżyca i in. [1987] oraz średnimi miesięcznymi temperaturami powietrza. W celu lepszego zobrazowania warunków klimatycznych wyliczono również współczynnik hydrotermiczny Sielianinowa [Radomski 1987], który pozwala na wskazanie okresów niekorzystnych dla wegetacji roślin, w postaci:

$$K = \frac{10 \times P}{\sum t}$$

gdzie:

P – suma miesięczna opadów atmosferycznych w mm,

$\sum t$ – sumę dobowych wartości temperatury powietrza w danym miesiącu

W zależności od wartości współczynnika wyróżnia się miesiące: skrajnie suchy ($K \leq 0,4$), bardzo suchy, ($04 < K \leq 0,7$), suchy ($0,7 < K \leq 1,0$), dość suchy ($1,0 < K \leq 1,3$), optymalny ($1,3 < K \leq 1,6$), umiarkowanie wilgotny ($1,6 < K \leq 2,0$), wilgotny ($2,0 < K \leq 2,5$), bardzo wilgotny ($2,5 < K \leq 3,0$), skrajnie wilgotny ($K \geq 3,0$).

Warunki pogodowe w poszczególnych latach były zróżnicowane i miały znaczący wpływ na realizację doświadczenia polowego i plonowanie jęczmienia jarego (tab. 2).

Według Dzieżyca i in. [1987] optymalna suma opadów dla jęczmienia jarego uprawianego na glebie średniej w zlewni górnej Odry wynosi 259 mm, przy czym istotne znaczenie ma odpowiedni rozkład opadów w czasie wegetacji (tab. 3). W kwietniu testowane zboże najkorzystniej się rozwija, jeśli opady kształtują się na poziomie 19% optymalnego zapotrzebowania na wodę. W kolejnych miesiącach udział ten wynosi odpowiednio: w maju – 29%, czerwcu – 28%, a w lipcu – 23%.

W pierwszym roku realizacji doświadczenia (2010) wystąpiły najmniej sprzyjające warunki dla wzrostu i rozwoju roślin jęczmienia jarego. Obfite opady w marcu opóźniły siew, jednak kiełkowanie i wschody testowanej rośliny były zadowalające. Warunki pogodowe w kwietniu były pod względem temperatury i opadów zbliżone do średnich z wielolecia i teoretycznego modelu zaproponowanego przez Dzieżyca i in. [1987]. W maju natomiast współczynnik Sielaninowa był najwyższy spośród określonych w trakcie całego okresu badań i kształtował się na poziomie K=3,69, co klasyfikuje maj jako miesiąc skrajnie wilgotny. Takie warunki ograniczały wzrost i rozwój testowanego zboża, a także wpływały na opóźnienia w regulacji zachwaszczenia i sprzyjały rozwojowi chorób grzybowych. Wyższa w porównaniu z wieloleciem temperatura powietrza oraz zmniejszone opady w czerwcu nie zrekompensowały w pełni szkód powstałych we wcześniejszym okresie wegetacji. Pogoda w lipcu zapewniała dobre warunki do końcowego etapu rozwoju rośliny.

W drugim roku badań ciepły i wilgotny marzec sprzyjał wczesnemu rozpoczęciu prac polowych, terminowym siewom oraz szybkim i wyrównanym wschodom. Niestety deficyt opadów w kwietniu i maju oraz wysokie temperatury w tym czasie, przekraczające średnią wieloletnią przyczyniły się do zahamowania krzewienia roślin i strzelania w źdźbło. Czerwcowy przebieg pogody sprzyjał wegetacji jęczmienia, niestety ponad dwukrotnie wyższe niż w latach 1968-2011 opady deszczu w lipcu (170,9 mm) doprowadziły się do wtórnego krzewienia roślin, co w konsekwencji spowodowało redukcję plonów. Według Rudnickiego [1995] wysokiemu plonowaniu jęczmienia sprzyja ciepły i umiarkowanie wilgotny kwiecień, chłodny maj z sumą opadów powyżej przeciętnej, umiarkowanie ciepły i obfitujący w opady czerwiec oraz dość ciepły i niezbyt mokry lipiec.

Wartości współczynnika Sielaninowa (K) wskazują, że najbardziej korzystne warunki pogodowe wystąpiły w trzecim roku badań (2012) (marzec i kwiecień był suchy, maj-

optymalny, natomiast czerwiec i lipiec- umiarkowanie wilgotne). Sprzyjające dla rozwoju jęczmienia warunki termiczne, pomimo niskich opadów w marcu i kwietniu, umożliwiły zadawalające wschody jęczmienia. Wiosenny niedobór wody został uzupełniony w maju i czerwcu, co sprzyjało rozwojowi roślin oraz formowaniu ziarniaków. Opady lipcowe nieznacznie przewyższały zapotrzebowanie jęczmienia na wodę w tym czasie. Wraz z podwyższoną temperaturą powietrza sprzyjało to dobremu wypełnianiu się ziarna w kłosie i dojrzewaniu roślin.

Tabela 2. Średnie miesięczne temperatury powietrza i sumy opadów oraz wartość Wskaźnika Sielaninowa (K).

| Rok | Miesiąc | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI |
| Temperatura (°C) | | | | | | | | | |
| 2009 | 4,6 | 12,0 | 14,2 | 15,8 | 19,5 | 19,3 | 14,8 | 7,9 | 6,6 |
| 2010 | 4,2 | 9,3 | 12,7 | 17,9 | 21,4 | 18,9 | 12,6 | 7,0 | 6,5 |
| 2011 | 4,3 | 11,9 | 14,7 | 19,1 | 18,3 | 19,3 | 15,5 | 9,4 | 3,8 |
| 2012 | 6,1 | 9,8 | 15,8 | 17,2 | 20,0 | 19,3 | 14,6 | 8,6 | 5,9 |
| Średnio 2009-2012 | 4,8 | 10,7 | 14,4 | 17,5 | 19,8 | 19,2 | 14,4 | 8,2 | 5,7 |
| Średnio 1968-2012 | 3,5 | 8,6 | 13,9 | 16,9 | 18,7 | 18,2 | 13,7 | 9,0 | 4,2 |
| Opady (mm) | | | | | | | | | |
| 2009 | 49,5 | 30,9 | 67,5 | 162,0 | 134,2 | 53,5 | 12,0 | 76,0 | 32,5 |
| 2010 | 44,9 | 45,4 | 140,7 | 32,9 | 78,6 | 109,1 | 134,1 | 5,7 | 66,4 |
| 2011 | 45,2 | 27,0 | 49,4 | 95,7 | 170,9 | 64,8 | 30,3 | 42,6 | 0,0 |
| 2012 | 13,7 | 27,6 | 63,7 | 94,7 | 108,0 | 73,2 | 52,6 | 35,4 | 31,8 |
| Średnio 2009-2012 | 38,3 | 32,7 | 80,3 | 96,3 | 122,9 | 75,2 | 57,3 | 39,9 | 32,7 |
| Średnio 1968-2012 | 32,2 | 37,1 | 55,4 | 71,8 | 87,4 | 72,3 | 47,2 | 39,0 | 41,3 |
| Wskaźnik Sielaninowa (K) | | | | | | | | | |
| 2009 | 3,47 | 0,86 | 1,58 | 3,42 | 2,22 | 0,89 | 0,27 | 3,10 | 1,65 |
| 2010 | 3,45 | 1,62 | 3,69 | 0,61 | 1,19 | 1,86 | 3,56 | 0,26 | 3,42 |
| 2011 | 3,39 | 0,76 | 1,12 | 1,67 | 3,01 | 1,08 | 0,65 | 1,46 | 0,00 |
| 2012 | 0,72 | 0,94 | 1,34 | 1,83 | 1,74 | 1,22 | 1,20 | 1,33 | 1,80 |

Tabela 3. Zapotrzebowanie roślin jęczmienia jarego na opady w mm wg Dzieżyca i in. (1987)

| Miesiąc | IV | V | VI | VII | Razem |
|---|---|---|---|---|---|
| Potrzeby opadowe | 50 | 76 | 73 | 60 | 259 |

### 4.4. Zabiegi agrotechniczne

Po zbiorze przedplonu (pszenica jara) słomę rozdrobniono i pozostawiono na polu (tab. 4). W celu przyspieszenia jej mineralizacji zastosowano nawożenie azotem w dawce 50 kg·ha$^{-1}$. Na obiekcie A i B słomę płytko przyorano na głębokość 12 cm, a na obiekcie C wymieszano ją z glebą za pomocą kultywatora. Przed siewem międzyplonu ścierniskowego wykonano uprawę agregatem na obiekcie B i C. Międzyplon ścierniskowy z gorczycy białej odmiany Bardena wysiano w ilości 20 kg·ha$^{-1}$, na obiekcie B i C siewnikiem tradycyjnym, natomiast na obiekcie D zastosowano siewnik do siewu bezpośredniego. Przedzimową uprawę roli przeprowadzono według schematu doświadczenia. Zięblę wykonano na głębokość 20 cm (A) lub 15 cm (B). Na kolejnych obiektach ( C i D) międzyplon pozostawiono na okres jesienno-zimowy w postaci mulczu. Wiosną gorczycę białą wymieszano z glebą za pomocą kultywatora o zębach sztywnych (C). Na obiekcie D wykonano zabieg herbicydowy nieselektywnym środkiem Roundup Energy 450SL w dawce 2,5 l na 200 l wody·ha$^{-1}$. Nawożenie potasem jednakowe dla wszystkich obiektów (30 kg K·ha$^{-1}$) zastosowano w formie soli potasowej 60%. Nawożenie azotem w formie saletry amonowej 32% aplikowano według schematu doświadczenia w trzech terminach. W celu przygotowania łoża siewnego na obiekcie A, B i C zastosowano bronę wirnikową. Do eksperymentu wybrano jęczmień jary odmiany Mercada, ze względu na jego wysokie plonowanie, odporność na choroby i rekomendację COBORU do uprawy na terenie Polski południowo-zachodniej. Jęczmień wysiano w ilości zapewniającej 350 szt.·m$^{-1}$ w ilości 170 kg·ha$^{-1}$ przy rozstawie rzędów 12 cm (obiekt A, B i C), natomiast na obiekcie D siew wykonano siewnikiem do siewu bezpośredniego. Wysiano 180 kg·ha$^{-1}$ materiału siewnego w rozstawie rzędów 15 cm i tuż po siewie bezpośrednim zastosowano wałowanie wałem Crosskill-Cambridge, w celu lepszego przykrycia materiału siewnego. Ochronę przed chwastami przeprowadzono we wszystkich latach badań, wykorzystując herbicydy: Chwastox Trio 540 SL (dikamba, MCPA, mekoprop) w dawce 1,5 l na 200 l wody·ha$^{-1}$, Lontrel 300 SL (chlopyralid) w dawce 0,3 l na 200 l wody·ha$^{-1}$ i Puma Uniwersal 069 EW (fenoksaprop-P-etylu) w dawce 1,0 l na 200 l wody·ha$^{-1}$. Do zwalczania szkodników (mszyca, skrzypionka, pryszczarek) wykorzystano Fastac 100 EC (alfa-cypermetryna) w dawce 0,1 l na 200 l wody·ha$^{-1}$. W celu ochrony przed chorobami grzybowymi zastosowano Amistar 250 SC (azoksystrobina) w dawce 1,0 l na 200 l wody·ha$^{-1}$. Zbioru jęczmienia dokonano jednoetapowo kombajnem zbożowym. Słomę rozdrobniono i rozrzucono po polu.

Tabela 4. Zabiegi agrotechniczne w uprawie jęczmienia jarego

| Zabiegi agrotechniczne | Okres wegetacji | | |
|---|---|---|---|
| | 2009/2010 | 2010/2011 | 2011/2012 |
| 1. Zbiór przedplonu (pszenica jara), rozdrobienie słomy | 10.08 | 11.08 | 5.08 |
| 2. Pożniwna uprawa roli: | 18.08 | 20.08 | 19.08 |
| a) nawożenie azotem 50 kg N· $ha^{-1}$ | | | |
| b) podorywka 12 cm (obiekt A i B) | | | |
| c) kultywatorowanie 10 cm (obiekt C) | | | |
| d) bronowanie broną ciężką (obiekt A, B i C) | | | |
| 3. Uprawa przed siewem gorczycy: | 3.09 | 29.08 | 23.08 |
| a) uprawa agregatem uprawowym (obiekt B i C) | | | |
| b) siew gorczycy odm. „Bardena” | | | |
| 4. Przedzimowa uprawa roli: | | | |
| a) orka średnia 20 cm (obiekt A) | 30.11 | 24.11 | 18.11 |
| b) orka płytka 15 cm (obiekt B) | | | |
| 5. Przedsiewna uprawa roli: | | | |
| a) bronowanie broną ciężką (obiekt A i B) | 24.03 | 14.03 | 19.03 |
| b) kultywatorowanie (obiekt C) | | | |
| c) oprysk herbicydem Roundup Energy 450 SL (obiekt D) | 8.04 | 23.03 | 23.03 |
| 6. Nawożenie potasem (30 kg N· $ha^{-1}$) (całe pole) | 8.04 | 23.03 | 23.03 |
| 7. Nawożenie azotem I (40 kg N· $ha^{-1}$) (obiekt 1,2,3) | 9.04 | 28.03 | 30.03 |
| 8. Bronowanie broną wirnikową (obiekt A, B i C) | 9.04 | 28.03 | 30.03 |
| 9. Siew jęczmienia jarego | 9.04 | 28.03 | 30.03 |
| 10. Wałowanie wałem Crosskill-Cambridge (obiekt D) | 9.04 | 28.03 | 30.03 |
| 11. Oprysk herbicydem Chwastox Trio 540 SL | 26.05 | 9.05 | 9.05 |
| 12. Oprysk herbicydem Lontrel 300 SL+Puma Uniwersal 069 EW | 7.06 | 16.05 | 15.05 |
| 13. Nawożenie azotem II (obiekt 2,3) | 11.06 | 26.05 | 21.05 |
| 14. Oprysk fungicydem Amistar 250 SC i insektycydem Fastac 100 EC | 12.06 | 30.05 | 25.05 |
| 15. Nawożenie azotem III (obiekt 3) | 17.06 | 10.06 | 15.06 |
| 16. Zbiór jęczmienia | 11.08 | 11.08 | 1.08 |

### 4.5. Zakres i metodyka badań

W doświadczeniu badaniami objęto środowisko glebowe, zachwaszczenie łanu oraz roślinę uprawną (jęczmień jary) i międzyplon ścierniskowy.

Większość wyników badań poddano analizie wariancji. Różnice graniczne określono przez zastosowanie testu Tukeya przy poziomie ufności $\alpha = 0{,}05$. Wyliczono także współczynnik korelacji prostej pomiędzy plonem ziarna a wybranymi cechami plonotwórczymi jęczmienia jarego. Analizę indywidualnego wkładu oraz udziału poszczególnych elementów składowych plonu w różnicowaniu plonowania jęczmienia wykonano, opierając się na metodzie Rudnickiego [2000].

#### 4.5.1. Właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne gleby

Wilgotność, porowatość ogólną i kapilarną oraz gęstość objętościową gleby określono dwukrotnie: w fazie krzewienia jęczmienia (BBCH 21–23) oraz w okresie jego zbioru (BBCH 89) przy użyciu cylinderków Kopeckiego o pojemności 100 $cm^3$. Badania wykonano w warstwach 5–10 i 15–20 cm w dwóch powtórzeniach na każdym poletku. Zwięzłość gleby została zbadana za pomocą sondy uderzeniowej w warstwie 0–20 cm, co 10 cm w pięciu powtórzeniach na poletku. Ocenę trwałości agregatów glebowych przeprowadzono

w warstwach 0–10 i 10–20 cm metodą separacji na sucho i na mokro. Średnie próbki obiektowe (o masie 500g) po doprowadzeniu do stanu powietrznie suchego rozdzielono na zestawie sit o średnicy oczek: 0,25; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0; 7,0 i 10,0 mm i określono procentowy udział każdej frakcji agregatów. Na tej podstawie obliczono wskaźnik struktury (W) i zbrylenia (B) gleby według wzoru:

$$W = \frac{\%\ \text{udział masy agregatów o średnicy } 1 - 10\ \text{mm}}{\%\ \text{udział masy agregatów o średnicy} > 10 \text{ i} < 0{,}25\ \text{mm}}$$

$$B = \frac{\%\ \text{udział masy agregatów o średnicy} > 10\ \text{mm}}{\%\ \text{udział masy agregatów o średnicy} < 10\ \text{mm}}$$

Aby ocenić wodoodporność agregatów próbki gleby przesiano na mokro na zestawie sit o średnicy oczek: 0,25; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0; 7,0 mm w aparacie Bakszejewa. Badania wykonano na 50-gramowych próbkach uzyskanych z zachowaniem procentowego udziału poszczególnych frakcji. Po wysuszeniu i zważeniu pozostałości agregatów określono procentowy udział poszczególnych frakcji. Oznaczeń dokonano w trzech powtórzeniach, a następnie obliczono średnią ważoną średnicę gruzełka (MWDg) oraz współczynnik wodoodporności agregatów glebowych (Wod), gdzie:
MWDg = suma iloczynów ze środków klasowych wielkości frakcji gruzełków przesianych na mokro i liczebności klasowej (procent wagowy gruzełków) podzielona przez 100.

$$\text{Wod} = \frac{\text{MWDg}}{\text{MWDa}} \,.\, 100\ (\%)$$

W terminie krzewienia jęczmienia jarego oraz w okresie jego pełnej dojrzałości, na średnich próbkach obiektowych w warstwie 0–20 cm określono także podstawowe właściwości chemiczne gleby. Wartość pH gleby oznaczono potencjometrycznie w 1M roztworze KCl, azotu ogólnego metodą Kjeldahla oraz przyswajalnych form fosforu i potasu – metodą Egnera-Riehma.
Aktywność respiracyjną gleby określano poprzez pomiar $CO_2$ przy użyciu respirometru glebowego firmy PP Systems EGM-4 w trzech powtórzeniach na poletku w fazie krzewienia (BBCH 23) i w terminie kwitnienia jęczmienia jarego (BBCH 65)

### 4.5.2. Zachwaszczenie łanu

Zachwaszczenie łanu jęczmienia jarego określono w dwóch terminach:

1) wiosną, przed zabiegiem herbicydem, w fazie krzewienia jęczmienia (BBCH 23) metodą ilościowo-jakościową, za pomocą ramki zamkniętej na powierzchniach próbnych 0,2m$^2$ w dwóch powtórzeniach na poletku,
2) przed zbiorem rośliny uprawnej (BBCH 92) metodą ilościowo-wagową w dwóch powtórzeniach na poletku, wykorzystując ramkę otwartą o powierzchni 0,5m$^2$.

### 4.5.3. Badania dotyczące jęczmienia jarego

Wschody jęczmienia jarego oceniono cztery tygodnie po siewie na podstawie liczby roślin na 1 mb w 3 rzędach na poletku.

Oceny indeksu zawartości chlorofilu w liściach dokonano przy użyciu chlorofilomierza Opti-Sciences CCM-200 w fazie kwitnienia jęczmienia (BBCH 61–65) na 20 losowo wybranych roślinach z każdego poletka. Indeks liściowy LAI oznaczono w tym samym czasie, za pomocą urządzenia LAI-2000 w pięciu powtórzeniach na poletku.

W fazie dojrzałości pełnej zboża (BBCH 92) na każdym poletku z miejsc reprezentatywnych pobrano plon próbny z powierzchni 0,5 $m^2$. Na jego podstawie określono liczbę roślin i kłosów na 1$m^2$ oraz plonowanie jęczmienia jarego. Pomiary biometryczne i cechy plonotwórcze wykonano na 25 reprezentatywnie wybranych roślinach. Określono krzewienie produktywne, długość źdźbeł i kłosów, liczbę i masę ziarna z kłosów oraz masę 1000 ziaren, a także zawartość pośladu i wyrównanie ziarna, do czego użyto sit Vogla.

W ziarnie i słomie w próbkach średnich dla obiektu oznaczono zawartość azotu metodą Kjeldahla, fosforu – metodą kolorymetryczną oraz potasu – metodą fotometrii płomieniowej.

### 4.5.4. Badania dotyczące międzyplonu

Masę międzyplonu ścierniskowego (gorczyca biała) oznaczono w 3 powtórzeniach z każdego obiektu. Próbki pobrano z powierzchni 0,5 $m^2$, jesienią po zakończeniu wegetacji gorczycy. Po wysuszeniu zebranego materiału określona została jego powietrznie sucha masa. Na pozyskanych próbkach oznaczono zawartość azotu – metodą Kjeldahla, fosforu – metodą kolorymetryczną oraz potasu – metodą fotometrii płomieniowej.

### 4.5.5. Efektywność nawożenia i wykorzystanie azotu

Skuteczność nawożenia roślin azotem można wyrazić nie tylko zmianami ilościowymi i jakościowymi plonu użytecznego, ale także za pomocą innych mierników. Zalicza się do nich: efektywność rolniczą – wskazującą na przyrost plonu na jednostkę N zastosowanego w nawozach, efektywność fizjologiczną, która jest miarą zdolności rośliny do przetwarzania azotu pobranego z gleby i nawozów na polon użytkowy, wskaźnik wykorzystania azotu z nawozów, określający skuteczność pobrania azotu przez rośliny lub będący miarą przetworzenia pobranego z gleby i nawozów azotu na plonu ziarna. Wymienione wskaźniki pomimo dużej przydatności nie są często stosowane w badaniach dotyczących efektywności nawożenia. Mnożąc plon suchej masy ziarna przez zawartość azotu, ustalono pobranie tego składnika z plonem głównym i ubocznym. Mierniki wyliczono na podstawie opracowań autorów z różnych jednostek naukowych [Małecka i Blecharczyk 2005, Podgórska-Lesiak i in. 2011].

Efektywność rolnicza ($A_E$) nawożenia azotem = $\frac{YZx-YZy}{x-y}$

Efektywność fizjologiczna ($P_E$) = $\frac{YZx-YZy}{PNx-PNy}$

Współczynnik wykorzystania azotu (ARF) = $\frac{A_E}{P_E}$

Wskaźnik efektywności wykorzystania azotu (NUE) = $\frac{YZ}{PN}$

Indeks żniwny azotu (NHI) = $\frac{PNZ}{PN}$

gdzie:
YZx – plon ziarna (wyrażony w s.m.) po zastosowaniu wyższej dawki azotu,
YZy – plon ziarna (wyrażony w s.m.) po zastosowaniu niższej dawki azotu,
x – wyższa dawka azotu,
y – niższa dawka azotu,
PNx – pobranie azotu przez roślinę po wyższej dawce azotu,
PNy – pobranie azotu przez roślinę po niższej dawce azotu,
YZ – plon ziarna,
PN – pobranie azotu z plonem ziarna i słomy,
PNZ – pobranie azotu z plonem ziarna.

### 4.4.6. Uproszczona ocena ekonomiczna

Uproszczona ocena ekonomiczna przyczynia się do obiektywizacji ocen oraz ukształtowania wśród rolników i doradców opinii o celowości i znaczeniu rachunku ekonomicznego w podejmowaniu decyzji dotyczących wyboru technologii produkcji roślinnej, a nawet szerzej – w zarządzaniu gospodarstwem rolniczym.

Wartość produkcji jęczmienia jarego ustalono na podstawie rynkowej wartości ziarna oraz dopłat bezpośrednich (średnia z 3 lat). Nie uwzględniono plonu słomy, która została przyorana na polu. Wielkość nakładów środków produkcji ustalono na podstawie faktycznego zużycia: nawozów, materiału siewnego i środków ochrony roślin. Koszty środków produkcji określono na podstawie cen zakupu, a wartość produkcji jęczmienia jarego ustalono według cen skupu ziarna. Przyjęte koszty i ceny stanowią średnią z lat 2010–2012. W obliczeniach wartości produkcji ziarna przyjęto cenę zbytu w wysokości 607 zł za 1 t ziarna jęczmienia. Nadwyżkę bezpośrednią wyliczono według metodologii obowiązującej w Unii Europejskiej [Augustyńska-Grzymek 2000], jako różnicę pomiędzy wartością uzyskanej produkcji (średni plon z trzech lat) a poniesionymi kosztami bezpośrednimi. Końcowym etapem rachunku

ekonomicznego było określenie dochodu rolniczego, czyli nadwyżki bezpośredniej pomniejszonej o koszty pośrednie. W tym celu wyliczono koszty pośrednie m.in. pracę maszyn własnych, podatki, ubezpieczenia. W ocenie efektywności ekonomicznej przedstawiono również plon równoważący koszty pośrednie oraz koszty ogółem. W analizie ekonomicznej uwzględniono średnie ceny opracowane w OODR w Łosiowie w latach 2010–2012.

# 5. OMÓWIENIE WYNIKÓW

## 5.1. Plonowanie i wartość nawozowa międzyplonu ścierniskowego

Warunkiem wysokiego plonowania gorczycy białej uprawianej w międzyplonie ścierniskowym jest dostateczny zapas wody w glebie w momencie wschodów roślin oraz równomierne opady atmosferyczne w okresie ich wegetacji. Przebieg pogody w czasie uprawy międzyplonu był bardzo zróżnicowany i wpłynął na wschody oraz plonowanie (tab. 5). W pierwszym roku badań (2009) gorczyca biała została wysiana 3.09. Współczynnik Sielaninowa we wrześniu kształtował się na poziomie K=0,27, co klasyfikuje go jako miesiąc bardzo suchy. Niższe, o 74,2%, niż w wieloleciu opady deszczu w tym miesiącu wpłynęły na wydłużenie wschodów międzyplonu. Niedobory wody zostały zrekompensowane w październiku i listopadzie, co umożliwiło pełne wschody i odpowiedni wzrost roślin. W pierwszym roku badań plon suchej masy gorczycy nie był istotnie zróżnicowany w zależności od sposobu uprawy. Najwyższy plon stwierdzono zarówno po zastosowaniu uprawy tradycyjnej, jak i po zrezygnowaniu z uprawy roli. Wprowadzenie uproszczeń w uprawie skutkowało niższym plonem suchej masy międzyplonu o 27,2%, w porównaniu ze stwierdzonym w pozostałych dwóch systemach uprawy.

Tabela 5. Plon suchej masy międzyplonu ścierniskowego [t·ha$^{-1}$]

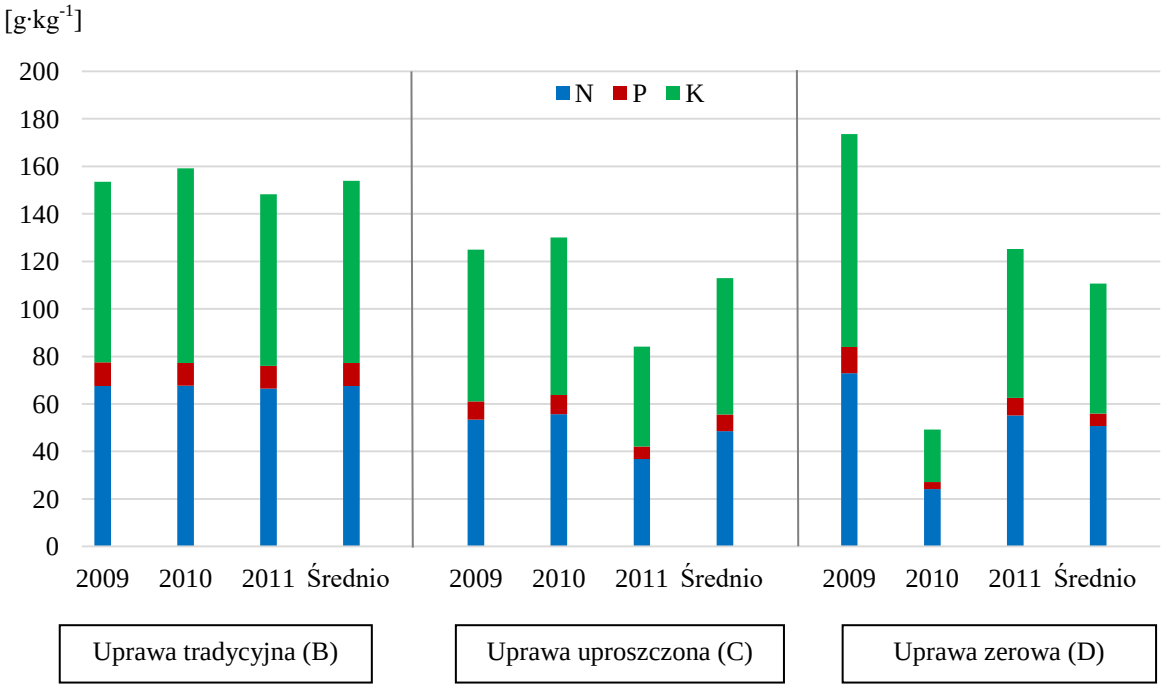
| System uprawy | Lata | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 2009 | 2010 | 2011 | średnio |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 2,06 | 1,83 | 1,89 | 1,93 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 1,50 | 1,63 | 1,02 | 1,38 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 2,06 | 0,64 | 1,52 | 1,41 |
| $NIR_{0,05}$ | r.n | r.n | r.n | r.n |
| Średnio | 1,87 | 1,33 | 1,48 | – |
| $NIR_{0,05}$ | **0,33** | | | – |

Kolejny rok eksperymentu był najbardziej niekorzystny pod względem warunków hydrotermicznych w okresie wegetacji gorczycy. W terminie siewu międzyplonu (26.08) oraz jego początkowego wzrostu odnotowano obfite opady deszczu (K=3,56), które spowodowały częściowe podtopienie doświadczenia, szczególnie na poletkach, na których międzyplon został wysiany siewnikiem do siewu bezpośredniego (obiekt D). W takich warunkach, z uwagi na zwiększoną zwięzłość i gęstość oraz zmniejszoną porowatość, woda utrzymywała się długo w płytkiej warstwie, co znacząco wpłynęło na obniżenie obsady roślin, a w efekcie na uzyskanie niskiego plonu.

Rok 2011 charakteryzował się również niekorzystnym dla gorczycy białej przebiegiem pogody. Z uwagi na niewielkie opady, a także wysoką temperaturę we wrześniu

oraz całkowity brak opadów i niską temperaturę w listopadzie, znacząco został skrócony okres wegetacji międzyplonu. Najniższy plon suchej masy międzyplonu (1,02 t·ha$^{-1}$) stwierdzono po zastosowaniu uprawy uproszczonej, a najwyższy (1,89 t·ha$^{-1}$) w warunkach uprawy tradycyjnej.

Najwyższy plon suchej masy gorczycy, niezależnie od zastosowanego sposobu uprawy roli, uzyskano w pierwszym roku badań i był on istotnie wyższy niż w roku 2010 i 2011, odpowiednio o 37,5 i 32,6%.




Rys. 1. Masa makroskładników wprowadzona do gleby z międzyplonem z gorczycy [g·kg$^{-1}$]

Ilość makroelementów wprowadzonych do gleby z międzyplonem zależała od zastosowanego systemu uprawy i wynikała z ilości wyprodukowanej biomasy oraz z zawartości w niej makroskładników (rys. 1). Największą masę azotu (67,3 kg·ha$^{-1}$) wprowadzono do gleby wraz z międzyplonem, uprawianym w tradycyjnym systemie uprawy. Zarówno wprowadzenie uproszczeń, jak i siewu bezpośredniego, wpłynęło na zmniejszenie ilości N dostarczonego do gleby wraz z biomasą, odpowiednio o 27,8 i 24,7%.

Podobny kierunek zmian obserwowano w zawartości fosforu. Największą ilość tego składnika wprowadzono do gleby po przyoraniu międzyplonu (9,6 kg ·ha$^{-1}$). Wymieszanie gorczycy z glebą za pomocą kultywatora lub pozostawienie jej w postaci mulczu i zastosowanie siewu bezpośredniego, wpłynęło na zmniejszenie zawartości P wniesionego do gleby z biomasą gorczycy odpowiednio o 27,1 i 25,0%.

Najkorzystniejszym sposobem zagospodarowania międzyplonu pod względem dostarczenia do gleby potasu była również uprawa tradycyjna. Mniej tego makroskładnika

wprowadzono do gleby, jeśli zastosowano uproszczenia w uprawie roli, a najmniej po całkowitym zrezygnowaniu z uprawy roli.

W pierwszym roku badań (2009 r.) najwięcej podstawowych makroskładników wprowadzono do gleby po zastosowaniu siewu bezpośredniego, natomiast w 2010 i 2011 roku najkorzystniejsza pod tym względem okazała się uprawa tradycyjna.

## 5.2. Wybrane właściwości gleby

### 5.2.1. Właściwości fizyczne

Zróżnicowane systemy uprawy nie miały istotnego wpływu na wilgotność gleby określoną w fazie krzewienia jęczmienia jarego w obu badanych warstwach (tab. 6). W warstwie 5–10 cm nieznaczne pogorszenie uwilgotnienia gleby obserwowano po zastosowaniu uprawy uproszczonej. W takich warunkach wilgotność gleby była niższa o 2,2% w porównaniu do zanotowanej w uprawie tradycyjnej. Z kolei w głębszej warstwie (15–20 cm) najwyższe uwilgotnienie zaobserwowano po zastosowaniu uprawy tradycyjnej, w której przyorano międzyplon z gorczycy. W stosunku do uprawy tradycyjnej (bez międzyplonu) wilgotność wzrosła o 6,6%.

Tabela 6. Wilgotność gleby [$cm^{-3} \cdot 100\ cm^{-3}$] w fazie krzewienia jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | | | |
|---|---|---|---|
| A.<br>uprawa tradycyjna | B.<br>uprawa tradycyjna<br>+ międzyplon | C.<br>uprawa uproszczona<br>+ międzyplon | D.<br>uprawa zerowa<br>+ międzyplon |
| warstwa 5–10 cm | | | |
| 18,1 | 18,0 | 17,7 | 18,0 |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – r.n. | | | |
| warstwa 15–20 cm | | | |
| 19,6 | 20,9 | 19,5 | 20,3 |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – r.n. | | | |

Wilgotność gleby w czasie zbioru jęczmienia jarego (tab. 7) była istotnie zależna od systemu uprawy jedynie w warstwie 15–20 cm. Najwięcej wody w glebie w tej warstwie zgromadziło się po zastosowaniu uprawy tradycyjnej i zrezygnowaniu z nawożenia organicznego. Po zagospodarowaniu międzyplonu za pomocą kultywatora a także po zrezygnowaniu z uprawy roli i wykorzystaniu mulczu z gorczycy zaobserwowano istotnie niższą wilgotność odpowiednio o 6,2 i 10,4% niż w uprawie tradycyjnej. W warstwie płytszej stwierdzono natomiast tendencję odwrotną. Zastosowanie uprawy uproszczonej przyczyniło się do zwiększenia uwilgotnienia gleby o 4,1% w porównaniu do zanotowanego w uprawie tradycyjnej. Zależności tej nie udowodniono jednak statystycznie.

Nawożenie azotem nie wpłynęło w istotny sposób na zróżnicowanie wilgotności gleby. Można jednak zauważyć, że uwilgotnienie nieznacznie zmniejszyło się (średnio o 2,8%) jeśli zwiększono dawkę azotu z 40 do 80 kg N·ha$^{-1}$. Zależność tę zaobserwowano zarówno w warstwie 5–10 cm, jak i 15–20 cm.

Analiza statystyczna nie wykazała istotności w przypadku interakcji obu czynników doświadczenia.

Tabela 7. Wilgotność gleby [cm$^{-3}$·100 cm$^{-3}$] w terminie zbioru jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| warstwa 5–10 cm | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 25,0 | 24,4 | 24,0 | 24,5 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 25,5 | 24,8 | 25,0 | 25,1 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 25,8 | 25,0 | 25,6 | 25,5 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 24,8 | 24,0 | 24,3 | 24,4 |
| Średnio | 25,3 | 24,6 | 24,7 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – r.n. $NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – r.n. $NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |
| warstwa 15–20 cm | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 26,6 | 25,5 | 25,6 | 25,9 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 25,4 | 25,4 | 24,9 | 25,2 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 24,6 | 23,9 | 24,4 | 24,3 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 23,3 | 22,4 | 23,9 | 23,2 |
| Średnio | 25,0 | 24,3 | 24,7 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 0,8 $NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – r.n. $NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |

Gęstość objętościowa gleby oznaczona w początkowej fazie wzrostu jęczmienia jarego była istotnie zależna od zastosowanych systemów uprawy (tab. 8). W obu badanych warstwach wprowadzenie uproszczeń w uprawie roli a także zrezygnowanie z niej przyczyniło się do jej zwiększenia. W warstwie 5–10 po zastosowaniu siewu bezpośredniego jęczmienia gęstość objętościowa była istotnie wyższa o 16,1% niż po wykonaniu uprawy tradycyjnej i o 3,8% jeśli dodatkowo do tej technologii uprawy wprowadzono międzyplon ścierniskowy. W warstwie 15–20 cm najbardziej zbitą glebę zaobserwowano nie tylko po zastosowaniu uprawy zerowej ale również uproszczonej. Te sposoby uprawy, w porównaniu do roli uprawianej tradycyjnie, przyczyniły się do istotnego wzrostu gęstości objętościowej o 8,6%.

Tabela 8. Gęstość objętościowa gleby [Mg·cm$^{-3}$] w fazie krzewienia jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | | | |
|---|---|---|---|
| A. uprawa tradycyjna | B. uprawa tradycyjna + międzyplon | C. uprawa uproszczona + międzyplon | D. uprawa zerowa + międzyplon |
| warstwa 5–10 cm | | | |
| 1,56 | 1,62 | 1,59 | 1,81 |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 0,08 | | | |
| warstwa 15–20 cm | | | |
| 1,63 | 1,67 | 1,77 | 1,77 |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 0,07 | | | |

W okresie zbioru jęczmienia nie stwierdzono istotnego oddziaływania obu badanych czynników doświadczenia, a także ich współdziałania na gęstość objętościową gleby (tab. 9). W warstwie 5–10 cm najbardziej zbitą glebą stwierdzono na poletkach, na których zastosowano uprawę zerową natomiast w warstwie 15–20 cm po wprowadzeniu uproszczeń. W porównaniu do gleby uprawianej tradycyjnie różnica ta wynosiła odpowiednio o 2,8 i 1,7%

Intensyfikacja nawożenia azotem na ogół w nieznacznym stopniu sprzyjała zmniejszeniu gęstości objętościowej gleby.

Tabela 9. Gęstość objętościowa gleby [Mg·cm$^{-3}$] w terminie zbioru jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| warstwa 5–10 cm | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 1,79 | 1,80 | 1,75 | 1,78 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 1,80 | 1,78 | 1,75 | 1,78 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 1,80 | 1,80 | 1,80 | 1,80 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 1,83 | 1,82 | 1,82 | 1,83 |
| Średnio | 1,81 | 1,80 | 1,78 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – r.n. $NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – r.n. $NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |
| warstwa 15–20 cm | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 1,80 | 1,79 | 1,78 | 1,79 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 1,77 | 1,79 | 1,77 | 1,78 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 1,82 | 1,82 | 1,82 | 1,82 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 1,82 | 1,79 | 1,80 | 1,80 |
| Średnio | 1,80 | 1,80 | 1,79 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – r.n. $NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – r.n. $NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |

Zastosowane systemy uprawy miały istotny wpływ na porowatość ogólną gleby zanotowaną w okresie krzewienia jęczmienia jarego (tab. 10). W warstwie płytszej istotnie mniej przestworów (o 24,3%) stwierdzono po zastosowaniu siewu bezpośredniego niż w warunkach uprawy tradycyjnej. Również jeśli międzyplon zagospodarowano za pomocą pługa (B) lub kultywatora (C) zaobserwowano niższą porowatość ogólną w porównaniu do zanotowanej na obiekcie kontrolnym (A) Zależności tych nie potwierdzono jednak statystycznie. W głębszej warstwie gleby (15–20 cm) zastosowanie uprawy uproszczonej i zerowej przyczyniło się do istotnego zmniejszenia porowatości ogólnej, w porównaniu do stwierdzonej w systemie uprawy tradycyjnej, odpowiednio o 14,8 i 13,5%.

Tabela 10. Porowatość ogólna gleby [$cm^{-3} \cdot 100\ cm^{-3}$] w fazie krzewienia jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | | | |
|---|---|---|---|
| A.<br>uprawa tradycyjna | B.<br>uprawa tradycyjna<br>+ międzyplon | C.<br>uprawa uproszczona<br>+ międzyplon | D.<br>uprawa zerowa<br>+ międzyplon |
| warstwa 5–10 cm | | | |
| 39,9 | 37,2 | 38,6 | 30,2 |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 3,6 | | | |
| warstwa 15–20 cm | | | |
| 37,1 | 35,6 | 31,6 | 32,1 |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 2,5 | | | |

Badane czynniki doświadczenia nie różnicowały istotnie porowatości ogólnej w fazie dojrzałości pełnej jęczmienia jarego (tab. 11). W warstwie 5–10 cm najmniejszą porowatość ogólną gleby zaobserwowano po zrezygnowaniu z uprawy, natomiast w warstwie 15–20 cm po zastosowaniu uprawy uproszczonej. Była ona odpowiednio 5,1 i 4,2% niższa niż w warunkach uprawy tradycyjnej. Intensyfikacja nawożenia azotem sprzyjała niewielkiemu zwiększeniu porowatości ogólnej gleby, wynika to prawdopodobnie z lepszego rozwoju korzeni roślin, co w konsekwencji przyczyniło się do rozluźnienia gleby. W doświadczeniu stwierdzono ścisły związek gęstości gleby z porowatością. W obu terminach badań wraz ze wzrostem porowatości ogólnej gleby zmniejszała się jej gęstość.

Tabela 11. Porowatość ogólna gleby [$cm^{-3} \cdot 100\ cm^{-3}$] w terminie zbioru jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| warstwa 5–10 cm | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 31,0 | 30,4 | 32,4 | 31,2 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 30,3 | 31,1 | 32,3 | 31,2 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 30,4 | 30,6 | 31,0 | 30,7 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 29,4 | 29,6 | 29,8 | 29,6 |
| Średnio | 30,3 | 30,4 | 31,4 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – r.n. $NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – r.n. $NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |
| warstwa 15–20 cm | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 30,6 | 31,0 | 31,5 | 31,0 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 31,5 | 31,1 | 31,8 | 31,5 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 29,7 | 29,8 | 29,7 | 29,7 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 29,7 | 31,0 | 30,4 | 30,4 |
| Średnio | 30,4 | 30,7 | 30,8 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – r.n. $NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – r.n. $NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |

Porowatość kapilarna gleby zanotowana w początkowej fazie wzrostu jęczmienia jarego była istotnie różnicowana pod wpływem zastosowanego systemu uprawy w obu badanych warstwach (tab. 12). W warstwie 5–10 cm stwierdzono istotne zmniejszenie kapilarności gleby po bezpośrednim wysiewie jęczmienia w mulcz z gorczycy. Porowatość zmniejszyła się o 23,2% w stosunku do zanotowanej w uprawie tradycyjnej. W warstwie 15–20 cm istotnie mniejszą porowatość kapilarną zaobserwowano nie tylko po zastosowaniu uprawy zerowej, ale również uproszczonej. W porównaniu do uprawy tradycyjnej różnica wynosiła 13,6%.

Tabela 12. Porowatość kapilarna gleby [$cm^{-3} \cdot 100\ cm^{-3}$] w fazie krzewienia jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | | | |
|---|---|---|---|
| A.<br>uprawa tradycyjna | B.<br>uprawa tradycyjna<br>+ międzyplon | C.<br>uprawa uproszczona<br>+ międzyplon | D.<br>uprawa zerowa<br>+ międzyplon |
| warstwa 5–10 cm | | | |
| 32,3 | 30,9 | 32,3 | 24,8 |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 2,3 | | | |
| warstwa 15–20 cm | | | |
| 31,6 | 30,8 | 27,3 | 27,3 |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 1,9 | | | |

W terminie zbioru jęczmienia jarego porowatość kapilarna była istotnie zależna od systemu uprawy jedynie w warstwie 15–20 cm (tab. 13). Najmniej porów kapilarnych w tej warstwie stwierdzono po zrezygnowaniu z uprawy roli oraz po wprowadzeniu uproszczeń w uprawie. Badany parametr, w porównaniu do odnotowanego w uprawie tradycyjnej, zmniejszył się odpowiednio o 4,8 i 5,8%. W warstwie płytszej zaobserwowano natomiast, że zastosowanie uprawy uproszczonej przyczyniło się do niewielkiego wzrostu porowatości kapilarnej o 1,4% w porównaniu do zanotowanej w uprawie tradycyjnej – tej zależności nie udowodniono jednak statystycznie.

Zróżnicowany poziom nawożenia azotem nie wpłynął istotnie na badaną cechę. Zarówno w warstwie płytszej jak i głębszej zaobserwowano, że nieznacznie większą ilością kapilar charakteryzuje się gleba, na której zwiększono dawkę azotu z 40 do 120 kg N·ha$^{-1}$.

Tabela 13. Porowatość kpilarna gleby [cm$^{-3}$·100 cm$^{-3}$] w terminie zbioru jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| warstwa 5–10 cm | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 28,9 | 28,7 | 30,0 | 29,2 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 28,8 | 29,5 | 30,0 | 29,4 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 29,5 | 29,6 | 29,7 | 29,6 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 29,1 | 27,6 | 28,3 | 28,3 |
| Średnio | 29,1 | 28,8 | 29,5 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – r.n. $NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – r.n. $NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |
| warstwa 15–20 cm | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 29,3 | 29,1 | 29,4 | 29,3 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 29,4 | 28,9 | 29,7 | 29,3 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 27,9 | 27,3 | 27,6 | 27,6 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 27,6 | 27,9 | 28,1 | 27,9 |
| Średnio | 28,6 | 28,3 | 28,7 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 1,1 $NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – r.n. $NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |

W fazie krzewienia jęczmienia jarego zmiany zwięzłości gleby były statystycznie istotne pod wpływem modyfikacji uprawy roli i obecności międzyplonu ścierniskowego (tab. 14). W obu warstwach roli wraz ze stopniem upraszczania uprawy roli zwiększała się zbitość gleby. W porównaniu z systemem tradycyjnym, uprawa zerowa przyczyniła się do istotnego, prawie 3-krotnego zwiększenia zwięzłości gleby w warstwie 0–10 cm, natomiast wprowadzone uproszczenia w uprawie zwiększały istotnie zbitość gleby odpowiednio o 31,2%. W warstwie 10–20 cm zaobserwowano podobną zależność.

W odniesieniu do poletek uprawianych tradycyjnie istotnie większą zwięzłość gleby stwierdzono po zastosowaniu uprawy uproszczonej i zerowej, odpowiednio o 29,6 i 81,3%.

Tabela 14. Zwięzłość gleby [Mpa] w fazie krzewienia jęczmienia jarego
(średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | | | |
|---|---|---|---|
| A.<br>uprawa tradycyjna | B.<br>uprawa tradycyjna<br>+ międzyplon | C.<br>uprawa uproszczona<br>+ międzyplon | D.<br>uprawa zerowa<br>+ międzyplon |
| warstwa 5–10 cm | | | |
| 3,53 | 3,44 | 4,63 | 10,23 |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 0,92 | | | |
| warstwa 15–20 cm | | | |
| 7,70 | 7,32 | 9,98 | 13,96 |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 1,71 | | | |

W okresie dojrzałości pełnej jęczmienia jarego zwięzłość gleby była istotnie różnicowana jedynie pod wpływem systemów uprawy roli (tab. 15). W warstwie płytszej zastosowanie uprawy zerowej przyczyniło się do istotnego wzrostu zwięzłości gleby (o 43,3%) w porównaniu do zaobserwowanej w uprawie tradycyjnej.

Tabela 15. Zwięzłość gleby [Mpa] w terminie zbioru jęczmienia jarego
(średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg $N \cdot ha^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| warstwa 5–10 cm | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 3,70 | 4,05 | 3,61 | 3,79 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 3,65 | 3,70 | 3,91 | 3,76 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 3,69 | 3,69 | 3,62 | 3,67 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 5,49 | 5,34 | 5,44 | 5,43 |
| Średnio | 4,14 | 4,20 | 4,15 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 0,33 $NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – r.n. $NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |
| warstwa 15–20 cm | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 4,76 | 5,03 | 4,95 | 4,91 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 5,09 | 5,13 | 5,40 | 5,20 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 6,12 | 6,45 | 6,07 | 6,21 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 7,64 | 7,56 | 7,68 | 7,63 |
| Średnio | 5,90 | 6,04 | 6,02 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 0,47 $NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – r.n. $NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |

W warstwie głębszej wykazano, że istotnie większą zwięzłością niż w uprawie klasycznej – odpowiednio o 55,4 i 26,5% występuje po zrezygnowaniu z uprawy roli, lub wprowadzeniu uproszczeń w uprawie. Analiza statystyczna nie wykazała istotnego zróżnicowania zwięzłości gleby pod wpływem wzrastających dawek azotu i współdziałania obu czynników doświadczenia.

Sposób uprawy roli nie wpłynął istotnie na wskaźnik struktury gleby (W) oznaczony w okresie krzewienia jęczmienia jarego (tab. 16). Można jednak zauważyć, że najkorzystniejszą strukturą charakteryzowała się gleba z poletek, na których wprowadzono uproszczenia w uprawie. Zależność tę zanotowano w obu badanych warstwach. W takich warunkach wskaźnik W był wyższy w warstwie 5–10 cm o 18,1, a w warstwie 15–20 cm o 26,7% od uzyskanego po wykonaniu uprawy tradycyjnej.

Tabela 16. Wskaźnik struktury gleby (W) w fazie krzewienia jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | | | |
|---|---|---|---|
| A.<br>uprawa tradycyjna | B.<br>uprawa tradycyjna<br>+ międzyplon | C.<br>uprawa uproszczona<br>+ międzyplon | D.<br>uprawa zerowa<br>+ międzyplon |
| warstwa 5–10 cm | | | |
| 0,94 | 0,77 | 1,11 | 1,06 |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – r.n. | | | |
| warstwa 15–20 cm | | | |
| 0,75 | 0,81 | 0,95 | 0,91 |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – r.n. | | | |

Latem, w okresie zbioru jęczmienia jarego, wskaźnik (W) był istotnie modyfikowany pod wpływem badanych czynników doświadczenia wyłącznie w głębszej warstwie (tab.17). Po zrezygnowaniu uprawy roli oraz po wprowadzeniu uproszczeń w uprawie stwierdzono istotnie wyższą wartość wskaźnika struktury, odpowiednio o 39,2 i 31,9%, w porównaniu do odnotowanego w uprawie tradycyjnej. Podobną zależność zauważono także w warstwie płytszej, jednak nie potwierdzono tego statystycznie.

Parametry struktury gleby w warstwie 10–20 cm zmieniły się również pod wpływem mineralnego nawożenia azotem. Zastosowanie najwyższej dawki (120 kg $N \cdot ha^{-1}$) przyczyniło się do istotnego wzrostu wskaźnika W o 23,5%, w stosunku do zanotowanego po aplikacji azotu w najniższej z badanych dawek. W warstwie 0–10 cm nie odnotowano istotnych zmian wywołanych zróżnicowanym poziomem nawożenia azotem.

Tabela 17. Wskaźnik struktury gleby (W) w terminie zbioru jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| warstwa 5–10 cm | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 0,80 | 0,71 | 0,75 | 0,76 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 0,81 | 0,75 | 0,86 | 0,80 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 0,68 | 0,98 | 0,84 | 0,84 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 1,00 | 0,97 | 0,93 | 0,97 |
| Średnio | 0,82 | 0,85 | 0,85 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – r.n. $NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – r.n. $NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |
| warstwa 15–20 cm | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 0,68 | 0,71 | 0,84 | 0,74 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 0,78 | 0,81 | 0,90 | 0,83 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 0,84 | 1,06 | 1,02 | 0,97 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 0,95 | 0,92 | 1,24 | 1,03 |
| Średnio | 0,81 | 0,88 | 1,00 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 0,17 $NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – 0,14 $NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |

Wartości wskaźnika zbrylenia gleby (B) w początkowym okresie wzrostu jęczmienia jarego nie były istotnie modyfikowane pod wpływem zastosowanych systemów uprawy roli (tab. 18). Jednak w obu warstwach zaobserwowano, że po zagospodarowaniu międzyplonu za pomącą kultywatora stopień zbrylenia gleby był najniższy. Ten sposób uprawy, w porównaniu do roli uprawianej tradycyjnie, przyczynił się do zmniejszenia wskaźnika zbrylenia w warstwie płytszej o 10%, a w głębszej o 24,1%. Podobny kierunek zmian zaobserwowano po pozostawieniu gorczycy w formie mulczu na okres jesienno zimowy.

Tabela 18. Wskaźnik zbrylenia gleby (B) w fazie krzewienia jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | | | |
|---|---|---|---|
| A. uprawa tradycyjna | B. uprawa tradycyjna + międzyplon | C. uprawa uproszczona + międzyplon | D. uprawa zerowa + międzyplon |
| warstwa 5–10 cm | | | |
| 0,70 | 0,78 | 0,63 | 0,66 |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – r.n. | | | |
| warstwa 15–20 cm | | | |
| 0,87 | 0,85 | 0,66 | 0,67 |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – r.n. | | | |

W fazie dojrzałości pełnej jęczmienia jarego zastosowane sposoby uprawy roli przyczyniły się do zmian zbrylenia gleby, jednak tylko w warstwie 10–20 cm udowodniono tę zależność statystycznie (tab. 19). W tej warstwie najniższe zbrylenie stwierdzono po zrezygnowaniu z uprawy roli. Badany parametr, w porównaniu do odnotowanego w uprawie tradycyjnej, był istotnie niższy o 31,3%. W płytszej warstwie zaobserwowano podobną, ale nieudowodnioną matematycznie zależność. W obu badanych warstwach najwyższą wartość wskaźnika zbrylenia stwierdzono po wykonaniu uprawy tradycyjnej.

Zróżnicowany poziom nawożenia azotem wpłynął istotnie na wskaźnik zbrylenia (B) tylko w warstwie 10–20 cm. Zauważono, że zwiększenie dawki azotu z 40 do 120 kg $N \cdot ha^{-1}$ spowodowało istotne zmniejszenie zbrylenia gleby (o 19,1%).

Analiza statystyczna nie wykazała istotności w przypadku interakcji czynników doświadczenia.

Tabela 19. Wskaźnik zbrylenia gleby (B) w terminie zbioru jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg $N \cdot ha^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| warstwa 5–10 cm | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 0,92 | 1,04 | 1,07 | 1,01 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 0,97 | 0,99 | 0,85 | 0,94 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 1,07 | 0,79 | 0,84 | 0,90 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 0,68 | 0,72 | 0,79 | 0,73 |
| Średnio | 0,91 | 0,89 | 0,89 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – r.n. $NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – r.n. $NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |
| warstwa 15–20 cm | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 1,04 | 1,02 | 0,92 | 0,99 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 1,06 | 0,99 | 0,85 | 0,97 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 0,87 | 0,74 | 0,74 | 0,78 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 0,77 | 0,74 | 0,54 | 0,68 |
| Średnio | 0,94 | 0,87 | 0,76 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 0,20 $NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – 0,13 $NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |

Stopień agregacji gleby wyrażony średnią ważoną średnicą agregatów (MWDg) w początkowej fazie wzrostu jęczmienia jarego był istotnie zróżnicowany tylko w warstwie 5–10 cm (tab. 20). Zastosowanie siewu bezpośredniego (D) oraz wprowadzenie do gleby międzyplonu za pomocą pługa (B), w porównaniu z uprawą tradycyjną (A), przyczyniło się do wyraźnego zmniejszenia średnicy agregatów, odpowiednio o 22,1 i 25,6%. W warstwie 15–20 cm obserwowano zbliżone zależności, różnic nie udowodniono jednak statystycznie.

Tabela 20. Średnia ważona średnica agregatu (MWDg) [mm] w fazie krzewienia jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | | | |
|---|---|---|---|
| A. uprawa tradycyjna | B. uprawa tradycyjna + międzyplon | C. uprawa uproszczona + międzyplon | D. uprawa zerowa + międzyplon |
| warstwa 5–10 cm | | | |
| 0,86 | 0,64 | 0,80 | 0,67 |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 0,10 | | | |
| warstwa 15–20 cm | | | |
| 0,68 | 0,57 | 0,61 | 0,63 |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – r.n. | | | |

Wskaźnik MWDg w obu badanych warstwach był istotnie modyfikowany przez sposób uprawy roli (tab. 21). Kierunek zmian był jednak odwrotny, niż na początku wegetacji jęczmienia jarego. W warstwie 0–10 cm po zastosowaniu uprawy tradycyjnej, w której przyorano międzyplon (B), uproszczeń w uprawie (C) oraz siewu bezpośredniego w mulcz z gorczycy (D) średnica agregatów oznaczonych na mokro zwiększyła się istotnie, w porównaniu z zaobserwowaną na poletkach uprawianych tradycyjnie, na których zrezygnowano z nawożenia organicznego (A), odpowiednio o 17,6; 42,6 i 51,5%.

Tabela 21. Średnia ważona średnica agregatu (MWDg) [mm] w terminie zbioru jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| warstwa 5–10 cm | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 0,72 | 0,67 | 0,67 | 0,68 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 0,84 | 0,72 | 0,85 | 0,80 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 1,08 | 0,84 | 0,97 | 0,97 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 1,07 | 1,06 | 0,96 | 1,03 |
| Średnio | 0,93 | 0,82 | 0,86 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 0,08 $NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – 0,07 $NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |
| warstwa 15–20 cm | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 0,68 | 0,61 | 0,59 | 0,63 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 0,78 | 0,70 | 0,67 | 0,72 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 0,71 | 0,65 | 0,71 | 0,69 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 0,87 | 0,97 | 0,86 | 0,90 |
| Średnio | 0,76 | 0,74 | 0,71 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 0,07 $NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – r.n. $NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |

W warstwie głębszej do wzrostu MWDg, w porównaniu z zanotowanym w systemie uprawy tradycyjnej, przyczyniły się wszystkie sposoby uprawy, jednak istotną różnicę zanotowano, gdy do gleby wprowadzono międzyplon za pomocą pługa, lub zrezygnowano z uprawy roli, odpowiednio o 42,9 i 14,3%.

Agregacja gleby uzależniona była od drugiego czynnika doświadczenia jedynie w warstwie 0–10 cm. Zaobserwowano, że intensyfikacja nawożenia azotem wpływa na istotne zmniejszenie średniej ważonej średnicy agregatów. Jeśli jęczmień nawożono dawką 80 lub 120 kg $N \cdot ha^{-1}$ MWDg była istotnie mniejsza, niż po zastosowaniu 40 kg $N \cdot ha^{-1}$, odpowiednio o 11,8 i 7,5%. W warstwie 10–20 cm obserwowano podobny kierunek zmian, jednak nie udowodniono tego statystycznie.

Jednym z podstawowych parametrów świadczących o jakości struktury agregatowej jest jej odporność na rozmywające działanie wody. Badania przeprowadzone w fazie krzewienia jęczmienia jarego wykazały, że sposoby uprawy roli istotnie modyfikowały wodoodporność agregatów glebowych (tab. 22). W warstwie 5–10 cm najwyższą wartość współczynnika Wod oznaczono po zastosowaniu uprawy uproszczonej. Negatywnie na ten parametr wpłynęło wykonanie uprawy tradycyjnej z przyoraniem międzyplonu, a także całkowite zrezygnowanie z uprawy roli. W porównaniu do zanotowanej w uprawie tradycyjnej, odporność agregatów na rozmywające działanie wody zmniejszyła się istotnie, odpowiednio o 19,0 i 19,9%. W warstwie 15–20 cm najkorzystniejszy współczynnik Wod stwierdzono w uprawie konwencjonalnej (A). Istotne zmniejszenie wodoodporności agregatów glebowych, w porównaniu do zanotowanego w tym sposobie uprawy, spowodowało wprowadzenie do gleby międzyplonu za pomocą pługa (o 23,4%) lub kultywatora (o 15,7%).

Tabela 22. Współczynnik wodoodporności agregatów glebowych (Wod) [%] w fazie krzewienia jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | | | |
|---|---|---|---|
| A.<br>uprawa tradycyjna | B.<br>uprawa tradycyjna<br>+ międzyplon | C.<br>uprawa uproszczona<br>+ międzyplon | D.<br>uprawa zerowa<br>+ międzyplon |
| warstwa 5–10 cm | | | |
| 22,6 | 18,3 | 23,1 | 18,1 |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 2,9 | | | |
| warstwa 15–20 cm | | | |
| 19,7 | 15,1 | 16,6 | 18,5 |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 2,9 | | | |

Zróżnicowanie wodoodporności agregatów glebowych pod wpływem systemów uprawy roli obserwowano również w terminie zbioru jęczmienia jarego (tab. 23).

Uproszczenia w uprawie roli, a szczególnie zrezygnowanie z uprawy płużnej, sprzyjały zwiększeniu współczynnika Wod w każdej z badanych warstw, co jest zgodne z powszechnie znaną opinią o negatywnym oddziaływaniu zabiegów mechanicznych na kształtowanie struktury gleby. Obserwowano istotny wzrost odporności agregatów glebowych na rozmywanie w warunkach uprawy tradycyjnej połączonej z wprowadzeniem do gleby międzyplonu, uprawy uproszczonej oraz siewu bezpośredniego, w warstwie 0–10 cm odpowiednio o 16,8; 43,9 i 55,5% a w warstwie 10–20 cm odpowiednio o 14,9; 14,9 i 60,4%, w porównaniu do stwierdzonej na poletkach uprawianych konwencjonalnie. W tych warunkach najprawdopodobniej przyczyną wzrostu współczynnika Wod była także zastosowana materia organiczna w postaci międzyplonu z gorczycy.

W obu badanych warstwach obserwowano zależność zmniejszającej się odporności agregatów glebowych na rozmywające działanie wody pod wpływem wzrastających dawek azotu. Jednak tylko w warstwie płytszej zostało to udowodnione statystycznie. Na poletkach, na których stosowano azot w dawkach 80 i 120 kg $N \cdot ha^{-1}$ obserwowano mniejszą wodoodporność agregatów, niż po aplikacji 40 kg $N \cdot ha^{-1}$ odpowiednio o 14,8 i 10,7%.

Tabela 23. Współczynnik wodoodporności agregatów glebowych (Wod) [%] w terminie zbioru jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg $N \cdot ha^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| warstwa 5–10 cm | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 18,6 | 17,0 | 16,3 | 17,3 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 21,4 | 17,8 | 21,3 | 20,2 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 28,8 | 20,3 | 25,7 | 24,9 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 28,7 | 28,1 | 23,9 | 26,9 |
| Średnio | 24,4 | 20,8 | 21,8 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 1,8 $NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – 1,6 $NIR_{0,05}$ dla interakcji – 3,1 | | | | |
| warstwa 15–20 cm | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 16,5 | 15,0 | 14,6 | 15,4 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 18,5 | 16,7 | 18,0 | 17,7 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 19,0 | 16,8 | 17,4 | 17,7 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 23,3 | 27,9 | 22,8 | 24,7 |
| Średnio | 19,3 | 19,1 | 18,2 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 1,8 $NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – r.n. $NIR_{0,05}$ dla interakcji – 2,9 | | | | |

Analiza wariancji wykazała istotne zróżnicowanie współczynnika Wod pod wpływem współdziałania badanych czynników. Zagospodarowując międzyplon ścierniskowy każdym z badanych sposobów uprawy, najwyższą odporność na rozmywające działanie wody w warstwie 0–10 cm stwierdzono po aplikacji 40 kg $N \cdot ha^{-1}$. Natomiast najniższy współczynnik Wod zanotowano: jeśli gorczycę przyorano lub wymieszano z glebą za pomocą

kultywatora i zastosowano 80 kg N·ha$^{-1}$, a w warunkach pozostawienia międzyplonu na polu w postaci mulczu i zastosowaniu siewu bezpośredniego jęczmienia po aplikacji 120 kg N·ha$^{-1}$. Z kolei w głębszej warstwie gleby, jedynie w warunkach uprawy zerowej zaobserwowano, że nawożenie azotem istotnie różnicuje wodoodporność agregatów. Po aplikacji 80 kg N·ha$^{-1}$ współczynnik Wod był o 22,4% większy niż po zastosowaniu 120 kg N·ha$^{-1}$.

### 5.2.2. Właściwości biologiczne

Aktywność respiracyjna gleby mierzona intensywnością wydzielania $CO_2$ w okresie krzewienia jęczmienia jarego była istotnie zależna od sposobu uprawy roli (tab. 24). O 22,9% więcej dwutlenku węgla wydzielała gleba, na której uprawę tradycyjną zastąpiono uprawą uproszczoną. Niekorzystnie na aktywność respiracyjną wpłynęło zastosowanie siewu bezpośredniego w mulcz z gorczycy. W tym przypadku wymiana gazowa była istotnie o 37,5% mniejsza, niż na poletkach uprawianych konwencjonalnie.

Tabela 24. Aktywność respiracyjna gleby [g$CO_2$·m$^{-2}$·h$^{-1}$] w fazie krzewienia jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | | | |
|---|---|---|---|
| A.<br>uprawa tradycyjna | B.<br>uprawa tradycyjna<br>+ międzyplon | C.<br>uprawa uproszczona<br>+ międzyplon | D.<br>uprawa zerowa<br>+ międzyplon |
| 0,48 | 0,44 | 0,59 | 0,30 |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 0,10 | | | |

W czasie zbioru jęczmienia jarego jedynie zastosowane systemy uprawy roli przyczyniły się do wyraźnych zmian w ilości wydzielanego $CO_2$ (tab. 25).

Tabela 25. Aktywność respiracyjna gleby [g$CO_2$·m$^{-2}$·h$^{-1}$] w terminie kwitnienia jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

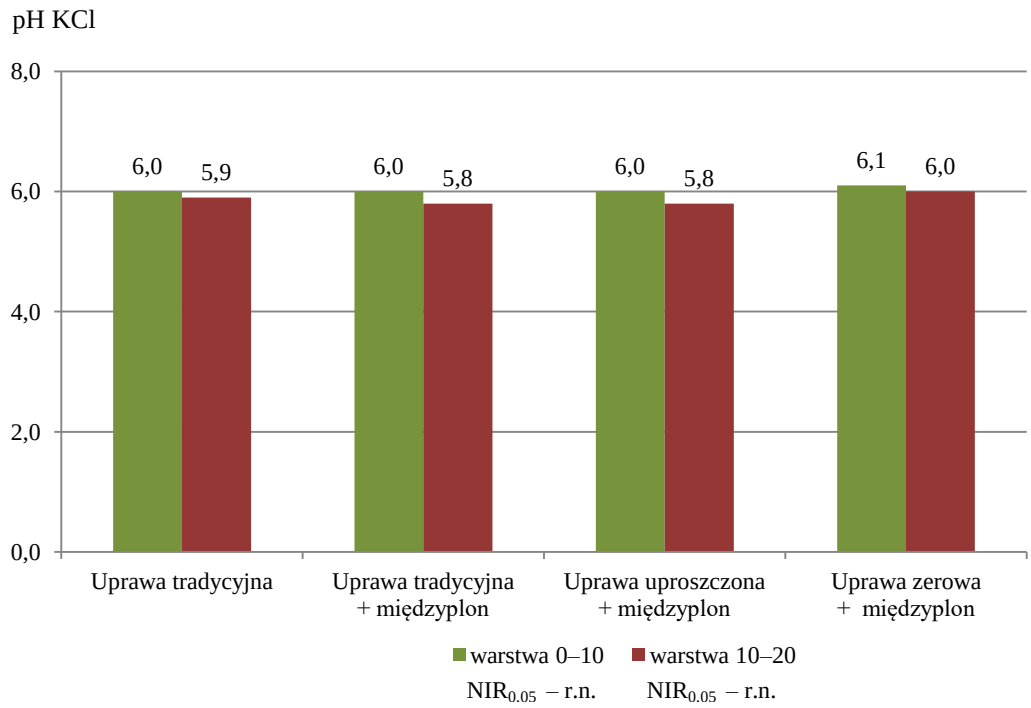
| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| A. Uprawa tradycyjna | 0,46 | 0,56 | 0,73 | 0,59 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 0,59 | 0,59 | 0,36 | 0,52 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 0,45 | 0,37 | 0,38 | 0,40 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 0,46 | 0,20 | 0,38 | 0,35 |
| Średnio | 0,49 | 0,43 | 0,47 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 0,13<br>$NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – r.n.<br>$NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |

Zauważono, że im bardziej uproszczona jest uprawa roli, tym aktywność respiracyjna gleby jest mniejsza. Po zastosowaniu uprawy zerowej oraz uproszczeń w uprawie roli, stwierdzono istotnie niższą intensywność respiracji, odpowiednio o 40,7 i 32,2%, w porównaniu do odnotowanej w warunkach uprawy tradycyjnej.

Wielkość badanego parametru nie była wprawdzie istotnie zależna od nawożenia azotem, zaobserwowano jednak nieco mniejsze wydzielanie $CO_2$ po zastosowaniu wyższych dawek N.

### 5.2.3. Właściwości chemiczne

Zróżnicowane systemy uprawy roli nie miały istotnego wpływu na wartość pH gleby określoną w początkowym okresie wzrostu jęczmienia jarego (rys. 2).



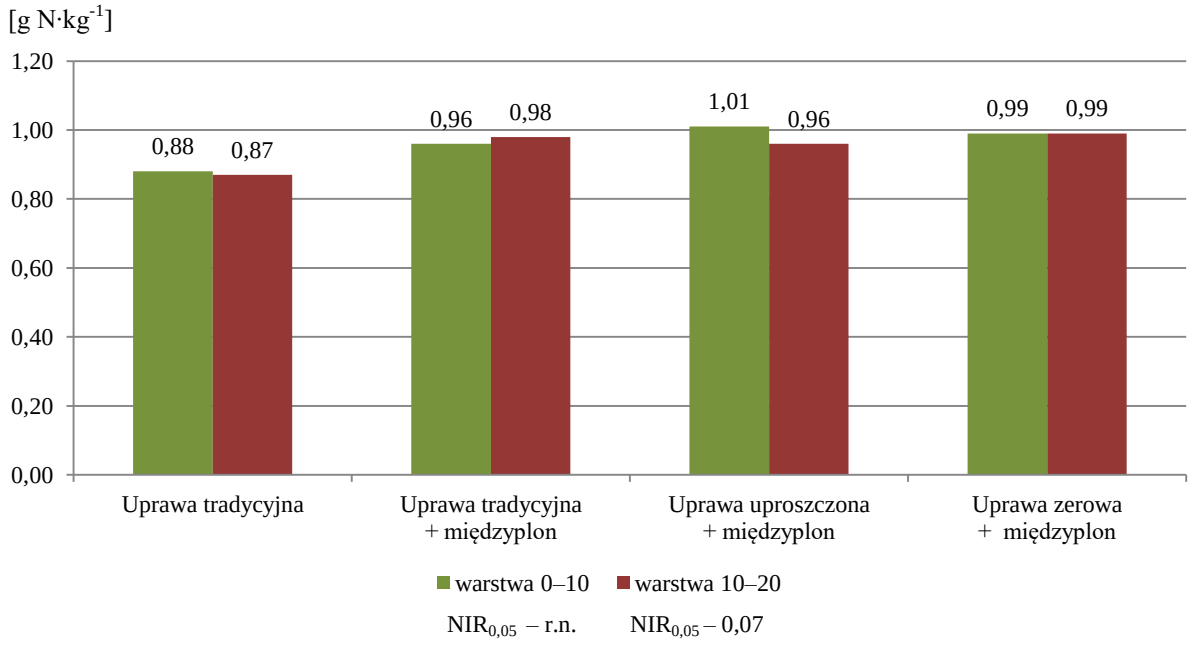

Rys. 2. Odczyn gleby (wartość pH w 1M KCl) w fazie krzewienia jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

W obu badanych warstwach odczyn gleby oznaczony w KCl był lekko kwaśny. Najwyższą wartość pH w warstwie 0–10 i 10–20 cm zaobserwowano na poletkach, na których zastosowano siew bezpośredni w mulcz z gorczycy.

Latem, w okresie zbioru jęczmienia jarego nie stwierdzono istotnego wpływu badanych czynników doświadczenia oraz ich interakcji na wartość pH gleby (tab. 26). Wprowadzenie do gleby międzyplonu każdym z badanych sposobów, a szczególnie po zastosowaniu uproszczeń w uprawie i zrezygnowaniu z uprawy roli sprzyjało nieznacznemu wzrostowi wartości pH. Zróżnicowane nawożenie azotem nie wpłynęło na odczyn gleby.

Tabela 26. Odczyn gleby (wartość pH w 1M KCl) w okresie zbioru jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| warstwa 5–10 cm | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 5,7 | 5,8 | 5,8 | 5,8 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 6,2 | 6,0 | 5,8 | 6,0 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 6,1 | 6,1 | 6,1 | 6,1 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 6,2 | 6,1 | 6,1 | 6,1 |
| Średnio | 6,1 | 6,0 | 6,0 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – r.n. $NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – r.n. $NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |
| warstwa 15–20 cm | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 5,8 | 5,8 | 5,7 | 5,8 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 5,9 | 6,1 | 6,0 | 6,0 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 6,1 | 6,0 | 6,0 | 6,0 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 6,1 | 6,0 | 5,9 | 6,0 |
| Średnio | 6,0 | 6,0 | 5,9 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – r.n. $NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – r.n. $NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |




Rys. 3. Zawartość azotu ogólnego[g N·kg$^{-1}$] w glebie w fazie krzewienia jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

Zastosowane systemy uprawy wpłynęły na zmiany zawartości azotu ogólnego w glebie określonej na początku wegetacji jęczmienia jarego, zależność tę udowodniono statystycznie jednak tylko w warstwie 10–20 cm (rys. 3). Po zastosowaniu uprawy tradycyjnej i przyoraniu międzyplonu koncentracja N wzrosła o 12,6% w stosunku do obserwowanej na poletkach kontrolnych. Z kolei, jeśli zastosowano uproszczenia w uprawie lub zaniechano

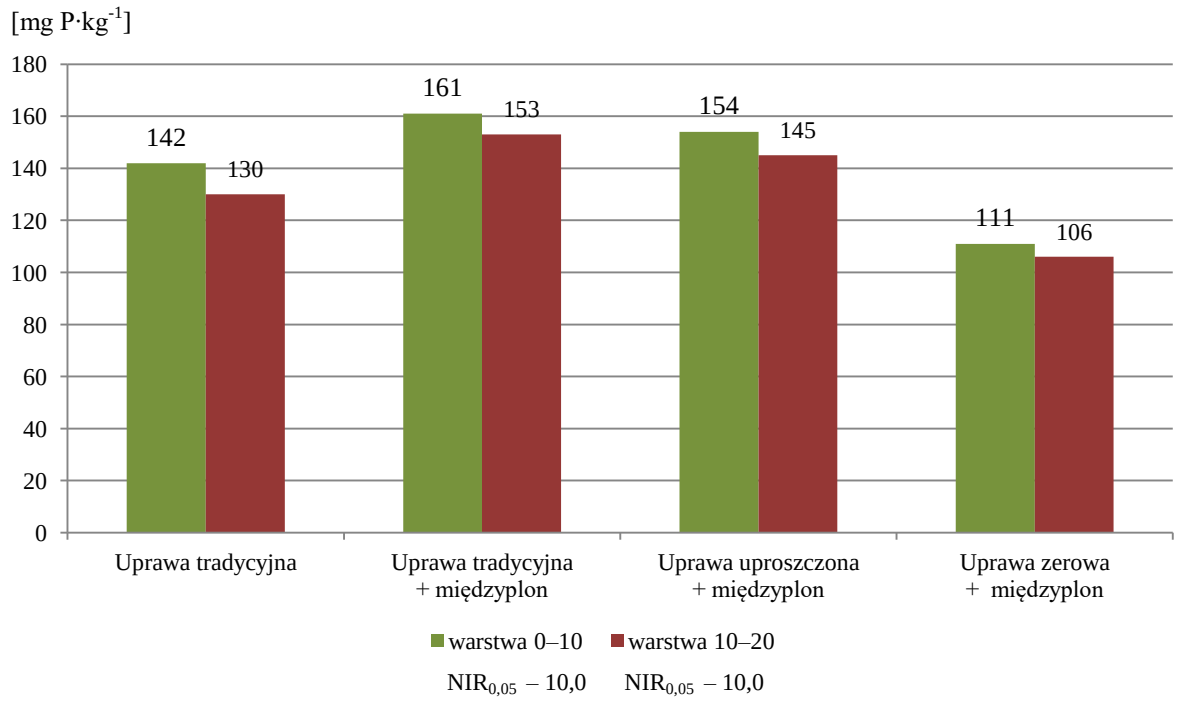
uprawy roli, to zawartość azotu zwiększyła się odpowiednio o 10,3 i 13,8%. Podobny kierunek zmian zauważono w warstwie 0–10 cm, jednak nie potwierdzono tego statystycznie.

W okresie dojrzałości pełnej jęczmienia jarego zróżnicowane sposoby uprawy roli oraz nawożenie azotem nie miały istotnego wpływu na koncentrację azotu ogólnego w glebie (tab. 27). W obu badanych warstwach można jednak zauważyć, że wprowadzenie do gleby międzyplonu spowodowało niewielki wzrost zawartości $N_{org}$: w warstwie płytszej najskuteczniej jeśli gorczycę wymieszano z glebą za pomocą kultywatora, natomiast w warstwie głębszej jeśli ją przyorano. Intensyfikacja nawożenia azotem na ogół skutkowała nieznacznym zmniejszeniem koncentracji azotu w glebie.

Tabela 27. Zawartość azotu ogólnego [g $N \cdot kg^{-1}$] w glebie w terminie zbioru jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg $N \cdot ha^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| warstwa 5–10 cm | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 0,92 | 0,86 | 0,95 | 0,91 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 1,00 | 1,01 | 1,01 | 1,01 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 1,07 | 1,03 | 1,01 | 1,04 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 1,02 | 0,99 | 0,97 | 0,99 |
| Średnio | 1,00 | 0,97 | 0,99 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – r.n. $NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – r.n. $NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |
| warstwa 15–20 cm | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 0,87 | 0,82 | 0,92 | 0,87 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 1,02 | 1,04 | 0,97 | 1,01 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 0,96 | 0,99 | 0,94 | 0,97 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 0,98 | 0,96 | 0,89 | 0,94 |
| Średnio | 0,96 | 0,95 | 0,93 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – r.n. $NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – r.n. $NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |

Zastosowane systemy uprawy miały istotny wpływ na zawartość fosforu przyswajalnego w glebie w terminie krzewienia jęczmienia jarego w obu badanych warstwach (rys. 4). Do istotnego wzrostu koncentracji P w glebie przyczyniło się zagospodarowanie międzyplonu za pomocą pługa (B) lub kultywatora (C), natomiast po zastosowaniu siewu bezpośredniego w mulcz z gorczycy (D) stwierdzono istotnie niższą zasobność fosforu w glebie, w porównaniu do oznaczonej w systemie uprawy konwencjonalnej (A).



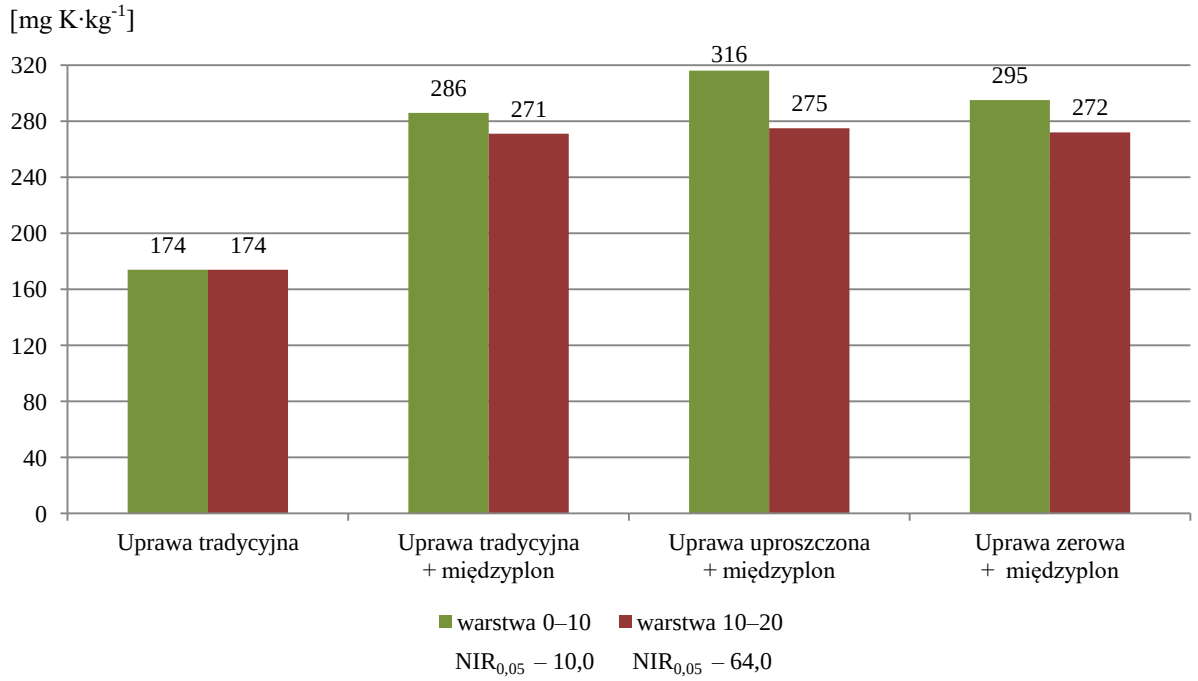

Rys.4. Zawartość fosforu przyswajalnego [mg P·kg$^{-1}$] w glebie w fazie krzewienia jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

W okresie dojrzałości pełnej jęczmienia jarego zawartość przyswajalnych form fosforu w glebie istotnie zależała od sposobu uprawy roli i obecność międzyplonu (tab. 28).

Tabela 28. Zawartość fosforu przyswajalnego [mg P·kg$^{-1}$] w glebie w terminie zbioru jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| warstwa 5–10 cm | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 139 | 137 | 138 | 138 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 166 | 164 | 159 | 163 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 164 | 168 | 166 | 166 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 156 | 157 | 151 | 155 |
| Średnio | 156 | 156 | 153 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 7,0 $NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – r.n. $NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |
| warstwa 15–20 cm | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 135 | 134 | 137 | 135 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 139 | 152 | 157 | 149 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 172 | 164 | 172 | 169 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 154 | 161 | 157 | 157 |
| Średnio | 150 | 153 | 156 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 8,0 $NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – r.n. $NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |

W obu badanych warstwach największą koncentrację fosforu zanotowano po wprowadzeniu do gleby gorczycy za pomocą kultywatora. W porównaniu do obserwowanej na poletkach uprawianych tradycyjnie była ona istotnie większa: w warstwie 0–10 cm o 20,3%, a w warstwie 10–20 cm o 25,2%. Również przyoranie międzyplonu za pomocą pługa oraz wykonanie siewu bezpośredniego w mulcz z gorczycy wpłynęło na istotny wzrost zawartości P w glebie. W warstwie 10-20 cm w niewielkim stopniu na zawartość fosforu w glebie, wpływała intensyfikacja nawożenia azotem.




Rys. 5. Zawartość potasu przyswajalnego [mg K·kg$^{-1}$] w glebie w fazie krzewienia jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

Wiosną, w okresie krzewienia jęczmienia jarego, polowe zagospodarowanie międzyplonu za pomocą zróżnicowanych sposobów uprawy istotnie modyfikowało zawartość potasu przyswajalnego w glebie (rys. 5). W obu badanych warstwach największą koncentrację K stwierdzono po wymieszaniu międzyplonu z glebą za pomocą kultywatora. Zastosowanie tego wariantu uprawy, ale również uprawy tradycyjnej z przyoranym międzyplonem oraz siewu bezpośredniego jęczmienia w mulcz z gorczycy przyczyniło się do istotnego wzrostu koncentracji fosforu w warstwie 0–10 cm odpowiednio o 67,3; 84,5 i 72,5%, a w warstwie 10–20 cm o 55,7; 58,0 i 56,3%, w porównaniu do zanotowanej na obiekcie kontrolnym.

Również w okresie zbioru jęczmienia jarego istotnym zmianom podlegała zawartość potasu w glebie i była zależała zarówno od systemu uprawy, nawożenia azotem jak i współdziałania badanych czynników (tab. 29). W obu warstwach gleby obecność w agrotechnice jęczmienia międzyplonu ścierniskowego przyczyniła się do wyraźnego wzrostu koncentracji potasu. Zaobserwowano również, że uproszczenie uprawy roli, a szczególnie zastąpienie pługa kultywatorem dodatkowo sprzyja zwiększeniu zasobności gleby w potas przyswajalny. Intensyfikacja nawożenia azotem przyczyniła się natomiast

do zmniejszenia zawartości K zarówno w warstwie płytszej, jak i w głębszej. Istotną redukcję koncentracji potasu zanotowano jednak tylko po zwiększeniu dawki azotu z 40 do 80 kg N·ha$^{-1}$.

Jeśli wprowadzono do gleby międzyplon za pomocą pługa lub kultywatora, to stwierdzono istotnie większą zawartość potasu w glebie po aplikacji 40 kg N·ha$^{-1}$, niż pozostałych, wyższych dawek azotu, natomiast jeśli zrezygnowano z nawożenia organicznego lub międzyplon pozostawiono na zimę w postaci mulczu, to nawożenie azotem nie różnicowało koncentracji potasu w glebie. Zależności takie zanotowano zarówno w płytszej jak i głębszej z badanych warstw.

Tabela 29. Zawartość potasu przyswajalnego [mg K·kg$^{-1}$] w glebie w terminie zbioru jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| warstwa 5–10 cm | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 183 | 181 | 169 | 178 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 303 | 274 | 262 | 280 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 373 | 322 | 343 | 346 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 325 | 325 | 310 | 320 |
| Średnio | 296 | 276 | 271 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 16,0 $NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – 10,0 $NIR_{0,05}$ dla interakcji – 22,0 | | | | |
| warstwa 15–20 cm | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 182 | 182 | 176 | 180 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 296 | 273 | 255 | 275 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 357 | 308 | 324 | 329 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 305 | 294 | 289 | 295 |
| Średnio | 285 | 264 | 261 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 20,0 $NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – 7,0 $NIR_{0,05}$ dla interakcji – 23,0 | | | | |

### 5.3. Zachwaszczenie łanu

Zastosowane sposoby uprawy roli wyraźnie kształtowały stopień zachwaszczenia określony w łanie jęczmienia jarego w terminie jego krzewienia (tab. 30). Najmniej niepożądanych gatunków(38,7 szt.·m$^{-2}$) stwierdzono po zrezygnowaniu z uprawy roli. Było ich istotnie, aż o 44,9%, mniej niż w warunkach uprawy tradycyjnej. Również zastosowanie uproszczeń w uprawie przyczyniło się do istotnego zmniejszenia liczby chwastów w łanie jęczmienia, odpowiednio o 26,1%.

Tabela 30. Liczba chwastów [szt.·m$^{-2}$] w fazie krzewienia jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | | | |
|---|---|---|---|
| A. uprawa tradycyjna | B. uprawa tradycyjna + międzyplon | C. uprawa uproszczona + międzyplon | D. uprawa zerowa + międzyplon |
| 70,2 | 70,7 | 51,9 | 38,7 |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 10,1 | | | |

W terminie zbioru jęczmienia jarego zróżnicowane systemy uprawy roli wpłynęły istotnie na liczbę chwastów w łanie jęczmienia jarego (tab. 31). Największe zachwaszczenie obserwowano po zastosowaniu siewu bezpośredniego. W porównaniu z systemem tradycyjnym, uprawa zerowa przyczyniła się do istotnego ponad 2,5-krotnego wzrostu liczby chwastów. Zaobserwowano również istotny wzrost zachwaszczenia o 81,2% po zagospodarowaniu międzyplonu za pomocą kultywatora, w porównaniu do zanotowanego na poletkach uprawianych tradycyjnie. Tym samym potwierdzono powszechną opinię o negatywnym wpływie uproszczeń uprawy roli na zachwaszczenie łanu.

Intensyfikacja nawożenia azotem sprzyjała systematycznemu, istotnemu zmniejszeniu stopnia zachwaszczenia. Jeśli najniższą z zastosowanych dawek N zwiększono dwu- i trzy krotnie wówczas liczba niepożądanych roślin w łanie jęczmienia jarego zmniejszyła się odpowiednio o 18,1 i 27,5%.

Tabela 31. Liczba chwastów [szt.·m$^{-2}$] w terminie zbioru jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| A. Uprawa tradycyjna | 11,2 | 9,4 | 9,6 | 10,1 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 17,8 | 15,1 | 13,0 | 15,3 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 20,3 | 17,4 | 17,2 | 18,3 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 32,3 | 24,9 | 19,4 | 25,6 |
| Średnio | 20,4 | 16,7 | 14,8 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 6,5<br>$NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – 3,2<br>$NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |

Sucha masa chwastów oznaczona w terminie zbioru jęczmienia jarego była istotnie zależna od sposobu uprawy roli (tab. 32). W porównaniu do tradycyjnej uprawy, zastosowanie uproszczeń w uprawie przyczyniło się do zwiększenia masy chwastów ponad 3-krotnie, a siewu bezpośredniego ponad 5-krotnie.

Analiza statystyczna nie wykazała istotnego zróżnicowana suchej masy chwastów pod wpływem wzrastającego nawożenia azotem i współdziałania obu czynników doświadczenia. Wykazano jednak pewną tendencję, jeśli stosowano uprawę tradycyjną lub wprowadzono do gleby międzyplon za pomocą pługa, to intensyfikacja nawożenia azotem sprzyjała nieznacznej redukcji masy chwastów, natomiast w warunkach uprawy uproszczonej i zerowej największą masę chwastów obserwowano po nawożeniu jęczmienia jarego odpowiednio dawką 120 i 80 kg N·ha$^{-1}$.

Tabela 32. Sucha masa chwastów [g·m$^{-2}$] w terminie zbioru jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| A. Uprawa tradycyjna | 8,0 | 6,3 | 6,9 | 7,0 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 10,9 | 10,2 | 8,1 | 9,7 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 19,1 | 19,2 | 26,9 | 21,7 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 36,7 | 41,0 | 31,2 | 36,3 |
| Średnio | 18,7 | 19,1 | 18,3 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 11,3<br>$NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – r.n.<br>$NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |

### 5.4. Rozwój i plonowanie jęczmienia jarego

Obsada roślin jęczmienia jarego określana w fazie 3-4 liści była istotnie zróżnicowana przez sposoby uprawy roli (tab. 33). Największe zagęszczenie roślin obserwowano w uprawie tradycyjnej. Po wprowadzeniu do gleby międzyplonu za pomocą kultywatora (C) oraz po zaniechaniu uprawy roli (D) liczba roślin zmniejszyła się istotnie odpowiednio o 9,8 i 25,6%, w porównaniu do zanotowanej na poletkach uprawianych konwencjonalnie (A). Podobny kierunek zmian stwierdzono po przyoraniu międzyplonu, zależności tych nie udowodniono jednak statystycznie.

Tabela 33. Obsada roślin jęczmienia jarego [szt.·m$^{-2}$] w fazie 3–4 liści (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | | | |
|---|---|---|---|
| A.<br>uprawa tradycyjna | B.<br>uprawa tradycyjna<br>+ międzyplon | C.<br>uprawa uproszczona<br>+ międzyplon | D.<br>uprawa zerowa<br>+ międzyplon |
| 317 | 308 | 286 | 236 |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 11,0 | | | |

Analiza wariancji wykazała istotną zależność indeksu powierzchni liści (LAI) od badanych czynników doświadczenia określonego w fazie kwitnienia jęczmienia jarego (tab. 34). Po zastosowaniu siewu bezpośredniego w mulcz z gorczycy indeks LAI zmniejszył się istotnie, o 27,1%, w porównaniu do wartości zanotowanej w uprawie tradycyjnej. Również polowe zagospodarowanie międzyplonu i wprowadzenie uproszczeń w uprawie przyczyniło się do zmniejszenia powierzchni asymilacyjnej liści, jednak nie zostało to udowodnione statystycznie.

Intensyfikacja nawożenia azotem istotnie różnicowała indeks pokrycia liściowego. Zaobserwowano, że zastosowanie wyższych dawek azotu przyczyniło się do zwiększenia powierzchni liści, jeśli dawkę N zwiększono z 40 do 80 lub 120 kg N·ha$^{-1}$ wówczas wskaźnik LAI wzrósł odpowiednio o 21,6 i 27,9%.

Tabela 34. Indeks powierzchni liści (LAI) w fazie kwitnienia jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| A. Uprawa tradycyjna | 1,22 | 1,43 | 1,67 | 1,44 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 1,18 | 1,53 | 1,41 | 1,37 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 1,15 | 1,37 | 1,39 | 1,30 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 0,87 | 1,07 | 1,19 | 1,05 |
| Średnio | 1,11 | 1,35 | 1,42 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 0,20<br>$NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – 0,10<br>$NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |

Zastosowane systemy uprawy roli miały istotny wpływ na kształtowanie wartości indeksu zazielenienia liści (tab. 35). Najwyższą wartość wskaźnika zawartości chlorofilu określonego na liściu flagowym jęczmienia jarego obserwowano jeśli międzyplon zagospodarowano za pomocą pługa. Był on istotnie, o 11,7% większy, w porównaniu do zanotowanego na obiekcie kontrolnym. Również zastosowanie uproszczeń w uprawie oraz siewu bezpośredniego przyczyniło się do istotnego zwiększenia indeksu zawartości chlorofilu odpowiednio o 10,0 i 7,9%.

Zróżnicowany poziom nawożenia azotem nie wpłynął istotnie na badaną cechę. Zaobserwowano jednak, że wskaźnik zawartości chlorofilu w liściach był nieznacznie większy, jeśli nawożenie jęczmienia jarego zwiększono do 120 kg N·ha$^{-1}$.

Tabela 35. Indeks zawartości chlorofilu w liściach w fazie kwitnienia jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| A. Uprawa tradycyjna | 24,2 | 23,7 | 23,8 | 23,9 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 26,7 | 26,3 | 27,3 | 26,7 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 26,0 | 25,9 | 26,9 | 26,3 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 25,3 | 25,9 | 26,0 | 25,8 |
| Średnio | 25,5 | 25,5 | 26,0 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy –1,3<br>$NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – r.n.<br>$NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |

Krzewienie produktywne jęczmienia jarego było istotnie kształtowane przez sposoby uprawy roli i nawożenie azotem (tab. 36). Najbardziej rozkrzewiony jęczmień obserwowano po wprowadzeniu międzyplonu do gleby za pomocą kultywatora. Rozkrzewienie roślin było wówczas istotnie, o 10,6% większe, w porównaniu ze stwierdzonym w tradycyjnym systemie uprawy. Zależność ta była konsekwencją mniejszej liczby roślin występujących w uprawach bezorkowych niż po wykonaniu orki.

Intensyfikacja nawożenia azotem sprzyjała tworzeniu przez jęczmień zwiększonej liczby źdźbeł. Po zastosowaniu 80 i 120 kg N·ha$^{-1}$ krzewienie produktywne zwiększyło się istotnie odpowiednio o 6,6 i 10,2% w stosunku do stwierdzonego w warunkach nawożenia jęczmienia dawką 40 kg N·ha$^{-1}$.

Tabela 36. Krzewienie produktywne jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| A. Uprawa tradycyjna | 2,53 | 2,69 | 2,69 | 2,64 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 2,54 | 2,57 | 2,65 | 2,59 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 2,74 | 2,88 | 3,12 | 2,92 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 2,41 | 2,75 | 2,80 | 2,65 |
| Średnio | 2,56 | 2,73 | 2,82 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 0,16<br>$NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – 0,14<br>$NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |

Zastosowane sposoby uprawy roli oraz zróżnicowane nawożenie azotem istotnie modyfikowały liczbę kłosów na 1 m$^2$ (tab. 37). Istotnie mniejszą ich obsadę (o 13,2%)

stwierdzono po wprowadzeniu uproszczeń w uprawie roli oraz (o 21,9%) po zaniechaniu uprawy roli, niż w warunkach uprawy tradycyjnej.

Wzrastające dawki nawożenia azotem sprzyjały systematycznemu, istotnemu zwiększaniu liczby kłosów na 1 $m^2$. Jeśli najniższą z zastosowanych dawek N zwiększono dwu i trzy krotnie, wówczas obsada kłosów zwiększyła się odpowiednio o 16,0 i 26,0%.

Tabela 37. Liczba kłosów [szt.·$m^{-2}$] jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·$ha^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| A. Uprawa tradycyjna | 734 | 759 | 832 | 775 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 668 | 730 | 821 | 739 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 576 | 690 | 753 | 673 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 472 | 662 | 680 | 605 |
| Średnio | 612 | 710 | 771 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 51,0<br>$NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – 43,0<br>$NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |

Liczba roślin jęczmienia jarego na 1 $m^2$ była istotnie modyfikowana przez sposoby uprawy roli i nawożenie azotem (tab. 38). Rezygnując z orki na rzecz kultywatorowania stwierdzono istotne zmniejszenie obsady roślin o 21,2%, w odniesieniu do obserwowanej w uprawie tradycyjnej. Również zastosowanie siewu bezpośredniego w mulcz z gorczycy przyczyniło się do istotnego zmniejszenia liczby roślin o 22,9%, w porównaniu do określonej w warunkach uprawy konwencjonalnej. Analiza wariancji wykazała, że podwojenie nawożenia z 40 do 80 kg N·$ha^{-1}$ oraz potrojenie do 120 kg N·$ha^{-1}$ przyczyniło się do istotnego wzrostu liczby roślin na 1 $m^2$ odpowiednio o 8,6 i 15,6%.

Tabela 38. Liczba roślin [szt.·$m^{-2}$] jęczmienia jarego ( średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·$ha^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| A. Uprawa tradycyjna | 294 | 286 | 311 | 297 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 269 | 288 | 317 | 291 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 214 | 242 | 248 | 234 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 197 | 240 | 251 | 229 |
| Średnio | 243 | 264 | 281 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 27,0<br>$NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – 19,0<br>$NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |

Zarówno zastosowane systemy uprawy, jaki i mineralne nawożenie azotem istotnie modyfikowało wysokość jęczmienia jarego (tab. 39). Najniższe rośliny (39,3 cm) obserwowano po zastosowaniu siewu bezpośredniego. W porównaniu z systemem tradycyjnym, uprawa zerowa przyczyniła się do istotnego zmniejszenia wysokości roślin – średnio o 14,7 cm (27,2%). Istotne niższe rośliny, średnio o 3,5 cm (6,5%), w porównaniu do stwierdzonych w warunkach uprawy konwencjonalnej, zaobserwowano również po zagospodarowaniu międzyplonu za pomocą kultywatora.

Intensyfikacja nawożenia azotem sprzyjała systematycznemu, istotnemu zwiększaniu wysokości jęczmienia jarego. Na poletkach, na których stosowano azot w dawkach 80 i 120 kg N·ha$^{-1}$ obserwowano istotnie wyższe rośliny, niż po aplikacji 40 kg N·ha$^{-1}$ odpowiednio o 1,6 i 2,8 cm (3,4 i 5,9%).

Tabela 39. Wysokość roślin [cm] jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| A. Uprawa tradycyjna | 52,5 | 53,6 | 55,8 | 54,0 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 51,2 | 52,6 | 53,5 | 52,4 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 49,4 | 50,7 | 51,5 | 50,5 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 37,5 | 39,7 | 40,6 | 39,3 |
| Średnio | 47,6 | 49,2 | 50,4 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 2,0<br>$NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – 1,6<br>$NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |

Również zmiany długości źdźbła bocznego jęczmienia jarego były statystycznie istotne pod wpływem modyfikacji uprawy roli i nawożenia azotem (tab. 40).

Tabela 40. Długość źdźbła bocznego [cm] jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| A. Uprawa tradycyjna | 50,4 | 51,7 | 53,7 | 51,9 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 49,1 | 50,9 | 51,8 | 50,6 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 47,5 | 48,9 | 49,6 | 48,7 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 37,8 | 38,2 | 39,8 | 37,9 |
| Średnio | 45,7 | 47,4 | 48,7 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 1,8<br>$NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – 1,6<br>$NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |

Wraz ze stopniem upraszczania uprawy roli, zmniejszała się długość źdźbła bocznego. Na poletkach, na których wykonano siew bezpośredni jęczmienia lub wprowadzono międzyplon do gleby za pomocą kultywatora stwierdzono istotnie krótsze źdźbła boczne, odpowiednio o 27,0 i 6,2%, niż w warunkach uprawy tradycyjnej.

Zwiększanie nawożenia azotem sprzyjało wydłużaniu źdźbeł bocznych jęczmienia. Zastosowanie dawki 80 i 120 kg $N \cdot ha^{-1}$ przyczyniło się do istotnego zwiększenia długości źdźbeł, odpowiednio o 3,7 i 6,6%, w porównaniu do stwierdzonych po aplikacji 40 kg $N \cdot ha^{-1}$.

Sposób uprawy jęczmienia jarego istotnie kształtował długość kłosa głównego (tab. 41). Wprowadzenie międzyplonu do gleby za pomocą kultywatora wpłynęło na istotne wydłużenie kłosa o 4,0%, w porównaniu do długości zanotowanej w uprawie płużnej, w której zrezygnowano z nawożenia organicznego. Z kolei, jeśli jęczmień wysiano bezpośrednio w mulcz gorczycy, wówczas obserwowano istotnie krótsze kłosy główne (o 6,0%), niż w warunkach uprawy tradycyjnej.

Długość kłosa głównego nie była istotnie zależna od zróżnicowanego poziomu nawożenia azotem. Zaobserwowano jednak tendencję, że wraz ze wzrostem dawki N, jęczmień jary wykształcał dłuższe nieco kłosy główne.

Tabela 41. Długość kłosa głównego [cm] ( średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg $N \cdot ha^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| A. Uprawa tradycyjna | 4,9 | 5,0 | 5,2 | 5,0 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 5,1 | 5,0 | 5,1 | 5,1 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 5,1 | 5,0 | 5,4 | 5,2 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 4,6 | 4,8 | 4,7 | 4,7 |
| Średnio | 4,9 | 5,0 | 5,1 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 0,2<br>$NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – r.n.<br>$NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n | | | | |

Analiza statystyczna wykazała również istotne zróżnicowanie długości kłosa bocznego w zależności od systemu uprawy (tab. 42). W porównaniu z uprawą tradycyjną, zastosowanie siewu bezpośredniego jęczmienia jarego przyczyniło się do istotnego zmniejszenia długości kłosa bocznego (o 13,2%). Po wymieszaniu międzyplonu z glebą za pomocą kultywatora zanotowano odwrotny, lecz nieudowodniony statystycznie kierunek zmian.

Stosując zróżnicowane dawki nawożenia azotem nie wykazano różnic w długości kłosa bocznego.

Tabela 42. Długość kłosa bocznego [cm] jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| A. Uprawa tradycyjna | 3,8 | 3,8 | 3,8 | 3,8 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 3,7 | 3,8 | 3,3 | 3,6 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 3,8 | 4,1 | 4,1 | 4,0 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 3,2 | 3,3 | 3,3 | 3,3 |
| Średnio | 3,6 | 3,7 | 3,6 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 0,3<br>$NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – r.n.<br>$NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |

Liczba ziarniaków w kłosie była istotnie zależna od systemu uprawy (tab. 43). Jęczmień jary wysiany bezpośrednio w mulcz z gorczycy wytworzył istotnie mniej ziaren w kłosie (o 15,4%), niż uprawiany tradycyjnie. Natomiast jeśli zastosowano uproszczenia w uprawie, zagospodarowując międzyplon za pomocą kultywatora, wówczas liczba ziarniaków wzrosła o 3,7%, w porównaniu z odnotowaną po wykonaniu uprawy konwencjonalnej, nie udowodniono tego jednak statystycznie.

Nawożenie azotem nie wpłynęło istotnie na uziarnienie kłosa. Można jednak zauważyć, że podwojenie nawożenia z 40 do 80 kg N·ha$^{-1}$ lub potrojenie do 120 kg N·ha$^{-1}$ przyczyniło się do wzrostu liczby ziaren w kłosie o 4,7%.

Tabela 43. Liczba ziaren w kłosie [szt.] jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| A. Uprawa tradycyjna | 13,0 | 14,0 | 13,9 | 13,6 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 12,9 | 13,3 | 13,3 | 13,2 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 13,9 | 14,4 | 14,0 | 14,1 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 11,0 | 11,3 | 12,1 | 11,5 |
| Średnio | 12,7 | 13,3 | 13,3 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 1,2<br>$NIR_{0,05}$ dla nawożenia N –r.n.<br>$NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |

Również masa ziarna z kłosa była istotnie modyfikowana wyłącznie przez sposoby uprawy roli (tab. 44). Zaobserwowano, że zrezygnowanie z uprawy, w porównaniu z systemem konwencjonalnym, wpłynęło na istotne zmniejszenie masy ziarna z kłosa (o 21,9%). Największą masę ziarna z kłosa, czego nie udowodniono statystycznie, określono

po zastosowaniu uproszczeń w uprawie roli. Była ona nieznacznie, o 4,1% większa, w odniesieniu do zanotowanej w uprawie tradycyjnej.

Wraz z intensyfikacją nawożenia azotem obserwowano, statystycznie nieudowodnione, zwiększenie masy ziarna z kłosa. Jęczmień nawożony 80 i 120 kg N·ha$^{-1}$ wykształcił ziarniaki o masie większej odpowiednio o 4,5 i 6,0% niż po aplikacji 40 kg N·ha$^{-1}$.

Tabela 44. Masa ziarna z kłosa [g] jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| A. Uprawa tradycyjna | 0,70 | 0,75 | 0,74 | 0,73 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 0,69 | 0,72 | 0,73 | 0,71 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 0,75 | 0,76 | 0,77 | 0,76 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 0,54 | 0,56 | 0,61 | 0,57 |
| Średnio | 0,67 | 0,70 | 0,71 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 0,06<br>$NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – r.n.<br>$NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |

Zastosowane systemy uprawy istotnie modyfikowały masę tysiąca ziaren (MTZ) jęczmienia jarego (tab. 45). Zaniechanie uprawy roli przyczyniło się do istotnego zmniejszenia MTZ o 8,8%, w porównaniu do określonej w warunkach uprawy konwencjonalnej. Wprowadzenie do gleby międzyplonu za pomocą pługa, a także rezygnacja z orki na rzecz kultywatorowania sprzyjało zwiększeniu masy 1000 ziaren, odpowiednio o 1,0 i 1,1%, w odniesieniu do stwierdzonej w warunkach uprawy tradycyjnej.

Tabela 45. Masa tysiąca ziaren [g] jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| A. Uprawa tradycyjna | 53,3 | 53,1 | 53,5 | 53,3 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 53,0 | 54,0 | 54,3 | 53,8 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 54,0 | 52,8 | 55,0 | 53,9 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 48,1 | 48,8 | 48,9 | 48,6 |
| Średnio | 52,1 | 52,2 | 52,9 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 1,0<br>$NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – r.n<br>$NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |

Zróżnicowany poziom nawożenia azotem nie wpłynął istotnie na badaną cechę. Zaobserwowano jednak, że MTZ była nieznacznie większa, jeśli nawożenie jęczmienia zwiększono z 40 do 120 kg N·ha$^{-1}$.

Masa tysiąca ziaren z kłosa głównego była istotnie kształtowana przez sposoby uprawy roli (tab. 46). Największą MTZ zanotowano na poletkach, na których międzyplon wprowadzono do gleby za pomocą pługa. Wówczas masa 1000 ziaren była istotnie o 2,2% większa, w porównaniu ze stwierdzoną na poletkach uprawianych tradycyjnie. Istotnie mniejszą masę tysiąca ziaren z kłosa głównego o 7,0% oznaczono po zaniechaniu uprawy roli, niż w warunkach uprawy konwencjonalnej.

Analiza statystyczna nie wykazała istotnego zróżnicowania MTZ pod wpływem wzrastających dawek azotu. Zauważono jednak, że najbardziej dorodne ziarna w kłosie głównym wykształcił jęczmień nawożony dawką 80 kg N·ha$^{-1}$.

Tabela 46. Masa tysiąca ziaren z kłosa głównego [g] jęczmienia jarego
(średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| A. Uprawa tradycyjna | 54,8 | 56,6 | 55,4 | 55,6 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 55,3 | 57,8 | 57,2 | 56,8 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 56,4 | 54,9 | 55,4 | 55,5 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 51,2 | 51,5 | 52,2 | 51,7 |
| Średnio | 54,4 | 55,2 | 55,0 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 1,2<br>$NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – r.n.<br>$NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n | | | | |

Badane sposoby uprawy roli miały istotny wpływ na zmiany masy tysiąca ziaren z kłosa bocznego (tab. 47). W porównaniu do uprawy tradycyjnej, zaniechanie uprawy i siew bezpośredni jęczmienia jarego wpłynęło na istotne zmniejszenie (o 8,8%) MTZ w kłosie bocznym. Natomiast wprowadzenie międzyplonu do gleby za pomocą pługa sprzyjało zwiększeniu masy 1000 ziaren w kłosie bocznym o 2,6%, nie udowodniono tego jednak statystycznie.

Zróżnicowany poziom nawożenia azotem nie wpłynął istotnie na badaną cechę. Po zastosowaniu 80 kg N·ha$^{-1}$ masa tysiąca ziaren z kłosów bocznych była nieznacznie większa, w stosunku do stwierdzonej po zastosowaniu najmniejszej dawki azotu (40 kg N·ha$^{-1}$).

Tabela 47. Masa tysiąca ziaren z kłosa bocznego [g] jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| A. Uprawa tradycyjna | 52,6 | 54,6 | 53,0 | 53,4 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 53,8 | 56,0 | 54,7 | 54,8 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 53,6 | 53,4 | 53,7 | 53,5 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 47,9 | 49,5 | 48,8 | 48,7 |
| Średnio | 52,0 | 53,4 | 52,5 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 1,5<br>$NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – r.n<br>$NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |

Udział poszczególnych frakcji ziarna jęczmienia jarego w plonie głównym był istotnie modyfikowany przez sposoby uprawy roli (tab. 48). Wprowadzenie międzyplonu do gleby za pomocą kultywatora, jak również zaniechanie uprawy i wykonanie siewu bezpośredniego w mulcz, przyczyniło się do istotnego zwiększenia udziału najdorodniejszych ziarniaków odpowiednio o 1,7 pkt.% i 1,5 pkt.%, w stosunku do określonego w tradycyjnej uprawie jęczmienia. Odwrotny kierunek zmian obserwowano natomiast we frakcji 3,0–3,3 mm. We frakcji 2,8–3,0 mm najmniejszy udział stanowiły ziarniaki uzyskane z zerowego systemu uprawy, był on istotnie mniejszy o 2,5 pkt.%, w odniesieniu do zanotowanego z konwencjonalnej uprawy. Z kolei udział ziarna w plonie głównym o średnicy 2,5–2,8 mm i 2,0–2,5 mm był istotnie większy po wykonaniu siewu bezpośredniego, odpowiednio o 1,5 pkt.% i 1,2 pkt.%, w porównaniu ze stwierdzonym w warunkach uprawy tradycyjnej. Również we frakcji 2,0–2,5 mm istotnie większy udział (o 0,6 pkt.%) stanowiły ziarniaki uzyskane z poletek uprawianych kultywatorem, niż pługiem. Po zastosowaniu siewu bezpośredniego jęczmienia w mulcz obserwowano zwiększenie udziału pośladu o 0,1 pkt.%, w porównaniu do ziarna otrzymanego z pozostałych systemów uprawy.

Nawożenie azotem w znaczący sposób wpływało na dorodność ziarna ale tylko w wybranych frakcjach. Zwiększając dawkę z 40 do 120 kg N·ha$^{-1}$ odnotowano wzrost udziału frakcji 2,8–3,0 mm o 1,4 pkt.%. Z kolei we frakcji 2,5–2,8 mm stwierdzono, że zwiększenie dawki do 80 kg N·ha$^{-1}$ wpłynęło na istotne zmniejszenie (o 1,0 pkt.%) udziału ziarniaków w plonie głównym jęczmienia.

Tabela 48. Dorodność ziarna jęczmienia jarego (% udział frakcji w plonie ogólnym) (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| Frakcja > 3,2 mm | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 17,6 | 18,3 | 16,9 | 17,6 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 18,1 | 19,3 | 17,0 | 18,2 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 20,4 | 18,9 | 18,7 | 19,3 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 18,5 | 19,5 | 19,4 | 19,1 |
| Średnio | 18,6 | 19,0 | 18,0 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 1,3 $NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – r.n. $NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |
| Frakcja 3,0–3,2 mm | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 12,2 | 13,4 | 12,6 | 12,8 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 11,7 | 12,9 | 13,1 | 12,6 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 11,8 | 11,7 | 10,8 | 11,4 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 11,6 | 10,7 | 9,9 | 10,7 |
| Średnio | 11,8 | 12,2 | 11,6 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 0,8 $NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – r.n. $NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |
| Frakcja 2,8–3,0 mm | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 11,4 | 11,6 | 13,8 | 12,3 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 11,3 | 10,4 | 13,1 | 11,6 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 10,0 | 11,5 | 11,6 | 11,0 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 10,3 | 9,3 | 9,9 | 9,8 |
| Średnio | 10,7 | 10,7 | 12,1 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 1,4 $NIR_{0,05}$ dla nawożenia N –1,1 $NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |
| Frakcja 2,5–2,8 mm | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 6,3 | 4,6 | 4,9 | 5,3 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 6,6 | 5,0 | 4,9 | 5,5 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 5,7 | 5,0 | 5,9 | 5,5 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 6,7 | 6,6 | 7,2 | 6,8 |
| Średnio | 6,3 | 5,3 | 5,7 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 0,9 $NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – 0,8 $NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |
| Frakcja 2,0–2,5mm | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 2,2 | 1,8 | 1,7 | 1,9 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 2,1 | 2,0 | 1,7 | 1,9 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 2,0 | 2,8 | 2,6 | 2,5 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 2,6 | 3,5 | 3,3 | 3,1 |
| Średnio | 2,2 | 2,5 | 2,3 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 0,4 $NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – r.n. $NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |
| Frakcja < 2,0 mm | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 0,2 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,3 |
| Średnio | 0,2 | 0,2 | 0,2 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy –0,1 $NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – r.n. $NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n | | | | |

Wzrost, rozwój i plonowanie jęczmienia jarego w znacznym stopniu zależały od warunków atmosferycznych. Najgorzej jęczmień jary plonował w pierwszym roku badań (2010), który okazał się najmniej korzystny pod względem przebiegu pogody (tab. 49). Wyższe od średniej wieloletniej opady w marcu (o 36,1%) opóźniły siew. Wschody zboża pomimo podwyższonego uwilgotnienia gleby w kwietniu przebiegały prawidłowo, jednak obfite majowe opady (wyższe o 158,8% i temperaturze niższej o 1,3$^{o}$C od średnich z lat 1968-2010) spowodowały opóźnienie w regulacji zachwaszczenia i uniemożliwiły terminowe wykonanie zabiegów fungicydowych. Takie warunki były sprzyjające dla rozwoju agrofagów. Wyższa w porównaniu z wieloleciem temperatura oraz susza w czerwcu wpłynęły negatywnie na rozwój jęczmienia, szczególnie formowanie kłosa i wypełnienie ziarna.

Plon jęczmienia jarego w 2010 roku był istotnie zróżnicowany w zależności od sposobu uprawy i dawki nawożenia azotem. Najniższy plon ziarna (1,68 t·ha$^{-1}$) odnotowano po zastosowaniu siewu bezpośredniego w mulcz gorczycy i był on istotnie, ponad 2,5 krotnie niższy, w odniesieniu do stwierdzonego w uprawie tradycyjnej bez nawożenia organicznego. Również wymieszanie międzyplonu z glebą za pomocą pługa skutkowało niższym plonem ziarna (o 13,9%), w porównaniu z określonym w systemie uprawy konwencjonalnej, jednak tej różnicy nie udowodniono statycznie.

Intensyfikacja nawożenia azotem wpłynęła na systematyczny wzrost plonu ziarna jęczmienia. Zwiększając dawkę N z 40 do 80 i 120 kg N·ha$^{-1}$ stwierdzono istotnie wyższy plon ziarna, odpowiednio o 24,1 i 40,8%.

Tabela 49. Plon ziarna jęczmienia jarego [t·ha$^{-1}$] ( rok 2010)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| A. Uprawa tradycyjna | 3,75 | 4,62 | 4,99 | 4,45 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 3,13 | 3,84 | 4,53 | 3,83 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 3,61 | 4,39 | 5,04 | 4,35 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 1,28 | 1,74 | 2,01 | 1,68 |
| Średnio | 2,94 | 3,65 | 4,14 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 1,37<br>$NIR_{0,05}$ dla nawożenia N –0,66<br>$NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |

W drugim roku badań (2011) ciepła wiosna wpłynęła na szybkie ogrzanie gleby, co umożliwiło wczesne uprawki, terminowe zasiewy oraz dobre i wyrównane wschody (tab. 50). Panująca w kwietniu i maju susza przyczyniła się jednak do zahamowania wzrostu i rozwoju jęczmienia. Pomimo korzystnych warunków meteorologicznych w czerwcu, szkody powstałe we wczesnym okresie nie zostały w pełni zrekompensowane. Dodatkowo bardzo

duża suma opadów w lipcu niekorzystnie wpłynęła na dojrzewanie jęczmienia jarego, co w konsekwencji spowodowało redukcję plonu.

W drugim roku badań zróżnicowane systemy uprawy nie miały istotnego wpływu na plon jęczmienia jarego. Zauważono jednak, że wprowadzenie do gleby międzyplonu każdym z badanych sposobów, a szczególnie za pomocą kultywatora sprzyjało nieznacznemu wzrostowi plonowania jęczmienia. Zaobserwowano także, że zagospodarowanie międzyplonu w systemie uprawy uproszczonej (C) umożliwiło zredukowanie nawożenia azotem. Nieznacznie wyższy plon (5,40 t·ha$^{-1}$) uzyskano po wprowadzeniu do gleby międzyplonu tym sposobem uprawy i stosując 80 kg N·ha$^{-1}$, niż po przeprowadzeniu tradycyjnej uprawy roli, zrezygnowaniu z nawożenia organicznego jednocześnie nawożąc jęczmień dawką 120 kg N·ha$^{-1}$ (5,25 t·ha$^{-1}$). Zależności tych nie podparto jednak dowodami matematycznymi.

Analiza statystyczna wykazała jedynie, że podwojenie nawożenia z 40 do 80 kg N·ha$^{-1}$ oraz potrojenie do 120 kg N·ha$^{-1}$ przyczyniło się do istotnego wzrostu plonu odpowiednio o 17,2 i 39,1%.

Tabela 50. Plon ziarna jęczmienia jarego [t·ha$^{-1}$] ( rok 2011)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| A. Uprawa tradycyjna | 4,07 | 4,23 | 5,25 | 4,51 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 4,11 | 4,82 | 5,60 | 4,84 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 4,88 | 5,40 | 5,98 | 5,42 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 3,22 | 4,62 | 5,80 | 4,55 |
| Średnio | 4,07 | 4,77 | 5,66 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – r.n.<br>$NIR_{0,05}$ dla nawożenia N –0,62<br>$NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |

W trzecim roku badań przebieg pogody był najbardziej korzystny, co miało wpływ na uzyskanie najwyższych plonów jęczmienia jarego (tab. 51). Pomimo suszy występującej w marcu i kwietniu kiełkowanie i wschody badanej rośliny były zadowalające. Wiosenny niedobór wody został uzupełniony w maju i czerwcu, co sprzyjało intensywnemu rozwojowi jęczmienia. W lipcu obfite deszcze, przy jednocześnie wysokiej temperaturze powietrza, zapewniły dobre warunki do formowania kłosa i końcowego etapu rozwoju rośliny.

Zarówno zastosowane sposoby uprawy roli, jak i mineralne nawożenia azotem istotnie modyfikowało plon jęczmienia jarego. Najwyższy plon stwierdzono na poletkach uprawianych konwencjonalnie (8,19 t·ha$^{-1}$), natomiast najniższy (4,41 t·ha$^{-1}$) po zastosowaniu siewu bezpośredniego. W porównaniu z systemem tradycyjnym, uprawa zerowa przyczyniła się do istotnego zmniejszenia plonu ziarna jęczmienia jarego, średnio o 52,0%. Istotnie niższy plon, w porównaniu do odnotowanego w warunkach uprawy konwencjonalnej,

zaobserwowano również po zagospodarowaniu międzyplonu za pomocą pługa (B) i kultywatora (C), odpowiednio o 9,3 i 33,8%. Zwiększenie nawożenia azotem sprzyjało wzrostowi plonowania jęczmienia. Zastosowanie dawek 80 i 120 N·ha$^{-1}$ przyczyniło się do istotnego wzrostu plonu, odpowiednio o 13,8 i 19,4%, w porównaniu do stwierdzonego po aplikacji 40 N·ha$^{-1}$.

Tabela 51. Plon ziarna jęczmienia jarego [t·ha$^{-1}$] ( rok 2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| A. Uprawa tradycyjna | 7,98 | 8,09 | 8,51 | 8,19 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 6,91 | 7,42 | 7,96 | 7,43 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 4,60 | 5,62 | 6,04 | 5,42 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 3,41 | 4,96 | 4,86 | 4,41 |
| Średnio | 5,73 | 6,52 | 6,84 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 0,62<br>$NIR_{0,05}$ dla nawożenia N –0,68<br>$NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |

Synteza wyników badań z wielolecia wykazała, że plon jęczmienia jarego był istotnie uzależniony od badanych czynników doświadczenia i lat (tab. 52). Najwyżej plonował jęczmień po przeprowadzeniu uprawy klasycznej i zrezygnowaniu z obecności międzyplonu (5,72 t·ha$^{-1}$), natomiast najniżej jeśli zrezygnowano z uprawy, a jęczmień wysiano w mulcz z gorczycy (3,55 t·ha$^{-1}$). W porównaniu z uprawą tradycyjną zastosowanie siewu bezpośredniego przyczyniło się do istotnego zmniejszenia plonu ziarna o 37,9%. Również rezygnacja z orki na rzecz kultywatorowania i dodatkowe zastosowanie nawozu organicznego było powodem redukcji plonu o 11,5%, w odniesieniu do uzyskanego w warunkach uprawy tradycyjnej.

Wraz z intensyfikacją nawożenia azotem obserwowano statystycznie udowodnione zwiększenie plonowania jęczmienia jarego. Nawożenie dawkami 80 i 120 N·ha$^{-1}$ przyczyniło się do zwiększenia plonu ziarna odpowiednio o 17,2 i 30,6%, w porównaniu do zanotowanego po aplikacji 40 N·ha$^{-1}$. Wykorzystanie w uprawie jęczmienia jarego międzyplonu z gorczycy nie umożliwiło ograniczenia dawek nawozów azotowych. Analizując plony jęczmienia jarego można wysunąć przypuszczenie, że wpływ na jego plonowanie w poszczególnych latach miał głównie przebieg pogody.

Tabela 52. Plon ziarna jęczmienia jarego [t·ha$^{-1}$] (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| A. Uprawa tradycyjna | 5,27 | 5,65 | 6,25 | 5,72 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 4,72 | 5,36 | 6,03 | 5,37 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 4,36 | 5,14 | 5,69 | 5,06 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 2,64 | 3,77 | 4,22 | 3,55 |
| Średnio | 4,25 | 4,98 | 5,55 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 0,51<br>$NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – 0,36<br>$NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n.<br>NIR dla lat – 0,70 | | | | |

Przeprowadzona analiza korelacji prostej wykazała istotny związek pomiędzy plonem jęczmienia jarego, a jego wybranymi cechami plonotwórczymi (tab. 53). Uzależniony on był od zastosowanych sposobów uprawy roli. Po wykonaniu uprawy tradycyjnej (A) udowodniono silną, dodatnią zależności plonu od obsady kłosów na jednostce powierzchni (r=0,932) oraz liczby i masy ziarna z kłosa (r=0,772 i t=0,792). Ten sposób uprawy sprzyjał także bardzo wysokiej korelacji plonu ziarna pszenicy z jej cechami biometrycznymi, szczególnie wysokością roślin (r=0,889) i długością kłosa głównego (r=0,807) Również po wprowadzeniu do gleby międzyplonu za pomocą pługa (B) wielkość plonu jęczmienia była istotnie, dodatnio skorelowana z liczbą kłosów (r=0,724), oraz masą ziarna z kłosa (r=0,711) i wysokością roślin (r=0,782). Dodatkowo plon jęczmienia był powiązany z masą tysiąca ziaren (r=0,694). Jeśli zaniechano uprawy roli, a jęczmień wysiano w systemie siewu bezpośredniego (D) to udowodniono silną zależność plonu ziarna od obsady kłosów (r=0,940), liczby i masy ziarna z kłosa (r=0,730 i r=0,741) oraz zdolności roślin do krzewienia się (r=0, 754). Natomiast jeśli międzyplon zagospodarowano za pomocą kultywatora (C) wówczas wielkość plonu ziarna jęczmienia jarego była istotnie skorelowana tylko z liczbą kłosów (r=0,883) i krzewieniem produktywnym (r=0,696).

Tabela 53. Współczynnik korelacji prostej pomiędzy plonem ziarna a wybranymi cechami plonotwórczymi jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

| Obiekt | Wysokość roślin [cm] | Liczba kłosów [szt.·m$^{-2}$] | Długość kłosa głównego [cm] | Liczba ziaren z kłosa | Masa ziarna z kłosa [g] | Masa tysiąca ziaren [g] | Krzewienie produkty-wne |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A. Uprawa tradycyjna | **0,889*** | **0,932*** | **0,807*** | **0,772*** | **0,792*** | 0,085 | 0,638 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | **0,782*** | **0,724*** | 0,582 | 0,628 | **0,711*** | **0,694*** | 0,458 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 0,805 | **0,883*** | 0,484 | 0,201 | 0,368 | 0,284 | **0,696*** |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | **0,836*** | **0,940*** | 0,610 | **0,730*** | **0,741*** | 0,654 | **0,754*** |

* - korelacja istotna (α = 0,05)

Wykazano indywidualny wpływ badanych elementów plonowania na wysokość plonu jęczmienia jarego (tab. 54). Wkład oraz udział liczby kłosów i ziaren z kłosa , a także MTZ zależał od sposobu uprawy roli . Niższe plonowanie jęczmienia jarego po zaniechaniu uprawy roli i wysiewie jęczmienia jarego w mulcz z gorczycy (D), wprowadzeniu do gleby międzyplonu za pomocą kultywatora (C) lub pługa (B), niż na obiekcie kontrolnym, w którym zrezygnowano z międzyplonu i wykonano uprawę tradycyjną (A), wynikało w największym stopniu z mniejszej obsady kłosów. Umniejszało to efekty pozostałych elementów plonowania odpowiednio o 9,81; 8,69 i 2,48 dt·ha$^{-1}$ tj. 17,1; 15,2 i 4,3%. Z kolei po zastosowaniu uprawy uproszczonej, w efekcie zwiększonej liczby ziaren z kłosa, nastąpił przyrost plonu ziarna o 1,58 dt·ha$^{-1}$, tj. 2,8%. Odwrotne zależności stwierdzono po przyoraniu międzyplonu za pomocą pługa oraz po zaniechaniu uprawy roli, wówczas jęczmień jary charakteryzował się znacznie mniejszą liczbą ziaren z kłosa, niż w warunkach wykonania tradycyjnej uprawy - umniejszało to efekty pozostałych elementów plonowania odpowiednio o 1,73 i 7,44 dt·ha$^{-1}$, tj. 3,0 i 13,0%. Wpływ dorodności ziarna na plonowanie jęczmienia po wprowadzeniu do gleby międzyplonu za pomocą pługa i kultywatora, w stosunku do określonej w warunkach uprawy tradycyjnej, był dodatni, ale niewielki i wynosił odpowiednio 0,70 i 0,53 dt·ha$^{-1}$, tj. 1,2 i 0,9%. Natomiast jęczmień wysiewany bezpośrednio w mulcz gorczycy wykształcił drobniejsze ziarno, co umniejszało efekty pozostałych elementów plonowania o 4,51 dt·ha$^{-1}$, tj. 7,9%.

Na zmniejszenie efektów plonowania jęczmienia jarego uprawianego w zróżnicowanych systemach uprawy roli, w których zastosowano międzyplon względem obiektu kontrolnego (bez międzyplonu) o jedną jednostkę (1 dt·ha$^{-1}$) składało się średnio 82,6 kg ziarna z tytułu mniejszej obsady kłosów oraz 19,8 kg wskutek zmniejszonej liczby ziaren z kłosa. Z kolei niewielki przyrost plonu o 2,4 kg ziarna wystąpił z racji zwiększonej masy tysiąca ziaren. Udział tych elementów plonowania był jednak różny, w zależności od sposobu wprowadzenia międzyplonu do gleby.

Tabela 54. Wpływ elementów plonowania na zmiany plonu ziarna jęczmienia jarego uprawianego w różnych systemach uprawy w porównaniu do uprawy tradycyjnej (A) (średnie z lat 2010–2012)

| Elementy plonowania | System uprawy | | | |
|---|---|---|---|---|
| | B. uprawa tradycyjna + międzyplon | C. uprawa uproszczona + międzyplon | D. uprawa zerowa + międzyplon | Średnia |
| Wkład elementów plonowania w różnicę plonów [dt.·ha$^{-1}$] | | | | |
| Liczba kłosów [szt.·m$^{-2}$] | –2,48 | –8,69 | –9,81 | –6,99 |
| Liczba ziaren z kłosa | –1,73 | 1,58 | –7,44 | –2,53 |
| Masa tysiąca ziaren | 0,70 | 0,53 | –4,51 | –1,09 |
| Suma | –3,51 | –6,58 | –21,76 | – |
| Wkład elementów plonowania w różnice względne plonów [%] | | | | |
| Liczba kłosów [szt.·m$^{-2}$] | –4,3 | –15,2 | –17,1 | –12,2 |
| Liczba ziaren z kłosa | –3,0 | 2,8 | –13,0 | –4,4 |
| Masa tysiąca ziaren | 1,2 | 0,9 | –7,9 | –1,9 |
| Suma | –6,1 | –11,5 | –38,0 | – |
| Udział elementów plonowania w różnicowaniu plonów [%] | | | | |
| Liczba kłosów [szt.·m$^{-2}$] | –70,4 | –132,2 | –45,1 | –82,6 |
| Liczba ziaren z kłosa | –49,3 | 24,1 | –34,2 | –19,8 |
| Masa tysiąca ziaren | 19,8 | 8,1 | –20,7 | 2,4 |
| Suma | –100,0 | –100,0 | –100,0 | – |
| Błąd oceny [%] | 1,1 | 0,9 | 1,5 | – |

Analizując indywidualny wkład oraz udział poszczególnych elementów składowych plonu w zmianach poziomu plonowania jęczmienia jarego pomiędzy obiektami nawożonymi zróżnicowanymi dawkami azotu stwierdzono, że największy udział oraz wkład miała obsada kłosów na jednostce powierzchni, co stanowiło 83,8% tj. 7,31 dt·ha$^{-1}$ (tab. 55). Mniejsze znaczenie miała liczba ziaren z kłosa. Udział wyniósł odpowiednio 11,5%, a wkład

1,02 dt·ha$^{-1}$. Najmniejszy udział oraz wkład w zmianę plonowania miała masa 1000 ziaren stanowił on 4,7% tj. 0,34 dt·ha$^{-1}$.

Wkład obsady kłosów w różnicowaniu plonu zwiększał się wraz ze wzrostem poziomu nawożenia azotem. Jeśli dawkę N zwiększono z 40 do 80 kg·ha$^{-1}$ to określone wskaźniki wynosiły odpowiednio o 14,7% i 6,25 dt·ha$^{-1}$, natomiast po zwiększeniu nawożenia z 80 do 120 kg N·ha$^{-1}$ wkład obsady kłosów stanowił 9,2% tj. 4,58 dt·ha$^{-1}$. Jęczmień jary nawożony podwojoną (80 kg N·ha$^{-1}$) i potrojoną (120 kg N·ha$^{-1}$) dawką azotu charakteryzował się większą liczbą ziaren z kłosa, niż uprawiany w warunkach nawożenia 40 kg N·ha$^{-1}$, co przyczyniło się do przyrostu plonu odpowiednio o 2,9 i 3,5% tj. o 1,23 i 1,47 dt·ha$^{-1}$. Zwiększenie nawożenia z 80 do 120 kg N·ha$^{-1}$ również sprzyjało lepszemu plonowaniu jęczmienia poprzez wykształcenie większej liczby ziaren w kłosie o 0,7% tj. 0,36 dt·ha$^{-1}$.

Tabela 55. Wpływ elementów plonowania na zmiany plonu ziarna jęczmienia jarego nawożonego wzrastającymi dawkami azotu (średnie z lat 2010–2012)

| Elementy plonowania | Nawożenie azotem | | | Średnio |
|---|---|---|---|---|
| | 40–80 | 80–120 | 40–120 | |
| Wkład elementów plonowania w różnicę plonów [dt.·ha$^{-1}$] | | | | |
| Liczba kłosów [szt.·m$^{-2}$] | 6,25 | 4,58 | 11,11 | 7,31 |
| Liczba ziaren z kłosa | 1,23 | 0,36 | 1,47 | 1,02 |
| Masa tysiąca ziaren | -0,15 | 0,73 | 0,42 | 0,34 |
| Suma | 7,33 | 5,67 | 13,0 | - |
| Wkład elementów plonowania w różnice względne plonów [%] | | | | |
| Liczba kłosów [szt.·m$^{-2}$] | 14,7 | 9,2 | 26,2 | 16,7 |
| Liczba ziaren z kłosa | 2,9 | 0,7 | 3,5 | 2,4 |
| Masa tysiąca ziaren | -0,3 | 1,5 | 1,0 | 0,7 |
| Suma | -0,3 | 1,5 | 1,0 | - |
| Udział elementów plonowania w różnicowaniu plonów [%] | | | | |
| Liczba kłosów [szt.·m$^{-2}$] | 85,2 | 80,8 | 85,4 | 83,8 |
| Liczba ziaren z kłosa | 16,8 | 6,3 | 11,3 | 11,5 |
| Masa tysiąca ziaren | -2,0 | 12,9 | 3,2 | 4,7 |
| Suma | 100,0 | 100,0 | 100,0 | - |
| Błąd oceny [%] | 1,5 | 0,9 | 1,6 | - |

Wpływ masy 1000 ziaren na plonowanie jęczmienia był dodatni, ale tylko po zwiększeniu nawożenia z 40 do 120 kg N·ha$^{-1}$ oraz z 80 do 120 kg N·ha$^{-1}$, i wynosił odpowiednio 1,0 i 1,5% tj. 0,42 i 0,73 dt·ha$^{-1}$. Z kolei jęczmień nawożony podwójną dawką azotu (80 kg N·ha$^{-1}$) wykształcił nieco drobniejsze ziarno, co umniejszało efekty pozostałych elementów plonowania o 0,3% tj. 0,15 dt·ha$^{-1}$.

Plon słomy, podobnie jak ziarna, był istotnie modyfikowany poprzez zastosowane sposoby uprawy roli oraz mineralne nawożenie azotem (tab. 56). Zarówno wprowadzenie do agrotechniki jęczmienia międzyplonu ścierniskowego, jak i zwiększenie stopnia upraszczaniu uprawy roli przyczyniło się do zmniejszenia plonu ubocznego testowanej rośliny. Najniższy plon słomy (2,71 t·ha$^{-1}$) stwierdzono na poletkach, na których wykonano siew bezpośredni, był on istotnie niższy (o 41,5%) niż w warunkach uprawy tradycyjnej. Również wprowadzenie do gleby międzyplonu za pomocą pługa lub kultywatora przyczyniło się do istotnego zmniejszenia plonu słomy, odpowiednio o 7,6 i 17,5%, w porównaniu do stwierdzonego w warunkach uprawy konwencjonalnej.

Intensyfikacja nawożenia azotem sprzyjała systematycznemu, istotnemu zwiększaniu plonu ubocznego jęczmienia. Na poletkach, na których stosowano azot w dawkach 80 i 120 kg N·ha$^{-1}$ obserwowano istotnie wyższy plon słomy, niż po aplikacji 40 kg N·ha$^{-1}$, odpowiednio o 15,4 i 27,2%.

Tabela 56. Plon słomy jęczmienia jarego [t·ha$^{-1}$] (średnie z lat 2010–2012)

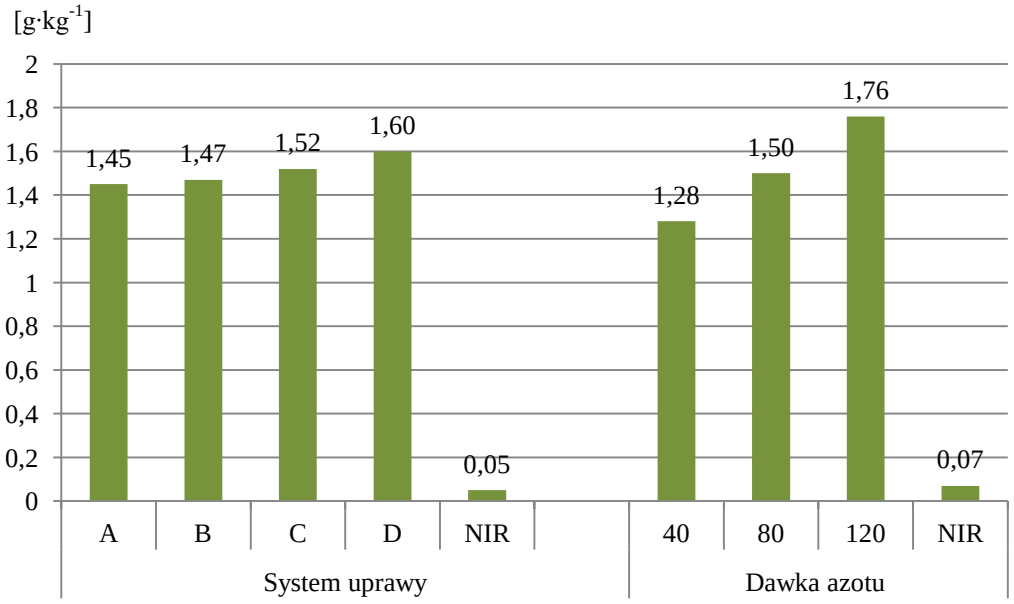
| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| A. Uprawa tradycyjna | 4,31 | 4,57 | 5,01 | 4,63 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 3,85 | 4,28 | 4,70 | 4,28 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 3,37 | 3,78 | 4,32 | 3,82 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 2,00 | 2,96 | 3,18 | 2,71 |
| Średnio | 3,38 | 3,90 | 4,30 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 0,35<br>$NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – 0,29<br>$NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |

Analiza statystyczna nie wykazała istotnego różnicowania wartości indeksu żniwnego w zależności od systemu uprawy (tab. 57). Zauważono jednak, że wprowadzenie do gleby międzyplonu za pomocą kultywatora, a także zastosowanie siewu bezpośredniego w mulcz gorczycy wpłynęło na nieznaczne zwiększenie udziału ziarna w biomasie części nadziemnych jęczmienia jarego, odpowiednio o 1,7 i 1,3 pkt.%, w porównaniu do uzyskanego w warunkach uprawy tradycyjnej. Natomiast przyoranie międzyplonu za pomocą pługa przyczyniło się do uzyskania niższej wartości indeksu plonowania o 0,5 pkt.%, niż po przeprowadzeniu uprawy konwencjonalnej.

Intensyfikacja nawożenia azotem wpłynęła na niewielki, ale systematyczny wzrost wartości indeksu żniwnego. Zwiększając dawkę N z 40 do 80 lub 120 kg N·ha$^{-1}$ stwierdzono wzrost wartości indeksu plonowania, odpowiednio o 0,9 i 1,2 pkt.%.

Tabela 57. Indeks żniwny jęczmienia jarego [%] (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| A. Uprawa tradycyjna | 55,0 | 55,3 | 55,5 | 55,3 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 52,6 | 55,6 | 56,2 | 54,8 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 56,4 | 57,6 | 56,8 | 57,0 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 56,9 | 56,0 | 57,0 | 56,6 |
| Średnio | 55,2 | 56,1 | 56,4 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – r.n.<br>$NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – r.n.<br>$NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n. | | | | |

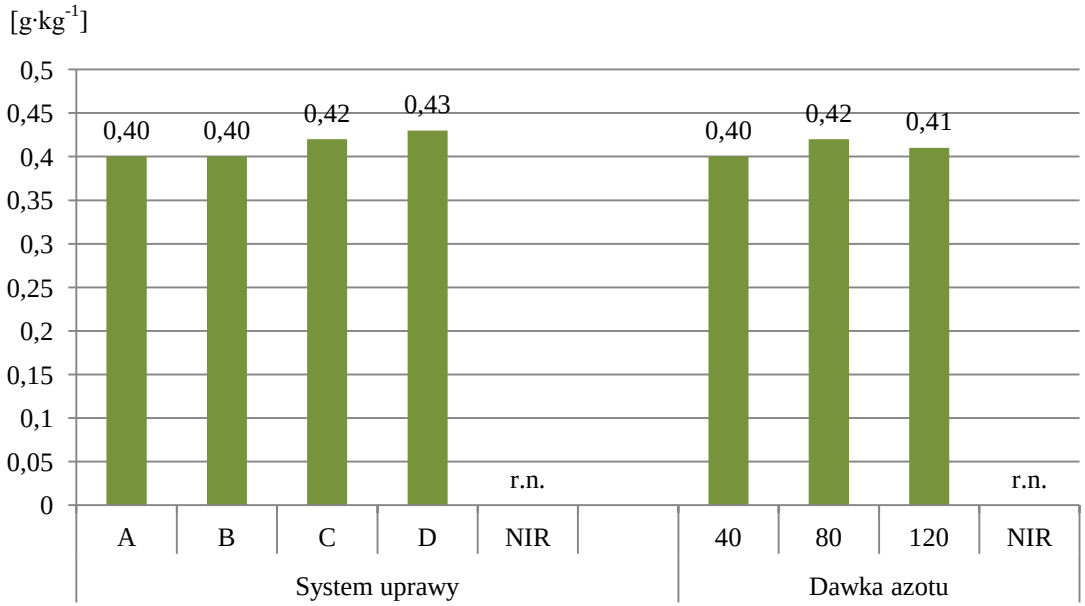



Rys. 6. Zawartość azotu [g·kg$^{-1}$] w ziarnie jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

Wprowadzenie do gleby międzyplonu przyczyniło się do znaczącego wzrostu zawartości azotu w ziarnie jęczmienia jarego, ale tylko jeśli równocześnie uproszczono uprawę roli (rys. 6). Istotnie większą koncentrację N w ziarnie, w porównaniu do odnotowanej w warunkach uprawy tradycyjnej (A), stwierdzono po zagospodarowaniu gorczycy za pomocą kultywatora (C) oraz po wykonaniu siewu bezpośredniego w mulcz (D), odpowiednio o 4,8 i 10,3%. Również przyoranie międzyplonu za pomocą pługa sprzyjało

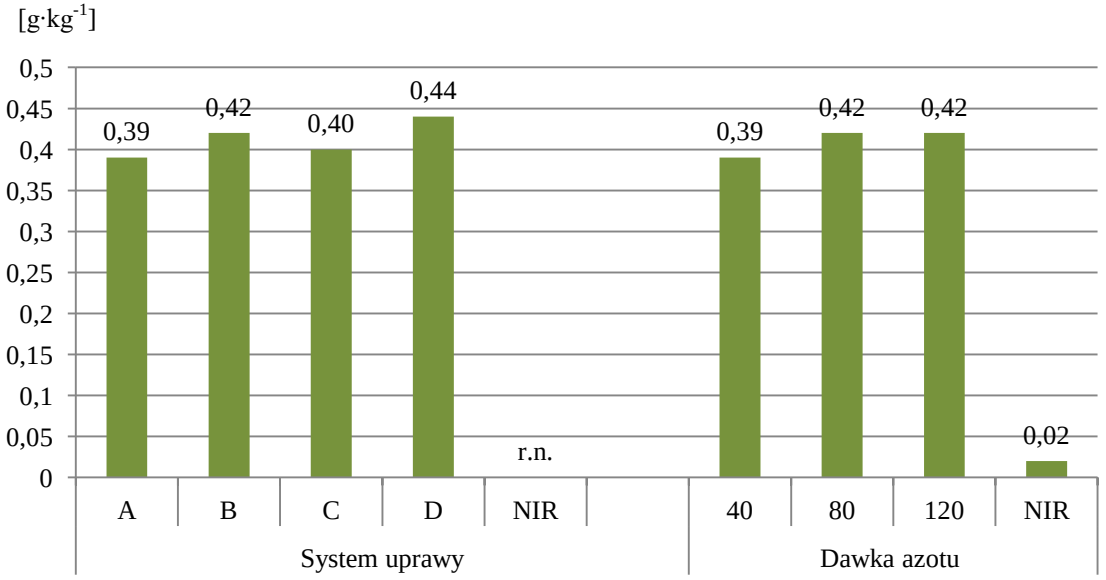
niewielkiemu zwiększeniu zawartości azotu w ziarnie, nie zostało to jednak potwierdzone statystycznie.

Wyraźnemu zwiększeniu koncentracji azotu w ziarnie sprzyjała intensyfikacja nawożenia N. Analiza statystyczna wykazała, że podwojenie nawożenia z 40 do 80 kg N·ha$^{-1}$ oraz potrojenie do 120 kg N·ha$^{-1}$ przyczyniło się do istotnego wzrostu zawartości badanego składnika odpowiednio o 17,2 i 37,5%.



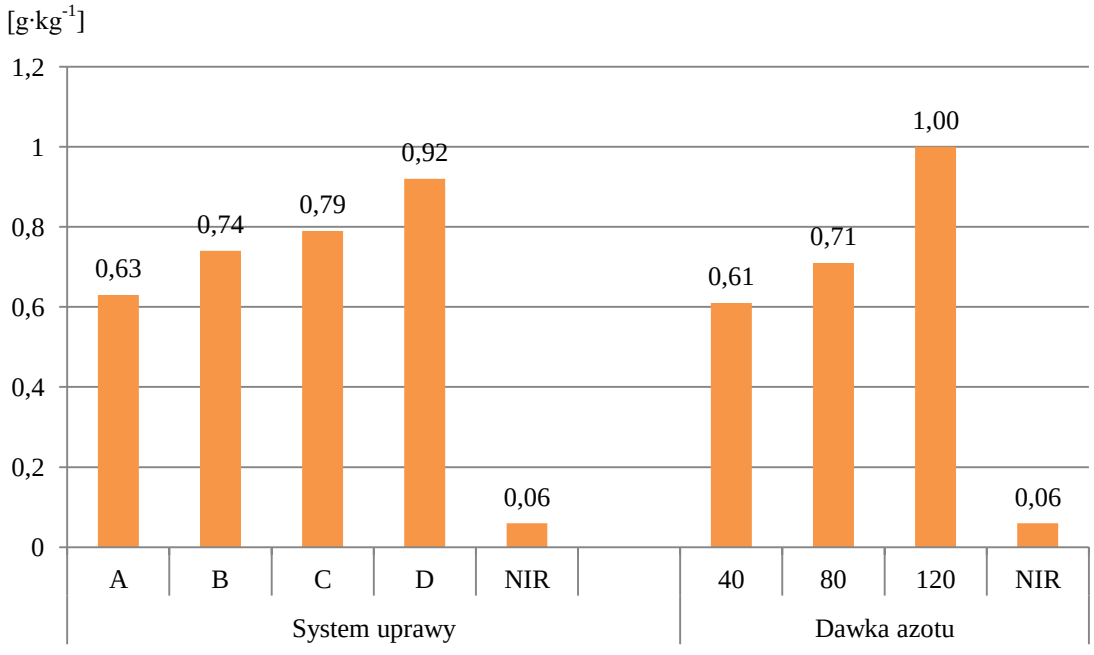

Rys. 7. Zawartość fosforu [g·kg$^{-1}$] w ziarnie jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

Badane czynniki doświadczenia nie miały wyraźnego wpływu na zawartość fosforu w ziarnie jęczmienia jarego (rys. 7). Zauważono jednak, że do niewielkiego wzrostu zawartości P w ziarnie, przyczyniło się wprowadzenie do gleby międzyplonu z gorczycy za pomocą kultywatora a także zrezygnowanie z uprawy roli. Nie wykazano wyraźnej zależności koncentracji fosforu w ziarnie pszenicy od nawożenia azotem. Największą jego wartość w plonie głównym stwierdzono po zastosowaniu azotu w dawce 80 kg ·ha$^{-1}$.




Rys. 8. Zawartość potasu [g·kg$^{-1}$] w ziarnie jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

Zawartość potasu w ziarnie jęczmienia była istotnie uzależniona jedynie od nawożenia azotem (rys. 8). Ziarno jęczmienia nawożonego 80 lub 120 kg N·ha$^{-1}$ charakteryzowało się większą zawartością K, o 7,7%, niż po zastosowaniu 40 kg N·ha$^{-1}$. Nieznaczny wzrost koncentracji potasu w ziarnie stwierdzono także w wyniku polowego zagospodarowania międzyplonu każdym z testowanych sposobów uprawy, zależności tych nie podparto jednak dowodami matematycznymi.

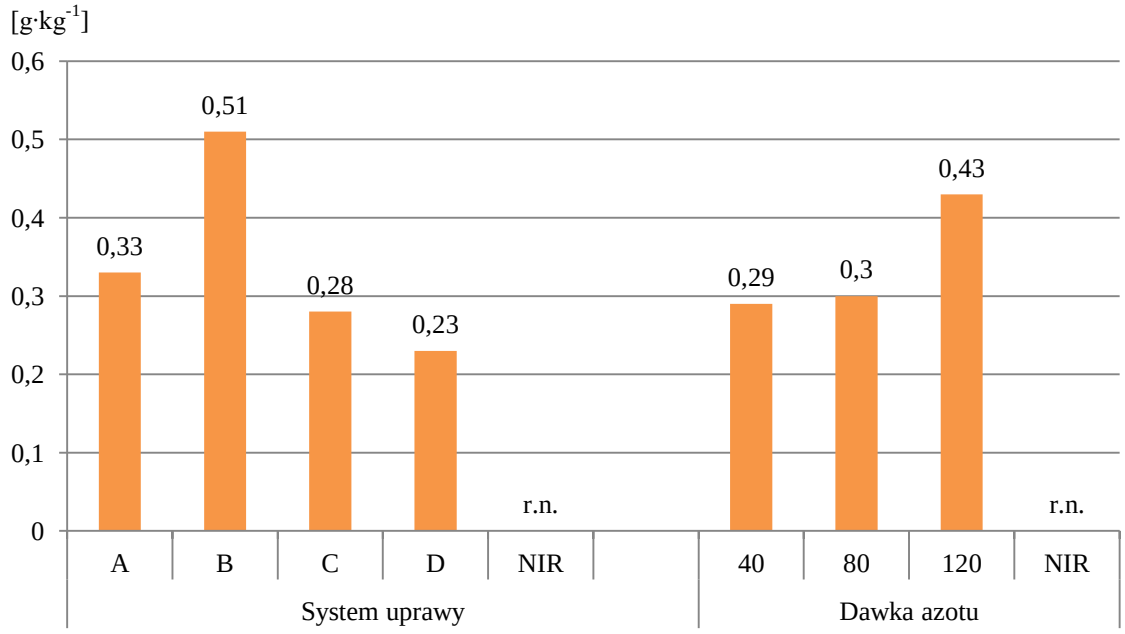



Rys. 9. Zawartość azotu [g·kg$^{-1}$] w słomie jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

Polowe zagospodarowanie międzyplonu spowodowało istotny wzrost zawartości azotu w słomie (rys. 9). Najwyższą jego koncentrację (0,92 g·ha$^{-1}$) stwierdzono po wykonaniu siewu bezpośredniego w mulcz z gorczycy i była ona o 46,0% wyższa w porównaniu

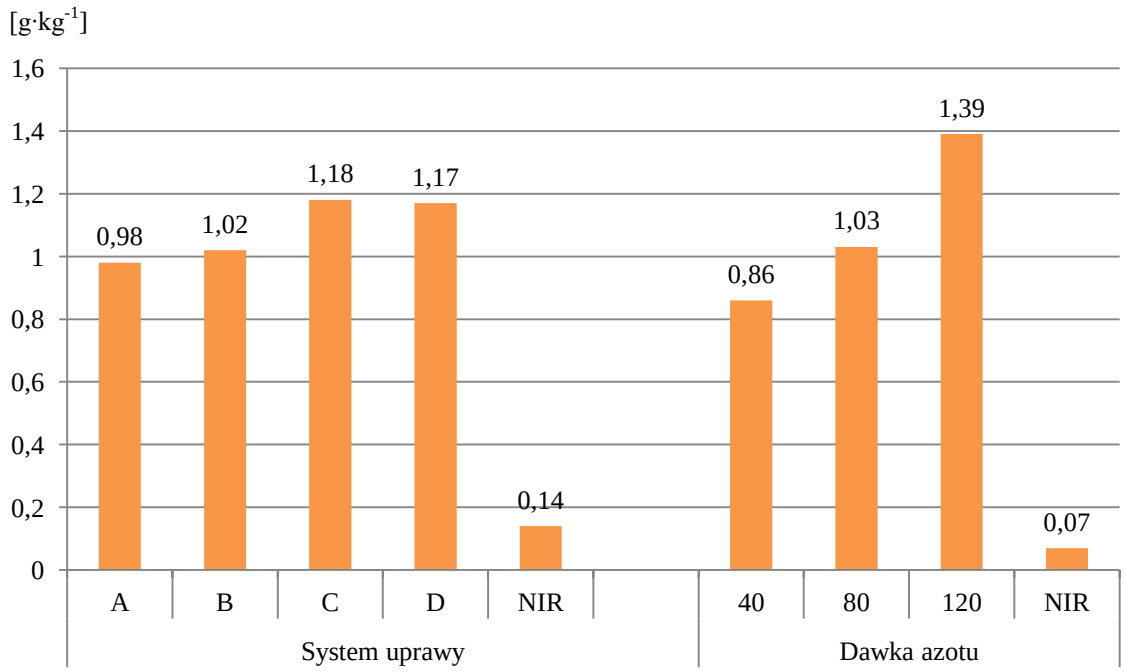
do zanotowanej w warunkach uprawy tradycyjnej. Również po wprowadzeniu do gleby międzyplonu za pomocą pługa i kultywatora obserwowano wzrost zawartości N w plonie ubocznym, odpowiednio i 17,5 i 25,4%, w porównaniu z zanotowaną po przeprowadzeniu uprawy konwencjonalnej i zrezygnowaniu z nawożenia organicznego.

Systematyczne zwiększenie zawartości badanego składnika w słomie jęczmienia powodowały rosnące dawki nawożenia N. Zwiększając nawożenie z 40 do 80 lub 120 kg $N \cdot ha^{-1}$, odnotowano istotny wzrost zawartości azotu w plonie ubocznym odpowiednio o 16,4 i 63,9%.




Rys. 10. Zawartość fosforu [$g \cdot kg^{-1}$] w słomie jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

Zawartość fosforu w słomie jęczmienia jarego nie wykazywała istotnej zależności od sposobu uprawy, obecności międzyplonu i nawożenia azotem (rys. 10). Najwyższą koncentrację potasu w plonie ubocznym określono po zastosowaniu uprawy uproszczonej z nawożeniem organicznym i była ona o 54,5% wyższa w stosunku do określonej w warunkach uprawy tradycyjnej, natomiast najniższą po zrezygnowaniu z uprawy roli. Intensyfikacja nawożenia azotem sprzyjała nieznacznemu zwiększeniu koncentracji P w słomie.




Rys. 11. Zawartość potasu [g·kg$^{-1}$] w słomie jęczmienia jarego (średnie z lat 2010–2012)

Istotnym zmianom podlegała zawartość potasu w plonie ubocznym jęczmienia jarego i zależała zarówno od sytemu uprawy jak i nawożenia azotem (rys.11). Obecność międzyplonu ścierniskowego i zastosowanie uproszczeń w uprawie przyczyniło się do wzrostu koncentracji potasu. Istotnie wyższą zawartość badanego składnika odnotowano na poletkach, na których międzyplon wymieszano z glebą za pomocą kultywatora lub wykonano siew bezpośredni jęczmienia w mulcz. Zastosowanie tych wariantów uprawy przyczyniło się do istotnego wzrostu koncentracji K odpowiednio o 20,4 i 19,4%, w porównaniu do zanotowanej na obiekcie kontrolnym (A).

Intensyfikacja nawożenia azotem sprzyjała gromadzeniu potasu w słomie. Największą zawartość potasu w plonie ubocznym oznaczono po zastosowaniu azotu w dawce 120 kg N·ha$^{-1}$ i była ona istotnie o 61,6% wyższa w porównaniu z oznaczoną z poletek nawożonych najniższą dawką azotu. Istotne zwiększenie koncentracji K o 19,8% zanotowano także po podwojeniu dawki z 40 do 80 kg N·ha$^{-1}$.

### 5.5. Efektywność nawożenia mineralnego

Zróżnicowane sposoby uprawy roli oraz nawożenie organiczne nie miały istotnego wpływu na zmiany w pobraniu azotu z plonem ziarna (tab. 58). Zauważono jednak, że zagospodarowanie międzyplonu każdym z badanych sposobów, a szczególnie pozostawienie go na powierzchni gleby w postaci mulczu i zastosowanie siewu bezpośredniego (D), wpłynęło na zmniejszenie pobrania azotu z ziarnem o 31,7%, w porównaniu do zanotowanego w uprawie tradycyjnej (A). Również przyoranie międzyplonu za pomocą pługa (B) lub wymieszanie kultywatorem (C) skutkowało ograniczeniem pobrania azotu przez ziarno o 4,8 i 6,1%.

Intensyfikacja nawożenia azotem sprzyjała istotnemu zwiększeniu pobrania tego pierwiastka. Podwyższając dawkę N z 40 do 80 kg·ha$^{-1}$ zanotowano większe pobranie azotu z plonem ziarna o 37,5%, a z 80 do 120 kg·ha$^{-1}$ o 31,8%.

Tabela 58. Pobranie azotu z plonem ziarna jęczmienia jarego[kg·ha$^{-1}$]
(średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| A. Uprawa tradycyjna | 65,7 | 79,0 | 101,7 | 82,1 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 56,0 | 74,7 | 104,0 | 78,2 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 52,0 | 76,0 | 103,3 | 77,1 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 36,7 | 59,7 | 72,0 | 56,1 |
| Średnio | 52,6 | 72,3 | 95,3 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – r.n.<br>$NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – 4,9<br>$NIR_{0,05}$ dla interakcji – r.n | | | | |

Podobnie jak w ziarnie, również w słomie jęczmienia jarego pobranie azotu zależało od zastosowanego nawożenia mineralnego (tab. 59). Podwojenie oraz potrojenie najniższej z zastosowanych dawek N sprzyjało zwiększeniu pobrania tego pierwiastka przez plon uboczny odpowiednio o 32,0 i 111,5%.

Dostarczenie do gleby międzyplonu za pomocą pługa lub kultywatora wpłynęło na zwiększenie pobrania azotu przez słomę odpowiednio o 9,2 i 5,4%, natomiast, jeśli jęczmień wysiano bezpośrednio w mulcz z gorczycy, wówczas stwierdzono mniejsze zmagazynowanie azotu w słomie o 12,6%, w porównaniu do zanotowanego w uprawie tradycyjnej. Tych różnic nie udowodniono jednak statystycznie. Analiza wariancji wykazała natomiast, że współdziałanie badanych czynników doświadczenia istotnie modyfikowało pobranie azotu przez słomę jęczmienia. Zagospodarowując międzyplon ścierniskowy każdym z możliwych sposobów najwyższe pobranie azotu stwierdzono po aplikacji 120 kg N·ha$^{-1}$. Najniższe natomiast po aplikacji 40 kg N·ha$^{-1}$ jeśli gorczycę wymieszano z glebą za pomocą kultywatora lub w warunkach pozostawienia międzyplonu na polu w postaci mulczu oraz zastosowaniu siewu bezpośredniego. Z kolei, jeśli międzyplon wprowadzono do gleby za pomocą pługa to najmniejsze pobranie tego pierwiastka zanotowano po zastosowaniu 80 kg N·ha$^{-1}$.

Tabela 59. Pobranie azotu z plonem słomy jęczmienia jarego [kg·ha$^{-1}$] (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| A. Uprawa tradycyjna | 24,3 | 29,3 | 34,7 | 29,4 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 22,3 | 20,3 | 53,7 | 32,1 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 19,0 | 28,0 | 46,0 | 31,0 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 14,3 | 28,0 | 34,7 | 25,7 |
| Średnio | 20,0 | 26,4 | 42,3 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – r.n.<br>$NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – 4,2<br>$NIR_{0,05}$ dla interakcji – 8,4 | | | | |

Łączne pobranie azotu z plonem ziarna i słomy nie zmieniło się istotnie pod wpływem zastosowanych systemów uprawy (tab. 60). Zauważono jednak, że wprowadzenie do gleby międzyplonu za pomocą pługa (B), kultywatora (C) lub pozostawienie na powierzchni w postaci mulczu (D) przyczyniło się do mniejszego zmagazynowania azotu w plonie głównym i ubocznym odpowiednio o 1,1; 3,3 i 18,4%, niż po zastosowaniu uprawy tradycyjnej (A).

Pobraniu badanego składnika sprzyjała intensyfikacja nawożenia azotem. Zwiększając dawkę N z 40 do 80 kg·ha$^{-1}$ wykazano istotny wzrost pobrania azotu o 36,1% a z 80 do 120 kg·ha$^{-1}$ o 38,9%.

Tabela 60. Łączne pobranie azotu z plonem ziarna i słomy jęczmienia jarego [kg·ha$^{-1}$] (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| A. Uprawa tradycyjna | 90,0 | 108,3 | 136,3 | 111,6 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 78,3 | 95,3 | 157,7 | 110,4 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 71,0 | 104,0 | 148,7 | 107,9 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 51,0 | 87,7 | 106,0 | 81,6 |
| Średnio | 72,6 | 98,8 | 137,2 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – r.n.<br>$NIR_{0,05}$ dla nawożenia N –8,4<br>$NIR_{0,05}$ dla interakcji – 16,9 | | | | |

Analiza wariancji wykazała, że współdziałanie sposobów uprawy i nawożenia mineralnego wpłynęło istotnie na łączne pobranie azotu z plonem ziarna i słomy jęczmienia jarego. Jeśli wprowadzono do gleby międzyplon za pomocą pługa, kultywatora, lub pozostawiono na zimę w postaci mulczu, to największe pobranie azotu stwierdzono

po zastosowaniu 120 kg N·ha$^{-1}$, natomiast jeśli zaaplikowano 40 kg N·ha$^{-1}$, to po zagospodarowaniu międzyplonu każdym z badanych sposobów wykazano najmniejsze zmagazynowanie azotu w ziarnie i słomie.

Efektywność rolnicza jest miarą, która określa produkcyjną skuteczność nawożenia i jest wyrażona jako przyrost plonu w kg na 1 kg azotu zastosowanego w nawozach. W przeprowadzonym doświadczeniu efektywność rolnicza była zależna od współdziałania systemu uprawy roli i nawożenia mineralnego N (tab. 61). Jeśli zastosowano międzyplon ścierniskowy, a dawkę azotu zwiększono z 40 do 80 kg N·ha$^{-1}$ to efektywność rolnicza wzrosła o 72,3% po zagospodarowaniu gorczycy za pomocą pługa, ponad dwukrotnie po wymieszaniu jej kultywatorem i ponad trzykrotnie po zostawieniu międzyplonu w postaci mulczu i wykonaniu siewu bezpośredniego .

Po zwiększeniu nawożenia z 40 do 120 kg N·ha$^{-1}$ i zagospodarowaniu międzyplonu każdym z badanych sposobów obserwowano podobny kierunek zmian, jak w warunkach intensyfikacji N z 40 do 80 kg·ha$^{-1}$. Natomiast jeśli nawożenie azotem zwiększono z 80 do 120 kg N·ha$^{-1}$ to najwyższy wskaźnik $A_E$ stwierdzono po przyoraniu międzyplonu za pomocą pługa, a najniższy po wykonaniu siewu bezpośredniego jęczmienia w mulcz z gorczycy.

Tabela 61. Efektywność rolnicza ($A_E$) nawożenia azotem [kg s.m. ziarna·kg$^{-1}$ N w nawozie] (średnie z lat 2010–2012)

| Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | System uprawy | | | |
|---|---|---|---|---|
| | A. uprawa tradycyjna | B. uprawa tradycyjna + międzyplon | C. uprawa uproszczona + międzyplon | D. uprawa zerowa + międzyplon |
| 40–80 | 9,4 | 16,2 | 19,4 | 28,5 |
| 40–120 | 12,3 | 16,4 | 16,5 | 19,8 |
| 80–120 | 15,1 | 16,8 | 13,7 | 11,2 |

Skuteczność nawożenia azotem można ocenić również za pomocą wskaźnika efektywności fizjologicznej ($P_E$), który pozwala określić zdolność rośliny do przetwarzania azotu pobranego z gleby i nawozów na plon użytkowy. Efektywność fizjologiczna, podobnie jak efektywność rolnicza, była zależna od współdziałania systemu uprawy roli i nawożenia mineralnego (tab. 62). Najwięcej ziarna na każdy kilogram azotu pobranego przez jęczmień jary, uzyskano po wprowadzeniu do gleby międzyplonu za pomocą pługa oraz zwiększeniu nawożenia z 40 do 80 kg N·ha$^{-1}$. Zaobserwowano również, że w takich warunkach wymieszanie gorczycy z glebą za pomocą kultywatora lub pozostawienie jej jako mulczu sprzyjało zwiększeniu wskaźnika $P_E$.

Po potrojeniu dawki N z 40 do 120 kg·ha$^{-1}$ najlepszą zdolność zboża do przetwarzania azotu na plon użytkowy stwierdzono po wykonaniu siewu bezpośredniego jęczmienia w mulcz gorczycy. Jeśli międzyplon wymieszano z glebą za pomocą pługa lub kultywatora, wówczas obserwowano zmniejszenie wskaźnika efektywności rolniczej, w porównaniu do zanotowanego na obiekcie kontrolnym (bez międzyplonu). Podobne zależności stwierdzono w warunkach intensyfikacji N z 80 do 120 kg·ha$^{-1}$.

Tabela 62. Efektywność fizjologiczna ($P_E$) nawożenia azotem [kg s.m. ziarna·kg$^{-1}$N pobranego] (średnie z lat 2010–2012)

| Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | System uprawy | | | |
|---|---|---|---|---|
| | A. uprawa tradycyjna | B. uprawa tradycyjna + międzyplon | C. uprawa uproszczona + międzyplon | D. uprawa zerowa + międzyplon |
| 40–80 | 18,2 | 41,1 | 23,3 | 30,9 |
| 40–120 | 21,2 | 17,1 | 17,3 | 28,2 |
| 80–120 | 20,7 | 11,1 | 12,8 | 21,6 |

Współczynnik wykorzystania azotu z nawozów (ARF), stanowiący iloraz efektywności rolniczej i efektywności fizjologicznej określa skuteczność pobrania azotu przez rośliny. Efektywność fizjologiczna stosowanego azotu była wyższa od rolniczej (tab. 63). Świadczy to o dobrym przetwarzaniu pobranego azotu na plon.

Tabela 63. Współczynnik wykorzystania azotu (ARF) [%] (średnie z lat 2010–2012)

| Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | System uprawy | | | |
|---|---|---|---|---|
| | A. uprawa tradycyjna | B. uprawa tradycyjna + międzyplon | C. uprawa uproszczona + międzyplon | D. uprawa zerowa + międzyplon |
| 40–80 | 46,0 | 42,6 | 82,8 | 91,1 |
| 40–120 | 58,0 | 99,0 | 97,7 | 68,9 |
| 80–120 | 69,9 | 155,5 | 112,6 | 46,6 |

Wprowadzenie do gleby międzyplonu, na ogół sprzyjało wzrostowi stopnia wykorzystania azotu pochodzącego z nawozów. Jeśli dawkę N podwojono z 40 do 80 kg·ha$^{-1}$ to najwyższą skuteczność wykorzystania azotu zanotowano po zastosowaniu siewu bezpośredniego w mulcz gorczycy. Tylko nieznacznie gorszy współczynnik ARF zanotowano

po użyciu w agrotechnice jęczmienia kultywatora. Z kolei najniższą skuteczność wykorzystania N stwierdzono przyorując międzyplon za pomocą pługa. Po zwiększeniu dawki azotu z 80 do 120 kg·ha$^{-1}$, zaobserwowano zależności odwrotne. Z kolei w warunkach intensyfikacji N z 40 do 120 kg·ha$^{-1}$ najwyższy współczynnik ARF stwierdzono po zastosowaniu uprawy tradycyjnej i wprowadzeniu do gleby międzyplonu za pomocą pługa, a najniższy jeśli zrezygnowano ze stosowania międzyplonu i przeprowadzono uprawę klasyczną.

Efektywność wykorzystania azotu (NUE) to zdolność rośliny do wykorzystania azotu pobranego z gleby i nawozów mineralnych do produkcji ziarna, wyrażona jest stosunkiem masy ziarna do ilości zakumulowanego azotu w roślinie. Wskaźnik NUE był istotnie różnicowany przez zastosowane systemy uprawy i nawożenie azotem (tab. 64). Po zastosowaniu siewu bezpośredniego w mulcz gorczycy zmniejszył się on istotnie o 13,8%, w porównaniu do zanotowanego w uprawie konwencjonalnej. Podobny kierunek zmian stwierdzono po wprowadzeniu do gleby międzyplonu za pomocą pługa lub kultywatora, jednak tych zależności nie udowodniono statystycznie.

Do zmniejszenia efektywności wykorzystania azotu przyczyniła się również intensyfikacja nawożenia azotem. Najefektywniej jęczmień wykorzystywał pobrany azot do produkcji ziarna, po aplikacji 40 kg N·ha$^{-1}$. Podwojenie i potrojenie najniższej dawki N skutkowało istotnemu pogorszeniu badanego wskaźnika odpowiednio o 13,8 i 19,2%.

Interakcja czynników doświadczenia wskazuje na duże zróżnicowanie wartości wskaźnika NUE. Jeśli wprowadzono do gleby międzyplon każdym z badanych sposobów i zaaplikowano azot w dawce 120 kg·ha$^{-1}$ to stwierdzono istotne zmniejszenie efektywności wykorzystania azotu, w porównaniu z zanotowanym w warunkach wyłącznego nawożenia 120 kg·ha$^{-1}$. Z kolei jeśli ograniczono nawożenie azotem do 40 lub 80 kg·ha$^{-1}$, to udowodnione statystycznie obniżenie wskaźnika NUE wykazano tylko po zrezygnowaniu z uprawy roli.

Tabela 64. Wskaźnik efektywności wykorzystania azotu (NUE) [kg s.m. ziarna·kg$^{-1}$N pobranego] (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| A. Uprawa tradycyjna | 58,7 | 51,8 | 45,6 | 52,0 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 60,0 | 55,7 | 38,0 | 51,2 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 61,8 | 49,4 | 38,3 | 49,8 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 51,6 | 43,1 | 39,6 | 44,8 |
| Średnio | 58,0 | 50,0 | 40,4 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 2,3<br>$NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – 2,7<br>$NIR_{0,05}$ dla interakcji – 4,9 | | | | |

Indeks żniwny azotu NHI wyraża stosunek pobranego azotu z plonem ziarna do łącznie pobranego azotu z plonem biomasy jęczmienia. Systemy uprawy roli istotnie różnicowały indeks żniwny (tab. 65). Najwyższą wartość NHI odnotowano na poletkach uprawianych tradycyjnie, na których zrezygnowano z nawożenia organicznego (A). Istotne obniżenie indeksu żniwnego azotu obserwowano po przyoraniu międzyplonu (B) oraz po zaniechaniu uprawy roli (D), odpowiednio o 1,7 pkt.% i 5,0 pkt.%, w porównaniu do wartości zanotowanej na obiekcie kontrolnym (A). Podobny kierunek zmian stwierdzono po wprowadzeniu do gleby międzyplonu za pomocą kultywatora (C), zależności tych nie udowodniono jednak statystycznie.

Zwiększenie nawożenia azotem z 40 do 80 kg·ha$^{-1}$ nie miało istotnego wpływu na wskaźnik NHI, natomiast potrojenie dawki N do 120 kg·ha$^{-1}$ przyczyniło się do udowodnionego statystycznie obniżenia wskaźnika NHI o 3,5%.

Wykazano również istotne współdziałanie badanych czynników doświadczenia. Jeśli wprowadzono do gleby międzyplon za pomocą pługa lub kultywatora, to znacząco wyższy wskaźnik NHI obserwowano po aplikacji 40 lub 80 kg N·ha$^{-1}$, niż po zastosowaniu 120 kg N·ha$^{-1}$. Rezygnując z uprawy międzyplonu lub z uprawy roli nie obserwowano zmian badanego parametru.

Tabela 65. Indeks żniwny azotu (NHI)[%] (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| A. Uprawa tradycyjna | 72,7 | 72,5 | 74,4 | 73,2 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 70,8 | 77,8 | 66,1 | 71,5 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 73,1 | 73,0 | 69,3 | 71,8 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 70,1 | 67,5 | 67,0 | 68,2 |
| Średnio | 71,7 | 72,7 | 69,2 | – |
| $NIR_{0,05}$ dla systemów uprawy – 1,7<br>$NIR_{0,05}$ dla nawożenia N – 2,0<br>$NIR_{0,05}$ dla interakcji – 3,6 | | | | |

### 5.6. Uproszczona ocena ekonomiczna różnych technologii uprawy jęczmienia jarego

Dla obiektywnej oceny technologii uprawy jęczmienia jarego w różnych systemach, nieodzowna jest analiza ekonomiczna. Czynnik ekonomiczny ma zasadniczy wpływ na wybór agrotechniki. Wartość produkcji jęczmienia jarego, będąca pochodną plonowania zboża i jego wartości rynkowej była zróżnicowana w zależności od zastosowanych czynników badawczych, a zróżnicowanie wynikało głównie z uzyskanego plonu (tab. 66). Najwyższą wartość produkcji określono w warunkach uprawy tradycyjnej. Zagospodarowanie międzyplonu każdym z badanych sposobów wpłynęło na zmniejszenie wartości produkcji.

Szczególnie duży spadek (o 30,5%) zanotowano po zastosowaniu siewu bezpośredniego w mulcz. W warunkach uprawy uproszczonej wartość produkcji zmniejszyła się odpowiednio o 9,2%, a po przyoraniu międzyplonu o 4,9%. Wraz z intensyfikacją nawożenia azotem stwierdzono systematyczny wzrost wartości produkcji jęczmienia jarego, odpowiednio o 12,9 i 8,9%.

Tabela 66. Wartość produkcji jęczmienia jarego [zł·ha$^{-1}$] (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| A. Uprawa tradycyjna | 4285 | 4528 | 4912 | 4575 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 3933 | 4342 | 4771 | 4349 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 3702 | 4202 | 4554 | 4153 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 2602 | 3325 | 3613 | 3180 |
| Średnio | 3630 | 4099 | 4462 | - |

Najwyższymi kosztami bezpośrednimi produkcji jęczmienia jarego charakteryzowała się tradycyjna uprawa roli połączona z nawożeniem organicznym (B) (tab. 67). Zastosowanie uproszczeń w uprawie roli (C) oraz siewu bezpośredniego (D) w znaczący sposób modyfikowało koszty. Były one, odpowiednio o 12,1 i 10,4% niższe, w porównaniu do poniesionych w warunkach uprawy tradycyjnej (B) i zbliżone do poniesionych po zrezygnowaniu z uprawy międzyplonu (A)

Po zwiększeniu nawożenia z 40 do 80 kg N·ha$^{-1}$ koszty poniesione na produkcję jęczmienia jarego wzrosły o 7,6%. Kolejne podwyższenie dawki do 120 kg N·ha$^{-1}$ skutkowało dalszym wzrostem kosztów (o 7,1%).

Tabela 67. Koszty bezpośrednie [zł·ha$^{-1}$] (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| A. Uprawa tradycyjna | 1730 | 1865 | 2000 | 1865 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 1933 | 2068 | 2203 | 2068 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 1683 | 1817 | 1953 | 1817 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 1715 | 1850 | 1985 | 1850 |
| Średnio | 1765 | 1900 | 2035 | - |

Nadwyżka bezpośrednia to najczęściej stosowany wskaźnik porównywalności wyników produkcji, stanowiący różnicę między wartością produkcji ziarna jęczmienia jarego, a kosztami bezpośrednimi. Uproszczona analiza ekonomiczna wykazała, że wprowadzenie do gleby międzyplonu każdym z badanych sposobów, przyczyniło się do zmniejszenia nadwyżki bezpośredniej (tab. 68). Najniższą wartość stwierdzono w warunkach siewu bezpośredniego jęczmienia jarego i była ona ponad dwukrotnie niższa od uzyskanej z poletek uprawianych tradycyjnie, bez międzyplonu. Po zastosowaniu uprawy uproszczonej nadwyżka bezpośrednia zmniejszyła się odpowiednio o 13,8%, natomiast po przyoraniu gorczycy o 15,8%. Zwiększenie dawki N z 40 do 80 kg·ha$^{-1}$ spowodowało wzrost nadwyżki o 17,8%, nieco mniejszy jej przyrost (o 10,4%) uzyskano po dalszym zwiększeniu dawki azotu. Największą nadwyżkę bezpośrednią odnotowano na obiekcie, na którym zrezygnowano z międzyplonu, wykonano uprawę tradycyjną i zastosowano nawożenie azotem w dawce 120 kg N·ha$^{-1}$, a najniższą w warunkach uprawy zerowej i aplikacji 40 kg N·ha$^{-1}$.

Tabela 68. Nadwyżka bezpośrednia [zł·ha$^{-1}$] (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| A. Uprawa tradycyjna | 2549 | 2663 | 2912 | 2708 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 2000 | 2275 | 2569 | 2281 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 2019 | 2385 | 2601 | 2335 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 906 | 1475 | 1628 | 1336 |
| Średnio | 1868 | 2199 | 2428 | - |

Wraz z intensyfikacją nawożenia azotem rosły koszty uprawy jęczmienia jarego, a w konsekwencji zwiększała się wysokość plonu równoważącego (tab. 69). Analiza ekonomiczna wykazała także, że pomimo dodatkowego wprowadzenia do gleby międzyplonu, poniesiono mniejsze koszty niż na obiekcie kontrolnym (bez międzyplonu), ale pod warunkiem, że uprawę roli uproszczono lub z niej zrezygnowano.

W celu zrównoważenia kosztów ogółem w porównywanych systemach uprawy roli trzeba było przeznaczyć: po zastosowaniu uprawy tradycyjnej (bez międzyplonu) 2,79 tony ziarna jęczmienia, co stanowiło 51,2% uzyskanego plonu, natomiast po zastosowaniu uprawy tradycyjnej z międzyplonem 2,98 tony ziarna tj. 44,5% wyprodukowanego plonu. Jeśli uprawę roli uproszczono i wprowadzono do gleby międzyplon za pomocą kultywatora, to wskazany wskaźnik wyniósł odpowiednio 2,68 tony tj. 47,0%.

Tabela 69. Struktura kosztów (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| Koszty pośrednie | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 647 | 677 | 707 | 677 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 622 | 652 | 682 | 652 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 597 | 627 | 657 | 627 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 587 | 617 | 647 | 617 |
| Średnio | 613 | 643 | 673 | - |
| Koszty ogółem [zł·ha$^{-1}$] | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 2377 | 2542 | 2707 | 2542 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 2555 | 2720 | 2885 | 2720 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 2280 | 2444 | 2610 | 2444 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 2302 | 2467 | 2632 | 2467 |
| Średnio | 2378 | 2543 | 2708 | - |
| Plon równoważący koszty ogółem [t·ha$^{-1}$] | | | | |
| A. Uprawa tradycyjna | 2,61 | 2,79 | 2,97 | 2,79 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 2,80 | 2,98 | 3,16 | 2,98 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 2,50 | 2,68 | 2,86 | 2,68 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 2,52 | 2,70 | 2,89 | 2,70 |
| Średnio | 2,61 | 2,79 | 2,97 | - |

Ważnym miernikiem oceny systemu uprawy jest wysokość dochodu rolniczego. W przeprowadzonej analizie był on zróżnicowany w zależności od zastosowanej technologii uprawy (tab. 70). Najlepszą efektywność ekonomiczną osiągnięto w systemie uprawy tradycyjnej, w którym zrezygnowano z nawożenia organicznego. Jeśli międzyplon ścierniskowy został przyorany, to dochód rolniczy zmniejszył się o 19,8%. Po wymieszaniu go z glebą za pomocą kultywatora uległ redukcji o 15,9%, natomiast w warunkach zaniechania uprawy roli i pozostawienia międzyplonu na polu w formie mulczu był 3.krotnie niższy niż z obiektu kontrolnego.

Intensyfikacja nawożenia azotem oddziaływała na poprawę efektywności ekonomicznej. Po zwiększeniu dawki N z 40 do 80 kg·ha$^{-1}$ dochód rolniczy wzrósł o 24,0%, kolejny wzrost dawki N z 80 do 120 kg·ha$^{-1}$ przyczynił się do uzyskania większego dochodu o 12,7%. Najwyższy dochód rolniczy zapewniło zastosowanie uprawy tradycyjnej, zrezygnowanie z międzyplonu i nawożenie azotem w dawce 120 kg N·ha$^{-1}$.

Tabela 70. Dochód rolniczy [zł·ha$^{-1}$] (średnie z lat 2010–2012)

| System uprawy | Dawka azotu [kg N·ha$^{-1}$] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 | 80 | 120 | średnio |
| A. Uprawa tradycyjna | 1902 | 1986 | 2205 | 2031 |
| B. Uprawa tradycyjna + międzyplon | 1378 | 1623 | 1887 | 1629 |
| C. Uprawa uproszczona + międzyplon | 1422 | 1758 | 1944 | 1708 |
| D. Uprawa zerowa + międzyplon | 319 | 858 | 981 | 719 |
| Średnio | 1255 | 1556 | 1754 | - |

# 6. DYSKUSJA

W trzyletnim, doświadczeniu polowym badano wpływ międzyplonu ścierniskowego z gorczycy białej, wprowadzonego do gleby trzema sposobami uprawy oraz zróżnicowanego poziomu nawożenia azotem na produkcyjność jęczmienia jarego. Przeprowadzony eksperyment pozwolił również ocenić właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne gleby oraz zachwaszczenie łanu testowanego zboża.

## 6.1. Zmiany środowiska glebowego

Właściwości fizyczne gleby decydują m.in. o oporze stawianym narzędziom i maszynom uprawowym, a także korzeniom roślin, co w efekcie przekłada się na wielkość nakładów energetycznych na uprawę oraz produkcyjność roślin [Tomaszewska 2002, Lejman i Owsiak 2005]. Skala zmian siedliska glebowego wywołana badanymi sposobami zagospodarowania międzyplonu ścierniskowego była różna. Zastąpienie uprawy tradycyjnej systemami bezorkowymi i jednoczesne wprowadzenie do gleby międzyplonu miało na ogół wpływ na zwiększenie gęstości objętościowej i zwięzłości gleby oraz zmniejszenia jej porowatości ogólnej i kapilarnej. Potwierdzono zatem wyniki wielu badań, w których porównano uprawę tradycyjną z uprawą bezorkową i siewem bezpośrednim [Dzienia i in. 2006, Blecharczyk i in. 2007a, Małecka i in. 2007a, Włodek i in. 2007, Morris i in. 2010, Małecka i in. 2012a]. W opracowaniach tych na ogół stwierdzono wzrost zagęszczenia układu gleby, a tym samym zwiększenie gęstości objętościowej gleby, zwięzłości oraz obniżenie kapilarnej pojemności wodnej w warstwie ornej jeśli z uprawy roli wyeliminowano orkę. Odmienne wyniki badań uzyskali Kuc [2014] i Majchrzak [2015], którzy porównując różne technologie zagospodarowania mulczu zanotowali niższą gęstość i wyższą porowatość gleby po zastosowaniu uproszczonej uprawy. Wyniki doświadczeń wieloletnich często wskazują na zmniejszenie gęstości objętościowej w wierzchniej warstwie gleby po zastąpieniu uprawy płużnej systemami bezorkowymi, na skutek wzrostu zawartości substancji organicznej oraz aktywności biologicznej i tworzenia się biogennych porów w glebie, w większości o pionowym kierunku przebiegu [Lenart i Sławiński 2010, Morris i in. 2010]. Na ogół, po kilku latach stosowania uprawy bezorkowej zwiększa się udział porów niekapilarnych, w wyniku spulchniającego działania fauny glebowej, poprawiając tym samym napowietrzanie i przepuszczalność gleb.

Wprowadzona do gleby biomasa gorczycy białej wywarła istotny wpływ na wilgotność gleby określoną w fazie dojrzałości pełnej jęczmienia. Znacząco mniej wody w glebie stwierdzono po zrezygnowaniu z uprawy roli i zastosowaniu mulczu z gorczycy oraz po zagospodarowaniu międzyplonu za pomocą kultywatora, niż po jego przyoraniu. Doniesienia literaturowe dotyczące tego zagadnienia są niejednoznaczne. Uproszczenia w uprawie roli mogą zarówno sprzyjać gromadzeniu wody w glebie [Lepiarczyk i in. 2007, Małecka i in. 2012a, Wacławowicz 2013], jak i przyczyniać się do pogorszenia glebowej gospodarki wodnej [Jaskulski i Jaskulska 2004a, Blecharczyk i in. 2007a, Pranagal 2007].

Rozbieżności te mogą wynikać ze zróżnicowanych warunków glebowych oraz pogodowych, a także obecności i rodzaju biomasy wprowadzanej do gleby.

W realizowanym doświadczeniu intensyfikacja nawożenia azotem miała znikomy wpływ na właściwości fizyczne gleby. Zależność tą potwierdzają w swoich badaniach Wacławowicz [2008] oraz Wojciechowski [2009]. Wacławowicz [2013] twierdzi, że zastosowanie podwyższonego nawożenia azotem może przyczynić się do zmniejszenia uwilgotnienia gleby, gęstości i zwiększenia porowatości ogólnej. Wynika to z lepszego odżywienia roślin uprawnych, a także chwastów po zastosowaniu najwyższej dawki azotu, wytworzenia większej masy korzeniowej, a w efekcie rozluźnienia gleby. Odmienne wyniki badań uzyskali Zimny i in. [2005], którzy stwierdzili, że w wyniku intensyfikacji azotem istotnie zwiększa się gęstość objętościowa, przy jednoczesnym zmniejszeniu zwięzłości i porowatości gleby.

Struktura gruzełkowata roli odgrywa ważną rolę w kształtowaniu właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych gleby [Rabot i in. 2018, Nunes i in. 2020] Prawidłowe warunki do rozwoju roślin zależą jednak nie tylko od obecności agregatów, ale także od ich odporności na procesy zbrylania i rozpylania [Suwara 2010, Turski 2010, Kuc i Wacławowicz 2010]. Właściwa struktura roli ułatwia penetrację korzeniom roślin, reguluje stosunki wodno-powietrzne oraz sprzyja infiltracji wody opadowej [Lenart 2002, Smagacz 2016]. Parametrem charakteryzującym strukturę roli, zwłaszcza stopień agregacji gleby, jest średnia ważona średnica agregatu (MWDg). Pod koniec wegetacji jęczmienia zaobserwowano, że wprowadzenie do gleby międzyplonu i ograniczenie intensywności uprawy roli przyczyniło się do wzrostu wskaźnika MWDg. Wiele badań potwierdza powszechną opinię o korzystnym wpływie uproszczeń w uprawie roli na ten wskaźnik [Wacławowicz i in. 2012, Wacławowicz 2013, Kuc i in. 2015]. Według Kordasa [2000], Jiao i in. [2006] oraz Daraghmeh i in. [2009] zastosowanie siewu bezpośredniego sprzyja wzrostowi wskaźnika MWDg. Pagliai i in. [2004] badając różne sposoby uproszczeń w uprawie roli stwierdzili, że po wykonaniu talerzowania wartość MWDg była większa niż po przeprowadzeniu orki. Według tych autorów skutkiem polepszenia stopnia agregacji gleby było mniejsze zaskorupienie roli na poletkach uprawianych alternatywnymi do orki sposobami. Poprawę agregacji gleby pod wpływem nawożenia organicznego stwierdzili Wacławowicz i Tendziagolska [2008], Wojciechowski [2009], Wacławowicz i in. [2012] oraz Kuc i in. [2015]. W badaniach Kordasa i Majchrowskiego [2001] nie wykazano zmian wskaźnika MWDg po dostarczeniu do gleby biomasy. Natomiast w opracowaniu Giemzy-Mikody i in. [2011] oraz Majchrzaka [2015] międzyplon z gorczycy białej przyczynił się do zmniejszenia średniej ważonej średnicy agregatów.

O jakości struktury w znacznym stopniu decyduje jej odporność na destrukcyjne działanie wody. Zrezygnowanie z uprawy płużnej w znaczącym stopniu sprzyjało poprawie wodoodporności agregatów glebowych w terminie zbioru jęczmienia jarego, w każdej z badanych warstw. Podobny kierunek zmian w swoich doświadczeniach otrzymali również

Daraghmeh i in. [2009], Wacławowicz i in. [2012] oraz Wacławowicz [2013]. Także w badaniach Kordasa [2000] zastosowanie siewu bezpośredniego pszenicy jarej przyczyniło się do wzrostu wskaźnika wodoodporności agregatów glebowych w warstwie 5–25 cm (o 35%) w porównaniu z uzyskanym w uprawie tradycyjnej. Natomiast Kasper i in. [2009] twierdzą, że trwałość agregatów glebowych była zbliżona w warunkach uprawy tradycyjnej i uproszczonej, a zastosowanie zerowej uprawy przyczyniło się do ponad dwukrotnego zwiększenia stabilności agregatów, w porównaniu z określonym w systemie tradycyjnym i uproszczonym. W przeprowadzonym doświadczeniu wodotrwałość agregatów glebowych zależała także od wprowadzenia do gleby międzyplonu ścierniskowego, który sprzyjał wzrostowi wskaźnika Wod w okresie dojrzałości pełnej jęczmienia. Korzystny wpływ na odporność agregatów glebowych na destrukcyjne działanie wody po wprowadzeniu do gleby biomasy zaobserwowali także Wacławowicz i in. [2012], Wacławowicz [2013] oraz Harasim i in. [2020]. Zmniejszenie wodoodporności agregatów w badaniach własnych stwierdzono również w wyniku intensyfikacji nawożenia azotem. Na destrukcyjną rolę nawożenia N wskazują Giemza-Mikoda i in. [2011], Wacławowicz i in. [2012] oraz Kuc i in. [2015]. Z kolei w badaniach Wacławowicza i Tendziagolskiej [2008] i Wacławowicza [2013] obserwowano odwrotne zależności. Natomiast w doniesieniu Wojciechowskiego [2009] nie wykazano oddziaływania tej formy nawożenia na trwałość struktury roli.

Aktywność respiracyjna jest bardzo ważnym wskaźnikiem żyzności i aktywności biologicznej gleby, mającym duży wpływ na produkcyjność roślin. Zmienność emisji dwutlenku węgla zależy od rodzaju gleby, systemu uprawy i nawożenia [Sainju i in. 2008]. Zaniechanie uprawy roli i zastosowanie siewu bezpośredniego w mulcz z gorczycy skutkowało zmniejszeniem aktywności respiracyjnej gleby. Zbieżny kierunek zmian w swoich doświadczeniach otrzymali również Hryńczuk i Weber [2004], Bojarszczuk i in. [2019] oraz Lamptey i in. [2017]. Z kolei Bielańska i Mocek-Płóciniak [2012], Małecka i in. [2012a], Majchrzak [2015] w swoich badaniach odnotowali odmienne zależności.

Ilość i jakość wprowadzonej do gleby biomasy międzyplonów oraz brak odwracania gleby pługiem powodują w warunkach uprawy uproszczonej i siewu bezpośredniego zmianę właściwości chemicznych gleby. W opinii Lenarta i Sławińskiego [2010], Rajewskiego i in. [2012] oraz Majchrzaka [2015] wśród efektów, które niosą za sobą różne warianty uprawowe obserwuje się większą koncentrację azotu ogólnego oraz przyswajalnych form fosforu i potasu w powierzchniowej warstwie gleby w uproszczonej uprawie roli i siewie bezpośrednim, w porównaniu do wartości uzyskanych w tradycyjnej uprawy roli. Taki sam kierunek zmian obserwowano w przeprowadzonym doświadczeniu. Z kolei Kraska [2011] odnotował w swoich badaniach niższą zawartość fosforu w glebie, na której stosowano uprawę powierzchniową, w odniesieniu do uprawy płużnej, a Małecka i in. [2012a] stwierdzili zbliżoną zawartość tego pierwiastka na wszystkich testowanych obiektach uprawowych.

### 6.2. Zachwaszczenie łanu

Opinie dotyczące stanu i stopnia zachwaszczenia zbóż w różnych systemach uprawy roli są podzielone. W warunkach wdrażania zasad integrowanej produkcji, w tym ochrony roślin, uprawa roli i inne niechemiczne zabiegi nabierają szczególnego znaczenia jako elementy strategii ograniczania zachwaszczenia [Praczyk i Skrzypczak 2011]. W przeprowadzonym eksperymencie uproszczenia w uprawie roli przyczyniły się do wzrostu zachwaszczenia określanego pod koniec wegetacji jęczmienia. Jest to zbieżne z wynikami wielu badań, które wskazują, że modyfikacja uprawy płużnej, a głównie jej uproszczenie, może powodować wzrost zachwaszczenia pól, a w konsekwencji spadek plonowania uprawianych roślin. Woźniak i Soroka [2014] badając wpływ uproszczeń w uprawie roli na zachwaszczenie pszenicy twardej stwierdzili, że zastosowanie kultywatorowania zamiast orki przyczynia się do wzrostu liczby i masy chwastów odpowiednio o 81 i 36%. Z kolei Wacławowicz [2013], zastępując orkę głęboką talerzowaniem, obserwował ponad 4-krotnie większą powietrznie suchą masę chwastów. Kordas [2004] dowiódł, że zastąpienie uprawy płużnej zarówno w uprawie pożniwnej, jak i przedsiewnej, uprawą bezorkową (kultywatorem lub talerzówką) spowodowało wzrost zachwaszczenia łanu o 50%. Modyfikacja klasycznej uprawy płużnej na rzecz technik uproszczonych, a zwłaszcza siewu bezpośredniego przyczyniła się do wzrostu zachwaszczenia zbóż również w eksperymentach prowadzonych przez Orzecha i in. [2011], Majchrzaka i Piechotę [2013] oraz Małecką-Jankowiak i in. [2015]. Natomiast w badaniach Faltyn i Kordasa [2009b], Majchrzaka i Piechoty [2014] większe zachwaszczenie wystąpiło w warunkach uprawy płużnej niż uproszczonej lub zerowej. W badaniach własnych, w fazie krzewienia jęczmienia jarego, najmniej niepożądanych roślin obserwowano na poletkach, na których zastosowano siew bezpośredni lub uproszczenia w uprawie. Sytuację taką wiąże się często z pozostawioną na polu rośliny okrywowej w postaci mulczu, której oprócz ograniczenia rozwoju chwastów na skutek przykrycia powierzchni gleby przypisuje się również oddziaływanie allelopatyczne. Majchrzak i Piechota [2014] wskazali, że obecność międzyplonu z gorczycy białej w siewie bezpośrednim zmniejszyła liczbę chwastów w łanie pszenicy jarej o 68%. Kuc [2008] obserwował natomiast wyraźny spadek liczby chwastów po zastosowaniu uprawy konserwującej, w porównaniu z uprawą tradycyjną. Według Kordasa [2004] wieloletnie stosowanie uprawy uproszczonej i siewu bezpośredniego tylko w początkowym okresie powoduje wzrost zachwaszczenia, w późniejszym następuje zmniejszenie zachwaszczenia poniżej występującego w uprawie tradycyjnej.

Poglądy na temat oddziaływania nawożenia azotem na zachwaszczenie są rozbieżne. W badaniach własnych intensyfikacja nawożenia azotem wpłynęła na systematyczne, istotne zmniejszenie liczby chwastów w łanie jęczmienia jarego. Podobny kierunek zmian zaobserwowali również Wojciechowski [2009], Harasim i Wesołowski [2013] oraz Suwara i in. [2019]. Może to mieć związek z lepszym odżywieniem jęczmienia, dzięki czemu zwiększa się zagęszczenie łanu i konkurencyjność rośliny uprawnej w stosunku do chwastów.

W badaniach Brzozowskiej i Brzozowskiego [2008], Piekarczyka [2010] oraz Giemzy-Mikody [2012] poziom nawożenia mineralnego nie powodował istotnych zmian w badanych parametrach zachwaszczenia. Z kolei Adamiak i Stępień [1998] i Wacławowicz [2013] zaobserwowali zwiększenie liczby chwastów pod wpływem intensyfikacji nawożenia azotem.

### 6.3. Poziom plonowania

Rośliny zbożowe odznaczają się wrażliwością na okresowe niedobory wody i reagują zmianami w plonowaniu [Weber i Hryńczuk 2007]. Jak podaje wielu autorów [Kołodziejczyk i in. 2009, Sułek i Podolska 2012, Haliniarz i in. 2013] warunki pogodowe w poszczególnych sezonach wegetacyjnych zbóż jarych mogą wywierać większy wpływ na ich plonowanie, niż uwzględniane przez tych autorów inne czynniki doświadczenia. Otrzymane w badaniach własnych różnice w wysokości plonowania jęczmienia jarego w poszczególnych latach były efektem zmiennych warunków atmosferycznych. Średni plon ziarna jęczmienia jarego za 3-letni okres badawczy był istotnie różnicowany przez sposoby uprawy roli i obecność międzyplonu.

W przeprowadzonym eksperymencie wprowadzenie do gleby międzyplonu wpłynęło na pogorszenie plonowania jęczmienia jarego. Po przyoraniu międzyplonu z gorczycy białej plon ziarna był o 6,1% niższy od określonego w uprawie tradycyjnej bez przeorywanej biomasy, zależności tej nie udowodniono jednak statystycznie. Podobne wyniki uzyskali również Starczewski i in. [2008] oraz Wojciechowski [2009]. Natomiast Kraska [2011] wykazał korzystny wpływ gorczycy białej uprawianej w międzyplonie ścierniskowym na plonowanie pszenicy jarej, która zareagowała zwyżką plonu o 8,4%. Również Kuś i Jończyk [2000] oraz Kwiatkowski [2009b] stwierdzili, że uprawa międzyplonów ścierniskowych korzystnie wpływa na plonowanie zbóż jarych, a w szczególności jęczmienia. Zastosowanie siewu bezpośredniego jęczmienia w mulcz spowodowało obniżkę plonu o 37,9%, w porównaniu z uprawą tradycyjną. Również rezygnacja z orki na rzecz kultywatorowania i zagospodarowanie międzyplonu było powodem redukcji masy ziarna odpowiednio o 11,5%. Uzyskane wyniki potwierdzają rezultaty wielu badań. Lepiarczyk i in. [2006] oraz Małecka i in. [2012b] po zastosowaniu uprawy uproszczonej wykazali obniżenie plonu ziarna jęczmienia jarego o 23%. Zależność tą udowodniono również w badaniach Kurowskiego i in. [2008], Małeckiej i in. [2007b], Włodka i in. [2007], Lepiarczyka i Stępnik [2009] oraz Orzecha i in. [2011], którzy stwierdzili, że każde uproszczenie uprawy roli, w tym najbardziej skrajne- siew bezpośredni, powoduje redukcję plonu od 6 do nawet 26%. Według badań Majchrzaka [2015] uproszczenia uprawowe polegające na zastosowaniu agregatu uprawowego oraz techniki siewu bezpośredniego, powodowały zmniejszenie plonu ziarna pszenicy jarej odpowiednio o 9,8 i 12,7%. Podobnie Małecka i in. [2004] po wprowadzeniu uprawy powierzchniowej i uprawy zerowej obserwowali istotne obniżenie poziomu plonowania jęczmienia jarego, w porównaniu z określonym w uprawie konwencjonalnej odpowiednio o 8,4 i 12,4%. Z kolei Haliniarz

i in. [2013] oraz Candráková i Macák [2015] nie wykazali istotnych różnic w plonowaniu zbóż pod wpływem zastosowanej technologii uprawy roli. Rotrekl i in. [2001] oraz Procházková i in. [2018] zaobserwowali natomiast pozytywny wpływ zastosowanych uproszczeń w uprawie roli na plonowanie jęczmienia jarego uprawianego po burakach cukrowych. Według tych autorów, korzystny wpływ mniejszej intensywności uprawy gleby na produkcję jęczmienia jarego można wiązać przede wszystkim z lepszymi stosunkami wilgotnościowymi gleby oraz dogodniejszymi warunkami do rozkładu liści buraczanych. W wielu przypadkach powód obniżenia plonowania pod wpływem uproszczeń uprawowych badacze łączą w większym stopniu z niekorzystnym przebiegiem pogody, niż z samym zróżnicowaniem sposobu uprawy.

Warunkiem korzystnego wpływu międzyplonów na plonowanie zbóż jest jego wartość nawozowa oraz proces mineralizacji przyoranej biomasy trwający na tyle długo, aby rośliny w okresie formowania ziarna mogły pobrać z gleby składniki pokarmowe pochodzące z jego rozkładu [Thomas i Ahrchembeaud 2019]. Według Kusia i Jończyka [2000] skuteczność zagospodarowania międzyplonów ścierniskowych jest uzależniona od warunków siedliskowych i warunków atmosferycznych w trakcie wegetacji. Herrera i Liedgens [2009] oraz Jaskulska i Gałęzewski [2009] uważają, że uprawa międzyplonów, mimo korzystnego oddziaływania w siedlisku, nie zawsze wpływa na wyższe plonowanie rośliny następczej. Frant i Bujak [2007] oraz Kulig i in. [2009] stwierdzili, że postawienie biomasy międzyplonu ścierniskowego jako mulczu i wymieszanie jego resztek roślinnych z glebą przed siewem pszenicy jarej powodowało niewielkie obniżenie plonu ziarna. Podobnie Kraska [2011] uzyskał wyższy plon ziarna pszenicy jarej w płużnym systemie uprawy roli, niż konserwującym. Wrzesińska i in. [2017] stwierdzili brak istotnego wpływu zastosowanego mulczu na plonowanie jęczmienia jarego. Natomiast Głąb i Kulig [2008] dowiedli, że uprawa międzyplonu pozwalała zmniejszyć redukcję plonu ziarna pszenicy jarej po stosowaniu uproszczeń w uprawie roli. Korzystny wpływ międzyplonu na wielkość plonu ziarna jęczmienia stwierdzili w swoich badaniach Jaskulski i in. [2000], Małecka i in. [2004] oraz Wilczewski [2014]. Również Majchrzak [2015] dowiódł, że uprawa międzyplonu z gorczycy białej sprzyjała zwiększeniu plonu ziarna pszenicy jarej o 14,7%. Podobnie Wacławowicz i in. [2005] oraz Wojciechowski [2009] stwierdzili większą stabilność plonowania pszenicy na skutek przyorywania resztek międzyplonów i poprawy w ten sposób warunków wodnych w glebie.

Jednym z celów polowego zagospodarowania międzyplonów ścierniskowych jest ograniczenie nawożenia mineralnego. Wykorzystanie w uprawie jęczmienia jarego gorczycy białej, jako międzyplonu, nie umożliwiło zredukowania dawek nawozów azotowych. Odmienne wyniki badań uzyskali Małecka i in. [2004], Wojciechowski [2009] i Wilczewski [2014], którzy wykazali możliwość redukcji nawożenia azotem zbóż w wyniku przyorania nawozów zielonych. Zdaniem Jaskulskiego i Jaskulskiej [2004a] wprowadzona do gleby biomasa, jako źródło węgla organicznego i energii, zwiększa jednocześnie zapotrzebowanie

drobnoustrojów glebowych na azot mineralny. Stwierdzenie to może częściowo tłumaczyć niekorzystną produktywność jęczmienia jarego uprawianego po zagospodarowaniu międzyplonu ścierniskowego przy najniższej dawce N.

Plon ziarna najczęściej jest wypadkową liczby kłosów, liczby ziaren w kłosie i masy tysiąca ziaren [Korbas i Mrówczyński 2010]. W przeprowadzonym doświadczeniu obniżenie poziomu plonowania po zastosowaniu międzyplonu i uproszczeń w uprawie roli, wynikało na ogół ze zmniejszonej obsady, mniejszej liczby kłosów oraz liczby ziarna z kłosa. Znajduje to potwierdzenie w badaniach Małeckiej i in. [2007b], Małeckiej i Blecharczyka [2008], Lepiarczyka i Stępnik [2009], Kraski [2011] oraz Małeckiej i in. [2012b]. Również Jaskulski [2000], Jaskulski i Jaskulska [2004b] badając wpływ międzyplonów ścierniskowych na plonowanie jęczmienia jarego obserwowali zmniejszenie obsady, liczby kłosów, a w konsekwencji plonu ziarna.

### 6.4. Uproszczona ocena ekonomiczna

Kompromisem między nakładami ponoszonymi na uprawę roli a uzyskanymi efektami produkcyjnymi jest stosowanie uproszczeń w polowej produkcji roślinnej. Zależność ta jest wykorzystywana szczególnie w gospodarstwach wielkoobszarowych, co wynika z konieczności ograniczenia kosztów i jednocześnie dużej powierzchni upraw [Kordas 2009]. Zdaniem Sułek [2017] granicę opłacalności technologii tradycyjnej w porównaniu z uproszczoną wyznacza równowaga między końcowymi kosztami produkcji i krańcowym przyrostem wartości produkcji. Orzech i in. [2009] twierdzą, że ocena ekonomiczna w badaniach nad sposobami i systemami uprawy roli, jest równie istotna, jak określenie efektów produkcyjnych i energetycznych. W badaniach własnych przeprowadzona uproszczona analiza ekonomiczna wykazała, że polowe zagospodarowanie międzyplonu ścierniskowego każdym z badanych sposobów, a w szczególności pozostawienie gorczycy na powierzchni pola w postaci mulczu i zastosowanie siewu bezpośredniego przyczyniło się do zmniejszenia nadwyżki bezpośredniej i dochodu rolniczego. Opinię, że uproszczenia uprawowe nie są ekonomicznie uzasadnione potwierdzają wyniki badań Klikockiej i in. [2011] oraz Majchrzaka [2015]. Według Jaskulskiego i in. [2012] stosowanie uproszczonej uprawy roli pomimo, że ogranicza zużycie paliwa i jego koszt, to jednak spadek wartości produkcji powoduje stratę ekonomiczną. Nie ma zatem ekonomicznego uzasadnienia, aby rezygnować z tradycyjnej uprawy roli na rzecz uproszczonej obniżającej plon roślin i wpływającej na nadwyżkę bezpośrednią. Orzech i in. [2004] oraz Klikocka i in. [2012] twierdzą, że uprawa roli może pochłonąć 25-40% całkowitych nakładów na produkcję roślinną. Jednakże zdaniem Klikockiej i Sachajko [2011] przyjmując za kryterium oceny wskaźnik efektywności energetycznej należy stwierdzić, że najwyższą przydatność ma uprawa płużna, ponieważ z reguły zapewnia najwyższe plony. Według Kordasa [2009] zmniejszenie plonu ziarna w uproszczonej uprawie roli i siewie bezpośrednim średnio o 15,6%, jest w pełni jest rekompensowane obniżką kosztów uprawy. W opinii Smagacza

[2006] i Krasowicza i in. [2008] jedynie znaczny spadek plonów może spowodować nieopłacalność ekonomiczną siewu bezpośredniego. Smagacz [2006] donosi, że uproszczenia w uprawie roli różnicują strukturę kosztów bezpośrednich. Według tego autora zastosowanie uprawy zerowej wiąże się z wyższym kosztem ochrony roślin, a mniejszym nakładem pracy, dodatkowo pojawia się pozytywny aspekt ekonomiczny związany z mniejszym zużyciem paliwa oraz środowiskowy dotyczący ochrony gleb przed erozją i wymywaniem składników pokarmowych.

# 7. WNIOSKI

Na podstawie trzyletnich badań polowych przeprowadzonych w warunkach Dolnego Śląska nad wpływem różnych systemów uprawy na warunki siedliskowe i plonowanie jęczmienia jarego można sformułować następujące wnioski:

1. Systemy uprawy na ogół różnicowały badane parametry właściwości fizycznych gleby. W fazie krzewienia jęczmienia jarego wykazano istotne zwiększenie gęstości objętościowej i zwięzłości gleby oraz zmniejszenie porowatości ogólnej i kapilarnej, jeśli uprawę tradycyjną zastąpiono uprawą bezorkową lub zerową i dodatkowo zastosowano międzyplon. Z kolei w fazie dojrzałości pełnej taka modyfikacja systemu uprawy przyczyniła się na ogół do istotnego pogorszenia warunków wilgotnościowych, zmniejszenia porowatości kapilarnej gleby oraz zwiększenia jej zwięzłości, co obserwowano głównie w głębszej z badanych warstw gleby.
2. Przyoranie międzyplonu lub jego pozostawienie na powierzchni pola w formie mulczu przyczyniło się do wyraźnego zmniejszenia średniej ważonej średnicy agregatu (MWDg) oraz ograniczenia odporności agregatów na rozmywające działanie wody (Wod). Zależności te obserwowano w początkowym okresie wzrostu jęczmienia i głównie w warstwie 5-10 cm. Natomiast pod koniec wegetacji zboża zanotowano, że wprowadzenie do gleby międzyplonu i ograniczenie intensywności uprawy roli wpłynęło korzystnie na wzrost wskaźników MWDg oraz Wod w obu badanych warstwach gleby. Zwiększenie nawożenia azotem z 40 do 120 kg $N \cdot ha^{-1}$ przyczyniło się do istotnego wzrostu wskaźnika struktury gleby (W) i zmniejszenia wskaźnika zbrylenia (B), w warstwie 10-20 cm. Natomiast w warstwie płytszej intensyfikacja nawożenia azotem wpłynęła na istotne zmniejszenie wskaźników MWDg i Wod.
3. Zaniechanie uprawy roli i zastosowanie siewu bezpośredniego jęczmienia w mulcz z gorczycy skutkowało zmniejszeniem aktywności respiracyjnej gleby. Taką samą tendencję zmian obserwowano po zwiększeniu dawki nawożenia azotem.
4. Polowe zagospodarowanie międzyplonu, każdym z badanych sposobów przyczyniło się do istotnego wzrostu zawartości przyswajalnych form fosforu i potasu w glebie. Taki sam kierunek zmian dotyczył koncentracji azotu ogólnego w glebie, jednak zależności tych na ogół nie potwierdzono statystycznie.
5. Uproszczenia w uprawie roli sprzyjały ograniczeniu liczby chwastów w fazie krzewienia jęczmienia, jednocześnie przyczyniając się do wzrostu zachwaszczenia w czasie zbioru zboża. Intensyfikacja nawożenia azotem wpłynęła na systematyczne, istotne zmniejszanie liczebności chwastów w łanie.
6. Sposoby uprawy roli i obecność międzyplonu różnicowały plonowanie jęczmienia jarego. Siew bezpośredni jęczmienia w mulcz spowodował obniżkę plonu o 37,9% w porównaniu z uzyskanym w warunkach uprawy tradycyjnej. Również

zagospodarowanie międzyplonu za pomocą kultywatora przyczyniło się do redukcji masy ziarna odpowiednio o 11,5%. Taką samą tendencję zaobserwowano po przyoraniu gorczycy, zależności tej nie udowodniono jednak statystycznie. Obniżka plonu wynikała na ogół ze zmniejszonej obsady, mniejszej liczby kłosów, oraz liczby ziarna z kłosa, a także mniejszego indeksu powierzchni liści (LAI) i wysokości roślin. Reakcja jęczmienia jarego na zastosowane w doświadczeniu systemy uprawy była wyraźnie zróżnicowana w poszczególnych latach badań i zależała od przebiegu warunków pogodowych. Wykorzystanie w uprawie jęczmienia jarego międzyplonu ścierniskowego z gorczycy białej nie pozwoliło na ograniczenie nawożenia azotem.

7. Związek pomiędzy plonem ziarna jęczmienia a cechami plonotwórczymi był uzależniony od zastosowanych systemów uprawy roli. Jeśli międzyplon zagospodarowano za pomocą kultywatora, wielkość plonu była dodatnio skorelowana tylko z liczbą kłosów i krzewieniem produktywnym. Natomiast po wykonaniu uprawy tradycyjnej i zrezygnowaniu z nawożenia organicznego wykazano silną zależność plonu od obsady kłosów, liczby i masy ziarna z kłosa, a także długości kłosa i wysokości roślin.
8. Indywidualna analiza wkładu i udziału poszczególnych elementów składowych plonu w zmianach poziomu plonowania wykazała największy wpływ obsady kłosów na jednostce powierzchni, a najmniejszy masy 1000 ziaren. Wkład obsady kłosów w różnicowaniu plonu zwiększał się wraz ze wzrostem stopnia uproszczenia uprawy roli oraz poziomu nawożenia azotem.
9. Zagospodarowanie międzyplonu ścierniskowego wpłynęło na poprawę efektywności rolniczej i fizjologicznej nawożenia azotem szczególnie, jeśli gorczycę pozostawiono w postaci mulczu i wykonano siew bezpośredni, a nawożenie azotem zwiększono z 40 do 80 kg $N \cdot ha^{-1}$. Z kolei najwyższą efektywność wykorzystania azotu (NUE) wykazano w warunkach uprawy uproszczonej i zastosowania nawożenia azotem w dawce 40 kg $N \cdot ha^{-1}$.
10. Zawartość azotu w ziarnie i słomie oraz potasu w słomie jęczmienia zwiększała się pod wpływem zastosowanych uproszczeń w uprawie i nawożenia organicznego. Stwierdzono także istotny wzrost zawartości potasu w plonie głównym jęczmienia w wyniku zwiększających się dawek N. Badane czynniki doświadczenia nie miały większego wpływu na zawartość fosforu w plonie jęczmienia.
11. Analiza ekonomiczna wykazała, że polowe zagospodarowanie międzyplonu ścierniskowego każdym z badanych sposobów, a w szczególności pozostawienie gorczycy na powierzchni pola w postaci mulczu i zastosowanie siewu bezpośredniego przyczyniło się do zmniejszenia nadwyżki bezpośredniej i dochodu rolniczego. Poprawie wskaźników ekonomicznych sprzyjała natomiast intensyfikacja nawożenia azotem.

# 8. PIŚMIENNICTWO


1. Adamiak E., Stępień A. 1998. Wpływ sposobów nawożenia na kształtowanie się zachwaszczenia pszenicy jarej i jęczmienia ozimego. Rocz. Akad. Rol. Pozn., 307, Rol. 52, 1, 59–65.
2. Adamiak J., Kurowski T., Stępień A. 2000. Wpływ sposobów nawożenia na rozwój chorób pszenicy jarej i jęczmienia ozimego. Fol. Univ. Agricult. Stetin., Agricult., 211, 84, 13–14.
3. Angas P., Lampurlanes J., Cantero-Martinez C. 2006. Tillage and N fertilization effects on N dynamics and barley yield under semiarid Mediterranean conditions. Soil Till. Res., 87, 59–71.
4. Anken T., Weisskopf P., Zihlmann U., Forrer H., Jansa J., Perhacova K. 2004. Long-term tillage systems effects under moist cool conditions in Switzerland. Soil Till. Res., 78, 171–183.
5. Arshad M., Gill K. 1997. Barley, canola and wheat production under different tillage-fallow-green manure combinations on a clay soil in a cold, semi-arid climate. Soil Till. Res., 43, 263–275.
6. Augustyńska-Grzymek I. 2000. Metody liczenia nadwyżki bezpośredniej i zasady typologii gospodarstw rolniczych. FAPA, Warszawa. ss. 55.
7. Banaszak H. 2003. Uzależnienie rozwoju populacji mątwika burakowego *(Heterodera schachtii Schm.)* od rodzaju nawożenia organicznego w uprawie buraka cukrowego. Prog. Plant Prot./Pos. Ochr. Roślin, 43 (1), 37–42.
8. Barabasz W., Albińska D., Jaśkowska M., Lipiec J. 2002. Biological effects of mineral nitrogen fertilization on soil microorganism. Pol. J. Environ. Stud., 11 (3), 193–198.
9. Baumhardt R., Jones O. 2002. Residue management and tillage effects on soilwater storage and grain yield of dryland wheat and sorghum for a clay loam in Texas. Soil Till. Res., 68, 71–82.
10. Bertol E., Mello J., Guadagnin M., Zaparolli A., Carrafa M. 2003. Nutrient losses by water erosion. Sci. Agr., 60, 581–586.
11. Bielińska E., Mocek-Płóciniak A. 2012. Impact of the tillage system on the soil enzymatic activity. Archiv. Environ. Prot., 38 (1), 75–82.
12. Birkás M., Jug D., Kisić I. 2014. Book of Soil Tillage tillage. Szent Istvan University Press, Gödöllö, Hungary.
13. Bischoff J. 2002. Weizen ohne Pflug. Neue Landwirtschaft, 8, 26–28.
14. Blecharczyk A., Małecka I., Piechota T. 2002. Wpływ wieloletniego nawożenia oraz następstwa roślin na właściwości gleby i skład chemiczny jęczmienia jarego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 482, 59–64.

15. Blecharczyk A., Małecka I., Sierpowski J. 2007. Wpływ wieloletniego oddziaływania systemów uprawy roli na fizyko-chemiczne właściwości gleby. Fragm. Agron., 22 (2), 20–29.
16. Blecharczyk, A., Małecka, I., Skrzypczak, G. 2004. Wpływ uproszczonej uprawy roli na plonowanie i zachwaszczenie kukurydzy oraz właściwości gleby. Acta Sci. Pol., Agricultura, 3 (1), 157–163.
17. Boguzas V., Kairyte A., Jodaugiene D. 2006. Weed and weed seed-bank response to tillage systems, straw and Catach crops in continuous barley. 23rd German Conference on Weed Biology, 07-09 Mar. Stuttgart, Germany. J. Plant Dis. Prot., 297–304.
18. Bojarszczuk J., Księżak J., Gałązka A. 2017. Soil respiration depending on different agricultural practices before maize sowing. Plant Soil Environ., 63 (10), 435–441.
19. Bojarszczuk J., Księżak J., Gałązka A., Niedźwiecki J. 2019. Influence of soil microbial activity and physical properties on soil respiration under maize *(Zea Mays L.)*. App. Ecol. Environ. Res., 17 (4), 8011–8022.
20. Brant V., Neckář K., Pivec J., Duchoslav M., Holec J., Fuksa P., Venclová V. 2009. Competition of some summer catch crops and volunteer cereals in the areas with limited precipitation. Plant Soil Environ., 55 (1), 17–24.
21. Brzozowska I., Brzozowski J. 2008. Skuteczność odchwaszczania pszenicy ozimej w zależności od sposobu pielęgnacji i nawożenia azotem. Acta Agrophs., 11 (2), 345–356.
22. 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, 828–835.
23. Candráková E., Macák M. 2015. Yield and grain quality of spring barley as affected by soil tillage method and fertilization. Res. J. Agricul. Sci., 47 (1), 45–50.
24. Cantero-Martinez C., Angas P., Lampurlanes J. 2003. Growth, yield and water productivity of barley *(Hordeum vulgare L)* affected by tillage and N fertilization in Mediterranean semiarid, rainfed conditions of Spain. Field Crops Res., 84, 341–357.
25. Chatterjee A., Lal R. 2009. On farm assessment of tillage impact on soil carbon and associated soil quality parameters. Soil Till. Res., 104, 270–277.
26. Ciesielska A., Rzeźnicki B. 2007. Wpływ siewu bezpośredniego na plonowanie i zmiany zachwaszczenia pszenicy jarej. Fragm. Agron., 24 (1), 25–32.
27. Cook R. 2001. Management of wheat and barley root diseases in modern farming systems. Austral. Plant Pathol., 30 (2), 119–126.
28. Cudzik A., Białczyk W., Czarnecki J., Brennenstuhl M., Kaus A. 2011. Analiza wybranych właściwości gleby w różnych technologiach uprawy. Inż. Roln., 4 (129), 33–40.
29. Czyż E. 2004. Wpływ systemów uprawy roli na uwilgotnienie i zagęszczenie gleby ciężkiej oraz plonowanie kukurydzy. Fragm. Agron., 21 (3), 21–30.

30. Czyż E., Deuter A., Dębowska H., Stanek-Tarkowska J. 2009. Wpływ uproszczonej uprawy konserwującej na kształtowanie właściwości fizycznych gleby pyłowej w regionie Podkarpacia. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 543, 57–68.
31. Daraghmeh O., Jansen J., Petersem C. 2009. Soil structure stability under conventional and reduced tillage in a sandy loam. Geoderma, 150, 64–71.
32. Derpsch R. 2001. Conservation tillage, no-tillage and related Technologies. W: Conservation agriculture, a worldwide challenge. I World Congress on conservation agriculture. Madrit, 1–5 October 2001, 1, 161–170.
33. Derpsch R. 2005. The extent of conservation agriculture adoption worldwide: implications and impast. Proc. III World Congress on conservation agriculture. Nairobi, Kenya 3–7 October 2005, *http://www.fao.org/ag/ca/en/www.rolf-derpsch.com.*
34. Derpsch R., Friedrich T., Kassam A., Hongwen L. 2010. Current status od adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. Int. J. Agric. Biol. Eng., 3 (1), 1–25.
35. Derpsch, R., Friedrich, T. 2009. Global Overview of Conservation Agriculture Adoption. Proceedings, Lead Papers, IV World Congress on conservation agriculture, 4–7 February 2009, New Delhi, India, 429–438.
36. Didon U., Kolseth A., Widmar D., Persson P. 2014. Cover crop residue-effects on germination and early growth of annual weeds. Weed Sci., 62, 294–302.
37. Dłużniewska J., Nadolnik M., Szafrański W. 2003. Stan zdrowotny pszenicy jarej w zależności od inkorporacji poplonu ścierniskowego i nawożenia azotowego. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 43 (2), 576–578.
38. Dobek T., Piernicka K. 2005. Ocena ekonomiczna produkcji buraka cukrowego sianego w mulcz. Inż. Rol., 6, 123–130.
39. Duer I., Fotyma M., Madej A. 2004. Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej. FAPA, Warszawa. ss. 96.
40. Dzienia S., Zimny L., Weber R. 2006. Najnowsze kierunki w uprawie roli i technice siewu. Fragm. Agron., 23 (2), 227–241.
41. Dzieżyc J., Nowak L., Panek K. 1987. Dekadowe wskaźniki potrzeb opadowych roślin uprawnych w Polsce. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 314, 11–33.
42. Eichler B., Schnug E., Caus M., Kopen D. 2004. Soil acid and alkaline phosphatse activities in regulation to crop species and fungal treatment. Landbauforschug Volkenrode, 54 (1), 01–05.
43. Evans D., Gibson C., Rossell R. 2006. Sediment loads and sources in heavily modified Irish catach-moments: A move towards informel management strategies. J. Geomorph., 79, 93–113.

44. Faltyn U., Kordas L. 2009a. Wpływ różnych systemów uprawy roli oraz zróżnicowanego nawożenia fosforowo-potasowego na zdrowotność pszenicy jarej. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 59 (1), 393–396.
45. Faltyn U., Kordas L. 2009b. Wpływ uprawy roli i czynników regenerujących stanowisko na zachwaszczenie pszenicy jarej. Fragm. Agron., 26 (1), 19–24.
46. FAO 2015. World Fertilizer Trends and Outlooks to 2018. Rome. *http://www.fao.org/conservation-agriculture/en/*
47. Felczyński K. 2005. Wpływ wieloletniego nawożenia organicznego i mineralnego na plonowanie fasoli szparagowej i kukurydzy oraz zwartość NPK w glebie. Fragm. Agron., 22 (1), 37–48.
48. Feldyn-Szewczyk B., Smagacz J., Kwiatkowski C., Harasim E., Woźniak A. 2020. Weed flora and soil seed bank composition as affected by tillage System in Three-Year Crop Rotation. Agriculture 2020, 10 (5), 186, 1–20.
49. Fernandez M., Wang H., Cutforth H., Lemke R. 2016. Climatic and agronomic effects on leaf spots of spring wheat in the western Canadian Prairies. Can. J. Plant Sci., 96 (5), 895–907.
50. Fotyma E., Fotyma M. 2004. Podstawy zrównoważonego nawożenia azotem. Diagnostyka gleb i roślin w rolnictwie zrównoważony. Wyd. Akademii Podlaskiej w Siedlcach. Monogr., 54, 39–48.
51. Fotyma M., Krasowicz S. 2007. Teoria i praktyka zrównoważonego rolnictwa w krajach europejskich. Fragm. Agron., 95 (3), 84–101.
52. Frant M., Bujak K. 2006. Wpływ uproszczeń w uprawie roli i poziomów nawożenia mineralnego na zachwaszczenie pszenicy jarej. Fragm. Agron., 8 (2), 327–336.
53. Frant M., Bujak K. 2007. Wpływ uproszczeń w uprawie roli i poziomów nawożenia mineralnego na plonowanie pszenicy jarej. Fragm. Agron., 24 (1), 49–57.
54. Friedrich T., Kassam A., Shaxson F. 2009. Conservation Agriculture in Agriculture for Developing Countries. Science and Technology Options Assessment (STOA) Project. European Technology Assessment Group. Karlsruhe, Germany, 1–17.
55. Gajda A. M., Przewłoka B., Gawryjołek K. 2010. Ocena oddziaływania systemu uprawy roli na środowisko glebowe na podstawie zmian parametrów mikrobiologicznej aktywności gleby. Nauka Przyr. Technol., 4 (6), 76, 1–11.
56. Gallo J., Pekar S. 1999. Winter wheat pests and their natural enemies under organic farming system in Slovakia: effect of ploughing and previous crop. J. Pest. Sci., 72, 31–36.
57. Garbiak K., Rynkiewicz M. 2011. Wpływ uprawy międzyplonu ścierniskowego na opłacalność produkcji jęczmienia jarego. Inż. Roln., 8 (133), 109–115.
58. Gawęda D. 2009. Wpływ międzyplonów ścierniskowych na zachwaszczenie jęczmienia jarego uprawianego w monokulturze. Fragm. Agron., 26 (1), 34–41.

59. Gawęda D., Haliniarz M. 2013. Plonowanie i zachwaszczenie owsa siewnego *(Avena sativa L.)* uprawianego w monokulturze w zależności od sposobu odchwaszczania i międzyplonu. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 53 (2), 297–302.
60. Giemza-Mikoda M., Wacławowicz R., Zimny L., Malak D. 2011. Wpływ zróżnicowanego nawożenia organicznego i wzrastających dawek azotu na wskaźniki struktury roli. Fragm. Agron., 28 (3), 16–25.
61. Giemza-Mikoda M., Zimny L., Wacławowicz R. 2012. Wpływ systemów uprawy na zachwaszczenie jęczmienia jarego. Prog. Plant Prot./Post.Ochr. Roślin, 52 (2), 283–286.
62. Głąb T., Kulig B. 2008. Effect of mulch and tillage systems on soil porosity under wheat (*Triticum aestivum*).Soil Till. Res., 99, 169–178.
63. Głowacki G., Kierzek R., Banaszak H., Bubniewicz P. 2006. Zastosowanie mechanicznych i chemicznych metod oraz roślin okrywowych i mulczu w ograniczaniu zachwaszczenia. Prog. Plant Prot./Post.Ochr. Roślin, 46 (1), 25–32.
64. Gondek K., Zając T. 2003. Skład frakcyjny próchnicy czarnoziemu zdegradowanego w zależności od gatunku przyoranych roślin poplonowych. Acta Agrar. Silv., Ser. Agr., 41, 3–12
65. Gorzelany J., Puchalski C., Malach M. 2011. Ocena kosztów i nakładów energetycznych w produkcji kukurydzy na ziarno i kiszonkę. Inż. Rol., 8 (133), 135–141.
66. Góral J., Rembisz W. 2017. Produkcja w rolnictwie w kontekście ochrony środowiska. Rocz. Nauk. Ekonom. Rol. Rozw. Obsz. Wiej., 104 (1), 7–21.
67. Grabiński J., Sułek A. 2011. Wpływ poplonu żyta na zachwaszczenie oraz plon gryki. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 51 (4), 1816–1821.
68. GUS. 2020. Użytkowanie gruntów i powierzchnia zasiewów w 2019 r. Zakład Wydawnictw Statystycznych, Warszawa 2020, 1–21.
69. Guth M., Smędzik-Ambroży K. 2017. Zasoby a zrównoważony rozwój rolnictwa w Polsce po integracji z UE. Zesz. Nauk. SGGW Warszawa., 17 (3), 101–110.
70. 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.
71. Hansen E., Kristensen K., Djurhuus J. 2000. Yield parameters as affected by introduction or discontinuation of catch crop use. Agron. J., 92 (5), 909–914.
72. Hansen E., Munkholm L., Olesen J. 2011. N-utilization in non-inversion tillage systems. Soil Till. Res., 113, 55–60.
73. Harasim E., Antonkiewicz J., Kwiatkowski C. 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 2020, 10 (3), 334, 1–12.

74. Harasim E., Gawęda D. 2010. Wpływ międzyplonów ścierniskowych na plonowanie i efektywność energetyczną produkcji zbóż jarych. Ann. UMCS, Sect. E, Agricultura, 65 (1), 64–72.
75. Harasim E., Kwiatkowski C., 2020. Wybrane oferty obszarów wiejskich oraz zrównoważonego rolnictwa i ogrodnictwa. Instytut Naukowo-Wydawniczy „Spatium", Radom 2020, ss. 142.
76. Harasim E., Wesołowski M. 2013. Wpływ nawożenia azotem na zachwaszczenie łanu pszenicy ozimej. Fragm. Agron., 30 (1), 36–44.
77. Hart K. 2015. Green direct payments: implementation choices of nine Member States and their environmental implications. London, IEEP, 1–85.
78. Herrera J., Liedgens M. 2009. Leaching and utilization of nitrogen during a spring wheat catch crop succession. J. Environ. Qual., 38 (4), 1410–1419.
79. Hobbs R., Higgs E., Harris J. 2009. Novel ecosystems: implications for conservation and restoration. Trends Ecol. Evol., 24, 599–605.
80. Holland J. 2004. The environment al consequences of adopting conservation tillage in Europe: Reviewing the evidence. Agric. Ecos. Environ., 103, 1–25.
81. Hruszka M., Brzozowska I. 2008. Skuteczność chemicznych i proekologicznych sposobów regulacji zachwaszczenia w zmianowaniu. Acta Agroph., 12 (2), 347–355.
82. Hryńczuk, B., Weber, R. 2004. Wpływ sposobu uprawy roli na intensywność przemian mikrobiologicznych w glebie i plonowanie roślin. Ann. UMCS, Sect. E, 59, 2, 639–648.
83. Ignaszak P., Ropińska P., Nowak J. 2016. Wpływ stosowania międzyplonów i mikroelementów na wybrane właściwości gleby płowej. Ekologia i Technika, 24 (2), 83–87.
84. Jankowiak J., Małecka I. 2008. Uproszczenia uprawowe w zrównoważonym rozwoju rolnictwa. Z badań nad rolnictwem zrównoważonym. 102 (6), 88–113.
85. Jankowiak J., Spychaj-Fabisiak E. 2006. Próchnicotwórcza rola słomy przyorywanej bez obornika i razem z obornikiem na tle zróżnicowanego nawożenia azotem na glebie lekkiej. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 512, 201–207.
86. Jankowiak J., Spychaj-Fabisiak E., Murawska B. 2005. Kształtowanie odczynu gleby i zawartości przyswajalnych form fosforu w warunkach doświadczenia wieloletniego. Fragm. Agron., 22 (1), 78–87.
87. Jańczak-Pieniążek M., Buczek J., Jarecki W., Boborecka-Jamro D. 2020. Effect of high nitrogen doses on yield, quality and chemical composition grain of winter wheat cultivars. J. Elem., 25 (3), 1005–1017.
88. Jaskulska I., Gałęzewski L. 2009. Aktualna rola międzyplonów w produkcji roślinnej i środowisku. Fragm. Agron., 26 (3), 48–57.
89. Jaskulska I., Gałęzewski L., Piekarczyk M., Jaskulski D. 2018. Strip-till technology-a metod for uniformity in the emergencje and plant growth of Winter rapeseed

(*Brassica napus L.*) in different environment al conditions of Northern Poland. Ital. J. Agron., 13, 194–199.

90. Jaskulska I., Jaskulski D. 2020. Strip-till one-pass technology in central and eastern Europe: A MZURI Pro-Til Hybrid Machine Case Study. Agronomy 2020, 10 (7), 925.
91. Jaskulska I., Jaskulski D., Wacławowicz R., Zimny L. 2020. Teoria i praktyka uprawy roli, w: Uprawa roślin. T. I, Red. A. Kotecki. Wyd. UP Wroc., Wrocław, 209–398.
92. Jaskulska I., Romaneckas K., Jaskulski D., Gałęzewski L., Breza-Boruta B., Dębska B., Lemanowicz J. 2020. Soil properties after eight years of the use of strip-till one-pass technology. Agronomy 2020, 10 (10), 1596.
93. Jaskulski D. 2000. Wpływ ilości i sposobu umieszczenia w glebie biomasy łubinu żółtego na wschody i początkowy wzrost pszenicy ozimej i jęczmienia jarego. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Rol., 45, 39–46.
94. Jaskulski D. 2004. Wpływ wsiewek międzyplonu na produkcyjność ogniwa jęczmień jary-pszenica ozima. Acta Sci. Pol., Agricultura, 3 (2), 143–150.
95. Jaskulski D., Jaskulska I. 2004b. Wpływ międzyplonów ścierniskowych, nawożenia słomą i zróżnicowanej uprawy roli na efekt energetyczny uprawy jęczmienia jarego. Fragm. Agron., 21 (3), 49–59.
96. Jaskulski D., Jaskulska I. 2004a. Wpływ nawożenia słomą, międzyplonów ścierniskowych i zróżnicowanej uprawy roli na niektóre właściwości gleby w ogniwie pszenica ozima-jęczmień jary. Acta Sci. Pol., Agricultura, 3 (2), 151–163.
97. Jaskulski D., Kotwica K., Jaskulska I., Piekarczyk M., Osiński G., Pochylski B. 2012. Elementy współczesnych systemów uprawy roli i roślin – skutki produkcyjne i środowiskowe. Fragm. Agron., 29 (2), 61–70.
98. Jaskulski D., Tomalak S. 2001. Wpływ głębokości i sposobu umieszczenia biomasy różnych gatunków roślin w glebie na wschody i masę siewki jęczmienia jarego. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Rolnictwo, 47, 7–14.
99. Jaskulski D., Tomalak S., Rudnicki F. 2000. Regeneracja stanowiska po pszenicy ozimej dla jęczmienia jarego przez rośliny międzyplonu ścierniskowego. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 470, 49–57.
100. Jiao Y., Whalen J., Hendershot W. 2006. No-tillage and manure applications increase aggregation and improve nutrient retention in sandy-loam soil. Geoderma, 134 (1), 24–33.
101. Jurga J., Dobek T. 2008. Porównanie kosztów produkcji jęczmienia jarego i ozimego w wybranych gospodarstwach woj. zachodniopomorskiego. Inż. Rol., 10, 89–96.

102. Kasper M., Buchan G., Mentler A., Blum W. 2009. Influence of soil tillage systems on aggregate stabilny and the distribution of C and N in different aggregate fractions. Soil Till. Res., 105, 192–199.
103. Kassam A., Friedrich T., Derpsch, R., Kienzle J. 2015. Overview of the worldwide spread of conservation agriculture. Field Actions Science Reports. J. Field Act., 8, 1–10.
104. Kęsik T., Konopiński M., Błażewicz-Woźniak M. 2006. Wpływ uprawy przedzimowej i mulczu z roślin okrywających na retencję wody, zagęszczenie i porowatość dyferencyjną gleby po przezimowaniu. Acta Agrophys., 7 (4), 915–926.
105. Klikocka H. 2005. Efektywność produkcji pszenżyta jarego w zależności od technologii produkcji i nawożenia siarką. Rocz. Nauk. SERiA, 7, 154–159.
106. Klikocka H., Głowacka A., Juszczak D. 2011. Wpływ zróżnicowanych sposobów uprawy roli i nawożenia mineralnego na efekty ekonomiczne uprawy jęczmienia jarego. Fragm. Agron., 28 (2), 44–54.
107. Klikocka H., Głowacka A., Juszczak D., Cybulska M., Michałkiewicz G., Pawliszak R. 2012. Energochłonność produkcji jęczmienia jarego w warunkach zróżnicowanej uprawy roli i nawożenia mineralnego. Fragm. Agron., 29 (3), 71–80.
108. Klikocka H., Sachajko J. 2011. Kompleksowa ocena agrotechnologii ziemniaka i pszenżyta jarego. Acta Agrophys., Rozpr. Monogr., 195, ss. 129.
109. Klima K., Łabza T., Lepiarczyk A. 2015. Yielding of spring triticale grown under organic and integrated systems of farming and economic indicators of its production. J. Res. Appl. Agricul. Engin., 60 (3), 142–145.
110. Kogut Z. 2011. Techniczno-energetyczne aspekty uprawy gleby, z wykorzystaniem mulczu. Post. Nauk Rol., 3, 75–89.
111. Köller K., Linke C. 2001. Wissenschaftliche Ergebnisse - Praktische Erfahrungen. Erfolgreicher Ackerbau ohne Pflug, 5–176.
112. Kołodziejczak A. 2012. Rozwój zrównoważonego rolnictwa w Polsce. Rozwój Regionalny i Polityka Regionalna,17/18, 89–102.
113. Kołodziejczyk M., Szmigiel A., Kiełbasa S. 2007. Plonowanie oraz skład chemiczny bulw ziemniaka uprawianego w warunkach zróżnicowanego nawożenia organicznego. Fragm. Agron., 24 (2), 142–150.
114. Kołodziejczyk M., Szmigiel A., Kulig B. 2009. Plonowanie wybranych odmian pszenicy jarej w zależności od poziomu agrotechniki. Fragm. Agron., 26 (3), 58–67.
115. Kołodziejczyk M., Szmigiel A., Sobol Z., Baran D. 2005. Wpływ zróżnicowanego nawożenia na właściwości gleby lekkiej i ciężkiej. Fragm. Agron., 22 (1), 446–455.
116. Komorowska D. 2017. Wyniki produkcyjne i ekonomiczne gospodarstw specjalizujących się w uprawach polowych. Rocz. Nauk. SERiA, 19 (6), 135–140.

117. Koper J., Lemanowicz J. 2006. Kształtowanie się wybranych właściwości biochemiczno-chemicznych gleby płowiej pod wpływem wieloletniego nawożenia obornikiem i azotem. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 512, 357–362.
118. Korbas M., Horoszkiewicz-Janka J., Jajor E. 2008. Uproszczone systemy uprawy a występowanie sprawców chorób. Prog. Plant Prot./Post Ochr. Roślin, 48 (4), 1431–1438.
119. Korbas M., Mrówczyński M. (red). 2010. Metodyka integrowanej produkcji jęczmienia ozimego i jarego. PIORiN, Warszawa, ss. 140.
120. Korbas M., Mrówczyński M. (red.). 2017. Metodyka integrowanej ochrony pszenicy ozimej i jarej dla doradców. PIORiN, Warszawa, ss. 220
121. Kordas L. 2000. Studia nad optymalizacją uprawy buraka cukrowego na glebie średniej. Zesz. Nauk. Akad. Rol. Wroc., 386. Rozpr. 171., ss. 95.
122. Kordas L. 2002. Nowe tendencje w uprawie roli. Mat. z Konf. Nauk. ,,Uproszczenia w upawie roli i roślin jako forma zwiększenia efektywności produkcji roślinnej". AR Wrocław, 2002, 16–24.
123. Kordas L. 2004. Wpływ wieloletniego stosowania uprawy zerowej w zmianowaniu na zachwaszczenie. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 44 (2), 841–844.
124. Kordas L. 2005. Energy and economic effects of reduced tillage in crop rotation. Acta Sci. Pol., Agricultura, 4 (1), 51–59.
125. Kordas L. 2007. Wpływ sposobu uprawy roli i nawożenia azotowego na respirację gleby. Zesz. Nauk. UP Wroc., Inż. Rol., 6, 552, 65–71.
126. Kordas L. 2009. Efektywność ekonomiczna różnych systemów uprawy roli w uprawie pszenicy ozimej po siebie. Fragm. Agron., 26 (1), 42–48.
127. Kordas L. 2013. Wpływ sposobu uprawy roli i regeneracji stanowiska w monokulturze żyta ozimego na właściwości biologiczne gleby. Zesz. Nauk. UP Wroc., Rol., 104, 592, 67–74.
128. Kordas L., Klima K. 2005. Wpływ wieloletniego stosowania uproszczeń w uprawie roli i siewu bezpośredniego w uprawie grochu siewnego na właściwości fizyczne gleby. Rocz. Glebozn., 56 (1–2), 105–111.
129. Kordas L., Majchrowski P. 2001. Wpływ międzyplonu ścierniskowego i głęboszowania w uprawie buraka cukrowego na wskaźniki struktury gleby średniej. Zesz. Nauk. AR Wroc., 415, Roln., 80, 145–152.
130. Kordas L., Spyra M. 2013. Ocena stosowania różnych systemów uprawy roli i regeneracji stanowiska na zachwaszczenie żyta ozimego uprawianego w krótkotrwałej monokulturze. Fragm. Agron., 30 (2), 87–93.
131. Korzeniowska J., Stanisławska-Glubiak E. 2009. Porównanie efektów plonotwórczych tradycyjnej i zerowej metody uprawy roli w warunkach gleb piaszczystych południowo-zachodniej Polski. Fragm. Aron., 26 (4), 65–73.

132. Krajewski W., Szempliński W., Bielski S. 2013. Plonowanie nagoziarnistych i oplewionych odmian jęczmienia jarego nawożonego azotem. Ann. UMSC, Sec. E, Agricultura, 68 (1), 18–29.
133. Kraska P. 2011. Effect of conservation tillage system and catach crops on some chemical properties of rendzina soil. Acta Sci. Pol., Agricultura, 10 (3), 77–92.
134. Krasowicz S. 2009. Możliwości rozwoju różnych systemów rolniczych w Polsce. Rocz. Nauk Rol., Ser. G., 96 (4), 110–121.
135. Krasowicz S., Smagacz J., Dobosz M. 2008. Produkcyjno-ekonomiczne następstwa stosowania różnych systemów uprawy roli. Rocz. Nauk. SERiA, 10 (3), 342–346.
136. Kromp B. 1999. Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. Agric. Ecos. Environ., 74, 187–228
137. Kuc P. 2008. Wpływ sposobów uprawy roli i nawożenia organicznego na zachwaszczenie wtórne buraka cukrowego. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 48 (4), 1444–1447.
138. Kuc P. 2014. Wpływ konserwującej uprawy kukurydzy oraz zróżnicowanego nawożenia mineralnego na wybrane właściwości fizyczne gleby. Fragm. Agron., 31 (1), 32–43.
139. Kuc P., Strochalska B. 2010. Wpływ nawożenia organicznego i sposobów uprawy roli na prodyktywność buraka cukrowego. Ann. UMCS Sec.E, 65 (1), 34–42.
140. Kuc P., Tendziagolska E. 2014. Oddziaływanie konserwującej uprawy roli stosowanej w produkcji kukurydzy na wybrane właściwości fizyczne gleby. Zesz. Nauk. UP Wroc., Rol., CVIII, 599, 17–28.
141. Kuc P., Tendziagolska E., Wacławowicz R. 2015. Wpływ konserwującej uprawy stosowanej pod kukurydzę na strukturę gleby. Fragm. Agron., 32 (4), 32–42.
142. Kuc P., Wacławowicz R. 2010. Wpływ różnych wariantów uprawy stosowanych pod buraki cukrowe na strukturę roli. Probl. Inż. Rol. 2, 13–23.
143. Kulig B., Oleksy A., Zając T. 2009. Wpływ sposobu uprawy roli i nawożenia azotem na plonowanie pszenicy jarej. Frag. Agron., 26 (4), 81–94.
144. Kurowski T., Marks M., Orzech K., Kowalska E. 2008. Stan sanitarny i plonowanie pszenicy ozimej w zależności od sposobu uprawy roli. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 531, 95–103.
145. Kuś J. 2002. Gospodarka płodozmianowa i uprawa roli w rolnictwie zrównoważonym. Rolnictwo Zrównoważone, Mat. Konf. ODR Zarzeczewo. 7–29.
146. Kuś J. 2005. Ekologiczne podstawy integrowanej produkcji roślinnej. Mat. Szkol. IUNG Puławy. LODR Końskowola, 11–38.
147. Kuś J., Jończyk K. 2000., Regenerująca rola międzyplonów w zbożowych członach zmianowania. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 470, 59–65.

148. Kutkowska B. 2007. Wdrażanie koncepcji zrównoważonego rozwoju rolnictwa i obszarów wiejskich w Sudetach. Wyd. IRWiR PAN. Studia i Monografie IRWiR PAN Warszawa, 2, ss. 81.
149. Kwiatkowski C. 2004. Wpływ międzyplonu na zachwaszczenie jęczmienia jarego uprawianego w monokulturze. Ann. UMCS, Sec. E, 59 (2), 810–815.
150. Kwiatkowski C. 2008. Architektura łanu i zdrowotność jęczmienia jarego uprawianego w monokulturze w zależności od regeneracyjnego wpływu międzyplonu. Fragm. Agron., 25 (1), 199–209.
151. Kwiatkowski C. 2009a. Struktura zachwaszczenia i produkcyjność biomasy pszenicy ozimej oraz chwastów w zależności od systemu następstwa roślin i sposobu pielęgnacji. Ann. UMCS, Sect. E, 64 (3), 69–78.
152. Kwiatkowski C. 2009b. Studia nad plonowaniem jęczmienia jarego nagoziarnistego i oplewionego w płodozmianie i monokulturze. Rozpr. Nauk. UP Lublin, 336, ss. 117.
153. Kwiatkowski C., Harasim E., Staniak M. 2020. Effect of catch crops and tillage systems on some chemical properties of loess soil in a short-term monoculture of spring wheat. J. Elem., 25 (1), 34–43.
154. Lamptey S., Li, L., Xie J., Zhang R., Luo Z., Cai L., Liu J. 2017: Soil respiration and net ecosystem production under different tillage practices in semi-arid Northwest China. Plant Soil Environ., 63 (1), 14–21.
155. Lehmar R. 2010. Adoption of conservation agriculture in Europe les sons of the KASSA Project. Land Use Policy, 27, 4–10.
156. Lejman K., Owsiak Z. 2005. Rozklad zwięzłości w glebie zagęszczanej kołami ciągnika. Materiały VIII Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Teoretyczne i aplikacyjne problemy inżynierii rolniczej", Polanica 21–24 czerwca 2005, 115–118.
157. Lemiańczyk G. 2002. Wpływ zróżnicowanych przedplonów na zdrowotność podstawy źdźbła pszenicy ozimej uprawianej na glebie dobrego kompleksu pszennego. Acta. Sci. Pol., Agric., 1 (1), 111–119.
158. Lenart S. 2002. Studia nad wodoodpornością agregatów glebowych w różnych systemach uprawy roli i roślin. Wyd. Fundacja Rozwój SGGW, Warszawa, ss. 104.
159. Lenart S., Mercik S., Łabętowicz J., Mazur T., Urbanowski S. 2005. Zmiany właściwości fizycznych gleby pod wpływem różnych systemów nawożenia w pięciu wieloletnich doświadczeniach polowych. Fragm. Agron., 22 (1), 161–170.
160. Lenart S., Sławiński P. 2010. Wybrane właściwości gleby oraz występowanie dżdżownic w warunkach siewu bezpośredniego i płużnej uprawy roli. Fragm. Agron., 27 (4), 86–93.
161. Lepiarczyk A., Kulig B., Stępnik K. 2006. Wpływ uproszczonej uprawy roli na plonowanie oraz kształtowanie wskaźnika powierzchni liści jęczmienia jarego i bobiku. Fragm. Agron., 23 (2), 251–260.

162. Lepiarczyk A., Stępnik K. 2009. Produkcyjność jęczmienia jarego uprawianego w płodozmianie w zależności od systemu uprawy roli. Fragm. Agron., 26 (1), 59–66.
163. Lepiarczyk A., Stępnik K., Szylak A. 2007. Wpływ systemów uprawy roli na niektóre właściwości fizyczne gleby pod wybranymi roślinami. Fragm. Agron., 24 (1), 157–163.
164. Leszczyńska D. 2015. Regionalne zróżnicowanie produkcji jęczmienia w Polsce. Roczniki Naukowe SERiA, 17 (6), 151–156.
165. Liszewski M., Błażewicz J., Kozłowska K., Zembold-Guła A., Szwed Ł. 2011. Wpływ nawożenia azotem na cechy rolnicze ziarna jęczmienia browarnego. Fragm. Agron., 28 (1), 40–49.
166. López-Fando C., Pardo M. 2009. Changes in soil chemical characteristics with different tillage practices in a semi-arid environment. Soil Till. Res., 104, 278–284.
167. Machul M. 2007. Możliwości i skutki stosowania uproszczeń i siewu bezpośredniego w uprawie kukurydzy. Studia i Raporty IUNG-PIB, 9, 159–163.
168. Majchrzak L. 2015. Wpływ międzyplonu gorczycy białej i sposobu uprawy roli na właściwości gleby oraz rozwój i plonowanie pszenicy jarej. Wyd. UP Poznań, Rozpr. Nauk., 480. ss. 112.
169. Majchrzak L., Piechota T. 2013. Zachwaszczenie jęczmienia jarego uprawianego po różnych przedplonach. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 53 (2), 276–281.
170. Majchrzak L., Piechota T. 2014. Wpływ technologii uprawy na zachwaszczenie pszenicy jarej. Fragm. Agron., 31(3), 94–101.
171. Małecka I., Blecharczyk A. 2005. Efektywność nawożenia azotem w różnych systemach uprawy roli. Fragm. Agron., 22 (1), 503–511.
172. Małecka I., Blecharczyk A. 2008. Effect of tillage systems, mulches and nitrogen fertilization on spring barley *(Hordeum vulgare)*. Agron. Res., 6 (2), 517–529.
173. Małecka I., Blecharczyk A., Dobrzeniecki T. 2007a. Zmiany fizycznych i chemicznych właściwości gleby w wyniku stosowania uproszczeń w uprawie roli. Fragm. Agron., 24 (1), 182–189.
174. Małecka I., Blecharczyk A., Pudełko J. 2004. Możliwości uproszczeń w uprawie pod jęczmień jary. Acta Sci. Pol., Agricultura, 3 (2), 89–96.
175. Małecka I., Blecharczyk A., Sawinska Z. 2007b. Wpływ następstwa i uprawy roli na fizyczne właściwości gleby, porażenie przez choroby oraz plonowanie jęczmienia jarego. Fragm. Agron., 3 (95), 300–307.
176. Małecka I., Blecharczyk A., Sawinska Z., Piechota T., Waniorek B. 2012b. Plonowanie zbóż w zależności od sposobów uprawy roli. Fragm. Agron., 29 (1), 114–123.
177. Małecka I., Swędrzyńska D., Blecharczyk A., Dytman-Hagedorn M. 2012a. Wpływ systemów uprawy roli pod groch na właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne gleby. Fragm. Agron., 29 (4), 106–116.

178. Małecka-Jankowiak I., Blecharczyk A., Sawinska Z., Piechota T., Waniorek B. 2015. Wpływ następstwa roślin i systemu uprawy roli na zachwaszczenie pszenicy ozimej. Fragm. Agron., 32 (3), 54–63.
179. Martinez E., Fuentes J., Silva P., Valle S., Acevedo E. 2008. Soil physical properties and wheat root growth as affected by no-tillage and conventional tillage systems in a Mediterranean environment of Chile. Soil Till. Res., 99, 232–244.
180. Maziarek A., Parylak D., Wacławowicz R. 2015. Wpływ stosowania biostymulatorów i międzyplonu ścierniskowego na zachwaszczenie łanu krótkotrwałej monokultury pszenicy jarej. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 55 (2), 172–178.
181. Mazur T. 1999. Rolnicze i ekologiczne znaczenie nawożenia organicznego i mineralnego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 467, 151–157.
182. Mazur T., Grabowski J. 2008. Warunki meteorologiczne a plony jęczmienia jarego w zależności od rodzaju nawożenia. Acta. Agrophys., 12 (2), 469–475.
183. Mercik S., Stępień M., Pietrzak S. 2004. Przydatność obornika do regeneracji gleb bardzo kwaśnych, ubogich w próchnicę oraz wyczerpanych ze składników pokarmowych. Cz. 1. Właściwości gleb. Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol., 499, 253–260.
184. Mestelan S., Smeck N., Drukalski J., Dick W. 2006. Changes in soil profile properties as affected by 44 years of continuous no-tillage. W: Proceedings of the 17th ISTRO Conference. 28 August–3 September 2006, Kiel, Germany. 1135–1140.
185. Mizniak W. 2009. Wpływ rodzaju mulczu i długości płodozmianu na stan zachwaszczenia plantacji buraka cukrowego uprawianego w dwu- i czteroletniej rotacji. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 49 (4), 2052–2057.
186. Mohler C., Frisch J., McCulloch C. 2006. Vertical Movement of Weed Seed Surrogates by Tillage Implements and Natural Processes. Soil Till. Res., 86, 110–122.
187. Morris N, Miller P., Orson J., Froud-Williams R. 2010. The adoption of non-inversion tillage systems in the United Kingdom and the agronomic impact on soil, crops and the environment – A review. Soil Till. Res., 108, 1–15.
188. Mrówczyński M., Wachowiak H., Boroń M. 2005. Szkodniki zbóż – aktualne zagrożenia w Polsce. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 45 (2), 929–932.
189. Narkiewicz-Jodko M., Gil Z., Wojciechowski W., Żmijewski M. 2008. Zdrowotność i jakość ziarna pszenicy jarej w zależności od międzyplonu i nawożenia azotem. Fragm. Agron., 25 (1), 251–260.
190. Nasalski Z., Sadowski T., Stępień A. 2004. Produkcyjna, ekonomiczna i energetyczna efektywność produkcji jęczmienia ozimego przy różnych poziomach nawożenia azotem. Acta Sci. Pol., Agricultura, 3 (1), 83–90.

191. Noworolnik K. 2008. Wpływ wybranych cech jakości gleby na plonowanie pszenicy ozimej i jęczmienia jarego. Acta. Agrophys., 12, 2, 477–485.
192. Noworolnik K. 2010. Wpływ nawożenia azotem na plonowanie i jakość ziarna odmian jęczmienia jarego. Pam. Puł., 152, 191–198.
193. Noworolnik K. 2013. Plonowanie i jakość ziarna odmian jęczmienia jarego w zależności od dawki azotu. Fragm. Agron., 30 (3), 123–131.
194. Noworolnik K., Leszczyńska D., Dworakowski T. 2004. Wpływ nawożenia azotem na plon ziarna i białka jęczmienia jarego nagoziarnistego i oplewionego. Pam. Puł., 135, 213–221.
195. Noworolnik K., Wirkijowska A., Mikos-Szymańska M. 2014. Effect of genotype and nitrogen fertilization on grain yield and quality of spring barley intended for health food use. Bulg. J. Agric. Sci., 20, 576–580.
196. Nunes M., Karlen D., Moorman T. 2020. Tillage intensity effects on soil structure indicators- a US Meta-Analysis. Sustainab. 2020, 12, 2071.
197. Ogle S., Breidt F., Paustian K. 2005. Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. J. Biogeochem., 72, 87–121.
198. Olesen J., Hansen E., Askegaard M., Rasmussen I. 2007. The value of catch crops and organic manures for spring barley in organic arable farming. Field Crops Res., 100 (2), 168–178.
199. Orke E. 2006. Crop losses to pests. J. Agri. Sci., 144, 1, 31–43.
200. Orzech K., Marks M., Dragańska E., Stępień A. 2009. Plonowanie jęczmienia jarego w zależności od warunków pogodowych i różnych sposobów uprawy gleby średniej. Acta Agrophys., 14 (1), 167–175.
201. Orzech K., Marks M., Nowicki J. 2004. Energetyczna ocena trzech sposobów uprawy roli na glebie średniej. Ann. UMCS, Sec. E, 59 (3), 1275–1294.
202. Orzech K., Rychcik B., Stępień A. 2011. Wpływ sposobów uprawy roli na zachwaszczenie i plonowanie jęczmienia jarego. Fragm. Agron., 28 (2), 63–70.
203. Pabin J., Biskupski A., Włodek S. 2007. Niektóre właściwości fizyczne gleby i plonowanie roślin przy stosowaniu różnych form mulczowania i uprawy roli. Inż. Rol., 3 (91), 143–149.
204. Pagliai M., Vignozzi N., Pellegrini S. 2004. Soil structure and the effect of management practices. Soil Till. Res., 79, 131–143.
205. Pałys E., Kuraszkiewicz R., Kraska P. 2009. Następczy wpływ wsiewek międzyplonowych i roślin ochronnych na chemiczne właściwości gleby lekkiej. Ann. UMCS, Sec. E, 64 (4), 82–92.
206. Parylak D. 2005. Zachwaszczenie pszenicy ozimej uprawianej po sobie z zastosowaniem uproszczeń w uprawie roli. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 45 (1), 375–362.

207. Parylak D. 2006. Uprawa pszenicy ozimej po sobie z zastosowaniem uproszczeń w uprawie roli a występowanie chorób podstawy źdźbła. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 46 (2), 509–511.
208. Parylak D., Paluch M., Wojtala L. 2009. Regulowanie zachwaszczenia pszenżyta ozimego w warunkach upraszczania uprawy roli. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 49 (2), 823–826.
209. Pecio A., Bichoński A. 2006. Reakcja wybranych odmian jęczmienia browarnego na zróżnicowane nawożenie azotem. Pam. Puł., 142, 333–348.
210. Piechota T. 2005. Wpływ wieloletniego oddziaływania systemów następstwa roślin i nawożenia na fizyczne właściwości gleby. Fragm. Agron., 22 (2), 158–166.
211. Piechota T., Kowalski M., Sawinska Z., Majchrzak L. 2014. Ocena przydatności pasowej uprawy roli do doglebowej aplikacji płynnych nawozów organicznych w uprawie kukurydzy. Fragm. Agron., 31 (1), 74–82.
212. Piekarczyk M. 2010.Wpływ poziomu nawożenia, ochrony roślin i gęstości siewu na zachwaszczenie pszenicy ozimej uprawianej w krótkotrwałej monokulturze. Ann. UMCS, Sec. E, 65 (2), 48–57.
213. Pląskowska E., Matkowski K., Moszczyńska E., Kordas L. 2002. Zdrowotność podstawy źdźbła pszenicy jarej w uprawie tradycyjnej i siewie bezpośrednim przy dwóch poziomach nawożenia azotem. Acta Sci. Pol., Agricultura, 1 (1), 131–138.
214. Pląskowska E., Pusz W. 2010. Wpływ nawożenia organicznego i mineralnego na zdrowotność liści pszenicy jarej. Prog.Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 50 (2), 215–220.
215. Podgórska-Lesiak M., Sobkowicz P., Lejman A. 2011. Dynamika pobierania i wykorzystanie azotu w mieszankach jęczmienia jarego z grochem siewnym. Fragm. Agron., 28 (3), 100–111.
216. Praczyk T., Skrzypczak G. 2011. Stan aktualny i kierunki rozwoju herbologii. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 51 (1), 354–363.
217. Pranagal J. 2007. Oddziaływanie uproszczonych systemów uprawy roli na właściwości retencyjne gleby płowej wytworzonej z lessu. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 520, 675–683.
218. Procházková B., Pernicová A., Houšt M., Handlířová M. 2018. The effect of different soil tillage on grain field of spring barley *(Horodeum vulgare)*. Agric. Conspec. Sci., 83 (1), 119–122.
219. Pruszyński S., Wolny S. 2009. Przewodnik Dobrej Praktyki Ochrony Roślin. IOR–PIB, Poznań, ss. 90.
220. Rabot E., Wiesmeier M., Schlűter S., Vogel H. 2018. Soil structure as an indicato of soil functions: A review. Geoderma, 314, 122–137.
221. Radomski C. 1987. Agrometeorologia. PWN, Warszawa. ss. 543.

222. Rahman M., Okubo A., Sugiyama S., Mayland H. 2008. Physical, chemical and microbiological properties of and Andisol as related to land use and tillage practice. Soil Till. Res., 101, 10–19.
223. Rajewski J., Zimny L., Kuc P. 2012. Wpływ różnych wariantów uprawy konserwującej buraka cukrowego na właściwości chemiczne gleby. Frag. Agron., 29 (2), 98–104.
224. 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 fertilisation. Eur. J. Agron., 28, 405–411.
225. Rotrekl J., Knakal Z., Badaliková B. 2001. Nové systémy zakládání a ochrany vybraných plodin. Zemědělské informace 17, Praha, ÚZPI, 96–98.
226. Rudnicki F. 1995. Porównanie reakcji jęczmienia jarego i owsa na warunki opadowo- termiczne. Fragm. Agron., 12 (3), 21–32.
227. Rudnicki F. 2000. Wyznaczanie wpływu poszczególnych elementów plonowania na różnice plonów między obiektami doświadczalnymi. Fragm. Agron., 17 (3), 53–65.
228. Sainju U., Jabro J., Stevens W. 2008. Soil carbon dioxide emissions and carbon content as affected by irrigation, tillage, cropping system and nitrogen fertilization. J. Environ. Qual., 37, 98–106.
229. Sawinska Z., Małecka I. 2005. Dynamika rozwoju chorób podstawy źdźbła i korzeni pszenicy ozimej w różnych systemach uprawy roli. Prog. Plant Prot./Pos. Ochr. Roślin, 45 (2), 1061–1064.
230. Schwabe S., Gruber S., Weber E., Claupein W. 2016. Vorzűglichkeit des Clearfield-Systems bei Raps unter verschiedenen Bewirtschaftungsinensitäten. 27th German Conference on Weed Biology and Weed Control, February 23-25, 2016, Julius Kűhn Archiv., 452, 206–209.
231. Shrestha A., Knezevic S., Roy R., Ball-Coelho B. 2002. Effect of tillage, cover crop and crop rotation on the composition of weed flora in a sandy soil. Weed Res., 42, 76–87.
232. Smagacz J. 2006. Ocena produkcyjno-ekonomiczna różnych systemów uprawy roli. Prob. Inż. Rol., 1, 55–62,
233. Smagacz J. 2008. Wpływ uproszczeń w uprawie roli na występowanie chorób podstawy źdźbła, zachwaszczenie łanu i plonowanie pszenicy ozimej. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 48 (4), 1475–1478.
234. Smagacz J. 2012. Produkcyjno-ekonomiczne i środowiskowe skutki różnych systemów uprawy roli. Studia i Raporty IUNG-PIB, 29 (3), 121–134.
235. Smagacz J. 2013. Uprawa roli – aktualne kierunki badań i najnowsze tendencje. Współczesna inżynieria rolnicza – osiągnięcia i nowe wyzwania, 287–329.
236. Smagacz J. 2016. Konsekwencje organizacyjne i środowiskowe różnych systemów uprawy roli. Studia i Raporty IUNG-PIB, 47 (1), 139–153.

237. Soane B., Ball B. 1998. Review of management and conduct of long-term tillage studies with special reference to a 25-yr experiment on barley in Scotland. Soil Till. Res., 45, 17–37.
238. Songin W. 1998. Międzyplony w rolnictwie proekologicznym. Post. Nauk Roln., 2, 43–51.
239. Soon Y., Clayton G. 2002. Eight years of crop rotation and tillage effects on crop production and N fertilizer use. Can. J. Soil Sci., 81, 165–172.
240. Stanisławska-Glubiak E., Korzeniowska J. 2005. Wpływ różnych systemów nawożenia na zawartość węgla organicznego w glebie w doświadczeniu 32-letnim. Fragm. Agron., 22 (1), 274–282.
241. Starczewski J., Czarnocki S., Turska E. 2004. Alternatywne sposoby uprawy roli i ich ekonomiczna ocena. Ann. UMCS, Sect. E, Agricultura, 59 (1), 277–284.
242. Starczewski J., Dopka D., Korsak-Adamowicz M. 2008. Ocena energetycznej efektywności wybranych technologii uprawy żyta jarego. Acta Agrophys., 11 (3), 733–739.
243. Stępień A. 2000. Zmiany chemicznych właściwości gleby pod wpływem różnych sposobów nawożenia w zmianowaniu. Fol. Univ. Agric. Stetin, Agric., 84, 459–464.
244. Strochalska B., Zimny L., Kuc P. 2011. Wpływ różnych systemów uprawy buraka cukrowego na wybrane właściwości fizyczne gleby. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 559, 183–193.
245. Sułek A., Podolska G. 2012. Wpływ integrowanej technologii produkcji na plonowanie odmian pszenicy jarej. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 52 (4), 945–950.
246. Sułek, A, 2017. Ocena ekonomiczna produkcji pszenicy ozimej z różnych grup użytkowych w zależności od intensywności technologii. Rocz. Nauk, SERiA, 19 (2), 226–231.
247. Suwara I. 2010. Rola wieloletniego nawożenia w kształtowaniu wybranych właściwości gleby lekkiej ze szczególnym uwzględnieniem stosunków wodno-powietrznych. Wyd. SGGW Warszawa, Rozpr. Nauk. Monogr., 364. ss. 98.
248. Suwara I., Gawrońska-Kulesza A. 2005. Wpływ systemów nawożenia na kształtowanie się wybranych właściwości fizycznych gleby lekkiej. Fragm. Agron., 22 (1), 290–297.
249. Suwara I., Masionek M., Wysmułek A., Ciesielska A., Gozdowski D. 2019. Zachwaszczenie pszenżyta jarego w zmianowaniu i monokulturze w zależności od wieloletniego nawożenia mineralnego. Fragm. Agron., 36 (1), 67–77.
250. Suwara I., Szulc W. 2011. The effect of long-term fertilization on the soil structure. Nawozy Nawoż., 42, 20–28.

251. Szafrański W., Kulig B. 2005. Plonowanie pszenicy jarej uprawianej po międzyplonie w zależności od nawożenia azotem. Fragm. Agron., 22 (1), 574–584.
252. Szempliński W. 2003. Siedliskowe i agrotechniczne uwarunkowania produkcji ziarna jęczmienia jarego na paszę w północno-wschodniej Polsce. Wyd. UMW w Olsztynie. Rozpr. Monogr., ss. 71.
253. Szmigiel A., Kołodziejczyk M., Oleksy A., Lorenc-Kozik A., Kulig B. 2015. Wpływ technologii uprawy na plonowanie i zawartość białka w ziarnie jęczmienia jarego. Fragm. Agron., 32 (3), 103–112.
254. Tebrügge F. 2001. No-tillage visions - protection of soil, water and climate and influance on managment and farm income. Conservation agriculture, a worldwide challenge, I World Congress on conservation agriculture, Madrid, 1–5 October 2001, 327–328.
255. Teesalu T., Kuldkepp P., Toomsoo A., Laidvee T. 2006. Content of organic carbon and Total nitro gen in Stagnic Albeluvisol depending on fertilization. Arch. Agron. Soil Sci., 52, 193–200.
256. Thomas F., Archambeaud M. 2019. Międzyplony w praktyce. OIKOS, Warszawa, ss. 343.
257. Thomas G., Dalal R., 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, 295–304.
258. Thomsen I., Christensen B. 2004. Yields of wheat and soil carbon and nitrogen contents following long-term incorporation of barley straw and ryegrass catch crops. Soil Use Manage., 20 (4), 432–438.
259. Tiessen K., Elliott J., Yarotski J., Lobb D., Flaten D., Glozier E. 2010. Conventional and conservation tillage: Influence on seasonal Runoff. Sediment and nutrie nt losses in the Canadian Prairier. J. Environ. Qual., 39, 3, 963–980.
260. Toczyński T., Wrzaszcz W., Zegar J. 2013. Zrównoważenie polskiego rolnictwa. Powszechny Spis Rolny 2010, Warszawa, 59, 13–14.
261. Tomaszewska J. 2002. Wyznaczanie optymalnej gęstości objętościowej gleby na podstawie reakcji jęczmienia jarego. Fragm. Agron., 3 (75), 46–59.
262. Tomkowiak A., Starzyk J., Kosicka-Dziechciarek D., Karwatka K. 2017. Wpływ systemów uprawy roli na stan mikrobiologiczny gleby. Nauka Przyr. Technol., 11 (4), 355–364.
263. Tørresen K., Skuterud R. 2002. Plant protection in spring cereal production with reduced tillage. IV. Changes in the weed flora and weed seedbank. Crop Prot., 21, 179–193.
264. Turski M. 2010. Wpływ sposobu użytkowania na trwałość agregatów gleby wytworzonej z lessu. Acta Agrophys., 15 (1), 197–203.

265. Twardowski J. 2004. Zabiegi rolnicze zagrożeniem dla organizmów glebowych. Ekonatura, 11, 4–6.
266. Twardowski J. 2010. Wpływ uproszczeń w uprawie roli pod pszenicę ozimą na zgrupowania stawonogów epigeicznych i glebowych. Wyd. UP Wroc., Monogr. ss. 107.
267. Verheijen F., Govers G., Diels J., Gillijns K., Demuzere M. 2010. Tolerable versus actual soil erosion rates in Europe. Earth-Science Reviews, 94, 23–38.
268. Wacławowicz R. 2008. Zmiany w siedlisku glebowym wywołane następczym wpływem nawożenia organicznego i azotowego. Probl. Inż. Rol., 16 (2), 69–80
269. Wacławowicz R. 2009. Zmiany zachwaszczenia łanu pszenicy jarej pod wpływem uproszczeń w uprawie roli oraz nawożenia azotowego. Prog. Plant Prot., 49 (3), 1402–1406.
270. Wacławowicz R. 2013. Siedliskowe i produkcyjne skutki polowego zagospodarowania liści buraka cukrowego. Wyd. UP Wroc., Monogr., 165. ss. 134.
271. Wacławowicz R., Parylak D. Śniady R. 2005., Następczy wpływ nawożenia organicznego oraz mineralnego azotowego na plonowanie oraz wybrane cechy jakościowe ziarna pszenicy jarej. Pam. Puł., 139, 277–288.
272. Wacławowicz R., Parylak D., Maziarek A. 2012. Zmiany wskaźników struktury gleby pod wpływem zróżnicowanych systemów uprawy pszenicy jarej. Fragm. Agron., 29 (2), 123–133.
273. Wacławowicz R., Tendziagolska E. 2008. Długotrwałe oddziaływanie nawożenia organicznego i azotowego na wskaźniki struktury roli. Probl. Inż. Rol., 16 (2), 81–90.
274. Wacławowicz R., Wojciechowski W., Zawieja J. 2006. Liczebność i skład gatunkowy diaspor chwastów w glebie w zależności od udziału owsa w płodozmianie. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 46 (2), 229–232.
275. Wauters E., Bieldars C., Poesen J., Govers G., Mathijas E. 2010. Adoption of soil conservation practices in Belgium: An examination of the theory of planned behaviour in the agri-ebvironmental domain. Land Use Policy, 27, 86–94.
276. Weber R. 2010. Przydatność uprawy konserwującej w rolnictwie zrównoważonym. Monogr. Rozpr. Nauk., IUNG Puławy, 25. ss.72.
277. Weber R. 2007. Wpływ sposobu uprawy na niektóre właściwości fizyczne i biologiczne gleby. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 520, 765–773.
278. Weber R., Hryńczuk B. 2007. Plon i komponenty plonu pszenżyta w zależności od sposobu uprawy roli po wieloletnim odłogu. Fragm. Agron., 2 (94), 381–389.
279. Weber R., Hryńczuk B., Runowska-Hryńczuk B., Kita W. 2001. Influence of the mode of tillage on diseases of culm base in some winter wheat varieties, oats and spring wheat. J. Phytopathol., 149, 185–188.

280. Wesołowski M., Buła M., Grotkowska Z., Klusek I. 2010. Sposób wykonywania uprawy przedsiewnej a zachwaszczenie łanu pszenicy ozimej. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 50 (1), 457–460.
281. Wilczewski E. 2007. Wartość wybranych roślin motylkowatych uprawianych w międzyplonie ścierniskowym na glebie lekkiej. Cz. II. Skład chemiczny i akumulacja makroskładników. Acta Sci. Pol., Agricultura, 6 (1), 35–44.
282. Wilczewski E. 2014. Wpływ intensywności u prawy i międzyplonu ścierniskowego na plonowanie jęczmienia jarego. Fragm. Agron., 31 (1), 95–112.
283. Wilczewski E., Skinder Z. 2005. Zawartość i akumulacja makroskładników w biomasie roślin niemotylkowych uprawianych w międzyplonie ścierniskowym. Acta Sci. Pol., Agricultura, 4 (1), 163–173
284. Włodek S., Biskupski A., Pabin J. 2012. Znaczenie ilości opadów dla produkcyjności roślin w uproszczonych systemach uprawy roślin. Soil Sci. Ann., 63 (2), 49–54.
285. Włodek S., Biskupski A., Pabin J., Kaus A. 2007. Plonowanie roślin oraz zmiany retencji wodnej gleby w różnych systemach uprawy roli. Inż. Rol., 11 (3), 195–200.
286. Włodek S., Pabin J., Biskupski A., Kaus A. 1999. Skutki uproszczeń roli w zmianowaniu, Fol. Univ. Agric. Stetin., 195, Agricultura, 74, 39–45.
287. Wojciechowski W. 2004. Kształtowanie właściwości fizycznych gleby lekkiej w płodozmianach uproszczonych z różnym udziałem ziemniaka. Ann. UMCS Sec. E, 59, 3, 1113–1119
288. Wojciechowski W. 2009. Znaczenie międzyplonów ścierniskowych w optymalizacji nawożenia azotem jakościowej pszenicy jarej. Wyd. UP Wroc., Monogr., 76. ss. 122.
289. Wojciechowski W., Gajewska A. 2018. Następcze oddziaływanie międzyplonów i uprawy roli na zdrowotność pszenżyta ozimego. Fragm. Agron., 35 (4), 138–144.
290. Wojciechowski W., Szałata M., Lehmann A. 2015. Międzyplony ścierniskowe uprawiane zgodnie z zasadami programu rolno środowiskowego „Ochrona gleb i wód" jako czynnik fitosanitarny w pszenicy jarej. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 55 (2), 211–215.
291. Wojcieska U., Wolska E., Giza A. 1991. Wpływ żywienia azotem na plon pszenicy jarej i na aktywność reduktazy azotanowej jako wskaźnika zaopatrzenia roślin w azot. Pam. Puł., 98, 23–38.
292. Woźniak A. 2007. Zapas diaspor chwastów w glebie rędzinowej w stanowisku po pszenżycie jarym. Ann. UMCS, Sect. E Agricultura, 62, 250–256.
293. Woźniak A. 2012. Weed infestation of pea *(Pisum sativum L.)* crop under the conditions of plough and ploughless tillage. Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus, 11 (2), 253–262.
294. Woźniak A., Haliniarz M. 2012. The after-effect of long-term reduced tillage systems on the biodiversity of weeds in spring crops. Acta Agrobot., 65 (1), 141–148.

295. Woźniak A., Kwiatkowski C. 2013. Effect of long term reduced tillage on yield and weeds of spring barley. J. Agric. Sci. Tech., 15 (20), 1335–1342.
296. Woźniak A., Soroka M. 2014. Wpływ wieloletnich uproszczeń w uprawie roli na zachwaszczenie pszenicy twardej *(Triticum durum desf.)*. Fragm. Agron., 31 (1), 113–120.
297. Wrzaszcz W. 2017. Skutki zazielenienia Wspólnej Polityki Rolnej na przykładzie gospodarstw prowadzących rachunkowość rolną. Rocz. Nauk. SERiA, 19 (4), 231–237.
298. Wrzesińska E., Pużyński S., Nurkiewicz G. 2017. Wpływ międzyplonu ścierniskowego na plonowanie jęczmienia jarego. Fragm. Agron., 34 (2), 115–123.
299. Yuan M., Fernández F., Pittelkow C., Greer K., Schaefer D. 2020. Soil and crop response to phosphorus and potassium management under conservation tillage. Agron. J., 112 (3), 1–15.
300. Zawiślak K., Adamiak E.,1998. Płodozmian i pestycydy jako czynniki integrowanej uprawy jęczmienia jarego. Acta Acad. Agricult. Tech. Olst., Agricultura, 66, 119–129.
301. Zbroszczyk T., Nowak W. 2009. Wpływ poziomu ochrony i nawożenia azotem na plonowanie i skład chemiczny ziarna kilku odmian jęczmienia jarego pastewnego. Część I. Plonowanie., Biul. IHAR, 251, 137–144.
302. Zimny L. 2003. Encyklopedia ekologiczno-rolnicza. AR Wrocław, ss. 250.
303. Zimny L., Wacławowicz R., Malak D. 2005. Zmiany wybranych właściwości fizycznych gleby oraz skutki zróżnicowanego nawożenia organicznego i mineralnego azotowego. Fragm. Agron., 22 (1), 664–677.
304. Zimny L., Zych A., Wacławowicz R. 2015. Systemy uprawy buraka cukrowego w Polsce w badaniach ankietowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 581, 135–145.

**Warunki wzrostu i plonowanie jęczmienia jarego w różnych systemach uprawy**

**Streszczenie**

Celem podjętych badań było określenie wpływu wprowadzenia do gleby międzyplonu ścierniskowego z gorczycy białej na zmiany właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych gleby oraz produkcyjność jęczmienia jarego. Wyznaczono najkorzystniejszy pod względem przyrodniczym, produkcyjnym i ekonomicznym sposób polowego zagospodarowania międzyplonu. Podjęto próbę odpowiedzi na pytanie, czy dostarczona do gleby biomasa umożliwia ograniczenie dawek nawozów azotowych.

Doświadczenie polowe przeprowadzono w latach 2009-2012. w Rolniczym Zakładzie Doświadczalnym Swojec (obecnie Stacja Badawczo-Dydaktyczna w Swojczycach) należącym do Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Dwuczynnikowy eksperyment założono metodą losowanych podbloków w trzech powtórzeniach. Czynnikiem pierwszego rzędu był sposób uprawy roli uwzględniający uprawę przedzimową i przedsiewną wiosenną oraz obecność międzyplonu. W doświadczeniu analizowano cztery jej warianty: jesienna orka na głębokość 20 cm bez międzyplonu, jesienne przyoranie międzyplonu orką płytką na 15 cm, wiosenne wymieszanie mulczu za pomocą kultywatora, siew bezpośredni jęczmienia w mulcz z międzyplonu. Drugim czynnikiem badawczym było zróżnicowane nawożenie azotem, zastosowane w dawkach: 40 kg $N \cdot ha^{-1}$, 80 kg $N \cdot ha^{-1}$ lub 120 kg $N \cdot ha^{-1}$.

Sposoby uprawy roli i obecność międzyplonu różnicowały plonowanie jęczmienia jarego. Siew bezpośredni jęczmienia w mulcz spowodował istotną obniżkę plonu o 37,9% w porównaniu z uzyskanym w warunkach uprawy tradycyjnej bez międzyplonu. Również zagospodarowanie międzyplonu za pomocą kultywatora przyczyniło się do redukcji masy ziarna odpowiednio o 11,5%. Taką samą tendencję zaobserwowano po przyoraniu gorczycy, zależności tej nie udowodniono jednak statystycznie. Obniżka plonu wynikała na ogół ze zmniejszonej obsady, mniejszej liczby kłosów oraz liczby ziarna z kłosa. Reakcja jęczmienia jarego na zastosowane w doświadczeniu systemy uprawy była wyraźnie zróżnicowana w poszczególnych latach badań i zależała od przebiegu warunków pogodowych. Wykorzystanie w uprawie jęczmienia jarego międzyplonu ścierniskowego z gorczycy białej nie pozwoliło na ograniczenie nawożenia azotem. Uproszczenia w uprawie roli sprzyjały ograniczeniu liczby chwastów w fazie krzewienia jęczmienia, jednocześnie przyczyniając się do wzrostu zachwaszczenia w czasie zbioru zboża. Zagospodarowanie międzyplonu ścierniskowego wpłynęło na poprawę efektywności rolniczej i fizjologicznej nawożenia azotem szczególnie, jeśli gorczycę pozostawiono w postaci mulczu i wykonano siew bezpośredni, a nawożenie azotem zwiększono z 40 do 80 kg $N \cdot ha^{-1}$. Z kolei najwyższą efektywność wykorzystania azotu (NUE) wykazano w warunkach uprawy uproszczonej i zastosowania nawożenia azotem w dawce 40 kg $N \cdot ha^{-1}$.

Systemy uprawy na ogół różnicowały badane parametry właściwości fizycznych gleby. W fazie krzewienie jęczmienia jarego wykazano istotne zwiększenie gęstości objętościowej i zwięzłości gleby oraz zmniejszenie porowatości ogólnej i kapilarnej, jeśli

uprawę tradycyjną zastąpiono uprawą bezorkową lub zerową i dodatkowo zastosowano międzyplon. Z kolei w fazie dojrzałości pełnej taka modyfikacja systemu uprawy przyczyniła się na ogół do istotnego pogorszenia warunków wilgotnościowych, zmniejszenia porowatości kapilarnej gleby oraz zwiększenia jej zwięzłości, co obserwowano głównie w głębszej z badanych warstw gleby.

Analiza ekonomiczna wykazała, że polowe zagospodarowanie międzyplonu ścierniskowego każdym z badanych sposobów, a w szczególności pozostawienie gorczycy na powierzchni pola w postaci mulczu i zastosowanie siewu bezpośredniego przyczyniło się do zmniejszenia nadwyżki bezpośredniej i dochodu rolniczego. Poprawie wskaźników ekonomicznych sprzyjała natomiast intensyfikacja nawożenia azotem.

**Słowa kluczowe:** jęczmień jary, międzyplon ścierniskowy, uprawa roli, nawożenie azotem, właściwości gleby, zachwaszczenie, plonowanie, efekt ekonomiczny.

**The growth conditions and yielding of spring barley under different tillige systems**

**Abstract**

The objective of the research was to assess the influence of introducing white mustard as stubble catch crop on the physical, chemical and biological properties of the soil and the productivity of spring barley. The most efficient way of catch crop introduction was established, in terms of productivity, economic benefits and the impact on the environment. We also attempted to determine whether supplying the soil with biomass allowed to reduce the dosage of nitrogen fertilisers.

The field trials were conducted between 2009 and 2012 in Rolniczy Zaklad Doswiadczalny Swojec (currently Research and Training Station in Swojczyce), belonging to the Wroclaw University of Environmental and Life Sciences. The two-factor experiment was set up using split-plot design method in three trials. The first order factor was the cultivation system involving pre-winter and spring pre-sowing cultivation including catch crop. During the experiment, four variants were analysed: autumn ploughing to 20 cm with no catch crop, shallow autumn ploughing of the catch crop to 15 cm, spring mulching using a cultivator, direct sowing of the barley into the catch crop mulch. The second order factor was variable nitrogen fertilisation, applied in the following doses: 40 kg $N \cdot ha^{-1}$, 80 kg $N \cdot ha^{-1}$ or 120 kg $N \cdot ha^{-1}$.

The cultivation systems and catch crop presence had a varying effect on spring barley yield. The direct sowing of barley into mulch caused a significant crop reduction by 37.9% compared to the traditional cultivation method without a stubble catch crop. Also, catch crop management using a cultivator contributed to a 11.5% seed mass reduction. The same tendency was observed after shallow auttum ploughing of white mustard, however, this was not statistically proven. The crop reduction was typically associated with a reduced a density well as stalks and seeds in stalks. Spring barley's response to the different cultivation systems adopted in the trials varied significantly in different years, depending on the changes in weather conditions. The use of white mustard catch crop did not facilitate the reduction of nitrogen fertilisation. Simplifications in cultivation resulted in reduced weed presence during spring barley tillering phase but contributed to an increased weed infestation during harvest. Introduction of the catch crop had a positive impact on the agricultural and physiological efficiency of nitrogen fertilisation, particularly when white mustard was used as mulch, followed by direct sowing of spring barley and nitrogen increase from 40 kg $N \cdot ha^{-1}$ to 80 kg $N \cdot ha^{-1}$. However, the highest nitrogen use efficiency (NUE) was observed in simplified cultivation with the nitrogen dose of 40 kg $N \cdot ha^{-1}$.

In general, the cultivation systems affected the analysed parameters of physical properties of the soil. During the tillering phase, we observed a significant increase in bulk density and compaction of the soil and a general and capillary porosity reduction wherever the traditional cultivation system was replaced by no-till farming or zero tillage and the use of catch crop. However, in full maturity stage the same modification of the traditional system

was followed by a significant deterioration of soil moisture and capillary porosity as well as a higher level of soil compaction, particularly in deeper layers.

Economic analysis showed that the use of stubble crop in all the cultivation systems assessed in the trials, but particularly in the one involving leaving white mustard on the field surface as mulch and direct sowing of spring barley, resulted in a reduced gross margin and agricultural income. Economic indicators were improved by increased N fertilisation.

**Key words:** spring barley, stubble catch crop, cultivation, N fertilisation, soil properties, weed infestation, yielding, economic effect.