UNIWERSYTET WARMIŃSKO-MAZURSKI
W OLSZTYNIE
WYDZIAŁ ROLNICTWA I LEŚNICTWA

mgr inż. Jędrzej Mastalerz

Wpływ użyźniania gleby materiałami organicznymi na zdrowotność roślin uprawnych oraz zbiorowiska mikroorganizmów strefy korzeniowej

Rozprawa doktorska wykonana
w Katedrze Entomologii, Fitopatologii
i Diagnostyki Molekularnej
pod kierunkiem
prof. dr hab. Tomasza P. Kurowskiego

Olsztyn 2022

UNIVERSITY OF WARMIA AND MAZURY
IN OLSZTYN
FACULTY OF AGRICULTURE AND FORESTRY

Jędrzej Mastalerz, M. Sc.

Effect of soil fertilization with organic materials on the health status of cultivated plants and the community of root zone microorganisms

Doctorate Thesis carried out in the Department of Entomology, Phytopathology and Molecular Diagnostics under the supervision of prof. dr hab. Tomasz P. Kurowski

Olsztyn 2022

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP 5
2. CEL, ZAKRES PRACY I HIPOTEZY BADAWCZE 8
3. PRZEGLĄD LITERATURY 10
3.1. Gleba i ryzosfera jako miejsce funkcjonowania mikroorganizmów 10
3.1.1. Bakterie 11
3.1.2. Grzyby 15
3.2. Zmianowanie jako element dbałości o bioróżnorodność mikroorganizmów 16
3.3. Nawożenie a mikroorganizmy glebowe 17
3.4. Najważniejsze patogeny roślin będących przedmiotem badań 19
3.5. Wpływ nawożenia na zdrowotność roślin uprawnych 24
4. MATERIAŁ I METODY BADAŃ 26
4.1. Lokalizacja doświadczenia polowego 26
4.2. Obiekty doświadczenia polowego 26
4.3. Materiał badawczy 27
4.4. Obserwacje polowe 29
4.4.1. Pobieranie prób gleby i materiału roślinnego 29
4.4.2. Fitopatologiczna ocena występowania i nasilenia chorób 30
4.5. Prace laboratoryjne 31
4.5.1. Izolacja grzybów z gleby, ryzosfery i ryzoplany oraz korzeni 31
4.5.2. Izolacja bakterii z gleby i ryzosfery 32
4.5.3. Sekwencjonowanie 33
4.6. Analiza statystyczna 33
5. WARUNKI AGROMETEOROLOGICZNE 34
6. WYNIKI 37
6.1. Badania polowe 37
6.1.1. Zdrowotność rzepaku ozimego 37
6.1.2. Zdrowotność pszenicy ozimej 38
6.1.3. Zdrowotność ziemniaka 40
6.2. Prace laboratoryjne 41
6.2.1. Grzyby zasiedlające glebę i strefę korzeniową rzepaku ozimego 41
6.2.2. Grzyby zasiedlające glebę i strefę korzeniową pszenicy ozimej 43
6.2.3. Grzyby zasiedlające glebę i strefę korzeniową ziemniaka 45
6.2.4. Bakterie zasiedlające glebę spod uprawy rzepaku ozimego 48

6.2.5. Bakterie zasiedlające glebę spod uprawy pszenicy ozimej 49
6.2.6. Bakterie zasiedlające glebę spod uprawy ziemniaka.....50
6.2.7. Bakterie zasiedlające ryzosferę rzepaku ozimego 52
6.2.8. Bakterie zasiedlające ryzosferę pszenicy ozimej 53
6.2.9. Bakterie zasiedlające ryzosferę ziemniaka 55
6.2.10. Zależność pomiędzy liczebnością bakterii funkcjonalnych a nasileniem chorób roślin 56
6.2.11. Społeczności bakterii zasiedlających glebę.....57
7. DYSKUSJA 59
8. WNIOSKI.....72
9. PIŚMIENNICTWO 74
ZAŁĄCZNIKI.....92
STRESZCZENIE.....135
SUMMARY 137

1. WSTĘP

Zdrowotność roślin ma nieustanne znaczenie w kształtowaniu globalnego bezpieczeństwa żywnościowego. Roczne straty plonów powodowane przez agrofagi na plantacjach mieszczą się w przedziale 20-40%. W odniesieniu do chwastów i szkodników wywołujących średnie straty na poziomie odpowiednio 34 i 18%, infekcyjne choroby roślin ograniczają wydajność upraw o 16% (Oerke 2006, Savary i in. 2012). Jednak ich znaczenie może być dużo większe, zwłaszcza gdy dotyczą roślin o znaczeniu strategicznym. Również wzorzec rozwoju epidemii konkretnych patogenów może czynić je szczególnie niebezpiecznymi. Są to głównie choroby występujące w latach nieregularnie, rozprzestrzeniające się bardzo dynamicznie, jak zaraza ziemniaka (*Phytophthora infestans*) i rdze zbóż (*Puccinia* spp.) (Savary i in. 2017).

Pszenica ozima, rzepak ozimy i ziemniak stanowią łącznie ok. 32% powierzchni zasiewów w Polsce. Plony użytkowe wymienionych gatunków są ważnym surowcem w przemyśle spożywczym, olejarskim, skrobiowym, paszowym a także w wielu innych jego gałęziach (GUS 2022). Pszenica, rzepak i ziemniak są roślinami o dużych wymaganiach pokarmowych. Aby uzyskać plony zapewniające dochodowość produkcji wymagają wielu odpowiednio zaplanowanych zabiegów agrotechnicznych. Duże znaczenie w kształtowaniu wielkości i jakości plonu mają: zbilansowane nawożenie oraz ochrona roślin (Budzyński i in. 2005, Oleksy i in. 2008, Krzysztofik i in. 2009).

Pszenica zwyczajna (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare* Mac Key) zajmuje największą powierzchnię spośród zbóż uprawianych na świecie, a globalna produkcja jej ziarna plasuje ją na trzecim miejscu po kukurydzy i ryżu. W Polsce uprawiana jest na ponad 2 milionach hektarów obejmując prawie 20% powierzchni zasiewów. Ziarno pszenicy przeznaczane jest głównie na cele konsumpcyjne. Podstawowym kierunkiem wykorzystania jest przemiał, na który przeznacza się surowiec najlepszej jakości. Ziarno służy również do produkcji kasz, płatków oraz słodu pszennego i etanolu. Pszenica wykorzystywana jest także do produkcji pasz. Na ten cel przeznacza się głównie surowiec niespełniający norm konsumpcyjnych (GUS 2022, Łopaciuk 2021, Cacak-Pietrzak 2008).

Rzepak (*Brassica napus* ssp. *oleifera* Metzg.) jest jedyną rośliną oleistą uprawianą w Polsce na dużą skalę. Powierzchnia jego zasiewów wraz z rzepikiem stanowiła w 2020 roku prawie milion hektarów. Dotychczas w kraju wartość ta nie była większa, jednak prognozy IERiGŻ wskazują na przekroczenie jej w bieżącym roku. Rzepak odgrywa bardzo ważną rolę w polskiej gospodarce żywnościowej - zarówno w rolnictwie, jak i w przemyśle przetwórczym.

Nasiona przeznaczane są do produkcji tłuszczów konsumpcyjnych i technicznych, a pozostałe po produkcji oleju makuchy stanowią źródło białka paszowego. Polityka Unii Europejskiej obliguje państwa członkowskie do zwiększenia udziału biokomponentów i biopaliw w zużyciu paliw płynnych, co prawdopodobnie wpłynie na zwiększenie powierzchni uprawy rzepaku w Polsce (GUS 2022, Rosiak 2021).

Powierzchnia uprawy ziemniaka w Polsce stanowiła w 2020 roku 226 tys. ha i zmniejszyła się drastycznie w stosunku do wcześniejszego roku o prawie 80 tys. ha. Jest to skutkiem pandemii koronawirusa, w wyniku której spadł obrót głównie ziemniakiem przetworzonym. Bulwy ziemniaka posiadają wiele cennych walorów odżywczych. Zawierają stosunkowo dużo witaminy C i potasu. Chociaż plon ziemniaka ustępuje pod względem jednostkowej zawartości energii i białka względem ziaren czy nasion, to duży potencjał plonowania czyni go liderem w przeliczeniu produkcji na hektar, a w ilości energii ustępuje tylko nieznacznie kukurydzy. Produkcja ziemniaka jest również przyjazna środowisku. Emisja CO_2 na wyprodukowanie kilograma suchej masy wynosi 1205 g, podczas gdy rośliny strączkowe emitują go 1660 g (GUS 2022, Dzwonkowski 2021).

Mikroorganizmy obecne są w każdym środowisku na Ziemi, a szczególnym miejscem ich bytowania jest gleba, w której pełnią wiele kluczowych dla całego ekosystemu funkcji. Gleba sama w sobie jest skutkiem oddziaływania mikroorganizmów. Biorą one udział w inicjacji procesów glebotwórczych, takich jak: wietrzenie pierwotnych i wtórnych minerałów, a następnie w dekompozycji materii organicznej i procesie humifikacji (Uroz i in. 2009, Hemkemeyer i in. 2021). Mikroorganizmy glebowe uczestnicząc w globalnym obiegu węgla same stanowiąc znaczny jego depozyt. Syntetyzują również trwałe związki organiczne lub przeciwnie, prowadzą ich mineralizację. Uczestniczą w wiązaniu azotu cząsteczkowego oraz pozostałych procesach związanych z jego obiegiem. To właśnie mikroorganizmy w znacznym stopniu odpowiadają za udostępnianie roślinom pierwiastków odżywczych (Jacoby i in. 2017, Paśmionka i in. 2021). Poza troficznym oddziaływaniem na rośliny mikroorganizmy wykazują wiele innych korzystnych właściwości. Produkują hormony roślinne, a także antybiotyki i substancje sygnałowe niezbędne w reakcjach obronnych. Mikroorganizmy wykazują więc zdolności protekcji roślin uprawnych przed niekorzystnym oddziaływaniem czynników abiotycznych i biotycznych (Van Der Heijden i in. 2008). Na ilościowy i jakościowy skład mikrobioty glebowej wpływa wiele czynników antropogenicznych. Gospodarka rolna pełni znaczącą rolę ponieważ liczne zabiegi agrotechniczne oddziałują na mikroorganizmy w zróżnicowany sposób. Znaczny wpływ na ich liczbę i strukturę gatunkową ma następstwo roślin oraz nawożenie (Natywa i in. 2014).

Nawożenie w agrotechnice pełni szczególną rolę, ponieważ jest jednym z najważniejszych zabiegów plonotwórczych. Może oddziaływać zarówno na mikroorganizmy glebowe, jak i powiązane z roślinami w strefie ryzo- i fyllosfery (Bünemann i in. 2006, Walters i Bingham 2007). Wieloletnie stosowanie wyłącznie nawozów mineralnych wywiera niekorzystny wpływ na parametry fizykochemiczne gleb, a także może negatywnie oddziaływać na mikroorganizmy glebowe zmniejszając ich liczebność i bogactwo gatunkowe (Geisseler i Scow 2014). Z kolei wzbogacanie gleby nawozami naturalnymi oraz materiałami organicznymi zgodnie z dobrą praktyką rolniczą wykazuje korzystny wpływ na mikrobiotę obecną w glebie oraz sprzyja powstawaniu próchnicy (Ren i in. 2019). Istnieje również wiele doniesień na temat wpływu nawożenia naturalnego i organicznego na zdrowotność roślin, zwłaszcza odnośnie chorób odglebowych. Nie są one jednak jednoznaczne ze względu na zróżnicowany skład i sposób produkowania określonych nawozów (Bonamoi i in. 2007).

W kontekście założeń zielonego ładu oraz postępującego wzrostu cen nawozów mineralnych stosowanie nawozów organicznych wytworzonych z udziałem odpadów na gruntach rolnych wydaje się być korzystną alternatywą dla produktów syntetycznych (Wrzaszcz i Prandecki 2020, Zalewski 2021). Dotyczy to zarówno ich potencjału jako źródła składników odżywczych, ale także możliwego korzystnego oddziaływania na stan zdrowotny roślin.

.

2. CEL, ZAKRES PRACY I HIPOTEZY BADAWCZE

Komposty wytworzone z odpadów komunalnych i osadów ściekowych stanowią potencjalne źródło materii organicznej i pierwiastków biogennych, jednakże są dotychczas rzadko spotykaną i kontrowersyjną formą nawożenia. Ze względu na niewiele doniesień naukowych na temat wieloletniego oddziaływania tego typu nawozów na zbiorowiska mikroorganizmów glebowych, patogeny roślin oraz na zdrowotność roślin, analiza zmian populacyjnych wraz z oceną fitopatologiczną jest niezbędna do prawidłowej organizacji produkcji roślinnej oraz monitorowania funkcjonowania agroekosystemu.

Celem badań była ocena wpływu wieloletniego stosowania kompostów wytworzonych z osadów ściekowych i odpadów komunalnych na zdrowotność rzepaku ozimego, pszenicy ozimej i ziemniaka oraz analiza liczebności podstawowych grup bakterii i zbiorowisk grzybów zasiedlających strefę korzeniową uprawianych roślin.

Zakres badań

W doświadczeniu polowym dokonano oceny zdrowotności rzepaku ozimego, pszenicy ozimej oraz ziemniaka uprawianych po sobie w 4-letnim zmianowaniu, w którym przedplonem rzepaku był jęczmień jary. Pobrano próbki gleby strefy korzeniowej badanych gatunków roślin. Z pobranych próbek w warunkach laboratoryjnych wykonano hodowlę, izolację, ocenę ilościową i identyfikację grzybów oraz bakterii zasiedlających glebę, ryzosferę i korzenie. W celu identyfikacji taksonomicznej grzybów użyto metody mikroskopowej, natomiast w celu ustalenia struktury mikrobioty bakterii zastosowano metodę sekwencjonowania nanoporowego. W celu ilościowej oceny bakterii istotnych dla prawidłowego funkcjonowania ekosystemu glebowego wykonano posiewy na pożywkach selektywnych. Po przeprowadzeniu inkubacji określono liczbę bakterii rozpuszczających fosforany, promieniowców oraz bakterii rodzaju *Azotobacter, Bacillus* i *Pseudomonas*.

Hipotezy badawcze

1. Stosowanie kompostów wytworzonych z osadów ściekowych i odpadów komunalnych wpływa korzystnie na zdrowotność roślin uprawnych oraz na mikrobiotę zasiedlającą glebę,
2. Wieloletnie stosowanie jedynie nawożenia mineralnego wpływa niekorzystnie na skład gatunkowy mikroorganizmów zasiedlających glebę,

3. Wieloletni brak nawożenia wpływa niekorzystnie na liczebność mikroorganizmów glebowych,
4. Różne rodzaje kompostów oddziałują odmiennie na strukturę mikroorganizmów glebowych i zdrowotność roślin.

3. PRZEGLĄD LITERATURY

3.1. Gleba i ryzosfera jako miejsce funkcjonowania mikroorganizmów

Gleba jest podstawowym elementem ekosystemów lądowych i pełni rolę głównego ogniwa w produkcji pierwotnej zapewniając pożywienie dla ludzi i zwierząt. Jako miejsce rozwoju systemu korzeniowego oraz źródło zaopatrzenia roślin w wodę i składniki odżywcze jest utworem trójfazowym. Składa się z frakcji mineralnej i materii organicznej, roztworu glebowego oraz swoistej atmosfery. Inicjalnym składnikiem procesu glebotwórczego jest zwietrzelina skalna powierzchniowej warstwy skorupy ziemskiej, modyfikowana w czasie pod wpływem czynników chemicznych, fizycznych i biologicznych. Gleba jest siedliskiem bakterii, grzybów, nicieni, pierwotniaków, glonów i mikrostawonogów, które stanowią dużą część różnorodności genetycznej na Ziemi (Raaijmakers i in. 2009, Smreczak i in. 2017).

Mikroorganizmy glebowe uczestniczą w procesach rozkładu pozostałości organicznych oraz mineralizacji pierwiastków biogennych zapewniając dzięki temu prawidłowe funkcjonowanie ekosystemu. Wpływają one na dostępność składników odżywczych dla roślin, biorą udział w syntezie próchnicy i budowie agregatów glebowych. Tworzą odpowiednią strukturę roli oraz rozkładają i detoksykują ksenobiotyki. Stanowią podstawowy czynnik utrzymujący żyzność siedlisk (Yang i in. 2021). Mikroorganizmy rozwijające się w glebie mogą wykazywać stosunek patogeniczny wobec roślin lub przeciwnie stymulować ich wzrost i hamować rozwój patogenów (Glick 2012). Stosunek ilościowy organizmów o charakterze patogenicznym, saprotroficznym lub stymulującym rozwój roślin jest zależny od wielu czynników. Jako najważniejsze można uznać następstwo uprawianych po sobie gatunków, typ gleby, jej właściwości fizyczne i chemiczne oraz zawartość materii organicznej. Odpowiednia struktura agregatów zapewnia właściwe stosunki powietrzno-wodne, co wpływa na preferencje określonych grup organizmów. Podstawowymi właściwościami chemicznymi gleby, które wpływają na rozwój mikroorganizmów są pH, oraz dostępność makro- i mikroelementów (Geisseler i Scow 2014, Natywa i in. 2014).

Mikroorganizmy najliczniej występują w warstwie uprawnej gleby oraz w pobliżu korzeni roślin. W glebie dominują gatunki tlenowe. Na powierzchni 1 ara warstwy uprawnej występować może 70 kg bakterii, 70 kg promieniowców oraz 10-15 kg grzybów (Behnke-Borowczyk i Kwaśna 2010). Natomiast jeden gram gleby zawierać może 10^{10}-10^{11} komórek bakterii oraz do 200 m strzępek grzybów (Horner-Devine i in. 2003, Van Der Heijden i in. 2008). Mikroorganizmy w glebie wykazują zróżnicowane stany fizjologiczne. Mogą aktywnie uczestniczyć w biochemicznych przemianach substratów lub wykazywać aktywność

potencjalną, włączając się w procesy w ciągu kilku minut do kilku godzin. Biomasa martwych komórek poddanych lizie jest źródłem węgla i azotu dla dalszych procesów fizjologicznych (Blagodatskaya i Kuzyakov 2013).

Ryzosfera to objętość gleby, w której obecne są związki wydzielane przez system korzeniowy. Skład wydzielin stanowią m.in.: glukoza, aminokwasy, polisacharydy, białka, enzymy, hormony, dwutlenek węgla, jony metali oraz martwe komórki korzenia. Ryzosfera dzięki wydzielinom determinuje rozwój licznej i zróżnicowanej gatunkowo społeczności mikroorganizmów. Według szacunków zbiorowość ta zawierać może ponad 30 000 gatunków prokariotycznych. Zbiorowy genom tej społeczności mikroorganizmów jest znacznie większy niż genom rośliny i bywa również określany jej drugim genomem (Nannipieri i in. 2007, Mendes i in. 2011). Ilość mikroorganizmów w ryzosferze jest większa niż w pozostałej objętości gleby. Zawartość związków organicznych w strefie ryzosfery sprzyja konkurencji pomiędzy taksonami o składniki odżywcze pochodzenia roślinnego. Rezultatem jest rozwój zbiorowisk, które mogą wykazywać zdolności do stymulowania wzrostu, produkcji antybiotyków, udostępniania składników odżywczych czy przeciwnie, do zjawiska patogenezy. Charakter interakcji zależy od składu gatunkowego mikroorganizmów oraz gatunku rośliny i może być modyfikowany poprzez czynniki antropogeniczne związane z agrotechniką lub zanieczyszczeniem środowiska (Berendsen i in. 2012).

3.1.1. Bakterie

Bakterie są nieodłącznym składnikiem agrobiocenoz i pełnią w nich wiele zróżnicowanych funkcji. W glebie bakterie odpowiadają za wietrzenie skał macierzystych, dekompozycję materii organicznej i ksenobiotyków, obieg azotu oraz pozostałych pierwiastków biogennych (Kobus 1996, Russel i Wyczółkowski 2005). Szczególne znaczenie w produkcji rolniczej mają bakterie promujące wzrost roślin (PGPR ang. Plant Growth Promoting Rhizobacteria lub PGPB ang. Plant Growth Promoting Bacteria). Mogą one oddziaływać przez wybraną cechę lub cechy swojego metabolizmu, korzystnie wpływając na wzrost i rozwój roślin. Bakterie te zwiększają ilość i jakość plonu roślin poprzez zwiększanie przyswajalności pierwiastków odżywczych, produkcję fitohormonów oraz protekcję przed patogenami. Ochronne działanie polega głownie na syntezie przez bakterie licznych antybiotyków, enzymów, wzbudzaniu reakcji obronnych oraz konkurencji o nisze ekologiczne (Compant i in. 2005, Krawczyk i in. 2016).

Azotobacter

Bakterie rodzaju *Azotobacter* to Gram-ujemne, heterotroficzne organizmy tlenowe. Należą do rodziny *Pseudomonadaceae* w klasie γ-Proteobacteria. Rodzaj *Azotobacter* po raz pierwszy został opisany w 1901 roku przez holenderskiego mikrobiologa Martinusa Beijerincka, który wyizolował i oznaczył gatunek *A. chroococcum*. Aktualnie rodzaj obejmuje 8 gatunków: *A. armeniacus, A. beijerinckii, A. bryophylli, A. chroococcum, A. nigricans, A. paspali, A. salinestris, A. vinelandii*. Gatunek *A. chroococcum* jest najardziej pospolity i występuje w glebach na całym świecie (Martyniuk i Martyniuk 2003, Kozieł i Gałązka 2021). Bakterie *Azotobacter* spp. mogą zasiedlać glebę, wodę, osady ściekowe, ryzosferę oraz fyllosferę roślin. Komórki tych bakterii są najczęściej owalne, średnicy 1,5-2,0 μm, występują pojedynczo, w parach lub tworzą długie łańcuchy. W niesprzyjających warunkach środowiska zmniejszają swoją objętość, otaczają się mocną błoną tworząc formę cysty. Bakterie rodzaju *Azotobacter* są diazotrofami, które wykorzystują azot atmosferyczny do syntezy białek komórkowych. Po lizie i mineralizacji treści komórki związany azot może być wykorzystany przez rośliny. Ilość udostępnionego azotu to najczęściej kilkanaście kilogramów w ciągu roku na powierzchni hektara (Kozieł i in. 2018). Bakterie *Azotobacter* są wrażliwe na kwaśny odczyn gleby oraz zasolenie. W glebach o pH mniejszym niż 6,0 występują bardzo rzadko i nielicznie. *Azotobacter* spp. wykazuje zdolność do syntezy wielu związków stymulujących rozwój roślin, takich jak: auksyny, cytokiny, gibereliny, witaminy, siderofory oraz polihydroksymaślan (Ahemad i Kibret 2014, Sumbul i in. 2020).

Bacillus

Rodzaj *Bacillus* należy do rodziny *Bacillaceae*, klasy Bacilli i obejmuje ponad 60 gatunków Gram-dodatnich lub Gram-zmiennych bakterii. Są to organizmy tlenowe lub względnie beztlenowe. Większość gatunków wykazuje zdolność poruszania się. Komórki *Bacillus* spp. mają kształt cylindryczny i urzęsione są perytrychalnie lub biegunowo. Przez zdolności wytwarzania odpornych na niekorzystne warunki środowiska endospor rodzaj ten jest szeroko rozpowszechniony w przyrodzie. Bakterie *Bacillus* spp. izolowane są z gleby, wody, żywności, zasiedlają również przewody pokarmowe zwierząt (Chowdhury i in. 2013, Diaz i in. 2019, https://www.ncbi.nlm.nih.gov). Bakterie rodzaju *Bacillus* wykazują zdolność produkcji substancji promujących wzrost roślin o zróżnicowanym kierunku działania. Mogą syntetyzować antybiotyki, enzymy lityczne, fitohormony, lotne związki organiczne oraz siderofory. Przyczyniają się do indukowania systemicznej odporności nabytej oraz udostępniają roślinom fosfor (Aloo i in. 2019). Gatunek *B. subtilis* może wykazywać zdolność

produkowania m.in. ituryny, surfaktyny i aminopoliolu. Wymienione antybiotyki ograniczają rozwój ważnych gospodarczo patogenów jak: *Rhizoctonia solani*, *Fusarium oxysporum* oraz *Pythium ultimum* (Grover i in. 2010). Kumar i in. (2012) w badaniach in vitro udowodnili zdolność szczepu *Bacillus* sp. do hamowania wzrostu grzybni powszechnego patogena *Sclerotinia sclerotiorum.*

Pseudomonas

Bakterie rodzaju *Pseudomonas* to Gram-ujemne komórki kształtu pałeczek. Urzęsione są biegunowo i wykazują zdolność poruszania się. Należą do rodziny *Pseudomonadaceae* w klasie γ-Proteobacteria. Rodzaj zawiera ponad 220 gatunków, z których większość to tlenowce. Bakterie *Pseudomonas* spp. dzięki zróżnicowaniu funkcji metabolicznych i biochemicznych są powszechne w przyrodzie, występują m.in. w wodach, glebie, powietrzu oraz fyllosferze roślin. Określone gatunki mogą być patogeniczne wobec ludzi, zwierząt i roślin. Powszechnym fitopatogenem o dużych zdolnościach adaptacyjnych jest gatunek *P. syringae*, w obrębie którego zidentyfikowano ponad 50 patowarów (Xin i in. 2018, Mueller i Behrendt 2021). Poznano również korzystne oddziaływanie bakterii rodzaju *Pseudomonas* na wzrost i rozwój roślin. Bakterie te są zdolne do syntezy antybiotyków, enzymów, indukowania systemicznej odporności nabytej oraz konkurencji z patogenami o nisze i składniki odżywcze. Najlepiej poznanymi antybiotykami produkowanymi przez glebowe *Pseudomonas* spp. są: 2,4- diacetyloflotoglucynol, fenazyny, pioluteoryna i pirolnitryna (Berendsen i in. 2012). Bakterie rodzaju *Pseudomonas* mogą być przydatne w ochronie wielu roślin, w tym zbóż przed chorobami powodowanymi przez grzyby *Gaeumannomyces graminis* oraz *Rhizoctonia* spp. (Mavrodi i in. 2012). Mogą również ograniczać rozwój sprawcy zarazy ziemniaka *Phytophthora infestans* (Guyer i in. 2015).

Promieniowce

Promieniowce określane jako *Actinomyces* to Gram-dodatnie, tlenowe bakterie należące do typu Actinobacteria. Dzięki tworzeniu splecionych i rozgałęzionych cylindrycznych nitek struktura kolonii promieniowców przypomina typową plechę grzybów. Komórki wrastają w podłoże tworząc pseudogrzybnię substratową i powietrzną. Promieniowce rozmnażają się przez fragmentację pseudogrzybni lub wytwarzają zarodniki (Sołecka i in. 2013). Zasiedlają liczne ekosystemy lądowe i wodne. Są obecne głównie w glebie, kompoście, oborniku i ściekach. W środowisku glebowym promieniowce występują najliczniej w warstwie ornej, jeden gram gleby może zawierać 10^4-10^8 komórek. Są wrażliwe na kwasowość gleby.

Optymalny odczyn dla rozwoju promieniowców to przedział pH 6,5-8.0. Większość gatunków promieniowców to mezofile, jednak nieliczne gatunki zasiedlające kompost lub obornik takie jak np.: *Thermoatinomycetes, Streptomyces* mogą rozwijać się w temperaturze 55-65 ^{o}C (Bhatti i in. 2017). Promieniowce w glebie występują przede wszystkim jako saprotrofy odpowiedzialne za obieg składników odżywczych. Produkują liczne enzymy hydrolityczne i wykazują zdolność do rozkładu złożonych polimerów jak m.in. lignoceluloza i chityna (Zaitlin i in. 2004). Promieniowce dzięki produkcji antybiotyków i chitynazy mogą wykazywać antagonizm wobec fitopatogenów. Oddziałują również pozytywnie na procesy związane z solubilizacją fosforanów, wiązaniem azotu, produkcją sideroforów oraz promowaniem symbiozy grzybów ektomikoryzowych i arbuskularnych z roślinami (Rey i Dumas 2017).

Bakterie udostępniające roślinom fosfor

Fosfor jest niezbędnym oraz jednocześnie najdroższym makropierwiastkiem w żywieniu roślin. W glebie występuje jako pierwotne lub wtórne minerały oraz w formie organicznej, która stanowić może nawet 80% ogólnego P. Fosfor jest makroskładnikiem mało mobilnym, pobieranym przez rośliny jako jony ortofosforanowe najintensywniej przy pH 5,0-6,0. Poza tym optymalnym zakresem odczynu łatwo ulega uwstecznieniu łącząc się z glinem, manganem i żelazem w odczynie kwaśnym lub z wapniem i magnezem w środowisku zasadowym tworząc związki nierozpuszczalne (Khan i in. 2014, Malhotra i in. 2018). Obecne w glebie mikroorganizmy, a przede wszystkim bakterie określane w literaturze jako Phosphate Solubilization Bacteria (PSB) mogą udostępniać roślinom związki fosforu, z którego te nie mogłyby autonomicznie korzystać. Bakterie wykazujące tę zdolność stanowią 1-50% ogólnej społeczności bakterii glebowych. Udostępnianie odbywa się poprzez wydzielanie kwasów organicznych w strefie ryzosfery stwarzając odpowiednie pH oraz przez syntezę enzymów takich jak m.in.: fosfatazy, fosfohydralazy oraz fitazy (Zhu i in. 2018). Bakterie wykazujące zdolność do solubilizacji fosforu należą do rodzajów: *Arthrobacter*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Chryseobacterium*, *Delftia*, *Gordonia*, *Phyllobacterium*, *Pseudomonas*, *Serratia*, *Rhodococcus* i *Xanthomonas* (Elhaissoufi i in 2020, Wissal i in 2021). Mukhtar i in. (2017) wykazali korzystny wpływ szczepów *Bacillus* sp. na biometrię oraz plon ziarna pszenicy zwyczajniej. Również Elhaissoufi i in (2020) potwierdzają pozytywne oddziaływanie bakterii PSB na wielkość plonu pszenicy durum.

3.1.2. Grzyby

Grzyby odpowiadają za wiele funkcji ekosystemowych zachodzących w glebie, mogą rozwijać się w szerokim zakresie temperatury i pH. Stanowią 1,33% jej objętości oraz 0,2% ciężaru. W jednym gramie gleby znajdować się może 75-1500 tysięcy zarodników. Określenie grzyby glebowe obejmuje gatunki występujące w wolnej glebie, ryzosferze oraz zasiedlające systemy korzeniowe roślin. Najpowszechniejsze w glebie są grzyby strzępkowe, które wytwarzają plechę złożoną z jedno- lub wielkokomórkowych, nitkowatych i rozgałęzionych strzępek. Grzyby dominują w społeczności mikroorganizmów glebowych stanowiąc od 55-89% ich łącznej biomasy (Joergensen i Emmerling 2006, Behnke-Borowczyk i Kwaśna 2010). Szacunkowa liczba gatunków obecnych na całym świecie może wynosić nawet kilka milionów, z których dotychczas opisano ponad 100 tysięcy. W glebie najpowszechniej występują grzyby należące do rodzajów: *Acremonium, Absidia, Alternaria, Aspergillus, Botrytis, Chaetomium, Cladosporium, Cylindrocarpon, Fusarium, Mucor, Penicillium, Rhizopus, Stemphylium, Verticillium* i *Zygorrhynchus,* (Domsch i in. 1980, Behnke-Borowczyk i Kwaśna 2010, Taylor i in. 2014).

Grzyby rozkładają materię organiczną w celu pozyskania energii i składników odżywczych uwalniając CO_2 jako produkt uboczny lub przeciwnie, syntetyzują trwałe związki organiczne przyczyniając się do sekwestracji węgla w glebie. Biorą udział w syntezie próchnicy, a strzępki stanowią swoiste rusztowanie przy powstawaniu agregatów glebowych. Mogą uczestniczyć w obiegu fosforu i azotu uwalniając enzymy pośredniczące w mineralizacji form organicznych. Grzyby strzępkowe wykazują zdolność rozkładu złożonych związków jak m.in.: lignina, celuloza i chityna. Drożdże natomiast wyspecjalizowane są w rozkładzie głównie cukrów. Liczne gatunki grzybów pełnią rolę biosorbentów metali wykazujących działanie toksyczne jak: kadm, miedź, rtęć i ołów (Ezzouhri i in. 2009, Starmer i Lachance 2011, Treseder i Lennon 2015).

Grzyby mogą wpływać korzystnie na rozwój roślin. Spośród pożytecznych gatunków największe znaczenie w zwiększaniu plonowania mają grzyby mykoryzowe. Poprawiają one przede wszystkim zdolność pobierania składników odżywczych z podłoża oraz niwelują skutki stresów abiotycznych. Grzyby rodzaju *Trichoderma, Glomus* i *Penicillium* wykazują antagonizm wobec wielu fitopatogenów. Rodzaj *Trichoderma* wchodzi w skład preparatów komercyjnych stosowanych głównie w produkcji ogrodniczej do biologicznego oganiczania patogenów i stymulacji roślin. W praktyce rolniczej i ogrodniczej stosowany jest również preparat zawierający zarodniki grzyba *Coniothyrium minitans,* który pasożytuje na sklerocjach

sprawcy zgnilizny twardzikowej *Sclerotinia sclerotiorum* (López-Bucio 2015, Derbyshire i Denton-Giles 2016, Moreno i in. 2021).

Gleba może również stanowić siedlisko mikroorganizmów będących sprawcami chorób roślin o dużym znaczeniu gospodarczym. Są to najczęściej grzyby rodzaju *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Sclerotinia* i *Verticillium* oraz lęgniowce *Pythium* sp. i *Phytophthora* sp. dawniej obejmowane przez królestwo Fungi. Ilościowy i jakościowy skład społeczności patogenów determinowany jest przede wszystkim przez zabiegi agrotechniczne związane z następstwem roślin, nawożeniem, wapnowaniem i sposobem uprawy roli (Natywa i in. 2014, Moreno i in. 2021).

3.2. Zmianowanie jako element dbałości o bioróżnorodność mikroorganizmów

Zróżnicowanie składu gatunkowego roślin w agrocenozie zwiększa produktywność siedlisk, ogranicza występowanie szkodników i fitopatogenów, przyspiesza obieg pierwiastków odżywczych oraz zwiększa produkcję próchnicy w glebie. Dotyczy to zarówno plantacji wielogatunkowych, jak również następstwa różnych gatunków uprawianych po sobie, czyli zmianowania (Zak i in. 2003, Lange i in. 2015, Venter i in. 2016).

Właściwe następstwo roślin w odniesieniu do monokultur sprzyja intensywniejszej akumulacji węgla i azotu w glebie oraz przyczynia się do zwiększenia składu gatunkowego i biomasy mikroorganizmów (Mc Daniel i in. 2014). Jakość wprowadzanych resztek pożniwnych lub roślin uprawianych jako międzyplony wpływa na rozwój określonych grup taksonów. Resztki roślin jednoliściennych szczególnie bogate w ligninę zwiększają udział grzybów w biomasie mikroorganizmów (Habtewold i in. 2020). Niewłaściwe następstwo lub uprawa roślin w monokulturze przyczynia się do zwiększania udziału określonych patogenów w społeczności mikroorganizmów. Przede wszystkim są to patogeny będące sprawcami chorób odglebowych, nazywanych w agrotechnice określeniem „chorób płodozmianowych". Uprawa pszenicy po grochu lub po rzepaku w porównaniu do monokultury zwiększa bioróżnorodność mikroorganizmów w ryzosferze. Zwiększa się liczba grzybów rodzaju *Penicillium* i *Acremonium* oraz maleje udział *Fusarium* sp. (Town i in. 2022). W warunkach Polski szczególnie groźnymi patogenami związanymi z niewłaściwym zmianowaniem są: sprawca zgorzeli podstawy źdźbła (*Gauemannomyces graminis*) oraz *Plasmodiophora brasicae* odpowiedzialny za występowanie kiły kapusty (Kurowski 2002, Jędryczka i in. 2013).

Ograniczone występowanie chorób roślin w płodozmianie nie jest jedynie skutkiem wprowadzania do gleby różnorodnej substancji organicznej, co przyczynia się do zjawiska konkurencji między taksonami o określone substraty. Hamowanie rozwoju patogenów może

być spowodowane aktywnością mikroorganizmów antagonistycznych. Zjawisko to dotyczy szczególnie bakterii wytwarzających antybiotyki. Związki takie jak diacetyloflotoglucynol oraz pirolnitryna wykazują skuteczne oddziaływanie w ograniczaniu rozwoju grzybów chorobotwórczych (Weller i in. 2002). Potencjał ich wytwarzania jest większy o około 9% w glebie objętej płodozmianem w porównaniu do uprawy w monokulturze (Peralta i in. 2018).

3.3. Nawożenie a mikroorganizmy glebowe

Nawożenie jest zabiegiem agrotechnicznym, który ma największy udział w kształtowaniu wielkości plonu. Jednocześnie zabieg ten może wywierać znaczący wpływ na jakość gleby. Skutki są tym bardziej widoczne, im dłużej stosowany jest dany system nawożenia. Wieloletnie stosowanie syntetycznych nawozów mineralnych w uprawie roślin sprzyja zakwaszaniu gleby, pogarsza jej strukturę, zmniejsza akumulację materii organicznej oraz w konsekwencji przyczynia się do zmniejszenia wielkości plonów (Schroder i in. 2011, van der Bom i in. 2018). Długotrwałe stosowanie nawozów sztucznych może skutkować również zmniejszeniem biomasy oraz różnorodności gatunkowej mikroorganizmów glebowych (Sun i in. 2015, Xiang i in. 2020).

Alternatywą i uzupełnieniem dla nawozów mineralnych są nawozy naturalne lub organiczne. Niestety dostępność nawozów naturalnych jest ograniczona i skoncentrowana wokół podmiotów prowadzących produkcję zwierzęcą. Według Ustawy z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu (Dz.U. 2007 nr 147 poz. 1033) określenie nawozy naturalne obejmuje obornik, gnojówkę, gnojowicę oraz guano. W Polsce najpopularniejszym nawozem naturalnym jest obornik, którego produkcja stanowiła w roku gospodarczym 2016/2017 ponad 52,24 mln ton i stosowany był na ponad 3,16 mln hektarów (GUS 2018). Obornik jest nawozem uniwersalnym, przydatnym w uprawie wielu gatunków roślin. Jego stosowanie poprawia właściwości fizykochemiczne gleb (Tian i in. 2022). Jest źródłem m.in. azotu, fosforu, siarki, miedzi i cynku oraz wprowadza do gleby duże ilości organicznego węgla, który wykorzystywany jest w procesie humifikacji. Obornik dzięki właściwościom buforowym może powstrzymywać toksyczne działanie glinu oraz ograniczać spadek pH gleby lub nawet je podnosić dzięki zawartości kationów potasu, sodu, magnezu i wapnia (Cai i in. 2015, Köninger i in. 2021). Stosowanie obornika zwiększa w glebie biomasę bakterii oraz grzybów (Birkhofer i in. 2008, Ren i in. 2019). Zwiększa również aktywność kluczowych enzymów jak m.in. ureaza, dehydrogenaza i fosfatazy (Liang i in. 2014).

Glebowe zasoby materii organicznej oraz pierwiastków biogennych mogą być zwiększane także za pomocą kompostów oraz odpowiednio przygotowanych osadów

ściekowych (Szwedziak 2006, Gondek 2012). Podstawowym aktem prawnym określającym przepisy dotyczące stosowania kompostów jest ustawa o nawozach i nawożeniu (Dz.U. 2007 nr 147 poz. 1033), w myśl której komposty to nawozy organiczne. Zasady stosowania osadów ściekowych obejmujące szczegółowe wytyczne dotyczące przede wszystkim liczby jaj pasożytów i zawartości metali ciężkich w produkcie oraz parametry gleby, do której mają trafić, ujęte są w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz.U. 2015 poz. 257).

Kompost wykazuje właściwości abiotyczne związanie z zawartością materii organicznej i pierwiastków odżywczych oraz biotyczne stanowiąc źródło mikroorganizmów. Podczas fazy termofilnej procesu kompostowania dezaktywacji ulegają zarówno patogeny jak i organizmy pożyteczne. W trakcie dojrzewania kompostu dochodzi do ponownej jego kolonizacji przez mikroorganizmy, a ich ilość i społeczność zależna jest od długości trwania tego procesu. Oddziaływanie kompostu na mikroorganizmy gleb nawożonych związane jest z cechami abiotycznymi i biotycznymi. Obie właściwości determinują substraty użyte do produkcji kompostu oraz czas kompostowania (Noble i Roberts 2004, Luo i in. 2022). Kompost dzięki zawartości materii organicznej i pierwiastków odżywczych może zwiększyć biomasę i różnorodność mikroorganizmów glebowych. Komposty świeże zawierają duże ilości biolabilnej materii organicznej oraz łatwo dostępnych dla roślin i mikroorganizmów składników pokarmowych. Jednak nawożenie gleby świeżymi kompostami ogranicza dostępność pierwiastków roślinom poprzez immobilizację ich przez mikroorganizmy (Cozzolino i in. 2018). Dojrzały kompost zawiera skoncentrowane hydrofobowe związki alkilowe i aromatyczne, co zmniejsza dostępność biolabilnego hydrofilowego węgla, a tym samym ogranicza immobilizację składników odżywczych przez społeczności mikroorganizmów glebowych (Spaccini i Piccolo 2007). Dojrzałość kompostu określa się na podstawie właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych. Rozwój mikroorganizmów glebowych oraz dynamika akumulacji próchnicy w glebie są intensywniejsze, gdy do gleby trafia produkt o węższym stosunku węgla do azotu, optimum zawiera się w przedziale C:N 15-30 (Viketoft i in. 2021).

Zagospodarowanie osadów ściekowych to jedno z najbardziej kontrowersyjnych zagadnień współczesnej gospodarki odpadami. Produkcja osadów ściekowych w Polsce w 2020 roku stanowiła 990 tys. ton suchej masy z czego ponad 160 tys. ton wykorzystano w rolnictwie (GUS 2021). Osady ściekowe zawierają liczne pierwiastki odżywcze, w tym znaczną ilość fosforu oraz materię organiczną. Mogą być wykorzystywane z powodzeniem do zwiększania żyzności gleb i plonowania roślin pod warunkiem spełnienia określonych

wymogów zawartych w prawodawstwie (Dz.U. 2015 poz. 257). Istnieją jednak publiczne obawy dotyczące ich stosowania na użytkach rolnych, związane z obecnością patogenicznych mikroorganizmów, toksycznych związków organicznych oraz metali ciężkich. W tej sytuacji większego znaczenia nabierają metody właściwej obróbki osadów, by zwiększyć możliwości ich bezpiecznego rolniczego zagospodarowania (Bień i Bień 2016, Kominko i in. 2019).

Stosowanie osadów ściekowych na gruntach ornych dzięki zawartości materii organicznej może sprzyjać tworzeniu lepszej struktury gleby. Produkty zawierające dużą ilość kationów zasadowych zwiększają glebowe pH, co w przypadku wielu stanowisk jest ich dużym atutem. Obserwowany jest również korzystny wpływ stosowania osadów ściekowych na liczebność glebowych grzybów, ogólną liczebność bakterii oraz ilość bakterii rodzaju *Azotobacter* (Douaer i in. 2021). Wieloletni wpływ stosowania osadów ściekowych spełniających normy jakościowe na aktywność i liczebność mikroorganizmów oraz aktywność fosfataz i dehydrogenaz jest korzystny nawet przy stosowaniu jednorazowej dawki 100 t s.m.·ha^{-1} w odstępie 6 lat (Siebielec i in. 2018). Jednak długotrwałe stosowanie osadów ściekowych, w których zawartość cynku i miedzi została w sposób kontrolowany zbliżona do górnych dopuszczalnych wartości może wpływać niekorzystnie na ilość i społeczność bakterii, natomiast grzyby wykazują większą oporność na ten czynnik (Macdonald i in. 2011).

3.4. Najważniejsze patogeny roślin będących przedmiotem badań

Uprawa zbóż w Polsce w 2020 roku stanowiła 63% struktury zasiewów i zmniejszyła się o 10 % według roku 2019. Pszenica zwyczajna zajmowała prawie 20% powierzchni pod zasiewami, a jej uprawa obejmowała ponad 2 miliony hektarów, z których ponad 1,93 mln ha stanowiła forma ozima (GUS 2022). Pszenica ozima w trakcie wegetacji może ulegać porażeniu przez liczne patogeny. Najważniejsze czynniki warunkujące występowanie chorób to niewłaściwe następstwo roślin oraz przebieg warunków atmosferycznych sprzyjających infekcji. Straty plonu z powodu wystąpienia chorób szacowane są w przedziale 10-50%, a w warunkach epifitozy wartości te mogą być znacznie większe (Jaczewska- Kalicka 2000).

Kompleks chorób podstawy źdźbła obejmuje fuzaryjną zgorzel podstawy źdźbła i korzeni (*Fusarium* spp.), łamliwość źdźbła zbóż i traw (*Oculimacula* spp.), ostrą plamistość oczkową (*Ceratobasidium cereale*) oraz zgorzel podstawy źdźbła (*Gaeumannomyces graminis*). Sprawcy tych chorób poza okresem uprawy pszenicy na danym polu rozwijają się w glebie jako saprotrofy na resztkach pożniwnych i należą do najgroźniejszych patogenów zbóż, ponieważ ich szkodliwość może rozpoczynać się już w trakcie kiełkowania i wschodów. Objawy specyficzne dla poszczególnych sprawców widoczne są w fazie strzelania

w źdźbło lub dopiero podczas kłoszenia. Porażenie podstawy źdźbła ogranicza transport wody i składników mineralnych, co powoduje przedwczesne bielenie kłosów i ogranicza masę tysiąca ziaren (Kurowski 2002, Korbas 2008).

Fuzaryjna zgorzel podstawy źdźbła i korzeni jest najpowszechniejsza spośród chorób podsuszkowych. Związane jest to z dużymi możliwościami adaptacyjnymi patogenów do warunków środowiskowych (Kurowski i in. 1990). Najważniejszymi sprawcami choroby są: *Fusarium culmorum, F. avenaceum* i *F. graminearum*. Nasilenie choroby zależne jest głównie od warunków atmosferycznych oraz od przedplonu. Wzrasta ono szczególnie gdy pszenica uprawiana jest po zbożach kłosowych i kukurydzy (Weber i in. 2005, Kuzdraliński i in. 2014, Tillmann i in. 2017). Sprawcami łamliwości źdźbła zbóż są workowce *Oculimacula acuformis* oraz *O. yallundae*. Choroba najlepiej rozwija się podczas wilgotnej, długiej jesieni, po której następuje łagodna zima oraz wilgotna i chłodna wiosna. Liczne porażenie roślin obserwuje się szczególnie na glebach ciężkich, wilgotnych i kwaśnych. Szkodliwość choroby oprócz zmniejszenia masy tysiąca ziaren może objawiać się jako wyleganie roślin, co sprawia, że mechaniczny zbiór jest mniej wydajny i generuje większe straty ziarna. Łamliwość źdźbła zbóż nie jest typową chorobą płodozmianową i rozwija się niezależnie od przedplonu. Stopień porażenia roślin determinują przede wszystkim warunki atmosferyczne (Kurowski 2002, Ray i in. 2006, Leroux i in. 2013). Ostra plamistość oczkowa w warunkach Polski jest mniej powszechna niż dwie opisane powyżej jednostki. Głównymi żywicielami patogenu są pszenica i pszenżyto, w innych strefach klimatycznych sprawca poraża również kukurydzę oraz pozostałe liczne gatunki traw (Majchrzak i in. 2006, Świerczyńska i Pieczul 2012).

Najważniejsze choroby aparatu asymilacyjnego pszenicy to: septorioza paskowana liści pszenicy (*Mycosphaerella graminicola*), septorioza plew pszenicy (*Phaeosphaeria nodorum*), brunatna plamistość liści (*Pyrenophora tritici-repentis*), rdza brunatna pszenicy (*Puccinia recondita*) oraz mączniak prawdziwy zbóż i traw (*Blumeria graminis*) (Willyerd i in. 2015). Porażenie liścia flagowego jest szczególnie niekorzystne, ponieważ może znacznie ograniczać wielkość plonu poprzez zmniejszenie masy tysiąca ziarniaków (Ruske i in. 2003).

Szkodliwość sprawców septorioz jest szczególnie dotkliwa, gdy w trakcie wiosennej wegetacji pszenicy opady deszczu występują często, utrzymując dużą wilgotność w łanie. W warunkach epifitozy straty powodowane przez septoriozy mogą stanowić 30-50% plonu ziarna. Prawidłowa agrotechnika związana z uprawą roli oraz następstwem roślin nie daje oczekiwanych efektów kontroli sprawców. Najskuteczniejsze sposoby ograniczające straty związane z występowaniem septorioz to uprawa odmian o podwyższonej odporności oraz

stosowanie odpowiednich fungicydów (Ficke i in. 2018, Rana i in. 2020, Beyer i in. 2022). Brunatna plamistość liści jest powszechną chorobą pszenicy, która może powodować straty na poziomie 50% plonu ziarna. Niezbędnym czynnikiem do dokonania infekcji przez sprawcę jest stosunkowo długi okres zwilżenia liści, który u odmian odpornych wynosi co najmniej 24 godziny. Natomiast okres inkubacji patogenu jest krótki i pierwsze objawy mogą pojawić się nawet w ciągu tygodnia, co świadczy o potencjalnie dużej szkodliwości choroby. Uprawa bezorkowa sprzyja większemu nasileniu brunatnej plamistości liści (Wakuliński i in. 2002, Kokhmetova i in. 2021). W Polsce rdza brunatna pszenicy jest najczęściej spotykaną spośród pozostałych rdzy zbóż i występuje corocznie. Jej nasilenie jest zróżnicowane w latach i zależy od przebiegu warunków atmosferycznych. Patogen szczególnie dobrze rozwija się w temperaturze powietrza wynoszącej 20-25 ^{o}C, niezależnie od opadów i wilgotności powietrza. Zwilżenie liści jest niezbędne wyłącznie do dokonania infekcji, która może zakończyć się w ciągu 3 godzin. Straty plonu w wyniku porażenia plantacji przez sprawcę wynoszą około 15%, a w warunkach sprzyjających epifitozie stanowią 30-60% wielkości plonu ziarna (Czajkowski i in. 2011, Wójtowicz i in. 2020). Mączniak prawdziwy zbóż i traw występuje na pszenicy corocznie wywołując przeciętnie straty plonu na poziomie 15-35%, a w warunkach idealnych dla rozwoju patogenu mogą one przekraczać 50%. Sprawca najlepiej rozwija się w temperaturze 15-20 ^{o}C, a zarodniki konidialne mączniaka nie wymagają wilgoci by kiełkować i wywoływać infekcję. Nowa generacja zarodników pojawia się w ciągu 7-10 dni (Mwale i in. 2014, Czajkowski i Czembor 2016).

Fuzarioza kłosów zbóż może być powodowana przez 19 gatunków grzybów rodzaju *Fusarium*. W klimacie umiarkowanym głównymi sprawcami są *F. culmorum*, *F. avenaceum* i *F. poae*, jednak w wyniku ocieplenia klimatu i zwiększenia areału uprawy kukurydzy jako czynnik sprawczy zyskuje na znaczeniu patogen *F. graminearum*. Straty w plonie w wyniku choroby mogą przekraczać 40%. Szkodliwość fuzariozy kłosów objawia się zmniejszeniem masy tysiąca ziaren i zdolności ich kiełkowania oraz zanieczyszczeniem plonu mykotoksynami, które wykazują szkodliwe działanie wobec kręgowców i roślin (Kaczmarek i in. 2012, Tillmann i in. 2017, Figueora i in. 2018). Szkodliwość septoriozy plew pszenicy na kłosach dotyczy również jak w przypadku liści ograniczenia powierzchni asymilacyjnej i w efekcie masy tysiąca ziaren. Drugim skutkiem oddziaływania patogenu w tej fazie fenologicznej może być zasiedlenie ziarniaków, z których kiełkują porażone siewki. W przypadku epifitozy patogen wywołuje straty plonu ziarna przekraczające 50% (Czembor i in. 2019, Downie i in. 2021). W wyniku porażenia podstawy źdźbła przez sprawców chorób podsuszkowych, lub zasiedlenia źdźbeł przez szkodniki, a także w wyniku przedłużających się

zbiorów na pszenicy może również wystąpić czerń zbóż. Chorobę wywołują dwa grzyby: *Alternaria alternata* oraz *Cladosporium herbarum*. Jej znaczenie w porównaniu do opisanych wyżej jednostek chorobowych jest niewielkie (Korbas i in. 2017).

Rzepak ozimy to najważniejszy gatunek z roślin oleistych uprawianych w Polsce a powierzchnia jego uprawy wraz z rzepikiem w 2020 roku stanowiła 0,98 mln ha i wzrosła według roku 2019 aż o ponad 0,1 mln ha (GUS 2022). Ocieplenie klimatu wpływa zarówno na ontogenezę rzepaku, jak i na patogeny towarzyszące jego uprawie. Zwiększa się znaczenie werticiliozy, zgnilizny twardzikowej oraz suchej zgnilizny kapustnych, która rozwija się intensywniej szczególnie w okresie jesienno-zimowym (Siebold i von Tiedemann 2013).

Sucha zgnilizna kapustnych powodowana jest przez grzyby *Leptosphaeria maculans* i *L. biglobosa*, Potencjalna szkodliwość choroby jest bardzo duża i może powodować 30-50% straty plonu nasion. Sprawcy zdolni są porażać rośliny rzepaku przez cały ich okres wegetacji powodując zgorzel siewek, plamistości liści rozetowych, z których grzybnia patogenów przerasta ogonki liściowe powodując wiosną suchą zgniliznę szyjek korzeniowych lub łodyg. Objawy występują również na łuszczynach, z których grzybnia może infekować nasiona (Poslušná i in. 2019, Brachaczek i in. 2021). Sprawca zgnilizny twardzikowej jest polifagiem zdolnym porażać ponad 400 gatunków roślin (Boland i Hall 1994). Grzyb *Sclerotinia sclerotiorum* jest jednym z najgroźniejszych patogenów rzepaku, który wywołuje zgniliznę pędów. Patogen infekuje rośliny głównie w okresie kwitnienia za pomocą askospor, które uwalniane są z apotecjów wyrastających ze sklerot. Możliwa jest również infekcja podstawy łodygi przez grzybnię wyrastającą z przetrwalników, jednak ten sposób propagacji sprawcy ma o wiele mniejsze znaczenie. Skleroty, czyli organy przetrwalnikowe patogenu obecne są w glebie w wyniku uprzedniego porażenia roślin żywicielskich uprawianych na danym stanowisku. Ich potencjał infekcyjny może trwać nawet 10 lat. Szkodliwość choroby objawia się ograniczonym transportem wody do formujących się łuszczyn, co sprzyja redukcji ich liczby lub zmniejsza masę tysiąca nasion oraz może powodować wyleganie plantacji. Zgnilizna twardzikowa pojawia się w dużym nasileniu szczególnie gdy w okresie kwitnienia występują opady deszczu utrzymujące dużą wilgotność gleby i łanu oraz gdy płodozmian zawiera duży udział roślin żywicielskich (Young i Werner 2012, Derbyshire i Denton-Giles 2016, Lane i in. 2019). Werticilioza jest chorobą odglebową, której znaczenie w uprawie rzepaku stale wzrasta. Sprawcami są grzyby *Verticillium dahliae* i *V. longisporum* zdolne wywoływać straty w przedziale 10-50% plonu nasion (Dunker i in. 2008). Patogeny występuja w glebie w formie mikrosklerot, których żywotność może przekraczać 10 lat. Ze sklerot wyrasta grzybnia dokonująca infekcji systemu korzeniowego. Strzępki patogenów przenikają przez

powierzchniowe warstwy korzenia do ksylemu. Sprawcy rozwiją się w układzie naczyniowym powodując więdnięcia i przedwczesne zamieranie roślin. Szkodliwość choroby wzrasta w warunkach suszy i wysokich temperatur oraz w płodozmianach z dużym udziałem roślin żywicielskich (Depotter i in. 2016, Fröschel 2021).

Powierzchnia uprawy ziemniaka w Polsce w 2020 roku stanowiła 226 tys. ha i zmniejszyła się drastycznie w stosunku do wcześniejszego roku o prawie 80 tys. ha (GUS 2022). Najważniejszymi patogenami naci ziemniaka są: lęgniowiec *Phytophthora infestans* jako sprawca zarazy ziemniaka oraz grzyby *Alternaria solani* i *A. alternata* powodujące suchą plamistość liści ziemniaka (Abbas i in. 2013).

Zaraza to najgroźniejsza i najważniejsza gospodarczo choroba ziemniaka. Objawy występują najczęściej w lipcu i sierpniu, choć w lata sprzyjające rozwojowi sprawcy mogą być widoczne już w czerwcu. Patogen poraża aparat asymilacyjny ograniczając wielkość plonu oraz może porażać bulwy, które wtórnie zasiedlają bakterie i grzyby wywołując straty w trakcie przechowywania. W Polsce sprawca zmniejsza plony średnio o 20-25%, choć w latach sprzyjających rozwojowi patogenu może on spowodować całkowitą defoliację plantacji (Sawicka 2005). *Phytophthora infestans* jest heterotalicznym lęgniowcem zdolnym do rozmnażania płciowego pod warunkiem obecności obu typów kojarzeniowych na plantacji. Pierwotnie występowały one wyłącznie w Meksyku, jednak od lat 80-tych XX wieku opanowały pozostałe rejony uprawy roślin żywicielskich. W wyniku procesu płciowego tworzą się oospory zdolne do przetrwania w glebie przez 3-4 lata. Taki sposób rozmnażania zapewnia powstawanie osobników o nowych cechach związanych m.in. z odpornością sprawcy na fungicydy czy zwiększoną wirulencją. Pierwotne źródło infekcji stanowią oospory oraz porażone bulwy, z których wyrastają trzonki z zarodnikami sporangialnymi. Po przeniesieniu zarodników sporangialnych na powierzchnię rośliny w temperaturze 12-18 ^{o}C powstają zarodnie pływkowe, w których znajduje się około 5-15 zarodników pływkowych zdolnych do infekcji. W wyższych temperaturach z zarodników sporangialnych wyrastają bezpośrednio strzępki infekcyjne. Zarodniki sporangialne najintensywniej powstają w temperaturze 21 ^{o}C i wilgotności powietrza bliskiej 100%. Epidemiczne występowanie zarazy obserwuje się szczególnie w lata wilgotne z temperaturą sprzyjającą powstawaniu zarodników pływkowych. W warunkach dogodnych dla rozwoju sprawcy choroba postępuje wyjątkowo szybko i w ciągu kilkunastu dni może doprowadzić do całkowitego zniszczenia naci. Ochrona jest wyjątkowo trudna i aby uzyskać wysoką jej skuteczność musi być kompleksowa, łącząc agrotechnikę, postęp hodowlany, stosowanie zdrowych sadzeniaków oraz odpowiednią strategię stosowania środków ochrony roślin (Fry 2008, Birch i Cooke 2013, Fry i in. 2018). Alternarioza jest drugą

po zarazie najważniejszą chorobą naci ziemniaka, a straty plonu mogą sięgać 45% (Osowski 2014). Pierwsze objawy występowania sprawców obserwuje się najczęściej od początku lipca w formie plamistości na dolnych, starszych liściach roślin. Symptomy na naci postępują wertykalnie. Źródłem infekcji pierwotnych są grzybnia, chlamydospory oraz konidia sprawców obecne w glebie i na porażonych resztach roślin. Zarodniki konidialne w trakcie deszczowej aury mogą być transportowane do gleby i porażać bulwy. Dużemu nasileniu alternariozy sprzyja temperatura powyżej 22 ^{o}C i okres zwilżenia liści wynoszący 8 godzin. Nasilenie choroby znacząco wzrasta gdy występują naprzemiennie okresy wilgotne oraz suche i gorące (Adolf i in. 2020, Jindo i in. 2021).

3.5. Wpływ nawożenia na zdrowotność roślin uprawnych

Nawożenie to zabieg agrotechniczny, który kształtuje wielkość plonu i decyduje o kondycji plantacji. Wpływ odżywiania roślin na ich zdrowotność wiąże się z oddziaływaniem makro- i mikroelementów na procesy metaboliczne. Roślina jest w stanie chronić się przed patogenami poprzez aktywację enzymów biorących udział w syntezie kalozy, glukozynolanów, ligniny, fenoli i fitoaleksyn oraz pośrednio poprzez zmianę składu wydzielin korzeniowych, pH ryzosfery i aktywności glebowych mikroorganizmów. Oprócz wytwarzania związków chemicznych roślina broni się poprzez wytwarzanie barier fizycznych takich jak: pokrycie blaszek liściowych woskiem lub włoskami, właściwym ich ustawieniem oraz akumulacją krzemu w komórkach epidermy (Walters i Bingham 2007, Cabot i in. 2019).

Nawożenie wywiera wyraźny wpływ na rozwój wielu chorób roślin, może zarówno powstrzymywać lub stymulować rozwój poszczególnych fitopatogenów. Stosowanie wysokich dawek azotu sprzyja nasileniu występowania chorób powodowanych głównie przez biotrofy. Sprawcy mączniaka prawdziwego zbóż i traw *Blumeria graminis*, rdzy brunatnej *Puccina recondita* oraz rdzy żółtej zbóż i traw *P. striiformis* w łanach pszenicy rozwijają się intensywniej wraz ze wzrostem dawki tego pierwiastka (Tompkins i in. 1992, Mascagni i in. 1997, Luo i in. 2021). W warunkach atmosferycznych dogodnych dla rozwoju patogenów *Zymoseptoria tritici* i *Parastagonospora nodorum* nasilenie objawów chorobowych zwiększa się na plantacjach nawożonych większymi dawkami azotu (Howard i in. 1994, Simon i in. 2003). Występowanie fuzariozy kłosów *Fusarium* spp. jest również większe w łanach intensywniej nawożonych. Forma amidowa sprzyja większemu porażeniu niż stosowanie saletry amonowej. Oddziaływanie nawożenia azotowego na występowanie fuzariozy kłosów związane jest prawdopodobnie z wpływem tego zabiegu na architekturę łanu (Walters i Bingham. 2007, Eddine i in. 2020). Ograniczanie żywienia azotem azotanowym na rzecz

formy amonowej może ograniczać infekowanie roślin przez dwóch sprawców werticilliozy (*Verticillium albo-atrum, V. dahlie*) (Dixon i Tilston 2010, Sun i in. 2020). Wysokie dawki azotu w uprawie ziemniaka przyczyniają się do większego porażenia przez sprawcę zarazy *Phytophthora infestans*, natomiast lepsze ich odżywienie ogranicza występowanie objawów infekcji grzyba *Alternaria solani* (Mittelstraß i in. 2006, Ros i in. 2008, Abuley i in. 2019).

Zbilansowane nawożenie potasem zmniejsza występowanie wielu infekcyjnych chorób roślin. Niedobór potasu w uprawie pszenicy sprzyja nasileniu występowania objawów rdzy brunatnej, rdzy żółtej, mączniaka prawdziwego, septoriozy paskowanej oraz zgorzeli podstawy źdźbła (Mann i in. 2004, Walters i Bingham 2007). Ograniczenie nawożenia potasem zwiększa występowanie objawów zgnilizny twardzikowej w uprawie rzepaku ozimego (Zhang i in. 2020). Odpowiednie odżywienie ziemniaka potasem ogranicza rozwój patogenu *Phytophthora infestans* (Imas i Bansal 2002, Bista i Bhandari 2019). Fosfor jest niezbędnym pierwiastkiem do syntezy podstawowych związków organicznych w roślinie. Jego odglebowe odziaływanie wobec wielu fitopatogenów wciąż jest niejednoznaczne. Właściwe zaopatrzenie gleby w przyswajalne formy fosforu sprzyja lepszej regeneracji systemu korzeniowego w odpowiedzi na jego porażenie (Dordas 2008).

Komposty, poprzez właściwości fizyczne i chemiczne oraz obecność pożytecznych mikroorganizmów, wykazują korzystne odziaływanie na glebę. Mikroflora kompostów może stwarzać niekorzystne warunki środowiskowe dla rozwoju patogenów glebowych oraz wspierać ograniczające działanie autochtonicznych mikroorganizmów glebowych. Nawożenie gleb kompostami wykazuje zdolność kontroli patogenów takich jak: *Phytium* spp., *Phytophthora* spp., *Rhizoctonia* spp., i *Fusarium* spp. (Cotxarrera 2002, Termorshuizen i in. 2006, Bonilla i in. 2012). Również stosowanie osadów ściekowych może ograniczać rozwój wielu patogenów, w tym *Rhizoctonia solani* (Nelson i Boehm 2002). Wyniki szczegółowej analizy literatury obejmujące 250 artykułów dotyczących oddziaływania nawożenia materiałami organicznymi na patogeny w glebie oraz zdrowotność roślin pozostają niejednoznaczne. W 45% analizowanych publikacji nawożenie organiczne wykazało korzystny wpływ na zdrowotność roślin, 35% nie wykazało żadnego wpływu na tą cechę zaś w 20% przypadków odnotowano znaczny wzrost występowania patogenów (Bonamoi i in. 2007). Nawozy organiczne podnoszą żyzność gleby, jednak przypadkowe, negatywne skutki związane z zwiększonym nasileniem chorób wymagają dalszego wysiłku badawczego w celu określenia parametrów związanych z ograniczaniem rozwoju patogenów (Bonamoi i in. 2010).

4. MATERIAŁ I METODY BADAŃ

4.1. Lokalizacja doświadczenia polowego

Badania prowadzono w wieloletnim statycznym doświadczeniu polowym założonym przez Katedrę Chemii Rolnej i Ochrony Środowiska w 2004 roku w Zakładzie Produkcyjno-Doświadczalnym Bałcyny k/Ostródy (53.60 °N, 19.85 °E) na glebie płowej typowej (wg Systematyki gleb Polski) wytworzonej z gliny zwałowej, reprezentującej kompleks pszenny dobry.

4.2. Obiekty doświadczenia polowego

Doświadczenie obejmowało uprawę roślin w 4-letnim zmianowaniu (ziemniak, jęczmień jary, rzepak ozimy, pszenica ozima). Badania polowe dotyczące rzepaku ozimego oraz pszenicy ozimej odbywały się w sezonach 2017/2018 i 2018/2019 zamykając czwatrą rotację zmianowania. Ziemniak badano w sezonie wegetacyjnym w 2019/2020. Eksperyment założono metodą losowanych bloków w trzech powtórzeniach. W doświadczeniu jednoczynnikowym stosowano obornik oraz materiały organiczne w postaci kompostów wytworzonych z udziałem osadów ściekowych i odpadów komunalnych. Materiały organiczne aplikowano w dawce 5 t s.m.·ha^{-1} dwa razy w zmianowaniu pod ziemniak i rzepak ozimy. Kontrole stanowiły obiekty nienawożone oraz nawożone mineralnym NPK.

Obiekty doświadczenia:
1. Bez nawożenia - (K),
2. Nawożenie mineralne - (NPK),
3. Obornik - (OB),
4. Kompost z komunalnego osadu ściekowego i słomy - (K OS+SL),
5. Osad ściekowy suszony i granulowany - (O GR),
6. Kompost z osadu ściekowego - (K OS),
7. Kompost z odpadów komunalnych - (K DANO),
8. Kompost z odpadów zieleni miejskiej - (K ZM).

Obornik pozyskano z Zakładu Produkcyjno-Doświadczalnego Bałcyny. Kompost z osadu ściekowego i słomy pochodził z gminnej oczyszczalni ścieków w Zakrzewie k/Działdowa. Kompost z osadu ściekowego bez dodatków pozyskano z Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji Ostróda. Wysuszony granulowany osad

ściekowy pochodził z oczyszczalni ścieków w Iławie. Kompost z odpadów komunalnych oraz kompost z zieleni miejskiej pochodziły z Zakładu Utylizacji Odpadów Komunalnych w Suwałkach, w którym stosowana jest technologia MUT-DANO. Wyniki analizy składu chemicznego przedstawiono w tabeli 1.

4.3. Materiał badawczy

Rzepak ozimy odmiany Exquisit

Exquisit został wpisany do Krajowego Rejestru w 2011 roku. Na tle wzorca i pozostałych odmian charakteryzuje się przede wszystkim bardzo dużym potencjałem plonowania, doskonałą zimotrwałością oraz bardzo dobrą odpornością na zgniliznę twardzikową, suchą zgniliznę kapustnych i kompleks chorób podstawy łodygi. Odmiana pomimo największej wysokości roślin wykazuje dużą odporność na wyleganie (Lista opisowa odmian 2019). Według producenta przeznaczona jest do siewu w terminie wczesnym lub optymalnym. Exquisit to odmiana, której termin kwitnienia i zbioru określany jest jako średnio późny, przezaczona jest do uprawy na stanowiskach dobrych i bardzo dobrych. Korzystną cechą agrotechniczną odmiany jest duża odporność na osypywanie się nasion (https://www.dekalb.pl/documents/70112/697110/Exquisite+v8.pdf).

Przed siewem rzepaku na ściernisko przedplonu aplikowano nawozy stanowiące czynnik doświadczenia. W obiekcie NPK stosowano 30 $kg \cdot ha^{-1}$ azotu w formie saletry amonowej, 60 $kg \cdot ha^{-1}$ P_2O_5 jako superfosfat wzbogacony i 120 $kg \cdot ha^{-1}$ K_2O w formie soli potasowej. Tego damego dnia (18.08.2017) nawozy wymieszano z glebą przy użyciu brony talerzowej, wykonano orkę i przedsiewną uprawę roli. Siew rzepaku odmiany Exquisit w liczbie 50 nasion na metr kwadratowy oraz opryskiwanie herbicydem w dawce 2,5 $l \cdot ha^{-1}$ zawierającym w składzie metazachlor i chinomerak odpowiednio 333 i 83 $g \cdot l^{-1}$ wykonano 24.08.2018 r.. Wiosną wraz z ruszeniem wegetacji oraz w fazie pąkowania stosowano azot (saletra amonowa). W wariancie NPK w dawkach po 60 $kg \cdot ha^{-1}$, w pozostałych uzupełniono dawkę do łącznej ilości azotu stanowiącej 150 $kg \cdot ha^{-1}$. Pierwszy zabieg insektycydowy wykonano w połowie fazy pąkowania (BBCH 55) produktem zawierającym w składzie chloropiryfos i cypermetrynę odpowiednio 500 i 50 $g \cdot l^{-1}$ w dawce 0,6 $l \cdot ha^{-1}$. Drugi zabieg wykonano w fazie pełni kwitnienia (BBCH 65) preparatem zawierającym 100 $g \cdot l^{-1}$ tiachloprydu i 10 $g \cdot l^{-1}$ deltametryny wraz z fungicydem zawierającym dimoksystrobinę oraz boskalid w ilościach 200 $g \cdot l^{-1}$. Dawki preparatów wynosiły odpowiednio 0,6 i 0,5 $l \cdot ha^{-1}$.

Pszenica ozima odmiany Artist

Odmiana Artist została wpisana do Krajowego Rejestru w 2013 roku i określana jest jako pszenica chlebowa, umieszczona w grupie jakościowej B. Charakteryzuje się dużym oraz stabilnym w latach potencjałem plonotwórczym i dobrą zimotrwałością (4°). Odporność na mączniaka jest na poziomie średniej zarejestrowanych odmian, jednak na pozostałe badane przez COBORU jednostki chorobowe Artist wykazuje odporność niewiele mniejszą niż średnia. Rośliny charakteryzują się przeciętną wysokością (93 cm) i odpornością na wyleganie oraz średnim terminem kłoszenia i dojrzewania. Masa tysiąca ziarniaków, jako jeden z elementów struktury plonu, jest większa w stosunku do średniej. Artist charakteryzuje się również bardzo dobrą liczbą opadania. Pozostałe parametry jakościowe są przeciętne dla grupy B (Lista opisowa odmian 2021).

Orkę siewną, nawożenie mineralne (warianty 2-8) oraz przedsiewną uprawę roli pod pszenicę ozimą wykonano w pierwszej dekadzie września. Aplikowano 30 $kg \cdot ha^{-1}$ azotu, 60 $kg \cdot ha^{-1}$ P_2O_5 i 120 $kg \cdot ha^{-1}$ K_2O. Siew pszenicy odbył się 2.10.2018 r. w liczbie 400 ziaren na metr kwadratowy. Po dwóch tygodniach od siewu wykonano zabieg herbicydowy tworząc mieszaninę zbiornikową preparatów zawierających: diflufenikan 500 $g \cdot l^{-1}$, metrybuzynę wraz z flufenacetem odpowiednio 140 i 420 $g \cdot kg^{-1}$ oraz chlorosulfuron 750 $g \cdot kg^{-1}$. Dawki trzech wymienionych preparatów stanowiły: 0,1 $l \cdot ha^{-1}$, 0,35 $kg \cdot ha^{-1}$ i 5 $g \cdot ha^{-1}$. Po wznowieniu wegetacji wiosennej oraz w fazie BBCH 33 (warianty 2-8) aplikowano azot w dawkach 60 $kg \cdot ha^{-1}$ i 30 $kg \cdot ha^{-1}$ w formie saletry amonowej. Fungicydy stosowano trzykrotnie. Pierwszy zabieg wykonano w fazie pierwszego kolanka (BBCH 31) produktem zawierającym fenpropimorf 200 $g \cdot l^{-1}$, epoksykonazol 62,5 $g \cdot l^{-1}$ i metrafenon 75 $g \cdot l^{-1}$ w dawce 1,5 $l \cdot ha^{-1}$. Drugi zabieg wraz z dodatkiem insektycydu wykonano w fazie liścia flagowego (BBCH 39) produktem zawierającym fluksapyroksad 41,6 $g \cdot l^{-1}$, epoksykonazol 41,6 $g \cdot l^{-1}$ i piraklostrobinę 66,6 $g \cdot l^{-1}$ w dawce 2 $l \cdot ha^{-1}$ oraz insektycydem zawierającym deltametrynę 50 $g \cdot l^{-1}$ stosując 0,1 $l \cdot ha^{-1}$. Trzeci zabieg w fazie pełni kwitnienia (BBCH 65) wykonano fungicydem mającym w składzie epoksykonazol 37,5 $g \cdot l^{-1}$ i metkonazol 27,5 $g \cdot l^{-1}$ aplikując 1,5 $l \cdot ha^{-1}$.

Ziemniak odmiany Jasia

Odmiana Jasia to ziemniak w typie użytkowym skrobiowym późnym, wpisana do Krajowego Rejestru w 1999 roku. Duży potencjał plonowania pozwala uzyskać bardzo dobrą wydajność skrobi z hektara, pomimo średniej jej zawartości w bulwach. Jasia nadaje się do spożycia, a po gotowaniu konsystencja bulw jest lekko mączysta. Odmiana charakteryzuje się całkowitą odpornością na wirusa Y, bardzo dobrą na wirusa liściozwoju oraz dobrą na wirusa

M. Odporność na zarazę ziemniaka występującą na naci jest bardzo duża (7°), tylko nieliczne odmiany są lepsze wykazując poziom 8°. Jasia wykazuje dobrą odporność na czarną nóżkę oraz bardzo dobrą na parcha zwykłego. Odmiana również bardzo dobrze się przechowuje wykazując dobrą odporność wobec sprawców chorób przechowalniczych. Odporność na raka ziemniaka dotyczy jak w większości pozostałych kreacji patotypu 1(D1), natomiast odporność na mątwika dotyczy wszystkich ośmiu patotypów, a w przypadku trzech z nich stanowi 9° (Lista opisowa odmian 2021).

Po pszenicy ozimej będącej przedplonem ziemniaka wykonano zespół upraw pożniwnych oraz orkę zimową. W drugiej dekadzie kwietnia rozrzucono nawozy stanowiące czynnik doświadczenia jak pod rzepak ozimy uzupełniając dawkę azotu do 150 $kg \cdot ha^{-1}$. Tego samego dnia wymieszano je agregatem uprawowym, wykonano orkę i doprawiono rolę ponownie używając agregatu uprawowego. Ziemniaka sadzono 28.04.2022 r. w obsadzie 49,38 tys. bulw na hektar. Po 13 dniach formowano redliny oraz opryskano poletka herbicydem zawierającym 600 $g \cdot l^{-1}$ aklonifenu w dawce 2,5 l $l \cdot ha^{-1}$. Pierwszy zabieg fungicydowy wykonano pod koniec fazy zakrywania międzyrzędzi (BBCH 38) preparatem zawierającym w składzie chlorowodorek propamokarbu 625 $g \cdot l^{-1}$ i fluopikolid 62,5 $g \cdot l^{-1}$ w dawce 1,5 $l \cdot ha^{-1}$. Po pięciu dniach opryskano rośliny insektycydem zawierającym 100 $g \cdot l^{-1}$ tiachloprydu i 10 $g \cdot l^{-1}$ deltametryny w dawce 0,4 $l \cdot ha^{-1}$. Drugi zabieg fungicydem wykonano pod koniec fazy zawiązywania pąków (BBCH 59), preparat zawierający 720 $g \cdot kg^{-1}$ mankozebu aplikowano w dawce 2 $kg \cdot ha^{-1}$. Po pięciu dniach stosowano insektycyd zawierający 50 $g \cdot l^{-1}$ lambda-cyhalotryny w dawce 0,12 $l \cdot ha^{-1}$. Kolejny zabieg fungicydowy w pełni kwitnienia (BBCH 65) opierał się ponownie na preparacie zawierającym chlorowodorek propamokarbu i fluopikolid, dawka stanowiła 1,6 $l \cdot ha^{-1}$. Ostatni zabieg fungicydowy wykonano w połowie fazy dojrzewania jagód (BBCH 85) produktem zawierającym 500 $g \cdot l^{-1}$ chlorotalonilu w dawce 2 $l \cdot ha^{-1}$.

4.4. Obserwacje polowe

4.4.1. Pobieranie prób gleby i materiału roślinnego

Próbki gleby przeznaczone do identyfikacji struktury społeczności bakterii i grzybów zostały pobrane z międzyrzędzi uprawianych roślin. Glebę spod ozimin pobierano cztery tygodnie po wznowieniu wegetacji wiosennej, zaś spod ziemniaka po około czterech tygodniach od wschodów. Rośliny rzepaku ozimego wraz z systemem korzeniowym i glebą ryzosferową pobierano w fazie początku pąkowania (BBCH 51), pszenicy w fazie drugiego

kolanka (BBCH 32) oraz ziemniaka na początku fazy kwitnienia (BBCH 61). Próbki pobierano z trzech losowych miejsc z każdego pola doświadczalnego tworząc w ten sposób próbę zbiorczą.

4.4.2. Fitopatologiczna ocena występowania i nasilenia chorób

a) Rzepak ozimy

Zdrowotność roślin określano w fazie początku dojrzewania nasion rzepaku ozimego (BBCH 81). Analizie poddano 33 rośliny losowo pobrane z każdego powtórzenia posługując się 5-stopniową skalą Hinfera i Hommonay (1964) gdzie:

0 – brak objawów,

1 – porażenie obejmuje 2% powierzchni ocenianego organu,

2 – porażenie obejmuje 5-10% powierzchni ocenianego organu,

3 – porażenie obejmuje 11-30% powierzchni ocenianego organu,

4 – porażenie obejmuje 31-50% powierzchni ocenianego organu,

5 – porażenie obejmuje powyżej 50% powierzchni ocenianego organu.

b) Pszenica ozima

Ocena nasilenia chorób liści i kłosa

Ocena zdrowotności liści i kłosów pszenicy została wykonana w fazie dojrzałości późno-mlecznej (BBCH 77). Posługiwano się opisaną wyżej skalą Hinfera i Hommonay (1964).

Ocena nasilenia chorób podstawy źdźbła

Ocenę zdrowotności podstawy źdźbła przeprowadzono pod koniec fazy dojrzałości woskowej (BBCH 87) na losowo wybranych 33 roślinach z każdego poletka. Przyjęta została skala Mackiewicza i Drath (1972) gdzie:

0 – brak widocznych objawów chorobowych na źdźble,

1 – źdźbło słabo porażone (jedna bądź dwie niewielkie plamy),

2 – źdźbło silnie porażone (plam jest więcej niż dwie lub obejmują swoim zasięgiem całe źdźbło dookoła).

c) Ziemniak

Ocenę zdrowotności naci ziemniaka przeprowadzono w fazie początku tworzenia jagód (BBCH 71) na 33 roślinach z każdego poletka. Pod uwagę brano porażenie przez sprawcę

zarazy ziemniaka (*Phytophthora infestans*). Posługiwano się skalą 9-stopniową opracowaną przez Pietkiewicza (1985) w której:

1 – brak objawów,

2 – porażenie obejmuje 0,1% powierzchni rośliny, tylko gdzieniegdzie pojedyncze 1-2 plamy w promieniu ok. jednego metra,

3 – porażenie obejmuje od 0,2 do 1% powierzchni rośliny, około 10 plam na jednej roślinie,

4 – porażenie obejmuje od 2 do 5% powierzchni rośliny, plamy dobrze widoczne, ok. 50 plam na jednej roślinie,

5 – porażenie obejmuje od 5 do 25% powierzchni rośliny, niemal każdy liść z plamami,

6 – porażenie obejmuje od 26 do 50% powierzchni rośliny, każda roślina zainfekowana, liście w ok. połowie zniszczone,

7 – porażenie obejmuje od 51 do 75% powierzchni rośliny, w barwie plantacji zaczyna dominować kolor brunatny,

8 – porażenie obejmuje od 76 do 95% powierzchni rośliny, tylko gdzieniegdzie widoczne zielone plamy liści,

9 – porażenie obejmuje od 96 do 100% powierzchni rośliny, wszystkie liście zniszczone, pędy zaschnięte lub zasychające.

4.5. Prace laboratoryjne

4.5.1. Izolacja grzybów z gleby, ryzosfery i ryzoplany oraz korzeni

Izolację grzybów z **gleby** przeprowadzono według zmodyfikowanej metody Mańki (1974). Do kolby stożkowej o objętości 500 ml wprowadzono 149 g piasku kwarcowego i poddano sterylizacji w autoklawie przez 25 minut pod ciśnieniem 1,25 atm. Po ochłodzeniu piasku w sterylnych warunkach dodawano 1 g badanej gleby z próby zbiorczej danego wariantu i mieszano wstrząsając przez 20 minut. Następnie pobierano mikropipetą 25 mg mieszaniny, przenoszono na płytki Petriego i zalewano pożywką Martina-Johnsona z różem bengalskim i streptomycyną o następującym składzie: KH_2PO_4 (1,0 g), $MgSO_4$ x $7H_2O$ (0,5 g), pepton (5,0 g), glukoza (10,0 g), agar (20,0 g), woda destylowana (1000 ml), róż bengalski (3,3 mg), streptomycyna (30,0 mg). Dodatek antybiotyku hamował rozwój bakterii na sztucznym podłożu. Po kilkudniowej inkubacji w temperaturze 24°C wyrosłe kolonie grzybów odszczepiono na skosy z pożywką PDA i na podstawie obserwacji mikroskopowych oznaczono do gatunku wg dostępnych kluczy (Ellis 1971, Fassatiová 1983, Watanabe 2002, Domsch i in.

2007), a następnie zaktualizowano ich przynależność rodzajową i gatunkową według Index Fungorum (http://www.indexfungorum. org/names/names.asp).

Izolację grzybów z **ryzosfery, ryzoplany oraz korzeni** przeprowadzono metodą popłuczyn opracowaną przez Mańkę (1974). Z każdej kombinacji doświadczenia pobierano po 1 g korzeni, które wytrząsano ręcznie po 2 minuty w 70 ml sterylnej wody demineralizowanej, kolejno w 10 kolbach Erlenmayera. Dziewiąta kolba zawierała dodatkowo 30 g jałowego, drobnego piasku kwarcowego. Po wyjęciu korzeni z ostatniej kolby, w warunkach aseptycznych wysuszono je za pomocą bibuły i pocięto na fragmenty o długości 0,5 cm, a następnie wykładano na pożywkę glukozowo-ziemniaczaną (PDA) o następującym składzie: 200 g ziemniaków (gotowanych w 5000 ml H_2O), 16 g glukozy, 18 g agaru, woda destylowana do 1000 ml. W ten sposób wyizolowano grzyby związane anatomicznie z korzeniami. Do izolacji grzybów z ryzosfery wykorzystano zawiesinę z drugiej kolby, a z ryzoplany zawiesinę z czwartej i dziewiątej kolby. Z kolb pobierano po 50 µl zawiesiny i przenoszono na płytki Petriego (po 10 płytek z każdej kolby), następnie zalewano pożywką Martina-Johnsona z różem bengalskim i streptomycyną. Po kilkudniowej inkubacji w temperaturze 24°C wyrosłe kolonie grzybów odszczepiono na skosy z pożywką PDA i na podstawie obserwacji mikroskopowych oznaczono do gatunku, postępując dalej tak, jak w przypadku izolacji grzybów z gleby.

4.5.2. Izolacja bakterii z gleby i ryzosfery

Do kolb Erlenmeyera o objętości 500 ml wprowadzano 90 cm^3 płynu fizjologicznego sterylizowanego w autoklawie przez 25 minut pod ciśnieniem 1,25 atm. Po ochłodzeniu płynu dodawano w sterylnych warunkach 10 g badanej gleby i mieszano składniki wytrząsając przez 15 minut. Kolby z roztworem glebowym pozostawiono na ok. 5 minut do sedymentacji. Przygotowany roztwór glebowy miał rozcieńczenie 10^{-1}. Wykonywano z niego kolejne rozcieńczenia (10^{-2}-10^{-9}). Następnie wykonano posiew metodą płytek lanych, gdzie pobierano po 1 cm zawiesiny glebowej i przenoszono na płytki Petriego w 3 powtórzeniach, które zalewano pożywką odpowiednią dla rodzaju bakterii. Po 48-godzinnej inkubacji w temperaturze 28 °C liczono wyrosłe na płytkach kolonie bakterii. Odczyt wyników polegał na policzeniu wyrosłych kolonii, uwzględniając rozcieńczenie próby i ilość wysianego materiału. Wyniki podano w przeliczeniu na $logarytm_{10}(jtk)\cdot g^{-1}$. W celu określenia liczby wybranych grup bakterii zastosowano specjalne pożywki:

Azotobacter spp. - pożywka bez azotu "N-free agar";

Pseudomonas spp. - Pseudomonas Selective Agar (PSA, MERCK);

Bacillus spp. - Tryptic Soy Agar (TSA, MERCK) (preinkubacja w 80°C);

Bakterie rozpuszczające fosforany - Pikovskaya agar
Promieniowce - Actinomycete Isolation Agar (AIA, HiMedia)

4.5.3. Sekwencjonowanie

Sekwencjonowanie przeprowadzono przy użyciu sekwencera MinIon Mk1B (Oxfrod Nanopore) i zestawu „16S Barcoding Kit 1-24 (SQK-16S024)" oraz instrukcji „16S_9086_v1_revT_14Aug2019", dostępnej na platformie producenta https://nanoporetech.com/analyse/16s. Całkowite DNA wyizolowane z gleby (metoda kolumienkowa, zestaw Soil DNA Purification Kit – EURx) poddano reakcji PCR z 24 różnymi starterami 16S rRNA z odpowiednią sekwencją barkodingową, obejmującą cały region 16S rRNA bakterii (zestaw SQK-16S024, Oxford Nanopore). Otrzymane amplikony oczyszczono przy użyciu Agencourt AMPure XP (Beckman Coulter). W celu standaryzacji przeprowadzono łączenie otrzymanych bibliotek 16S rRNA w równych proporcjach do ostatecznego stężenia 20 fmol w 10 µl buforu Tris-HCl-NaClW kolejnym kroku, do 5 µl mieszaniny bibliotek dodano 0,5 µl adaptera do szybkiego sekwencjonowania (odczynnik RAP dołączony do zestawu). Do sekwencjonowania zastosowano „flow cel" typu flongle. Sekwencjonowanie, filtrację danych i segregację odczytów (basecalling) dla poszczególnych próbek przeprowadzono za pomocą programu MinKnow, wersja 21.05.25. Uzyskane dane (294000 odczyty) zostały przeanalizowane na platformie EPI2ME (Metrichor™ Ltd.) przy użyciu algorytmu WIMP (What's In My Pot). Numer ID analizy: 331657.

4.6. Analiza statystyczna

W zakres obliczeń statystycznych nasilenia chorób wchodziło: stopień porażenia, liczba roślin z objawami i statystyka nieparametryczna. Analizę wariancji dla zdrowotności roślin obliczono metodą Kruskala-Wallisa przy użyciu testu Dunna z korektą Bonferoniego. Wartość p wyliczono metodą Monte Carlo dla 10000 permutacji. Uzyskane wyniki odniesiono do wariantów kontroli i NPK. Analizę nieparametryczną dla liczebności bakterii obliczono metodą Kruskala-Walisa przy użyciu testu Dunna, gdzie wartość p wyliczono metodą p-asymptotycznego. Dendrogramy odmienności wykonano za pomocą hierarchicznego grupowania aglomeratów. Macierz odmienności obliczono za pomocą metody Bray-Curtisa, a dendrogramy skonstruowano metodą Warda. Analizę głównych składowych (PCA, ang. Principal Component Analysis) wykonano na podstawie macierzy korelacji Pearsona. Poszczególne wyniki poddano centralizacji. Obliczenia wykonano w programie XLSTAT v2021.4.1.

5. WARUNKI AGROMETEOROLOGICZNE

Dane meteorologiczne odnośnie temperatury i sumy opadów w latach 2017-2020 przedstawiono w tabeli 2 a, b, która została opracowana na podstawie pomiarów realizowanych w Stacji Meteorologicznej Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Bałcynach. Badania polowe odbywały się w trakcie trzech sezonów wegetacyjnych: 2017/2018, 2018/2019 oraz 2019/2020, które charakteryzowały się wyraźną zmiennością warunków atmosferycznych.

Pierwszy rok doświadczenia obejmował badania dotyczące rzepaku ozimego. Okres wegetacji jesiennej na tle wielolecia 1981-2010 charakteryzował się stosunkowo niewiele wyższą temperaturą, natomiast we wrześniu i w październiku ilość opadów okazała się wyjątkowo duża. Sumarycznie w obu miesiącach odnotowano ponad 370 mm, natomiast ich suma w wieloleciu wynosiła niewiele ponad 110 mm. Nadmierne opady deszczu wpłynęły niekorzystnie na strukturę gleby w obrębie doświadczenia i pomimo odpowiednich temperatur rozwój rozet rzepaku okazał się wyraźnie spowolniony. Początkowy okres zimowania roślin był stosunkowo ciepły i wilgotny. Temperatury w grudniu i styczniu wynosiły odpowiednio 1,9 ^{o}C i 0 ^{o}C. Obie wartości były wyższe od średnich z wielolecia stanowiących -1,3 ^{o}C i -3,5 ^{o}C. Opady atmosferyczne w grudniu i styczniu również były większe o ponad 10 mm w każdym miesiącu od średniej z lat 1981-2010. Luty i marzec charakteryzowały się temperaturami odpowiednio -4,1 ^{o}C i -0,5 ^{o}C. W wieloleciu 1981-2010 wynosiły one -2,6 ^{o}C i 1,2 ^{o}C. Luty 2018 roku charakteryzował się również wyjątkowo małą ilością opadów wynoszącą zaledwie 2 mm. Niskie temperatury oraz brak okrywy śnieżnej w drugiej połowie okresu zimowania wraz z występującym silnym wiatrem powodowały lokalnie wysmalanie ozimin. Zjawisko to dotyczyło również miejsca, gdzie zlokalizowano doświadczenie. Temperatury w kwietniu i maju były wyjątkowo wysokie, wynosząc odpowiednio 11,9 ^{o}C i 16,5 ^{o}C, podczas, gdy w wieloleciu stanowiły 6,6 ^{o}C oraz 12,4 ^{o}C. Opady w tych miesiącach były mniejsze o około 10 mm w każdym z nich. Czerwiec był cieplejszy od wielolecia o ponad 2 ^{o}C, natomiast suma opadów była mniejsza o ponad 2,5 mm. Słaba kondycja roślin jesienią oraz niekorzystne warunki atmosferyczne w trakcie zimowania spowodowały wyraźne zmniejszenie obsady. Nieprawidłowo wykształcony system korzeniowy, jako skutek nadmiernej ilości jesiennych opadów oraz deficyt wody potęgowany wysokimi temperaturami na początku wiosennej wegetacji nie sprzyjały regeneracji roślin. W efekcie łan był stosunkowo rzadki z niewielką biomasą roślin, co w połączeniu z suszą i wysokimi temperaturami ograniczało występowanie patogenów porażających nadziemne organy roślin rzepaku.

W sezonie wegetacyjnym 2018/2019 badania polowe dotyczyły pszenicy ozimej. Jesienna wegetacja ozimin charakteryzowała się cieplejszą i suchszą aurą w odniesieniu do wielolecia. We wrześniu i październiku panowały temperatury wyższe o około 2 ^{o}C. Również listopad był cieplejszy o ponad 1 ^{o}C, a grudzień o prawie o 2,5 ^{o}C. Opady we wrześniu i listopadzie okazały się mniejsze niż w wieloleciu o około 20 mm w każdym z miesięcy. Październik suchszy o około 10 mm, zaś w grudniu opady przewyższyły średnią o ponad 15 mm. Temperatura w styczniu 2019 roku wynosiła -2,6 ^{o}C i była wyższa o prawie 1 ^{o}C. Luty był cieplejszy o ponad 4,5 ^{o}C od średniej z lat 1981-2010 osiągając średnią wartość 2 ^{o}C. Wyjątkowo ciepłym miesiącem okazał się marzec, w którym temperatura wyniosła 5,2 ^{o}C i była wyższa w stosunku do wielolecia aż o 4 ^{o}C. Opady atmosferyczne w styczniu i lutym wynosiły odpowiednio 43 mm i 33,8 mm, były większe od średnich z wielolecia stanowiących 26,3 mm i 19,6 mm. Marzec pod względem opadów zbliżył się do średniej. Stosunkowo ciepła jesień wraz z korzystnym przebiegiem warunków atmosferycznych w trakcie zimowania skutkowały dobrą kondycją roślin pszenicy w obrębie doświadczenia po ruszeniu wegetacji wiosennej. Łan był odpowiednio rozkrzewiony i charakteryzował się stosunkowo dużą biomasą. Kwiecień okazał się cieplejszy od średniej wielolecia o prawie 2,5 ^{o}C osiągając 8,9 ^{o}C, maj chłodniejszy zaledwie o 0,3 ^{o}C, zaś czerwiec cieplejszy o ponad 5 ^{o}C, co stanowiło wartość 21 ^{o}C. W trakcie kwietnia nie notowano opadów atmosferycznych, natomiast w maju i czerwcu były one większe w stosunku do wielolecia o ponad 40 mm i 25 mm, co stanowiło odpowiednio 97,8 mm i 92 mm. Bardzo dobra kondycja łanu w trakcie ruszania wegetacji wiosennej pozwoliła zachować korzystną obsadę źdźbeł kłosonośnych pomimo braku opadów w kwietniu. Opady w maju i czerwcu sprzyjały właściwemu przebiegowi poszczególnych faz fenologicznych pszenicy, co ostatecznie przyczyniło się do uzyskania łanu o prawidłowej architekturze i dużym potencjale plonotwórczym. Warunki w tych miesiącach były również dogodne dla rozwoju patogenów porażających aparat asymilacyjny oraz ziarniaki pszenicy.

Trzeci rok doświadczenia polowego obejmował uprawę ziemniaka. Pierwszy kwartał 2020 roku okazał się znacznie cieplejszy od wielolecia. Średnie miesięczne temperatury w styczniu i lutym stanowiły odpowiednio 2,4 ^{o}C i 3,1 ^{o}C, były wyższe o prawie 6 ^{o}C w każdym z miesięcy. W marcu temperatura wynosiła 3,6 ^{o}C i była prawie o 2,5 ^{o}C wyższa od średniej z wielolecia. Ilość opadów atmosferycznych w styczniu i marcu zbliżyła się do średniej, natomiast w lutym była większa o ponad 25 mm stanowiąc 44,9 mm. Kwiecień, podobnie jak w poprzednim roku, okazał się wyjątkowo suchy z opadami na poziomie 1,1 mm, natomiast temperatura była zaledwie o 0,2 ^{o}C wyższa od średniej z wielolecia. Temperatura

w maju wynosiła 9,9 ^{o}C i była niższa o 2,5 ^{o}C od średniej z lat 1981-2010, wielkość opadów atmosferycznych wyniosła 64 mm i była większa o 7 mm od średniej. Stosunkowo chłodny maj wydłużył fazę wschodów ziemniaka, jednak średnia temperatur w czerwcu na poziomie 17,8 ^{o}C i opady wynoszące prawie 100 mm, większe od wielolecia o ponad 30 mm sprzyjały prawidłowemu rozwojowi roślin. Trzeci kwartał roku również okazał się korzystny dla rozwoju ziemniaka. Temperatury w tych miesiącach były wyższe od wartości wielolecia. Lipiec okazał się wyjątkowo suchy z sumą opadów 39,7 mm, mniejszą wobec średniej lat 1981-2010 o ponad 40 mm, jednak nadwyżka opadów w czerwcu wynosząca 30 mm pozwoliła na prawidłowy rozwój roślin. W sierpniu notowano opady większe od wielolecia o prawie 40 mm, natomiast we wrześniu stanowiły 32,1 mm i były mniejsze o 25 mm od średniej. Warunki atmosferyczne podczas wegetacji ziemniaka w 2020 roku okazały się korzystne. Szczególnie duża ilość opadów w okresie letnim pozwoliła w pełni wykorzystać potencjał plonotwórczy roślin, a także niestety sprzyjała występowaniu zarazy ziemniaka.

6. WYNIKI

6.1. Badania polowe

6.1.1. Zdrowotność rzepaku ozimego

Ocena zdrowotności rzepaku ozimego została przeprowadzona w fazie początku dojrzewania nasion (BBCH 81). W obrębie doświadczenia obserwowano wyłącznie objawy werticiliozy rzepaku (*Verticillium dahliae, Verticillium longisporum*) i czerni krzyżowych (*Alternaria* spp.) (tab. 3). Pierwsza z wymienionych chorób wystąpiła we wszystkich wariantach nawozowych doświadczenia. Udział porażonych roślin w zależności od wariantu mieścił się w przedziale 9-24%. Najmniejszy średni stopień porażenia (0,09°) oraz liczbę porażonych roślin (9%) odnotowano na poletkach kontrolnych (K). Również stosunkowo niewielkie nasilenie objawów sprawcy *Verticillium* spp. obserwowano w wariancie nawożonym obornikiem (OB) i kompostem z odpadów komunalnych (K DANO). Średni stopień porażenia wynosił 0,24, a udział porażonych roślin stanowił odpowiednio 12 i 21%. W ocenianej populacji roślin nawożonych obornikiem (OB) udział porażonych łodyg rzepaku był mniejszy niż na obiekcie nawożonym kompostem DANO, natomiast średni stopień porażenia był większy (2,0°) (tab.). Największe nasilenie werticiliozy obserwowano w wariancie z zastosowaniem osadu ściekowego granulowanego (O GR). Średni stopień porażenia wyniósł 0,57, a rośliny wykazujące objawy chorobowe stanowiły 24% obserwowanej populacji ze średnim ich stopniem porażenia równym 2,38. Również rośliny uprawiane na poletkach, na których stosowano wyłącznie nawożenie mineralne (NPK) oraz kompost z osadu ściekowego (K OS) charakteryzowały się dość dużym średnim stopniem porażenia, wynoszącym odpowiednio 0,45° i 0,30°. Na podstawie wyników analizy statystycznej zaobserwowano, że istotnie większe nasilenie werticiliozy względem kontroli (K) wystąpiło w wariancie nawożonym osadem granulowanym (O GR) Warianty NPK, K ZM, K OS i K DANO wykazały tendencję wzrostową średniego stopnia porażenia. Nie obserwowano istotnych różnic wobec wariantu z nawożeniem mineralnym NPK; pojawiła się natomiast malejąca tendencja porażenia w wariantach K oraz OB.

Czerń krzyżowych wystąpiła w bardzo małym nasileniu. Objawy sprawców (*Alternaria* spp.) notowano jedynie w wariantach: K, NPK, oraz O GR. W dwóch pierwszych udział porażonych łuszczyn stanowił jedynie 3%, natomiast w wariancie z aplikacją granulowanego osadu (O GR) - 6%. Nie wykazano statystycznie istotnych różnic ani tendencji w porównaniu do kontroli (K) i wariantu NPK.

6.1.2. Zdrowotność pszenicy ozimej

Ocena zdrowotności liścia flagowego pszenicy ozimej przeprowadzona została w fazie dojrzałości późno-mlecznej ziarniaka (BBCH 77). Obserwowano głównie objawy sprawcy septoriozy paskowanej liści pszenicy (*Mycosphaerella graminicola*). Brunatna plamistości liści zbóż (*Pyrenophora tritici-repentis*) dotyczyła zaledwie jednego liścia flagowego z populacji roślin ocenianych w doświadczeniu (tab. 4).

Septorioza paskowana liści pszenicy była najważniejszą chorobą obserwowaną na liściach flagowych pszenicy uprawianej w doświadczeniu. Udział porażonych liści w poszczególnych wariantach nawozowych mieścił się w przedziale 36-64%. Najmniejszy średni stopień porażenia (0,40°) odnotowano na poletkach nawożonych kompostem DANO. Również stosunkowo niskie średnie stopnie porażenia dotyczyły wariantu NPK oraz OB, wynoszące odpowiednio 0,44° i 0,46°. Liczba porażonych liści w wariancie nawożonym wyłącznie mineralnym NPK była najmniejsza, jednak porażenie było nieco bardziej zaawansowane, o czym świadczy stosunkowo duża wartość średniego stopnia porażonych roślin stanowiąca 1,22. Największy średni stopień porażenia (0,74) dotyczył poletek nawożonych kompostem z osadu ściekowego (K OS). Również udział porażonych liści był drugą z największych wartości stanowiącą 63%. Duże nasilenie objawów sprawcy *Mycosphaerella graminicola* obserwowano również w wariancie K ZM z średnim stopniem porażenia równym 0,71 i największym udziałem porażonych roślin oraz na poletkach kontrolnych (K) z wartościami 0,69° i 55%. Na podstawie analizy statystycznej wobec kontroli (K) zaobserwowano malejącą tendencją średniego stopnia porażenia w wariantach K DANO, NPK oraz OB. W odniesieniu do poletek nawożonych mineralnym NPK obserwowano istotnie większy średni stopień porażenia w wariancie K OS oraz tendencję wzrostową w wariantach K ZM, K OS+ SL i K.

Zdrowotność kłosów oceniono w fazie dojrzałości późno-mlecznej ziarniaka (BBCH 77). W największym nasileniu wystąpiła septorioza plew pszenicy (*Phaeosphaeria nodorum*). Obserwowano również nieliczne objawy fuzariozy kłosów zbóż (*Fusarium* spp.) oraz czerni zbóż (*Cladosporium herbarum, Alternaria alternata*) (tab. 5).

Udział kłosów porażonych przez sprawcę septoriozy plew pszenicy zależnie od wariantu nawozowego mieścił się w przedziale 29-53%. Najmniejsze nasilenie choroby odnotowano w wariancie kontrolnym (K). Średni stopień porażenia wyniósł 0,29; również udział porażonych kłosów był najmniejszy w doświadczeniu. Stosunkowo dobrą zdrowotność obserwowano na poletkach nawożonych kompostem z osadu ściekowego (K OS), a także w wariancie K ZM. Największe porażenie kłosów, stanowiące 53% ocenianej populacji oraz

jednocześnie największy średni stopień porażenia (0,56°), obserwowano w wariancie z zastosowaniem osadu granulowanego (O GR). W wariantach OB oraz K DANO średni stopień porażenia stanowił drugą co do wielkości wartość (0,44). Według analizy statystycznej istotnie większe nasilenie objawów sprawcy *Phaeosphaeria nodorum* względem kontroli (K) obserwowano w wariancie O GR. Wystąpiła również rosnąca tendencja porażenia na poletkach nawożonych obornikiem (OB). Odnośnie wariantu NPK zaobserwowano wzrostową tendencję porażenia również na poletkach nawożonych osadem granulowanym O GR.

Fuzarioza kłosów wystąpiła w każdym z badanych wariantów nawozowych, jednak udział porażonych kłosów wynosił maksymalnie 3% i nie odnotowano żadnych istotnych różnic ani tendencji względem zarówno kontroli (K) jak i mineralnego nawożenia NPK. Objawy sprawców czerni zbóż odnotowano na pięciu wariantach nawozowych doświadczenia. Wyjątek stanowiły K OS+SL, O GR i K ZM. Nie odnotowano istotnych różnic względem porażenia kontroli (K) oraz NPK. Obserwowano jedynie wzrostową tendencję średniego stopnia porażenia kłosów pochodzących z poletek nawożonych kompostem z osadu ściekowego (K OS) względem NPK.

Ocenę zdrowotności podstawy źdźbła pszenicy ozimej przeprowadzono pod koniec fazy dojrzałości woskowej ziarna (BBCH 87). Notowano objawy fuzaryjnej zgorzeli podstawy źdźbła i korzeni (*Fusarium* spp.), łamliwości źdźbła zbóż i traw (*Oculimacula yallundae, O. acuformis*) oraz ostrej plamistości oczkowej (*Ceratobasidium cereale*) (tab. 6).

Spośród wymienionych chorób w obrębie doświadczenia najczęściej obserwowano objawy fuzaryjnej zgorzeli podstawy źdźbła i korzeni. Porażone źdźbła w poszczególnych wariantach nawozowych stanowiły 31-54%. Najmniej roślin z objawami sprawców odnotowano w wariancie nawożonym kompostem z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL), również średni stopień porażenia stanowił drugą z najmniejszych wartości (0,35). Najmniejszy stopień porażenia (0,34°) notowano w wariancie nawożonym kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM), udział porażonych źdźbeł również był stosunkowo niski (33%). Największa wartość średniego stopnia porażenia, stanowiąca 0,63, dotyczyła wariantów nawożonych NPK oraz osadem granulowanym (O GR). Również udział źdźbeł wykazujących objawy był tu największy, stanowiąc 54%, a w wariancie nawozowym O GR 50%. Porównując pozostałe warianty nawozowe w odniesieniu do kontroli (K) nie wykazano istotnych różnic. Wystąpiła natomiast tendencja wzrostowa średniego stopnia porażenia obserwowana w wariantach NPK, O GR, K DANO i K OS. Istotnie mniejszą wartość średniego stopnia porażenia w odniesieniu do nawożenia mineralnego NPK notowano na poletkach z aplikacją K OS+SL, i K ZM.

Zaobserwowano również malejącą tendencję wartości średniego stopnia porażenia w wariantach K i OB.

Łamliwość podstawy źdźbła zbóż i traw obserwowano głównie na poletkach nawożonych obornikiem, kompostami oraz osadem granulowanym. Udział porażonych źdźbeł w wymienionych wariantach stanowił przedział od 11 do 21%, zaś w obiekcie kontrolnym (K) oraz nawożonym wyłącznie mineralnym NPK udział ten równy był odpowiednio 4% i 2%. Najmniejszy średni stopień porażenia odnotowano w wariancie NPK (0,02) oraz kolejno w kontroli (K) (0,04) i na poletkach nawożonych obornikiem (0,12). Największe porażenie sprawcą łamliwości źdźbła zbóż i traw wystąpiło w wariantach z zastosowaniem kompostu z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL), osadu granulowanego (O GR) oraz kompostu DANO z wartościami stanowiącymi odpowiednio 0,24°, 0,21° i 0,20°. Istotnie większe porażenie w stosunku do kontroli (K) obserwowano w wariantach K OS+SL i O GR. Wystąpiła również tendencja wzrostowa na poletkach nawożonych kompostem z osadu ściekowego (K OS), kompostem DANO oraz kompostem z zieleni miejskiej (K ZM). W porównaniu do NPK istotnie większy średni stopień porażenia odnotowano w wariantach K OS+SL, O GR, K OS i K ZM. Tendencja wzrostowa wystąpiła w wariancie K DANO.

Objawy ostrej plamistości oczkowej wystąpiły jedynie w wariantach nawożonych kompostem z osadu i słomy (K OS+ SL), kompostem DANO oraz osadem granulowanym (O GR). Nie wykazano żadnych istotnych różnic względem kontroli (K) i NPK. Wystąpiła jedynie tendencja wzrostowa w wariancie K OS+SL.

6.1.3. Zdrowotność ziemniaka

Objawy zarazy ziemniaka wystąpiły na każdej z ocenianych roślin (tab 7). Najlepszą zdrowotność naci (3,53°) obserwowano na poletkach nawożonych osadem granulowanym (O GR). Również stosunkowo niskie porażenie przez sprawcę zarazy dotyczyło wariantów K OS i NPK, z wartościami średniego stopnia porażenia wynoszącymi odpowiednio 3,73 i 3,93. Największe nasilenie objawów chorobowych (6,40°) wystąpiło w wariancie, w którym stosowano kompost z odpadów zieleni miejskiej (K ZM). Również w wariancie kontrolnym (K) oraz nawożonym kompostem DANO porażenie naci było stosunkowo duże, z wartościami średniego stopnia porażenia stanowiącymi odpowiednio 6,33 i 5,97. Istotnie mniejsze porażenie naci względem kontroli (K) obserwowano w wariantach O GR, K OS i NPK. Malejącą tendencję wartości średniego stopnia porażenia odnotowano na poletkach nawożonych obornikiem oraz kompostem z osadu ściekowego i słomy. W odniesieniu do NPK istotnie większe porażenie wystąpiło w wariantach K, OB, K OS+SL, K DANO oraz K ZM.

6.2. Prace laboratoryjne

6.2.1. Grzyby zasiedlające glebę i strefę korzeniową rzepaku ozimego

Grzyby zasiedlające glebę

Z gleby spod uprawy rzepaku ozimego wyizolowano łącznie 3039 kolonii grzybów (tab. 8). Najliczniejszym taksonem były grzyby rodzaju *Penicillium* stanowiące 97,4% wszystkich izolatów. Kolejnym pod względem liczby był gatunek *Humicola fuscoatra,* jednak jego udział stanowił jedynie 0,7%. Spośród badanych wariantów nawozowych najliczniej zasiedlana przez grzyby była gleba nawożona kompostem z zieleni miejskiej (K ZM) z liczbą wyizolowanych kolonii równą 1428. Kolejnymi pod względem liczby kolonii były warianty z zastosowaniem osadu granulowanego (O GR) i kontrola (K) odpowiednio z wartościami 1163 i 249. W pozostałych wariantach liczba izolatów mieściła się w przedziale 9-93. Najmniej grzybów odnotowano w wariancie NPK. Jedynymi wariantami, w których nie obserwowano dominacji *Penicillium* sp. były poletka nawożone NPK i kompostem z osadu ściekowego, w którym dominował gatunek *Humicola fuscoatra*. Trzeci pod względem liczby izolatów gatunek *Dichotomopilus erectus* nie izolowano jedynie gleby nawożonej kompostem DANO. Z gleb nawożonych NPK oraz obornikiem wyizolowano potencjalnie patogeniczny gatunek *Microdochium nivale* - odpowiednio 2 i 3 kolonie. Wyizolowano łącznie 4 kolonie grzybów rodzaju *Trichoderma* o uzdolnieniach antagonistycznych w stosunku do patogenów. Wystąpiły one jedynie w glebach nawożonych kompostem z osadu ściekowego (K OS), kompostem z osadu i słomy (K OS+SL), a także osadem granulowanym (O GR).

Grzyby zasiedlające ryzosferę

Z ryzosfery rzepaku ozimego wyizolowano 1247 kolonii grzybów (tab. 9). Najliczniej występował gatunek *Paecilomyces variotii* stanowiąc 29,5% wszystkich izolatów. Kolejno występowały *Humicola fuscoatra*, *Apiospora montagnei* i *Gilmaniella humicola* odpowiednio z udziałem: 20,0; 11,3 i 9,1% i liczbą od 114 do 250 kolonii. Najliczniej zasiedlana (346 kolonii) przez grzyby ryzosfera pochodziła z poletek nawożonych kompostem z zieleni miejskiej (K ZM). Dominował w niej gatunek *Humicola fuscoatra* stanowiąc 237 izolatów. Licznie zasiedlane były warianty nawożone osadem granulowanym (O GR) oraz kompostem z osadu i słomy (K OS+SL) z liczbą kolonii odpowiednio 301 i 242. W pierwszym dominował *Paecilomyces variotii,* w drugim *Apiospora montagnei* i *Gilmaniella humicola*. Najmniej grzybów wyizolowano z ryzosfery roślin uprawianych na poletkach nawożonych wyłącznie NPK. Spośród 19 kolonii 6 stanowił potencjalnie patogeniczny gatunek *Colletotrichum acutatum*, zaś jedna z kolonii została oznaczona jako *F. oxysporum*. W wariancie z zastosowaniem osadu granulowanego (O GR) wyizolowano 3 kolonie potencjalnie

patogenicznego gatunku *Colletotrichum falcatum*. Potencjalny antagonista *Trichoderma viride* wyizolowany został jeden raz, jedynie z ryzosfery rzepaku nawożonego kompostem DANO.

Grzyby zasiedlające ryzoplanę

Z ryzoplany rzepaku ozimego wyizolowano łącznie 1274 kolonie grzybów (tab. 10). Gatunek *Paecilomyces variotii* dominował stanowiąc 39,6% wszystkich izolatów. Jego silną dominację obserwowano w wariantach nawozowych z zastosowaniem osadu granulowanego (O GR) oraz obornika (OB), a także w kontroli (K). Kolejne pod względem liczebności były gatunki *Humicola fuscoatra, Apiospora montagnei* i *Gilmaniella humicola*, stanowiąc odpowiednio 14,8; 11,9 i 8,6%. Pierwszy z wymienionych gatunków dominował w ryzoplanie rzepaku, pod którego uprawę stosowano kompost z odpadów zieleni miejskiej (K ZM). Gatunki *Apiospora montagnei* i *Gilmaniella humicola* występowały jedynie w wariancie z zastosowaniem kompostu z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL). Najwięcej izolatów (327) pochodziło z poletek nawożonych osadem granulowanym (O GR). Kolejnymi najintensywniej zasiedlanymi wariantami były te, w których stosowano kompost z zieleni miejskiej (K ZM) oraz kompost z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL) z liczbą kolonii odpowiednio 283 i 272. Najmniej grzybów (17) wyizolowano z ryzoplany rzepaku nawożonego wyłącznie nawozami mineralnymi (NPK). Oznaczono również gatunki grzybów potencjalnie fitopatogenicznych jak: *Alternaria chartarum, Colletotrichum acutatum, F. graminearum, F. oxysporum* i *Microdochium nivale*. Pierwszy z nich występował jedynie w wariancie K OS+SL, *C. acutatum* i *F. oxysporum* występowały w wariancie NPK. *F. graminearum* wyizolowano wyłącznie z ryzoplany rzepaku nawożonego kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM), zaś *M. nivale* z poletek kontrolnych. Wyizolowano również dwa gatunki rodzaju *Trichoderma*. Liczniej wystąpił gatunek *T. hamatum*. W wariancie nawożonym kompostem z osadu ściekowego (K OS) oznaczono 18 kolonii. Dwie kolonie *T. hamatum* odnotowano w wariancie K ZM. W ryzoplanie rzepaku z kontroli (K) wyizolowano pojedynczą kolonię *T. viride*.

Grzyby zasiedlające korzenie

Łącznie z systemów korzeniowych rzepaku poddanych analizie mykologicznej wyizolowano 157 kolonii grzybów (tab. 11). Najliczniej oznaczano gatunki rodzaju *Mortierella*, wyraźnie dominujące na korzeniach pobieranych z poletek wariantów K, NPK, OB oraz K OS+SL. *M. tuberosa* stanowiła 38,9%, zaś *M. alpina* 17,2% wszystkich izolatów. Kolejnymi pod względem udziału były potencjalnie patogeniczne grzyby rodzaju *Rhizoctonia* (10,8%) oraz gatunek *Sarocladium strictum* (10.2%). Udział pozostałych gatunków mieścił się

w przedziale 0,6-5,7%. Najwięcej izolatów (26) uzyskano z korzeni wariantu NPK. 22 izolaty należały do rodzaju *Mortierella*, pozostałe 4 do rodzaju *Rhizoctonia*. Również stosunkowo dużo grzybów (23) izolowano z korzeni rzepaku nawożonego kompostem DANO oraz z kontroli (K). W pierwszym z wymienionych wariantów występowały gatunki grzybów potencjalnie patogenicznych względem roślin jak: *F. culmorum, F. oxysporum, F. solani* oraz *Rhizoctonia* sp.. *F. culmorum* i *F. graminearum* odnotowano również w wariancie nawożonym kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM). Wśród pozostałych grzybów wariantu K ZM wystąpił również potencjalny patogen *Microdochium nivale,* a także *Rhizoctonia* sp., czyniąc korzenie tego wariantu najliczniej zasiedlonymi przez grzyby wykazujące zdolności patogeniczne. Patogen *Rhizoctonia* sp. izolowano również z korzeni rzepaku nawożonego kompostem z osadu ściekowego (K OS) wraz z potencjalnie patogenicznym grzybem *Alternaria chartarum*. Najmniej kolonii wyizolowano z systemu korzeniowego rzepaku nawożonego kompostem z osadu ściekowego (K OS), wszystkie należały do gatunku *M. alpina*.

6.2.2. Grzyby zasiedlające glebę i strefę korzeniową pszenicy ozimej

Grzyby zasiedlające glebę

Z gleby spod uprawy pszenicy ozimej wyizolowano łącznie 199 kolonii (grzybów i lęgniowców) (tab. 12). Najliczniej występowały gatunki: *Humicola fuscoatra, Dichotomopilus erectus, Microascus brevicaulis* i *Papulaspora irregularis* stanowiące odpowiednio 26,6; 19,6; 14,1 i 8,5%. Udział pozostałych gatunków mieścił się w przedziale 0,5-3,5%. Najwięcej kultur (67) wyizolowano z gleby nawożonej kompostem z osadu ściekowego (K OS), w której wyraźnie dominował gatunek *Humicola fuscoatra*. Łączną dominację tego gatunku wraz z taksonem *Dichotomopilus erectus* obserwowano w wariancie z zastosowaniem obornika (OB). *Humicola fuscoatra* dominował wraz z gatunkiem *Microascus brevicaulis* w drugim pod względem liczby izolatów wariancie, w którym stosowano kompost DANO. Trzecia pod względem liczby izolatów była gleba nawożona NPK, w której dominował *Microascus brevicaulis*. Najmniej kultur (6) pozyskano z wariantu z zastosowaniem kompostu z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL). Pomimo niewielkiej liczby wyizolowanych grzybów, to właśnie w tym wariancie oznaczono jedyny w analizie izolat gatunku *Trichoderma hamatum* oraz jeden z dwóch potencjalnie patogenicznych lęgniowców oznaczonych jako rodzaj *Pythium*. Drugi odnotowano w wariancie NPK. Wyizolowano również po jednej kolonii potencjalnie patogenicznych grzybów *Botrytis cinerea* i *F. oxysporum* odnotowanych odpowiednio w wariancie kontrolnym (K) oraz z zastosowaniem kompostu z odpadów zieleni miejskiej (K ZM).

Grzyby zasiedlające ryzosferę

Z ryzosfery pszenicy ozimej wyizolowano łącznie 461 kolonii grzybów (tab. 13). Najliczniej oznaczano gatunki *Paecilomyces variotii*, *Mucor piriformis* i *Clonostachys rosea*, stanowiące odpowiednio 26,5; 25,6 i 15,0% wszystkich izolatów. Wymienione taksony dominowały jednocześnie w ryzosferze pszenicy uprawianej na poletkach nawożonych osadem granulowanym (O GR), z której uzyskano najwięcej kolonii (136). Udział pozostałych gatunków mieścił się w przedziale 0,2-6,9%. Gatunek *Paecilomyces variotii* dominował również w wariantach nawozowych K i K OS+SL. Kolejne pod względem liczby uzyskanych izolatów były warianty, w których stosowano odpowiednio kompost z odpadów zieleni miejskiej (K ZM) i kompost z osadu ściekowego (K OS). W pierwszym dominował *Mucor piriformis* i potencjalnie patogeniczny gatunek *F. solani*. W drugim również *M. piriformis* wraz z gatunkiem *Clonostachys rosea,* które dominowały także w ryzosferze pszenicy nawożonej kompostem DANO. Najmniej grzybów (15) wyizolowano z ryzosfery pszenicy pobieranej z poletek, na których stosowano obornik (OB). Wśród taksonów dominował gatunek *Ascochyta medicaginicola* i rodzaj *Rhizopus*. W wariancie oznaczono również jedyną kolonię potencjalnie patogenicznego grzyba *Botrytis cinerea.* W ryzosferze rzepaku oznaczono gatunek *F. chlamydosporum*. Dwie kolonie wyizolowano z wariantu nawozowego z zastosowaniem kompostu z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL), a jedną z wariantu, w którym aplikowano kompost wyprodukowany wyłącznie z osadu ściekowego (K OS). Potencjalnie antagonistyczny gatunek *Trichoderma viride* wyizolowano jedynie raz, z ryzosfery pozyskanej z poletek nawożonych kompostem DANO.

Grzyby zasiedlające ryzoplanę

Z ryzoplany pszenicy ozimej wyizolowano łącznie 484 kolonie grzybów (tab. 14). Najczęściej oznaczano gatunki: *Ascochyta medicaginicola, Clonostachys rosea* i *Paecilomyces variotii* z udziałem w populacji stanowiącym odpowiednio 27,3, 19,2 i 14,0%. Pierwszy z wymienionych gatunków silnie zdominował najbardziej liczny w izolaty (127) wariant z zastosowaniem NPK. Oznaczono w nim 116 kolonii gatunku *A. medicaginicola*. Silną dominację gatunku *Clonostachys rosea* odnotowano w drugim pod względem liczby izolatów (90) wariancie, w którym aplikowano osad granulowany (O GR). *Paecilomyces variotii* dominował w trzecim najbardziej licznym w izolaty wariancie, w którym aplikowano kompost z odpadów zieleni miejskiej (K ZM.). Gatunek ten stosunkowo licznie występował także w ryzoplanie wariantu O GR. Licznie (9,5%) występował również gatunek *Mucor piriformis* obecny w ryzoplanie pięciu badanych wariantów. Najmniej kolonii (21) wyizolowano z ryzpolany pszenicy uprawianej na poletkach kontrolnych. Szesnaście izolatów zaliczono do

gatunku *Dichotomopilus erectus*, pozostałe 5 stanowił *Byssochlamys laguncullariae*. Z ryzpoplany pszenicy wyizolowano również trzy potencjalnie patogeniczne gatunki rodzaju *Fusarium*. Dwa izolaty *F. chlamydosporum* pochodziły z wariantu NPK, zaś jeden wyizolowano z ryzosfery pozyskanej z poletek nawożonych obornikiem (OB). Z wariantu, w którym stosowano kompost z odpadów zieleni miejskiej (K ZM) wyizolowano 7 kolonii zaliczonych do gatunku *F. culmorum* i 16 reprezentujących gatunek *F. solanum*. Jedną kolonię tego grzyba wyizolowano również z ryzosfery nawożonej osadem granulowanym (O GR). Dwie kolonie oznaczono do gatunku *Trichoderma viride,* obie pochodziły z wariantu nawożonego kompostem z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL).

Grzyby zasiedlające korzenie

Z korzeni pszenicy wyizolowano 141 kolonii grzybów (tab. 15), z których większość stanowiły potencjalne fitopatogeny. Najliczniej oznaczano gatunki *F. graminearum, F. oxysporum* i *Juxtiphoma eupyrena* z udziałem w analizowanej populacji wynoszącym odpowiednio 34,0; 14,2 i 7,1%. Pierwszy z gatunków dominował na korzeniach pszenicy pobranych z poletek nawożonych osadem granulowanym (O GR). Wyizolowano 42 kolonie z czego 41 zaliczono do gatunku *F. graminearum*. Kolejnym pod względem liczby kolonii (22) był wariant z zastosowaniem NPK, w którym dominował gatunek *F. oxysporum* (11 kolonii). Towarzyszyły mu również potencjalnie patogeniczne gatunki *Bipolaris sorokiniana, F. avenaceum, F. graminearum* i *F. solani*. Z korzeni pszenicy uprawianej na poletkach nawożonych kompostem z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL) wyizolowano 18 kolonii grzybów. W tym trzecim najliczniej zasiedlonym wariancie dominowały gatunki *Ascochyta medicaginicola, F. graminearum* i *F. oxysporum,* jeden izolat oznaczono rodzaju *Rhizoctonia*. Najmniej izolatów pozyskano z korzeni pszenicy wariantu, w którym stosowano kompost z odpadów zieleni miejskiej (K ZM). Tylko 2 z 9 kolonii zaliczono do rodzaju *Rhizopus* i gatunku *Mortierella tuberosa*. Pozostałe gatunki stanowiły potencjalne patogeny roślinne należące do rodzaju *Fusarium,* oraz gatunki *Alternaria alternata, Cladosporium herbarum* i *Microdochium nivale.* Potencjalnie antagonistyczny gatunek *Trichoderma viride* izolowano z korzeni pochodzących z kontroli oraz poletek nawożonych obornikiem (OB).

6.2.3. Grzyby zasiedlające glebę i strefę korzeniową ziemniaka

Grzyby zasiedlające glebę

Z gleby spod uprawy ziemniaka wyizolowano łącznie 130 kolonii grzybów (tab. 16). Najliczniej oznaczano taksony *Gymnoascus reessii, Dichotomopilus erectus* i *Penicillium* sp. z udziałem w analizowanej populacji stanowiącym odpowiednio 16,9; 13,8 i 11,5%. Pierwszy

z wymienionych gatunków dominował wraz z gatunkiem *Byssochlamys laguncullariae* w glebie nawożonej wyłącznie nawozami mineralnymi (NPK). *Gymnoascus reessii* wraz z *D. erectus* dominował również w glebie nawożonej kompostem DANO. Dominację gatunku *D. erectus* obserwowano również w wariancie kontrolnym (K) oraz z zastosowaniem kompostu z odpadów zieleni miejskiej (K ZM). Grzyby rodzaju *Penicillium* dominowały jedynie w wariancie z zastosowaniem kompostu z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL). Udział pozostałych gatunków mieścił się w przedziale 0,8-6,9%, Najwięcej izolatów pozyskano z gleb nawożonych osadem granulowanym (O GR), kompostem z osadu ściekowego (K OS) oraz mineralnym NPK z liczbą kolonii odpowiednio 27, 26 i 20. Najmniej grzybów (7) wyizolowano z gleby nawożonej obornikiem (OB). W wariancie z zastosowaniem kompostu z osadu ściekowego (K OS) odnotowano najwięcej potencjalnie patogenicznych gatunków grzybów. Wyizolowano dwie kultury *F. acuminatum*, jedną *F. roseum* i jedną należącą do rodzaju *Rhizoctonia*. Drugi z wymienionych gatunków odnotowano w wariantach K i K OS+SL, trzeci natomiast zasiedlał również glebę nawożoną kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM). Antagonistę gatunków patogenicznych - *Trichoderma viride* wyizolowano raz, z gleby nawożonej osadem granulowanym (O GR).

Grzyby zasiedlające ryzosferę

Z ryzosfery ziemniaka wyizolowano łącznie 1829 kolonii grzybów (tab. 17). Najczęściej oznaczano gatunki *Acremonium murorum*, *Sarocladium strictum* i rodzaj *Penicillium* stanowiące udział w populacji odpowiednio 41,0; 37,9 i 10,7%. Pierwszy z wymienionych gatunków silnie dominował w najliczniej zasiedlanej ryzosferze ziemniaka, którą pobrano z poletek nawożonych mineralnym NPK. Wyizolowano z niej łącznie 841 kolonii, z których 673 oznaczono jako *A. murorum*. Wyraźną dominację grzyba *S. strictum* odnotowano w drugim co do liczby izolatów (273) wariancie, w którym stosowano kompost z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL). Gatunek ten zdominował również ryzosferę z poletek kontrolnych (K), nawożonych kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM), oraz łącznie z *Penicillium* sp. trzecią najliczniej zasiedlaną ryzosferę (194) ziemniaka wariantu z zastosowaniem kompostu DANO. Silną dominację grzybów rodzaju *Penicillium* odnotowano również w wariancie z nawożeniem osadem granulowanym (O GR). Z ryzosfery poletek nawożonych tym produktem wyizolowano najmniej, bo 29 kolonii. Potencjalnie patogeniczne grzyby *Alternaria alternata* i *A. chartarum* odnotowano w wariancie NPK. Wyizolowano 7 kultur pierwszego z wymienionych gatunków, a dwie oznaczono jako *A. chartarum*. Gatunek *A. alternata* odnotowano również w wariancie K DANO, oraz z zastosowaniem kompostu z odpadów zieleni miejskiej (K ZM). Odnotowano również obecność dwóch gatunków rodzaju

Fusarium. Jeden izolat *F. culmorum* pozyskano z ryzosfery wariantu z zastosowaniem kompostu z osadu ściekowego (K OS), drugi oznaczony jako *F. incarnatum* pochodził z kontroli (K). Potencjalnie antagonistyczne dla patogenów gatunki rodzaju *Trichoderma* zasiedlały ryzosferę pobraną z poletek nawożonych obornikiem (OB) oraz kompostem z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL). W pierwszym wariancie nawozowym izolowano trzy kolonie *T. viride*. Z wariantu (K OS+SL) wyizolowano jedną kolonię tego grzyba oraz dziewięć należących do gatunku *T. hamatum*.

Grzyby zasiedlające ryzoplanę

Z ryzoplany ziemniaka wyizolowano łącznie 1439 kolonii grzybów (tab. 18). Najczęściej oznaczano gatunki *Sarocladium strictum, Acremonium murorum* i rodzaj *Penicillium,* stanowiące w populacji odpowiednio 44,8; 27,4 i 10,2%. Drugi z wymienionych gatunków dominował w najliczniej zasiedlanej ryzoplanie ziemniaka, którą pobrano z poletek nawożonych mineralnym NPK. Wyizolowano z niej łącznie 673 kolonii, z których 338 zaliczono do gatunku *A. murorum*. Wyraźną dominację *S. strictum* odnotowano w kontroli (K), drugim co do liczby pozyskanych z ryzosfery izolatów (201) wariancie z zastosowaniem kompostu z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL), oraz trzecim z aplikacją kompostu z odpadów zieleni miejskiej (K ZM), w którym uzyskano 188 kolonii. Najmniej kultur (89) wyizolowano z ryzoplany ziemniaka uprawianego na poletkach kontrolnych (K). Uzyskano jeden izolat *Alternaria alternata*, który pochodził z ryzoplany roślin nawożonych NPK, a dwa z poletek nawożonych obornikiem (OB) oraz trzy z ryzoplany po zastosowani kompostu z odpadów zieleni miejskiej (K ZM). W ryzoplanie ziemniaka pobranej z wariantu OB oznaczono również potencjalnie patogeniczny wobec roślin gatunek *F. solani*. Potencjalnie antagonistyczne dla patogeenów gatunki rodzaju *Trichoderma* zasiedlały ryzoplanę pobraną z poletek nawożonych obornikiem (OB) oraz kompostem z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL). W pierwszym wariancie nawozowym izolowano trzy kolonie *T. viride*. Z ryzosfery poletek obiektu (K OS+SL) wyizolowano dwie kolonie tego grzyba oraz dwie należące do gatunku *T. hamatum*.

Grzyby zasiedlające korzenie

Łącznie z systemów korzeniowych ziemniaka poddanych analizie mykologicznej wyizolowano 167 kolonii grzybów (tab. 19). Najliczniej oznaczano gatunki *Mucor hiemalis Alternaria alternata* i *Umbelopsis isabellina* z udziałem w populacji wynoszącym odpowiednio 28,1; 21,0 i 14,4%. Pierwszy z wymienionych gatunków dominował na korzeniach ziemniaka uprawianego na poletkach nawożonych osadem granulowanym (O GR), kompostem DANO oraz kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM). Gatunek *U. isabellina* dominował

jedynie w społeczności wariantu nawożonego kompostem z osadu ściekowego (K OS), zaś obecność *Alternaria alternata* odnotowano w pięciu wyosobnieniach z korzeni ziemniaka. Wyraźną dominację odnotowano w wariancie z zastosowaniem kompostu z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL). Dominacja wystąpiła także w wariantach nawożonych mineralnym NPK i obornikiem. Na korzeniach pobranych z poletek nawożonych obornikiem oznaczono także 4 izolaty gatunku *Cladosporium herbarum*. Potencjalny patogen *F. chlamydosporum* wystąpił jedynie w zbiorowisku grzybów izolowanych z korzeni pobranych z poletek nawożonych kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM).

6.2.4. Bakterie zasiedlające glebę spod uprawy rzepaku ozimego

Azotobacter

Bakterie rodzaju *Azotobacter* najliczniej izolowano z gleb nawożonych osadem granulowanym (O GR), kompostem z osadu ściekowego (K OS) oraz z gleby pobranej z poletek kontrolnych (K). Liczba jednostek tworzących kolonie (jtk) wynosiła odpowiednio 5,28; 5,05 i 4,89 ($\log_{10} \cdot g^{-1}$). Najmniej jtk bakterii- 3,34 ($\log_{10} \cdot g^{-1}$) wyizolowano z gleby nawożonej mineralnym NPK. W porównaniu do kontroli (K) nie odnotowano istotnych statystycznie różnic w ilości bakterii izolowanych z pozostałych wariantów doświadczenia. W odniesieniu do NPK istotnie większą liczbę bakterii wyizolowano z gleby nawożonej osadem granulowanym (O GR).

Bacillus

Bakterie rodzaju *Bacillus* najliczniej izolowano z gleb nawożonych osadem granulowanym (O GR), kompostem z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL) oraz kompostem z osadu ściekowego (K OS). Liczba jednostek tworzących kolonie (jtk) wynosiła odpowiednio 6,36; 6,05 i 6,03 ($\log_{10} \cdot g^{-1}$). Najmniej jtk bakterii- 4,30 ($\log_{10} \cdot g^{-1}$) wyizolowano z gleby nawożonej mineralnym NPK. W odniesieniu do kontroli (K) - 4,59 ($\log_{10} \cdot g^{-1}$) istotnie większą liczbę bakterii izolowano z gleby nawożonej osadem granulowanym (O GR). Statystycznie więcej bakterii względem NPK odnotowano w wariantach z zastosowaniem obornika (OB), kompostu z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL), osadu granulowanego (O GR) oraz kompostu z osadu ściekowego (K OS).

Pseudomonas

Najliczniej zasiedlone przez bakterie rodzaju *Pseudomonas* były gleby pobrane z poletek nawożonych obornikiem (OB), kompostem DANO oraz kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM). Liczba jtk wynosiła odpowiednio 6,64; 6,44 i 6,16 ($\log_{10} \cdot g^{-1}$). Najmniej jtk wyizolowano z gleby nawożonej kompostem z osadu ściekowego (K OS).

W wariancie kontrolnym oraz nawożonym NPK odnotowano wartości jtk stanowiące odpowiednio 5,83 i 6,05 ($log_{10} \cdot g^{-1}$). W odniesieniu do kontroli (K) lub NPK nie odnotowano istotnych statystycznie różnic w ilości bakterii izolowanych z pozostałych wariantów doświadczenia.

Promieniowce

Najwięcej promieniowców izolowano z gleb nawożonych kompostem z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL), mineralnym NPK oraz z poletek kontrolnych (K). Liczba jednostek tworzących kolonie (jtk) wynosiła odpowiednio 4,60; 3,65 i 3,39 ($log_{10} \cdot g^{-1}$). Najmniej jtk promieniowców- 1 ($log_{10} \cdot g^{-1}$) wyizolowano z gleby nawożonej kompostem DANO. Nie odnotowano statystycznie istotnych różnic względem kontroli (K). Jedynie istotnie mniej promieniowców względem NPK wyizolowano z gleby nawożonej kompostem DANO.

Bakterie zdolne do rozpuszczania fosforanów

Najliczniej zasiedlone przez bakterie rozpuszczające fosforany były gleby pobrane z poletek nawożonych obornikiem (OB), kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM) oraz kompostem z osadu ściekowego i słomy (K. OS+SL). Liczba jtk wynosiła odpowiednio 6,39; 3,56 i 3,33 ($log_{10} \cdot g^{-1}$). W wariancie kontrolnym (K) oraz nawożonym NPK odnotowano wartość jtk stanowiącą 1 ($log_{10} \cdot g^{-1}$). W odniesieniu do obu wariantów istotnie więcej bakterii wyizolowano z gleby nawożonej obornikiem (OB).

6.2.5. Bakterie zasiedlające glebę spod uprawy pszenicy ozimej

Azotobacter

Bakterie rodzaju *Azotobacter* najliczniej izolowano z gleb nawożonych obornikiem (OB), mineralnym NPK oraz kompostem DANO. Liczba jednostek tworzących kolonie (jtk) wynosiła odpowiednio 5,32; 5,29 i 5,28 ($log_{10} \cdot g^{-1}$). Najmniej jtk bakterii- 4,77 ($log_{10} \cdot g^{-1}$) wyizolowano z gleby nawożonej kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM). W porównaniu do kontroli (K) z ilością 5,14 jtk ($log_{10} \cdot g^{-1}$) nie odnotowano istotnych statystycznie różnic w liczbie bakterii izolowanych z pozostałych wariantów doświadczenia. W odniesieniu do NPK istotnie mniejszą ilość bakterii wyizolowano z gleby nawożonej osadem granulowanym (O GR) oraz kompostem z osadu ściekowego (K OS).

Bacillus

Bakterie rodzaju *Bacillus* najliczniej izolowano z gleb nawożonych kompostem DANO, kompostem z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL) oraz kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM). Liczba jednostek tworzących kolonie (jtk) wynosiła odpowiednio 6,37; 6,30 i 6,25 ($log_{10} \cdot g^{-1}$). Najmniej jtk bakterii- 4,76 ($log_{10} \cdot g^{-1}$) wyizolowano z gleby nawożonej

osadem granulowanym (O GR). W kontroli (K) odnotowano wartość 6,14 ($log_{10} \cdot g^{-1}$) zaś w NPK 5,73 ($log_{10} \cdot g^{-1}$). Nie odnotowano statystycznie istotnych różnic względem kontroli (K). Jedynie istotnie więcej bakterii rodzaju *Bacillus* względem NPK wyizolowano z gleby nawożonej kompostem DANO.

Pseudomonas

Bakterie rodzaju *Pseudomonas* najliczniej izolowano z gleb nawożonych osadem granulowanym (O GR), kompostem z osadu ściekowego (K OS) oraz mineralnym NPK. Liczba jednostek tworzących kolonie (jtk) wynosiła odpowiednio 6,61; 6,54 i 6,49 ($log_{10} \cdot g^{-1}$). Najmniej jtk bakterii- 5,20 ($log_{10} \cdot g^{-1}$) wyizolowano z gleb nawożonych obornikiem (OB) oraz kompostem DANO. W odniesieniu do kontroli (K) - 6,15 jtk ($log_{10} \cdot g^{-1}$) i NPK nie odnotowano istotnych statystycznie różnic w ilości bakterii izolowanych z pozostałych wariantów doświadczenia.

Promieniowce

Promieniowce najliczniej izolowano z gleb nawożonych mineralnym NPK i kompostem DANO oraz z gleby poletek kontrolnych (K). Liczba jednostek tworzących kolonie (jtk) wynosiła odpowiednio 5,27; 5,21 i 5,08 ($log_{10} \cdot g^{-1}$). Najmniej jtk bakterii - 1 ($log_{10} \cdot g^{-1}$) wyizolowano z gleby nawożonej osadem granulowanym (O GR). W odniesieniu do kontroli (K) oraz NPK istotnie mniej bakterii wyizolowano z gleb nawożonych osadem granulowanym (O GR) oraz kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM).

Bakterie zdolne do rozpuszczania fosforanów

Najliczniej zasiedlone przez bakterie rozpuszczające fosforany były gleby pobrane z poletek nawożonych kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM), kompostem DANO oraz z kontroli (K). Liczba jtk wynosiła odpowiednio 5,47; 5,02 i 5,18 ($log_{10} \cdot g^{-1}$). W wariancie nawożonym NPK odnotowano wartość jtk stanowiącą 4,53 ($log_{10} \cdot g^{-1}$). W odniesieniu do kontroli (K) istotnie mniejszą ilość bakterii izolowano z gleb nawożonych obornikiem (OB), kompostem z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL) oraz osadem granulowanym (O GR). Statystycznie mniej bakterii względem NPK odnotowano w wariancie z zastosowaniem obornika (OB).

6.2.6. Bakterie zasiedlające glebę spod uprawy ziemniaka

Azotobacter

Bakterie rodzaju *Azotobacter* najliczniej izolowano z gleb nawożonych kompostem z osadu ściekowego (K OS), kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM) oraz kompostem z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL). Liczba jednostek tworzących kolonie (jtk) wynosiła

odpowiednio 4,81; 4,15 i 4,13 ($log_{10} \cdot g^{-1}$). W odniesieniu do kontroli (K) z ilością jtk 3,48 ($log_{10} \cdot g^{-1}$) istotnie większą liczbę bakterii odnotowano w wymienionych powyżej wariantach nawozowych. Również te same warianty wraz z wariantem z zastosowaniem osadu granulowanego (O GR) zawierały istotnie więcej bakterii w porównaniu do gleby nawożonej mineralnym NPK - 3,0 ($log_{10} \cdot g^{-1}$) jtk.

Bacillus

Bakterie rodzaju *Bacillus* najliczniej zasiedlały gleby nawożone kompostem z odpadów komunalnych (K DANO), obornikiem (OB) oraz kompostem z osadu ściekowego (K OS). Liczba jednostek tworzących kolonie (jtk) wynosiła odpowiednio 5,96; 5,91 i 5,81 ($log_{10} \cdot g^{-1}$). Najmniej jtk bakterii - 4,42 ($log_{10} \cdot g^{-1}$) wyizolowano z gleby nawożonej mineralnym NPK. W kontroli (K) odnotowano wartość 5,34 ($log_{10} \cdot g^{-1}$) jtk, jednak żaden z pozostałych wariantów doświadczenia nie różnił się od niej istotnie. W odniesieniu do NPK istotnie więcej bakterii izolowano w wariantach nawozowych K DANO, OB, K OS oraz z zastosowaniem osadu granulowanego (O GR).

Pseudomonas

Najliczniej zasiedlone przez bakterie rodzaju *Pseudomonas* były gleby pobrane z poletek nawożonych mineralnym NPK, osadem ściekowym granulowanym (O GR) oraz pobrane z kontroli (K). Liczba jtk wynosiła odpowiednio 8,61; 7,02 i 6,33 ($log_{10} \cdot g^{-1}$). Najmniej jtk bakterii- 5,26 ($log_{10} \cdot g^{-1}$) wyizolowano z gleby nawożonej kompostem DANO. Nie odnotowano statystycznie istotnych różnic względem kontroli (K), natomiast istotnie mniej bakterii rodzaju *Pseudomonas* względem NPK wyizolowano z gleb nawożonych obornikiem (OB), kompostem z osadu ściekowego (K OS), kompostem DANO oraz kompostem z zieleni miejskiej (K ZM).

Promieniowce

Promieniowce najliczniej zasiedlały gleby nawożone kompostem DANO, osadem granulowanym (O GR) oraz obornikiem (OB). Liczba jednostek tworzących kolonie (jtk) wynosiła odpowiednio 5,13; 4,04 i 4,03 ($log_{10} \cdot g^{-1}$). Najmniej jtk promieniowców- 2 ($log_{10} \cdot g^{-1}$) wyizolowano z gleby nawożonej mineralnym NPK. W odniesieniu do kontroli (K) z ilością 3,30 ($log_{10} \cdot g^{-1}$) jtk istotnie większą liczbę bakterii odnotowano w trzech najliczniej zasiedlanych, wymienionych powyżej wariantach nawozowych. Również te same warianty wraz z wariantem z zastosowaniem kompostu z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL) zawierały istotnie więcej jtk bakterii w porównaniu do gleby nawożonej mineralnym NPK.

Bakterie zdolne do rozpuszczania fosforanów

Najliczniej zasiedlone przez bakterie zdolne do rozpuszczania fosforanów były gleby pobrane z wariantów, w których stosowano kompost z odpadów zieleni miejskiej (K ZM), kontroli (K) oraz poletek nawożonych osadem granulowanym (O GR). Liczba jtk wynosiła odpowiednio 4,82; 4,70 i 4,46 ($log_{10} \cdot g^{-1}$). Najmniej jtk bakterii- 3,26 ($log_{10} \cdot g^{-1}$) wyizolowano z gleby nawożonej kompostem z osadu ściekowego (K OS). W odniesieniu do kontroli (K) istotnie mniejszą liczbę bakterii odnotowano w wariantach K OS oraz z zastosowaniem kompostu z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL). Statystycznie mniej bakterii względem NPK- 4,34 ($log_{10} \cdot g^{-1}$) odnotowano jedynie w wariancie K OS.

6.2.7. Bakterie zasiedlające ryzosferę rzepaku ozimego

Azotobacter

Bakterie rodzaju *Azotobacter* najliczniej izolowano z ryzosfery rzepaku pobranej z poletek nawożonych osadem granulowanym (O GR), mineralnym NPK oraz kompostem DANO. Liczba jednostek tworzących kolonie (jtk) wynosiła odpowiednio 5,79; 5,73 i 5,71 ($log_{10} \cdot g^{-1}$). Najmniej jtk bakterii- 5,35 ($log_{10} \cdot g^{-1}$) wyizolowano z ryzosfery roślin nawożonych kompostem z osadu ściekowego (K OS.). W porównaniu do kontroli (K) z liczbą jtk 5,63 ($log_{10} \cdot g^{-1}$) oraz do NPK statystycznie istotna różnica dotyczyła jedynie mniejszej liczby bakterii odnotowanej w wariancie z zastosowaniem kompostu z osadu ściekowego (K OS).

Bacillus

Najwięcej bakterii rodzaju *Bacillus* pochodziło z ryzosfer rzepaku uprawianego na poletkach nawożonych osadem granulowanym (O GR), obornikiem (OB) oraz kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM.). Liczba jednostek tworzących kolonie wynosiła odpowiednio 6,93; 6,35 i 6,28 ($log_{10} \cdot g^{-1}$). Wszystkie wymienione wartości były istotnie większe wobec odnotowanej w kontroli (K) - 5,03. Z ryzosfery pozyskanej z poletek nawożonych NPK wyizolowano 5,95 jtk ($log_{10} \cdot g^{-1}$) i według analizy statystycznej jedyna istotna różnica dotyczyła większej liczby bakterii w wariancie O GR.

Pseudomonas

Najliczniej zasiedlone przez bakterie rodzaju *Pseudomonas* były ryzosfery rzepaku pobrane z poletek nawożonych kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM), osadem granulowanym (O GR) oraz kompostem z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL). Liczba jtk wynosiła odpowiednio 7,32; 7,09 i 7,0 ($log_{10} \cdot g^{-1}$). Najmniej jtk- 5,69 ($log_{10} \cdot g^{-1}$) wyizolowano z ryzosfery pobranej z poletek kontrolnych (K). Istotnie więcej bakterii w porównaniu do kontroli (K) odnotowano w wymienionych powyżej, najliczniej zasiedlanych wariantach oraz

w ryzosferze wariantu NPK z liczbą jtk stanowiącą wartości 6,89 ($log_{10} \cdot g^{-1}$). W odniesieniu do NPK jedyna statystyczna istotność dotyczyła mniejszej ilości bakterii w wariancie kontrolnym (K).

Promieniowce

Promieniowce najliczniej zasiedlały ryzosfery pochodzące z poletek, na których aplikowano kompost z odpadów zieleni miejskiej (K ZM), kompost z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL) oraz kompost z osadu ściekowego (K OS). Liczba jednostek tworzących kolonie (jtk) wynosiła odpowiednio 3,77; 3,74 i 3,69 ($log_{10} \cdot g^{-1}$). Najmniej jtk bakterii - 1 ($log_{10} \cdot g^{-1}$) wyizolowano z gleby nawożonej kompostem DANO. Nie wykazano statystycznie istotnych różnic w porównaniu do kontroli (K) z liczbą 5,14 jtk ($log_{10} \cdot g^{-1}$). Istotnie więcej bakterii względem NPK odnotowano w trzech najliczniej zasiedlanych wariantach oraz w wariancie z aplikacją osadu granulowanego (O GR).

Bakterie zdolne do rozpuszczania fosforanów

Najliczniej zasiedlane przez bakterie rozpuszczające fosforany były ryzosfery pobierane na poletkach nawożonych kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM), osadem granulowanym (O GR) oraz wyłącznie mineralnym NPK. Liczba jtk wynosiła odpowiednio 4,25; 4,07 i 3,89 ($log_{10} \cdot g^{-1}$). W wymienionych wariantach istotnie więcej bakterii wobec kontroli (K), z której wyizolowano 3,0 jtk ($log_{10} \cdot g^{-1}$). Najmniej bakterii zasiedlało ryzosferę pobieraną z poletek, na których stosowano kompost z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL) - 2,0 ($log_{10} \cdot g^{-1}$). W odniesieniu do NPK istotnie mniej jtk izolowano z wariantu kontrolnego (K) oraz nawożonego kompostem z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL).

6.2.8. Bakterie zasiedlające ryzosferę pszenicy ozimej

Azotobacter

Bakterie rodzaju *Azotobacter* najliczniej izolowano z ryzosfery pszenicy pobranej na poletkach nawożonych obornikiem (OB), kompostem DANO oraz kompostem z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL). Liczba jednostek tworzących kolonie (jtk) wynosiła odpowiednio 5,44; 5,33 i 4,63 ($log_{10} \cdot g^{-1}$). Najmniej jtk bakterii- 1,67 ($log_{10} \cdot g^{-1}$) wyizolowano z ryzosfery roślin nawożonych osadem granulowanym (O GR). W odniesieniu do kontroli (K) z liczbą 4,5 jtk ($log_{10} \cdot g^{-1}$) nie wykazano istotnych różnic porównując pozostałe warianty doświadczenia. Istotnie więcej bakterii względem NPK wyizolowano z ryzosfery pozyskanej na poletkach nawożonych obornikiem (OB) oraz kompostem DANO.

Bacillus

Bakterie rodzaju *Bacillus* najliczniej zasiedlały ryzosfery pozyskane z pszenicy uprawianej na poletkach nawożonych obornikiem (OB), kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM) oraz kompostem z osadu ściekowego (K OS). Liczba jednostek tworzących kolonie (jtk) wynosiła odpowiednio 5,63; 5,44 i 4,94 ($log_{10} \cdot g^{-1}$). Najmniej jtk bakterii - 1,33 ($log_{10} \cdot g^{-1}$) wyizolowano z ryzosfery pszenicy ozimej z kontroli (K) oraz po zastosowaniu kompostu z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL), wobec których istotnie więcej bakterii odnotowano w wymienionych trzech najliczniej zasiedlanych wariantach i w wariancie z zastosowaniem kompostu z odpadów zieleni miejskiej (K ZM). Natomiast w odniesieniu do NPK nie notowano statystycznie istotnych różnic.

Pseudomonas

Najwięcej bakterii rodzaju *Pseudomonas* zasiedlało ryzosfery pszenicy pobrane z poletek nawożonych NPK, kompostem DANO oraz osadem granulowanym (O GR). Liczba jtk wynosiła odpowiednio 6,33; 6,06 i 5,0 ($log_{10} \cdot g^{-1}$). Najmniej jtk - 1,67 ($log_{10} \cdot g^{-1}$) odnotowano w wariancie nawożonym kompostem z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL). W porównaniu do kontroli (K) z liczbą 3,33 jtk ($log_{10} \cdot g^{-1}$) statystycznie istotna różnica dotyczyła jedynie większej liczby bakterii izolowanej w wariancie z zastosowaniem kompostu DANO, zaś w odniesieniu do NPK istotnie mniej jtk bakterii odnotowano w wariancie K OS+SL.

Promieniowce

Promieniowce najliczniej zasiedlały ryzosfery pochodzące z poletek nawożonych kompostem DANO, kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM) oraz obornikiem (OB). Liczba jednostek tworzących kolonie (jtk) stanowiła odpowiednio 4,79; 4,58 i 4,55 ($log_{10} \cdot g^{-1}$). Najmniej jtk bakterii- 3,20 ($log_{10} \cdot g^{-1}$) wyizolowano z ryzosfery wariantu kontrolnego (K), w odniesieniu do którego istotnie więcej bakterii izolowano z wymienionych powyżej trzech najliczniejszych wariantach oraz z wariantu nawożonego kompostem z osadu ściekowego i słomy (K. OS+SL). Z ryzosfery pozyskanej na poletkach nawożonych NPK wyizolowano 3,60 jtk ($log_{10} \cdot g^{-1}$) i według analizy statystycznej jedyna istotna różnica dotyczyła większej liczby bakterii w wariancie K DANO.

Bakterie zdolne do rozpuszczania fosforanów

Najliczniej zasiedlane przez bakterie rozpuszczające fosforany były ryzosfery pobierane na poletkach nawożonych kompostem DANO, kompostem z osadu ściekowego (K. OS) oraz wyłącznie mineralnym NPK. Liczba jtk wynosiła odpowiednio 4,61; 4,44 i 4,33 ($log_{10} \cdot g^{-1}$). W wymienionych wariantach było istotnie więcej bakterii wobec najsłabiej zasiedlanej kontroli

(K), z której wyizolowano 3,48 jtk ($log_{10} \cdot g^{-1}$). Również istotnie więcej bakterii odnotowano po zastosowaniu kompostu z odpadów zieleni miejskiej (K ZM). W porównaniu do NPK istotnie mniej jtk izolowano z obiektu kontrolnego (K) oraz nawożonego kompostem z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL).

6.2.9. Bakterie zasiedlające ryzosferę ziemniaka

Azotobacter

Najwięcej bakterii rodzaju *Azotobacter* izolowano z ryzosfery ziemniaka pobranej z poletek nawożonych kompostem z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL), kontroli (K) oraz wariantu z zastosowaniem kompostu z odpadów zieleni miejskiej (K ZM). Liczba jednostek tworzących kolonie (jtk) wynosiła odpowiednio 6,25; 5,80 i 5,67 ($log_{10} \cdot g^{-1}$). Istotnie mniej bakterii niż w kontroli (K) i NPK - 5,63 jtk ($log_{10} \cdot g^{-1}$) wyizolowano z ryzosfery roślin nawożonych osadem granulowanym (O GR) - 3,80 jtk ($log_{10} \cdot g^{-1}$). W porównaniu do kontroli (K) istotnie mniej bakterii odnotowano również w wariantach z zastosowaniem kompostu z osadu ściekowego (K OS) oraz kompostu DANO.

Bacillus

Najwięcej bakterii rodzaju *Bacillus* - jtk 5,54 ($log_{10} \cdot g^{-1}$) pochodziło z ryzosfery rzepaku uprawianego na poletkach nawożonych kompostem z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL) oraz kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM) Kolejnymi licznie zasiedlanymi wariantami były kontrola (K) oraz wariant z zastosowaniem obornika (OB). Liczba jednostek tworzących kolonie (jtk) wynosiła odpowiednio 5,34 i 4,67 ($log_{10} \cdot g^{-1}$). Najmniej bakterii - jtk 4,0 ($log_{10} \cdot g^{-1}$) wyizolowano z ryzosfery rzepaku nawożonego osadem granulowanym (O GR). W porównaniu do kontroli (K) istotnie mniej bakterii odnotowano w wariancie nawożonym O GR Natomiast wobec NPK - 4,2 jtk ($log_{10} \cdot g^{-1}$) istotnie więcej bakterii odnotowano w dwóch najliczniej zasiedlanych ryzosferach (K OS+SL i K ZM).

Pseudomonas

Najliczniej zasiedlone przez bakterie rodzaju *Pseudomonas* były ryzosfery pobrane z poletek nawożonych kompostem z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL), kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM) oraz kompostem z osadu ściekowego (K OS). Liczba jtk wynosiła odpowiednio 7,22; 6,67 i 6,34 ($log_{10} \cdot g^{-1}$). Najmniej jtk bakterii - 3,33 ($log_{10} \cdot g^{-1}$) wyizolowano z ryzosfer obiektu kontrolnego (K) oraz nawożonego NPK, wobec których istotnie liczniej zasiedlanymi wariantami były K OS+SL i K ZM.

Promieniowce

Najwięcej promieniowców izolowano z ryzosfery pochodzącej z poletek nawożonych osadem granulowanym (O GR), kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM) oraz NPK. Liczba jednostek tworzących kolonie (jtk) wynosiła odpowiednio 4,14; 3,59 i 3,53 ($log_{10} \cdot g^{-1}$). Najmniej jtk bakterii - 2,0 ($log_{10} \cdot g^{-1}$) wyizolowano z gleby nawożonej kompostem z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL). W porównaniu do kontroli (K) - 2,26 jtk ($log_{10} \cdot g^{-1}$) istotnie więcej bakterii odnotowano w wariancie nawożonym O GR. Natomiast wobec NPK istotnie słabiej zasiedlane były ryzosfery pobrane z poletek nawożonych K OS+SL oraz kompostem DANO.

Bakterie zdolne do rozpuszczania fosforanów

Najliczniej zasiedlane przez bakterie rozpuszczające fosforany były ryzosfery pobierane z poletek nawożonych kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM), z obiektu kontrolnego (K), po zastosowaniu kompostu DANO oraz z obiektu nawożonego obornikiem (OB). Liczba jtk wynosiła odpowiednio 5,32; 5,32; 4,68 i 4,58 ($log_{10} \cdot g^{-1}$). Najmniej bakterii - 3,67 jtk ($log_{10} \cdot g^{-1}$) wyizolowano z ryzosfery ziemniaka nawożonego kompostem z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL). W porównaniu do kontroli (K) nie odnotowano istotnych statystycznie różnic w ilości bakterii izolowanych z pozostałych wariantów doświadczenia. W odniesieniu do NPK istotnie większą liczbę bakterii wyizolowano z ryzosfery nawożonej kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM).

6.2.10. Zależność pomiędzy liczebnością bakterii funkcjonalnych a nasileniem chorób roślin

Biplot PCA odnośnie rzepaku zdołał wytłumaczyć 52% wariancji. Dla osi F1 wartość ta wynosiła 28% natomiast F2- 24% (wyk. 7). W pszenicy wynik był podobny i wynosił 55% (dla osi F1 29% i osi F2 26%). Wyniki PCA ujawniły korelację pomiędzy czernią krzyżowych, werticiliozą rzepaku, ryzosferowymi PSB, *Pseudomonas* spp. i *Bacillus* spp. Duże liczebności glebowych *Pseudomonas* spp. oraz ryzosferowych *Azotobacter* spp. były charakterystyczne dla NPK, natomiast stosunkowo dużo promieniowców oraz glebowych *Bacillus* spp. i *Azotobacer* spp. odnotowano w wariantach K OS+SL i K OS. Nie zaobserwowano charakterystycznych chorób i grup bakterii dla wariantu K DANO i kontroli (K), niemniej jednak choroby znajdowały się po drugiej stronie wykresu biplot, co wskazuje na ich najmniejsze nasilenie. Nie udało ustalić się powiązań chorób i bakterii dla wariantów OB i K ZM.

W pszenicy zaobserwowano powiązanie liczebności promieniowców i *Azotobacter* spp. oraz ryzosferowych *Bacillus* spp. z fuzariozą kłosów i w mniejszym stopniu z ostrą plamistością

oczkową, które to choroby były charakterystyczne dla wariantów DANO, OB i K OS+SL (wyk. 8). Dla wariantu bez nawożenia (K) były charakterystyczne jedynie duże wartości stopnia porażenia przez brunatną plamistość liści zbóż i septoriozę paskowaną liści pszenicy. Zaobserwowano ujemną korelację ryzosferowych *Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp i PSB zwłaszcza z brunatną plamistością liści, ale dodatnią z fuzaryjną zgorzelą podstawy źdźbła i korzeni oraz septoriozą plew pszenicy. Większe nasilenie tych dwóch chorób było umiarkowanie powiązane z wariantami O GR i K DANO. Dla wariantów K ZM, K OS i NPK nie udało się ustalić charakterystycznych wysokich wartości stopnia porażenia przez patogeny i badanych grup bakterii. Zauważono wyraźną ujemną korelację pomiędzy glebowymi *Pseudomonas* spp. a fuzariozą kłosów i ostrą plamistością oczkową.

Duże nasilenie zarazy ziemniaka oraz duża liczebność ryzosferowych *Bacillus* spp., *Azotobacter* spp. i PSB były charakterystyczne dla wariantów K ZM, K i częściowo K OS+SL (wyk. 9). W kontroli (K) były charakterystyczne stosunkowo duże liczebności PSB i ryzosferowych *Azotobacter* spp.. Glebowe promieniowce, *Bacillus* spp. i *Azotobacter* spp. oraz ryzosferowe *Pseudomonas* spp. były powiązane na średnim poziomie z wariantem K DANO, K OS+SL i K OS. Duża liczebność glebowych *Pseudomonas* spp. była charakterystyczna dla NPK. Licznie zasiedlane przez ryzosferowe promieniowce były warianty nawozowe O GR i K OS, niemniej jednak zaobserwowano silną ujemną korelację pomiędzy promieniowcami ryzosferowymi i nasileniem zarazy ziemniaka.

6.2.11. Społeczności bakterii zasiedlających glebę

Wyniki analizy społeczności bakterii zasiedlających glebę wykonane metodą sekwencjonowania nanoporowego były mało zróżnicowane. W glebie spod uprawy rzepaku w wariancie kontrolnym (K) dominującymi rodzajami były: *Candidatus* Solibacter oraz mniej licznie *Bacillus* spp., *Singulisphaera* spp. i *Luteitalea* spp. Społeczność bakterii w glebie nawożonej NPK charakteryzowała się dominacją *Candidatus* Solibacter, *Luteitalea* spp., *Bacillus* spp., *Paenibacillus* spp., *Clostridium* spp., *Candidatus* Koribacter i *Bradyrhizobium* spp. W wariancie nawożonym obornikiem (OB.) dominowały: *Rhodoplanes* spp., *Gemmatirosa* spp., *Luteitalea* spp., *Gemmatimonas* spp. i *Bradyrhizobium* spp.. Mikrobiota dominująca w obiekcie nawożonym K OS+SL składała się z *Luteitalea* spp., *Candidatus* Solibacter, *Bradyrhizobium* spp., *Gemmatirosa* spp., *Gemmatimonas* spp. i *Candidatus* Koribacter. Społeczność bakterii glebowych w wariancie O GR charakteryzowała się dominacją *Oscilatoria* spp. i *Massillia* spp. oraz mniej licznymi *Candidatus* Solibacter, *Bacillus* spp. i *Luteitalea* spp.. Gleba w wariancie K OS charakteryzowała się wysokim udziałem

Luteitalea spp., *Candidatus* Solibacter, *Bacillus* spp. i *Paenibacillus* spp. W wariancie K DANO zaobserwowano wyraźną dominację *Candidatus* Solibacter, natomiast do rodzajów licznych przyporządkowano: *Bacillus* spp., *Luteitalea* spp., *Clostridium* spp., i *Paenibacillus* spp. W skład mikrobioty dominującej wariantu K ZM zaliczono *Luteitalea* spp., natomiast *Bacillus* spp., *Candidatus* Solibacter, *Gemmatirosa* spp. i *Paenibacillus* spp. stanowiły taksony liczne (wyk. 10).

Zróżnicowanie wyników w obrębie próbek pozyskanych z gleby spod uprawy pszenicy było mniejsze w odniesieniu rzepaku i zaobserwowano dominację *Candidatus* Solibacter i współdominację *Bacillus* spp. w każdym wariancie. Do pozostałych taksonów o wysokiej liczebności zaliczono rodzaje: *Candidatus* Koribacter i *Luteitalea* obecne w kontroli (K), *Luteitalea, Massillia, Aquisphaera* i *Singulisphaera* w NPK, *Paenibacillus, Luteitalea* i *Massillia* w OB, *Luteitalea* i *Paenibacillus* w K OS+SL, *Paenibacillus, Singulisphaera, Luteitalea* i *Candidatus* Koribacter w O GR, *Luteitalea, Paenibacillus, Gemmatirosa, Bradyrhizobium, Massillia* i *Candidatus* Koribacter w K. OS, *Bradyrhizobium, Gemmatirosa, Luteitalea* i *Candidatus* Koribacter w K DANO oraz *Luteitalea* i *Bradyrhizobium* w wariancie nawozowym K ZM (wyk. 11).

W uprawie ziemniaka niemal wszystkie warianty charakteryzowały się dominacją *Candidatus* Solibacter i współdominacją *Candidatus* Koribacter, *Bacillus* spp., *Luteitalea* spp., *Gemmatirosa* spp. i *Bradyrhizobium* spp.. Wyjątkiem był wariant K OS+SL, który oprócz dominacji *Candidatus* Solibacter charakteryzował się wysokim udziałem rodzajów: *Gemmatimonas* spp., *Aquisphaera* spp., *Singulisphaera* spp., *Bacillus* spp., *Gemmatirosa* spp. i *Paludibaculum* spp.. Zaobserwowano, że po zastosowaniu O GR, K DANO i K ZM *Candidatus* Solibacter dominował znacznie bardziej niż w pozostałych wariantach nawożenia (wyk. 12).

7. DYSKUSJA

Nawożenie jest głównym zabiegiem agrotechnicznym kształtującym żyzność gleb oraz wielkość i jakość uzyskiwanych plonów. Wieloletnie stosowanie określonego systemu nawozowego może znacząco i trwale zmieniać środowisko glebowe (Wierzbowska i in. 2020, Wierzbowska i in. 2021). Wyłączne stosowanie nawozów mineralnych powoduje zmniejszanie zawartości węgla organicznego i azotu oraz sprzyja zakwaszeniu gleb. Systemy oparte jedynie o nawozy naturalne lub organiczne nie zapewniają odpowiedniej równowagi składników pokarmowych niezbędnych do właściwego rozwoju roślin (Rutkowska i in. 2002, Jakubus 2006). Nawożenie jest czynnikiem wpływającym na zdrowotność roślin oraz kształtującym społeczności glebowych mikroorganizmów (Marschner i in. 2003, Huber i Thompson 2007). Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano niejednoznaczny wpływ stosowanych nawozów zarówno na analizowane jednostki chorobowe dotyczące roślin uprawianych w doświadczeniu, jak i na społeczności mikroorganizmów glebowych. W dostępnej literaturze istnieje niewiele doniesień naukowych na temat wpływu tak zróżnicowanych pod względem substratu i składu chemicznego nawozów na stan fitosanitarny roślin oraz mikrobiom glebowy z nimi związany.

Podczas oceny zdrowotności rzepaku ozimego obserwowano głównie objawy werticiliozy, która wystąpiła we wszystkich wariantach nawozowych doświadczenia. Niewielkie zróżnicowanie i nasilenie chorób było skutkiem przede wszystkim specyficznego przebiegu warunków atmosferycznych przez cały okres wegetacji rzepaku. Wprawdzie okres wegetacji jesiennej sprzyjał rozwojowi fitopatogenów, a zwłaszcza sprawców suchej zgnilizny kapustnych, jednak warunki w trakcie zimowania znacząco zmniejszyły obsadę roślin i prawdopodobnie z tej to przyczyny nie odnotowano okazów z objawami porażenia przez grzyby rodzaju *Leptosphaeria*. Stosunkowo niewielkie opady w kwietniu i maju wraz z wyjątkowo wysokimi temperaturami ograniczały prawidłowy rozwój roślin oraz patogenów porażających rzepak w okresie kwitnienia. Na poletkach doświadczalnych wykonano zabieg fungicydowy w fazie BBCH 65 preparatem, który według badań terenowych Spitzera i in. (2017) realizowanych w latach 2013-2016 był drugim pod względem ograniczania zgnilizny twardzikowej spośród pięciu analizowanych produktów obecnych również wówczas w Polsce.

Werticilioza jest chorobą odglebową, której znaczenie stale wzrasta. Dominuje ona w kompleksie chorób rzepaku, zwłaszcza w lata suche (Siebold i von Tiedemann 2013, Kowalska 2021). Najzdrowsze rośliny obserwowano w wariancie kontrolnym (K), nawożonym

obornikiem (OB), a także kompostem DANO. Cocozza i in. (2021) wykazali korzystniejsze oddziaływanie obornika w ograniczaniu *Verticillium dahliae* na plantacjach ziemniaka w porównaniu do kompostu z odpadów komunalnych i odpadów ogrodowych, a także wytłoków z oliwek oraz podłoża po produkcji pieczarek. W niniejszych badaniach wariant z zastosowaniem obornika (OB) okazał się drugim pod względem zdrowotności roślin rzepaku w odniesieniu do porażenia przez grzyby rodzaju *Verticillium*. Najprawdopodobniej jednym z głównych czynników wpływających na występowanie werticiliozy jest zawartość azotu w glebie. Według Wierzbowskiej i in. (2021) wieloletnie stosowanie kompostu z osadu ściekowego, osadu ściekowego suszonego i granulowanego oraz nawozów mineralnych powodowało największą akumulację azotu mineralnego w warstwie ornej gleby. Największe porażenie rzepaku przez grzyby rodzaju *Verticillium* wystąpiło w wariantach z zastosowaniem osadu granulowanego (O GR), NPK oraz kompostu z osadu ściekowego (K OS). Tendencje związane z większym nasileniem werticiliozy wraz ze zwiększaniem dawki azotu wykazali Söchting i Verreet (2004), co znajduje również odzwierciedlenie w niniejszych badaniach.

Liczebność i skład gatunkowy grzybów determinowane są głównie przez właściwości fizyczne i chemiczne gleb, które ulegają zmianom szczególnie poprzez wieloletnie stosowanie określonego systemu nawożenia (Natywa i in. 2014). Dominującym rodzajem spośród grzybów wyizolowanych z gleby międzyrzędzi rzepaku był *Penicillium* spp., stanowiąc 97,4% analizowanej populacji. Grzyby rodzaju *Penicillium* są jednym z najpospolitszych taksonów izolowanych z gleby i ryzosfery roślin. Istnieje wiele gatunków wykazujących zdolności promowania rozwoju roślin poprzez solubilizację fosforu, produkcję siederoforów oraz fitohormonów (Altaf i in. 2018). Najliczniej zasiedlane przez wymieniony takson były gleby nawożone kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM), osadem granulowanym (O GR) oraz gleba pochodząca z poletek kontrolnych (K). Brak jego obecności stwierdzono jedynie w najsłabiej zasiedlanej glebie wariantu NPK. Grzyby rodzaju *Penicillium* wykazują dużą tolerancję na ekstremalne warunki środowiska zawiązane z temperaturą, wilgotnością, zasoleniem oraz pH (Yadav i in. 2018). W glebach pobieranych spod kolejnych roślin następstwa, poddawanych odmiennym warunkom klimatycznym udział rodzaju *Penicillium* był zdecydowanie mniejszy i w społeczności izolowanej z gleby międzyrzędzi pszenicy stanowił udział 1%, zaś z ziemniaka 11,5%. Tak znaczna dominacja rodzaju *Penicillium* w glebie spod uprawy rzepaku ozimego była prawdopodobnie skutkiem potęgowanej wysokimi temperaturami suszy, która w 2018 roku rozpoczęła się już w kwietniu.

Warianty z zastosowaniem kompostów oraz zmodyfikowanych osadów ściekowych charakteryzowały się większą liczbą izolatów grzybów w odniesieniu do K, NPK oraz OB. W ryzosferze i ryzoplanie rzepaku dominowały gatunki: *Paecilomyces variotii*, *Humicola fuscoatra* oraz *Apiospora montagnei*. Pierwszy z nich najliczniej występował w wariancie O GR. Stosunkowo licznie zasiedlał także ryzosferę i ryzoplanę kontroli (K). Gatunek *P. variotii* jest szeroko rozpowszechnionym w przyrodzie saprotrofem. Zasiedla m.in. glebę, komposty i osady ściekowe, może wykazywać antagonizm wobec patogenów *Alternaria alternata*, *Fusarium* spp. oraz *Rhizoctonia solani* (Moreno-Gavíra i in. 2021). Grzyby rodzajów *Humicola* i *Apiospora* występują w glebie, na rozkładających się resztkach roślin oraz mogą zasiedlać komposty (Wang i in. 2019, Pintos i Alvarado 2021).

Najwięcej grzybów wyizolowanych z systemów korzeniowych rzepaku należało do rodzaju *Mortierella*. Rodzaj ten obejmuje powszechnie występujące w glebach rolniczych i leśnych saprotrofy, a także endofity wykazujące zdolności promowania wzrostu roślin poprzez zwiększanie biodostępności fosforu, potasu i żelaza, produkcji fitohormonów oraz enzymów litycznych (Ozimek i Hanaka 2020). Łącznie najwięcej grzybów, w tym również najwięcej *Mortierella* spp. wyizolowano z systemów korzeniowych pobranych na poletkach nawożonych wyłącznie NPK. Oprócz grzybów wymienionego rodzaju, w wariancie NPK cztery izolaty oznaczono jako *Rhizoctonia* sp. Patogen występował także w wariantach K OS, K DANO i K ZM. Na korzeniach rzepaku nawożonych kompostem z osadu ściekowego (K OS) oraz kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM) liczba izolatów patogena była większa w odniesieniu do NPK, natomiast liczba grzybów rodzaju *Mortierella* była ponad dwukrotnie mniejsza. W glebie, ryzosferze i ryzoplanie rzepaku występowały również gatunki rodzaju *Trichoderma* znane ze swoich potencjalnych właściwości antagonistycznych względem patogenów (Vianle i in. 2008). Najwięcej izolatów *Trichoderma* spp. pochodziło z wariantu K OS. Berg i in. (2005) wykazali potencjał ograniczania *V. dahlie* przez grzyby rodzaju *Penicillium*, *Trichoderma* oraz *Paecillomyces*, jednak liczebność izolatów nie znajdowała odniesienia w porażeniu roślin rzepaku uprawianych w poszczególnych wariantach doświadczenia.

Podczas oceny zdrowotności liścia flagowego pszenicy ozimej obserwowano prawie wyłącznie objawy septoriozy paskowanej liści pszenicy. Opady w maju i czerwcu 2019 roku były znacznie większe w stosunku do wielolecia i mimo dwóch zabiegów fungicydowych w fazach BBCH 39 i BBCH 65 udział porażonych liści przez *Mycosphaerella graminicola* mieścił się w przedziale 36-64%. Najmniejsze porażenie obserwowano w wariantach K DANO, NPK oraz OB, natomiast największy średni stopień porażenia przez sprawcę

septoriozy odnotowano w wariantach K OS, na poletkach nawożonych kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM) oraz w kontroli (K). Castro i in. (2018) w badaniach dotyczących wpływu fungicydów i dawek azotu na porażenie pszenicy przez sprawcę septoriozy paskowanej liści pszenicy wyjaśniają, że nasilenie choroby w mokrym sezonie jest mniejsze na poletkach nawożonych większymi dawkami nawozów azotowych, natomiast w roku suchym w łanie nawożonym intensywniej występuje mikroklimat sprzyjający infekcjom. Gleby wariantów K ZM oraz K były poddawane mniejszemu dopływowi materii organicznej oraz pierwiastków odżywczych co odzwierciedlało się w gorszym stanie fizjologicznym roślin, który prawdopodobnie wpływał na porażenie ich przez *Mycosphaerella graminicola*. Nasilenie septoriozy plew pszenicy było odwrotne niż septoriozy paskowanej liści pszenicy, ponieważ najmniej porażonych kłosów obserwowano w wariantach K, K OS+SL, K ZM, natomiast najwięcej objawów odnotowano na poletkach wariantów O GR, OB i K DANO. Rośliny obserwowane w wariantach K i K ZM zdecydowanie najszybciej osiągnęły dojrzałość fizjologiczną, co mogło przyczynić się do mniejszego porażenia kłosów przez hemibiotrofa *Phaeosphaeria nodorum*.

W trakcie oceny zdrowotności podstawy źdźbła najczęściej obserwowano objawy fuzaryjnej zgorzeli podstawy źdźbła i korzeni (*Fusarium* spp.). Najzdrowsze rośliny obserwowano podobnie jak w ocenie septoriozy plew, w wariantach K ZM, K OS+SL oraz w kontroli (K). Pląskowska i in. (2008) wykazali, że zwiększenie dawki azotu ze 120 kg do 180 kg spowodowało wzrost nasilenia fuzaryjnej zgorzeli podstawy źdźbła i korzeni. W niniejszych badaniach największy średni stopień porażenia odnotowano w wariantach z zastosowaniem NPK oraz osadu granulowanego (O GR), których gleby były jednymi z najbardziej zasobnych w azot spośród wszystkich wariantów doświadczenia. Należy nadmienić, ze w wymienionych obiektach również notowano największe nasilenie werticiliozy. Łamliwość źdźbła zbóż i traw jest chorobą, o której nasileniu decydują przede wszystkim warunki atmosferyczne. Duże porażenie przez sprawców obserwuje się w sezonach, w których jesienna wegetacja trwa długo, a okres ujemnych temperatur pojawia się stosunkowo późno i jest krótkotrwały (Kurowski 2002). Sezon wegetacyjny 2018/2019 sprzyjał jesiennym i wczesnowiosennym infekcjom sprawców łamliwości, jednak zabieg fungicydowy oraz susza od początku kwietnia ograniczyły dalsze postępy choroby. Udział źdźbeł porażonych przez grzyby *Oculimacula* spp. mieścił się w przedziale 2-21%. Najmniejsze nasilenie objawów łamliwości źdźbła zbóż i traw dotyczyło wariantów NPK, kontroli (K) oraz poletek nawożonych obornikiem (OB). Natomiast największy średni stopień porażenia odnotowano w wariantach K OS+SL, O GR i K OS. Małecka i in. (2010)

w badaniach dotyczących wpływu przedplonu i nawożenia mineralnym NPK oraz obornikiem na zdrowotność pszenżyta ozimego, realizowanych również w wieloletnim doświadczeniu statycznym wykazali najmniejsze nasilenie fuzaryjnej zgorzeli podstawy źdźbła i korzeni oraz łamliwości podstawy źdźbła zbóż i traw po zastosowaniu obornika. Silniejsze porażenie autorzy obserwowali w obiekcie kontrolnym bez stosowania nawożenia, natomiast największe nasilenie choroby dotyczyło stosowania wyłącznie nawozów mineralnych. W badaniach własnych silniejsze porażenie roślin przez sprawców fuzaryjnej zgorzeli podstawy źdźbła odnotowano również po stosowaniu wyłącznie nawozów mineralnych, natomiast porażenie roślin uprawianych w wariancie kontrolnym było mniejsze niż po zastosowaniu obornika. Również wyniki odnośnie nasilenia łamliwości źdźbła zbóż i traw różniły się od wyników niniejszych badań, ponieważ najsilniejsze porażenie przez sprawców odnotowano po stosowaniu obornika, zaś najmniejsze w wariancie nawożonym wyłącznie mineralnym NPK.

Społeczność grzybów glebowych spod uprawy pszenicy zdominowały gatunki *Humicola fuscoatra, Dichotomopilus erectus* oraz *Microascus brevicaulis*. Workowce rodzaju *Dichotomopilus* to endofity oraz saprotrofy. Zasiedlają rośliny zdrowe oraz izolowane są z resztek roślinnych w trakcie rozkładu (Hurst 2019). Gatunek *M. brevicaulis* jest powszechnym saprotrofem glebowym (Kordalewska i Brillowska-Dąbrowska 2015). W glebie nawożonej kompostem z osadu ściekowego (K OS), która była najliczniej zasiedlana przez grzyby dominował gatunek *H. fuscoatra*. Metzger i in. (1987) wykazali korzystne oddziaływanie osadu ściekowego na strukturę gleby oraz liczebność grzybów. Potwierdzają to również Douaer i in. (2021). W ryzosferze i ryzoplanie pszenicy oraz rzepaku również stosunkowo najwięcej grzybów izolowano po zastosowaniu nawozów na bazie osadów ściekowych.

W społeczności ryzosfery i ryzoplany pszenicy szczególnie licznie izolowano *Paecilomyces variotii* i *Clonostachys rosea*. W ryzosferze odnotowano dodatkowo dużo izolatów oznaczonych jako *Mucor piriformis*, natomiast w ryzoplanie licznie występował *Ascochyta medicaginicola*. Gatunek *C. rosea* dawniej zwany *Gliocladium roseum* jest powszechnie izolowany z gleby oraz różnych organów roślin jako endofit, który zasiedlając tkanki roślin ogranicza szkodliwość owadów o aparacie gębowym kłująco-ssącym oraz licznych patogenów, takich jak: *Botrytis cinerea, Bipolaris sorokiniana, Drechslera teres, Helmintosporium solani, Rhizoctonia solani* oraz kilku gatunków rodzaju *Fusarium* (Sun i in. 2020). Rodzaj *Mucor* powszechnie występuje w glebie oraz na szczątkach organicznych jako saprotrof (Walther i in. 2020). Gatunki *A. medicaginicola, Juxtiphoma eupyrena* oraz *Xenodidymella humicola* obejmował niegdyś rodzaj *Phoma*. Grzyby tego rodzaju rozwijają się

jako sapatrotrofy oraz są izolowane jako sprawcy zgorzeli siewek, zgnilizn korzeni i podstaw pędów, a także plamistości liści (Deb i in. 2020). W ryzosferze pszenicy stosowanie kompostów oraz zmodyfikowanych osadów ściekowych wpłynęło na większe zasiedlenie przez grzyby. W ryzoplanie efekt nawożenia był podobny, jednak wariant NPK był również licznie zasiedlony, mimo, że zdominowany przez potencjalnego patogena *Ascochyta medicaginicola.*

Z systemów korzeniowych pszenicy izolowano liczne gatunki o potencjale patogenicznym względem roślin. Najsilniejsze zasiedlenie systemu korzeniowego przez grzyby, w tym prawie całkowicie przez patogena *F. graminearum* odnotowano po zastosowaniu osadu granulowanego (O GR). Drugim licznie zasiedlanym przez grzyby rodzaju *Fusarium* oraz *B. sorokiniana* był wariant NPK, zaś trzecim K OS+SL. Najmniej grzybów, chociaż patogenów, odnotowano po zastosowaniu kompostu z odpadów zieleni miejskiej (K ZM). Liczba grzybów rodzaju *Fusarium* izolowanych z systemów korzeniowych pszenicy znajduje odniesienie w wynikach niniejszej pracy dotyczących nasilenia fuzaryjnej zgorzeli podstawy źdźbła i korzeni.

W ocenie zdrowotności naci ziemniaka najmniejsze nasilenie objawów zarazy wystąpiło na roślinach nawożonych osadem granulowanym (O GR), kompostem z osadu ściekowego (K OS) oraz NPK. Większe dawki azotu powodują umiarkowany wzrost nasilenia zarazy ziemniaka, natomiast fosfor i potas mogą wykazywać działanie hamujące rozwój zarazy na plantacjach ziemniaka (Lambert i in. 2008). Ros i in. (2008) potwierdzają powszechne twierdzenie o zwiększaniu nasilenia zarazy wraz ze wzrostem dawek azotu, jednak autorzy wykazali także wzrost ekspresji genów zaangażowanych w reakcje obronne roślin w odpowiedzi na kontakt z patogenami. Wierzbowska i in. (2020) wykazali, że gleby po zastosowaniu nawożenia osadem granulowanym (O GR) oraz kompostem z osadu ściekowego (K OS) były dwiema z trzech najbardziej zasobnych w fosfor gleb badanych w doświadczeniu. Największe porażenie obserwowano po nawożeniu kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM), w kontroli (K) oraz po nawożeniu kompostem DANO. W doświadczeniu uzyskano najlepszą zdrowotność naci w wariantach podawanych większym dawkom azotu i fosforu (O GR i K OS). W obiektach tych rozwój naci był wyjątkowo intensywny, a rośliny sprawnie odtwarzały aktywny aparat asymilacyjny.

W społeczności grzybów izolowanych z gleby spod uprawy ziemniaka dominowały taksony: *Gymnoascus reessii*, *Dichotomopilus erectus* i *Penicillium* sp.. Najliczniej zasiedlane przez grzyby były gleby nawożone odpowiednio: osadem granulowanym (O GR), kompostem z osadu ściekowego (K OS) oraz NPK. W ryzosferze i ryzoplanie ziemniaka dominowały gatunki *Acremonium murorum*, *Sarocladium strictum* i rodzaj *Penicillium*. Najwięcej grzybów

odnotowano w wariantach nawożonych NPK oraz kompostem z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL). *Acremonium murorum* oraz *Sarocladium strictum* dawniej określany jako *Acremonium strictum* to powszechnie występujące w glebach saprotrofy (Giraldo i in. 2012). Potencjalnych antagonistów rodzaju *Trichoderma* izolowano w wariantach z zastosowaniem obornika (OB) oraz kompostu z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL). Z korzeni ziemniaka najliczniej izolowano grzyby *Mucor hiemalis, Alternaria alternata* i *Umbelopsis isabellina*. Stosunkowo najwięcej grzybów potencjalnie fitopatogenicznych izolowano z systemów korzeniowych ziemniaka nawożonego kompostem z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL).

Liczebność glebowych bakterii rodzaju *Azotobacter* oraz innych diazotrofów zależy przede wszystkim od właściwości fizykochemicznych gleb związanych z zawartością materii organicznej, azotu, fosforu, stosunku C:N oraz odczynu (Chen i in. 2021). Gleba międzyrzędzi oraz ryzosfery rzepaku ozimego była najliczniej zasiedlana przez bakterie rodzaju *Azotobacter* po zastosowaniu osadu granulowanego (O GR). Wariant ten charakteryzował się istotnie większą liczebnością omawianych bakterii w odniesieniu do nawożenia wyłącznie mineralnym NPK. Kurowski i in. (2016) wykazali istotny wzrost liczebności bakterii *Azotobacter* z gleby pod trawnikiem po aplikacji dawek 60 i 150 t ha osadu ściekowego w stosunku do nie nawożonej kontroli. Wzrost liczebności bakterii *Azotobacter* po zastosowaniu osadów ściekowych w uprawie pomidora potwierdzają także Douaer i in. (2021). W kolejnym roku doświadczenia, w uprawie pszenicy gleba i ryzosfera zasiedlane były licznie po stosowaniu obornika (OB), a także kompostu DANO. Na podstawie analizy statystycznej dotyczącej bakterii zasiedlających glebę istotnie mniej kolonii niż w wariancie NPK izolowano po zastosowaniu osadu granulowanego (O GR), po którym również wyizolowano najmniej bakterii z ryzosfery. Istotnie najwięcej ryzosferowych bakterii *Azotobacter* w porównaniu do NPK izolowano po zastosowaniu obornika (OB) oraz kompostu DANO. Mujiyati i Supriyadi (2009) w uprawie papryki wykazali korzystniejsze oddziaływanie obornika na liczebność bakterii *Azotobacter* w porównaniu do nienawożonej kontroli, co zaobserwowano również w niniejszych badaniach odnośnie pszenicy, jednak różnica okazała się nieistotna. Z gleby ziemniaka istotne więcej bakterii *Azotobacter* w odniesieniu do NPK izolowano w wariantach z zastosowaniem zmodyfikowanych osadów ściekowych oraz kompostu z odpadów zieleni miejskiej K ZM, w ryzosferze natomiast osad granulowany (O GR) spowodował istotne zmniejszenie liczby bakterii *Azotobacter*. W badaniach dotyczących gleby spod uprawy rzepaku oraz ziemniaka zmodyfikowane osady ściekowe wykazywały korzystne oddziaływanie na liczebność bakterii *Azotobacter*. Pod uprawę tych roślin aplikowano nawozy stanowiące

czynnik doświadczenia. Pod pszenicę nie stosowano nawozów organicznych ani obornika co najprawdopodobniej wpłynęło na różnice w liczbie izolowanych bakterii.

Bakterie rodzaju *Bacillus* wykazują potencjał ograniczania wielu fitopatogenów. Ich mechanizm fungistatycznego działania polega na produkcji peptydów antymikrobiologicznych (Mora i in. 2011). Z gleby międzyrzędzi rzepaku najliczniej izolowano bakterie *Bacillus* spp. po zastosowaniu osadu granulowanego (O GR) oraz dwóch pozostałych zmodyfikowanych osadów ściekowych. Wszystkie wymienione warianty były istotnie liczniej zasiedlane w porównaniu do konwencjonalnego nawożenia wyłącznie NPK. Również w ryzosferze istotnie więcej bakterii uzyskano po nawożeniu osadem granulowanym (O GR). W badaniach dotyczących pszenicy bakterie *Bacillus* sp. najliczniej zasiedlały gleby nawożone kompostem DANO, kompostem z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL) oraz kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM). Z ryzosfery najwięcej bakterii izolowano po nawożeniu obornikiem (OB), kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM) oraz kompostem z osadu ściekowego (K OS). Jednak w obu analizach żaden wariant nie różnił się istotnie wobec nawożenia NPK. W uprawie ziemniaka najwięcej bakterii rodzaju *Bacillus* wyizolowano z gleb nawożonych kompostem DANO, obornikiem (OB) oraz z jednakową liczbę kolonii po zastosowaniu kompostu z osadu ściekowego (K OS), a także osadu granulowanego (O GR). Najliczniejsze zasiedlenie gleby ryzosferowej ziemniaka obserwowano po stosowaniu zarówno kompostu z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL) oraz kompostu z odpadów zieleni miejskiej (K ZM). Również stosunkowo liczne zasiedlenie dotyczyło wariantu kontrolnego (K) i po zastosowaniu obornika (OB). Jak wykazali Zhao i in. (2014) aplikacja *Bacillus subtilis* w ochronie pszenicy przeciwko fuzariozie kłosów przyniosła istotne obniżenie indeksu porażenia roślin w stosunku do niechronionej kontroli oraz fungicydu zawierającego karbendazym. Li i in. (2019) w wieloletnim doświadczeniu związanym z nawożeniem papryki wykazali korzystniejsze oddziaływanie *Bacillus* spp. *in vitro* przeciw *Phytophthora capsici* izolowanych z podłoża nawożonego obornikiem wobec gleby nawożonej wyłącznie nawozami mineralnymi.

Bakterie rodzaju *Pseudomonas* zasiedlające glebę oraz ryzosferę roślin, wykazują wiele korzystnych mechanizmów promowania rozwoju roślin (Berendsen i in. 2012). W uprawie rzepaku bakterie rodzaju *Pseudomonas* najliczniej zasiedlały gleby nawożone obornikiem (OB), kompostem DANO oraz kompostem z zieleni miejskiej (K ZM). Z ryzosfery natomiast najwięcej bakterii wyizolowano po zastosowaniu kompostu z odpadów zieleni miejskiej (K ZM), osadu granulowanego (O GR) i kompostu z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL). Gleba spod uprawy pszenicy i ziemniaka była szczególnie licznie zasiedlana przez *Pseudomonas* sp. po stosowaniu osadu granulowanego (O GR) oraz NPK. Również

w ryzosferze pszenicy wymienione warianty należały do najlepiej zasiedlanych. W ryzosferze pszenicy najmniej bakterii izolowano po zastosowaniu kompostu z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL), natomiast w ziemniaku wariant ten był najliczniej zasiedlany przez bakterie rodzaju *Pseudomonas*. Kurowski i in. (2016) wykazali korzystne oddziaływanie nawożenia osadem ściekowym na liczebność bakterii *Pseudomonas* wobec nienawożonej kontroli. Stosowanie osadu granulowanego (O GR) w uprawie pszenicy i ziemniaka wpłynęło najkorzystniej na zasiedlenie gleby międzyrzędzi, w uprawie rzepaku nawóz ten wykazał również najlepsze oddziaływanie na liczbę bakterii *Pseudomonas* w ryzosferze. Windisch i in. (2021) w uprawie sałaty wykazali większą liczebność bakterii *Pseudomonas* w glebie nawożonej wyłącznie nawozami mineralnymi wobec obornika bydlęcego. W niniejszych badaniach dotyczących pszenicy również dowiedziono, że nawożenie NPK wpływa lepiej na kolonizację gleby przez bakterie *Pseudomonas* niż zastosowanie obornika.

Promieniowce to bakterie typowe dla środowiska glebowego, które biorą udział w mineralizacji martwej materii organicznej udostępniając pierwiastki odżywcze roślinom oraz przyczyniają się do powstawania próchnicy. Wiele gatunków wykazuje zdolność produkcji antybiotyków mogących ograniczać występowanie patogenów roślin (Zaitlin i in. 2004). Promieniowce w uprawie rzepaku najliczniej zasiedlały gleby nawożone kompostem z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL), mineralnym NPK oraz glebę wariantu kontrolnego (K). Z kolei ryzosfera roślin nawożonych kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM) oraz wszystkimi nawozami na bazie osadów ściekowych była najbardziej zasobna w promieniowce. W uprawie pszenicy najwięcej promieniowców izolowano z gleb nawożonych mineralnym NPK, kompostem DANO oraz z kontroli (K). Istotnie mniejsze występowanie tych bakterii w stosunku do nawożenia NPK odnotowano w wariancie z zastosowaniem osadu granulowanego (O GR) oraz kompostu z odpadów zieleni miejskiej (K ZM). Z ryzosfery istotnie więcej promieniowców wobec NPK izolowano po zastosowaniu kompostu DANO. Kolejnymi stosunkowo licznie zasiedlanymi wariantami były te, w których stosowano kompost z zieleni miejskiej (K ZM) oraz obornik (OB). W uprawie ziemniaka promieniowce najliczniej zasiedlały gleby nawożone kompostem DANO, osadem granulowanym (O GR), obornikiem (OB) i kompostem z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL). Wymienione warianty były istotnie liczniej zasiedlane wobec nawożenia wyłącznie NPK. Z ryzosfery ziemniaka najwięcej promieniowców wyizolowano w wariantach z zastosowaniem osadu granulowanego (O GR), kompostu z odpadów zieleni miejskiej (K ZM) oraz NPK, wobec którego istotnie mniej zasiedlane były warianty nawożone kompostem z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL) oraz kompostem DANO. Zhang i in. (2012) na podstawie badań dotyczących oddziaływania

nawozów naturalnych na społeczności mikroorganizmów glebowych wskazują, że promieniowce jako typowe mikroorganizmy glebowe nie wykazują istotnej podatności na system nawożenia. Na podstawie wyników niniejszych badań zaobserwowano, że nawożenia obornikiem (OB.) lub nawozami mineralnymi (NPK) nie wpływało istotnie na liczebność promieniowców. Przemieniecki i in. (2021) wykazali liczne występowanie promieniowców w badanych glebach, jednak dodatek wermikompostu z organicznych odpadów gospodarstwa domowego istotnie zwiększył ich liczebność wobec nienawożonej kontroli.

Bakterie wykazujące zdolność rozpuszczania fosforanów to grupa mikroorganizmów zawierająca wiele taksonów. Ich główną cechą jest produkcja kwasów organicznych oraz enzymów odpowiedzialnych za udostępnianie roślinom fosforu występującego dotychczas w nieprzyswajalnych dla nich formach. Bakterie te mogą wykazywać również zdolność do ograniczania sprawców chorób. Promowanie wzrostu roślin wraz ze zdolnościami antagonistycznymi wobec patogenów wpływa na zwiększenie zarówno zdrowotności, jak i plonu roślin (Przemieniecki i in. 2019). W glebie spod uprawy rzepaku istotnie więcej bakterii rozpuszczających fosforany w stosunku do NPK izolowano po zastosowaniu nawożenia obornikiem (OB). Kolejne pod względem ich liczby były gleby nawożone kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM) oraz kompostem z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL). Najliczniej zasiedlane przez bakterie PSB były ryzosfery rzepaku, pod którego uprawę stosowano kompost z odpadów zieleni miejskiej (K ZM), osad granulowany i NPK, wobec którego istotnie mniej kolonii odnotowano w kontroli (K) oraz z zastosowaniem kompostu z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL). W uprawie pszenicy bakterie rozpuszczające fosforany najliczniej zasiedlały gleby nawożone kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM), kompostem DANO oraz glebę wariantu kontrolnego (K). Wobec NPK istotnie mniej bakterii odnotowano po nawożeniu obornikiem (OB). W ryzosferze pszenicy bakterie najliczniej zasiedlały warianty z zastosowaniem kompostu DANO, kompostu z osadu ściekowego oraz NPK, wobec którego istotnie mniej zasiedlane były: wariant kontrolny oraz z zastosowaniem kompostu z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL). Gleba spod uprawy ziemniaka była najliczniej zasiedlana przez bakterie rozpuszczające fosforany po nawożeniu kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM), bez stosowania nawozów (K) oraz po nawożeniu osadem granulowanym (O GR). W odniesieniu do NPK istotnie mniejsze zasiedlenie gleby przez bakterie rozpuszczające fosforany wystąpiło w wariancie K OS. Zheng i in. (2017) wykazali, że liczebność bakterii PSB zmniejsza się wraz ze spadkiem pH oraz wzrostem zawartości azotu w glebie. W niniejszych badaniach obserwowano podobną tendencję szczególnie w odniesieniu do gleby z międzyrzędzi.

W rzepaku odnotowano niewielkie oddziałanie bakterii o potencjalnie antagonistycznym względem sprawców chorób. Jedynie w wariancie O GR wykazano, że wysoka liczebność bakterii ryzosferowych była skorelowana z występowaniem werticiliozy i czerni krzyżowych. Pomimo powyższych zależności nasilenie czerni krzyżowych było bardzo niskie, natomiast w przypadku werticiliozy duża liczebność ryzosferowych bakterii dobroczynnych nie wpłynęła na ograniczenie porażenia rzepaku przez grzyby rodzaju *Verticillium*. Wykazano brak powiązania wariantów DANO i kontroli zarówno z bakteriami jak i nasileniem chorób, co wskazuje na występowanie innego czynnika ograniczającego występowanie patogenów.

Zaobserwowano, że w badaniach dotyczących pszenicy bakterie potencjalnie antagonistyczne nie ograniczają występowania fuzaryjnej zgorzeli podstawy źdźbła i korzeni oraz septoriozy plew pszenicy, a pozostałe grupy bakterii nie mają żadnego wpływu na nasilenie tych chorób. Z drugiej strony *Azotobacter* spp., promieniowce i glebowe *Bacillus* spp. były częściowo skorelowane z występowaniem fuzariozy kłosów i ostrej plamistości oczkowej. Ciekawą obserwacją jest wyraźna ujemna korelacja pomiędzy fuzaryjną zgorzelą podstawy źdźbła i korzeni, septoriozą plew pszenicy i antagonistycznymi bakteriami ryzosferowymi, a brunantną plamistością liści zbóż oraz glebowymi *Pseudomonas* spp., a fuzariozą kłosów i ostra plamistością. Należy zwrócić uwagę, że objawy brunatnej plamistości liści zbóż zaobserwowano tylko na jednej roślinie. Na podstawie wyżej opisanych zależności wykazano, że grupy tych bakterii pełnią drugorzędną rolę, a inne czynniki są ważniejszymi predykatorami nasilenia chorób pszenicy, o czym świadczy wartość F1 i F2 wynosząca zaledwie 55%.

Na podstawie wyników przedstawionych dla ziemniaka zaobserwowano że, potencjalnie antagonistyczne *Bacillus* spp. są skorelowane z występowaniem zarazy ziemniaka. Zmniejszenie nasilenia choroby wykazano jedynie w wariancie O GR, w którym wysoka liczebność promieniowców ryzosferowych była ujemnie skorelowana z nasileniem choroby. Pozostałe grupy bakterii nie miały wpływu na nasilenie objawów zarazy ziemniaka. Jak wskazuje obszerna praca przeglądowa El-Tarabily i Sivasithamparam (2006) promieniowce, oprócz wytwarzania antybiotyków, posiadają kilka cech mogących sprawnie ograniczać sprawców chorób lub niwelować objawy chorób. Promieniowce glebowe sprawnie przeciwdziałają infekcjom strefy korzeniowej. Cześć z promieniowców może być endofitami, które aktywnie chronią roślinę nawet przed zakażeniem roślin drogą powietrzną. Kolejnym udowodnionym mechanizmem jest stymulacja układu odpornościowego roślin, a także promowanie wzrostu roślin, co skutkuje regeneracją tkanek i polepszeniem kondycji zainfekowanej rośliny.

Analizując wyniki struktury społeczności bakterii glebowych zaobserwowano niewielkie oddziaływanie użytych w doświadczeniu nawozów na strukturę taksonomiczną. Zaobserwowano kilka wyjątków, ale są one specyficzne dla rośliny. W glebie spod rzepaku, w wariancie nawożonym obornikiem (OB) zaobserwowano wyraźną dominację *Rhodoplanes*. Kolejna istotna zmiana nastąpiła pod wpływem aplikacji osadu ściekowego granulowanego (O GR), po której zwykle dominujące taksony *Candidatus* Solibacter i *Luteitalea* spp. zostały zastąpione rodzajami *Oscillatoria* i *Massillia*. W badaniach dotyczących pszenicy dodatek któregokolwiek nawozu oprócz kompostu DANO wpłynął na zmniejszenie dominacji *Candidatus* Solibacter. Pomimo powyższego faktu zaobserwowano wzrost liczebności potencjalnie dobroczynnego rodzaju *Bradyrhizobium* po zastosowaniu tego nawozu. Nawożenie gleby w uprawie ziemniaka oddziaływało odmiennie niż w poprzednich roślinach. Najniższa dominacja *Candidatus* Solibacter występowała w kontroli (K). Zmiany taksonomiczne w dominacji nastąpiły w wariancie z zastosowaniem kompostu z osadu ściekowego (K OS), po którym pojawiły się dwa taksony niespotykane w innych wariantach.

Candidatus Solibacter jest bakterią o bardzo dużym potencjale przystosowawczym do środowiska, jej obecność związana jest ze stanowiskami narażonymi na okresowe zalewanie. Bakteria ta w niekorzystnych warunkach środowiskowych np. w okresie suszy lub niedoboru substratów odżywczych czerpie węgiel z wydzielin lub szczątków roślinnych. Silnie oddziałuje na cykl azotu, wykazuje aktywność reduktazy azotanowej i azotynowej oraz zdolność utleniania azotu amonowego (Wu i in. 2016).

Bakterie rodzaju *Luteitalea*, podobnie jak *Candidatus* Solibacter należą do Acidobacteria i wykazują wiele podobnych cech. Posiadają szeroki aparat metaboliczny pozwalający do przetrwania w niekorzystnych warunkach otoczenia oraz możliwość utylizacji do własnego wzrostu wielu źródeł węgla (Vieira i in. 2017). Ze względu na wysoką przeżywalność i szeroki zakres metabolizmu przystosowawczego, dominacyjny charakter tych bakterii można traktować jako biomarker stanowisk charakteryzujących się niewielką żyznością, zasolonych, poddawanych suszy lub okresowej stagnacji wody.

Ważna obserwacja dotyczy współdominacji dobroczynnego dla roślin rodzaju *Bradyrhizobium*, który może wzbogacać stanowisko w azot, jednak potencjał wiązania azotu atmosferycznego jest słabszy u wolnożyjących niż symbiotycznych bakterii tego rodzaju (Jones i in. 2016, Schneijderberg i in. 2018). Nie zaobserwowano prawidłowości we wzroście udziału *Bradyrhizobium* spp. w zależności od stosowanych nawozów, ponieważ oddziaływały one odmiennie na glebę każdego z badanych gatunków.

Potencjalnie pożyteczne bakterie rodzaju *Bacillus* i *Paenibacillus* dominowały w glebie spod ziemniaka prawie w każdym wariancie nawozowym. Bakterie te wytwarzają liczne substancje fungistatyczne i wykazują dużą przeżywalność w środowisku (Mora i in. 2011). Zaobserwowano wysoki udział *Aquisphaera* spp., *Singulisphaera* spp. w glebie ziemniaka nawożonego kompostem z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL). Bakterie tych rodzajów wykazują zdolności wydajnej mineralizacji azotu z substancji organicznych, co wpływa korzystnie na rozwój roślin poddawanych mniejszej podaży nawozów azotowych (Bondoso i in. 2011, Kulichevskaya i in. 2012).

8. WNIOSKI

1. Nasilenie werticiliozy rzepaku i czerni krzyżowych oraz fuzaryjnej zgorzeli podstawy źdźbła w pszenicy ozimej było największe po zastosowaniu nawożenia osadem ściekowym granulowanym (O GR).
2. Stosowanie zmodyfikowanych osadów ściekowych (K OS+SL, O GR, K OS) wpłynęło na większe nasilenie objawów łamliwości źdźbła zbóż i traw w stosunku do pozostałych wariantów doświadczenia.
3. Brak nawożenia (K) oraz stosowanie kompostu z odpadów zieleni miejskiej (K ZM) wpłynęło na stosunkowo największe porażenie przez sprawcę septoriozy paskowanej liści pszenicy.
4. Nasilenie objawów septoriozy plew pszenicy w wariancie bez nawożenia (K) oraz nawożonym kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM) było najmniejsze, ponieważ rośliny przedwcześnie zakończyły wegetację z powodu dużego nasilenia septoriozy paskowanej liści pszenicy.
5. Stosowanie osadu ściekowego suszonego i granulowanego (O GR) oraz kompostu z osadu ściekowego (K OS) wpłynęło na najlepszą zdrowotność roślin ziemniaka.
6. Nawożenie osadem ściekowym granulowanym (O GR), kompostem z osadu ściekowego (K OS), kompostem z odpadów komunalnych DANO oraz kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM) wpłynęło na największe zasiedlenie ryzosfery rzepaku i pszenicy przez grzyby.
7. Najwięcej potencjalnych patogenów w ryzosferze i ryzoplanie rzepaku występowało po stosowaniu kompostu z odpadów zieleni miejskiej (K ZM).
8. Stosowanie osadu granulowanego (O GR) wpłynęło na największe zasiedlenie korzeni pszenicy przez *F. graminearum*, co znalazło odzwierciedlenie w największym nasileniu fuzaryjnej zgorzeli podstawy źdźbła.
9. Nawożenie rzepaku i ziemniaka osadem granulowanym (O GR) oraz kompostem z osadu ściekowego (O GR) wpłynęło na istotny wzrost liczebności *Azotobacter* w stosunku do obiektu NPK.
10. Nawożenie osadem ściekowym granulowanym (O GR) powodowało liczne występowanie bakterii *Pseudomonas* w glebie spod uprawy pszenicy i ziemniaka.
11. W glebie spod uprawy pszenicy i ziemniaka nawożenie kompostem DANO wpłynęło na istotnie większą liczbę bakterii *Bacillus* w stosunku do nawożenia mineralnego NPK.

12. Nawożenie mineralne NPK w uprawie rzepaku oraz pszenicy wpływało korzystnie na zasiedlenie gleby przez promieniowce.

13. Niezależnie od gatunku rośliny uprawianej w doświadczeniu bakterie zdolne do rozpuszczania fosforanów występowały najliczniej w glebach nawożonych kompostem z odpadów zieleni miejskiej (K ZM).

14. Nawożenie rzepaku osadem ściekowym granulowanym (O GR) wpływało na największe zasiedlenie ryzosfery przez bakterie rodzaju *Azotobacter* oraz *Bacillus*.

15. Stosowanie kompostu z odpadów zieleni miejskiej (K ZM) w rzepaku ozimym wpływało najkorzystniej na zasiedlenie ryzosfery przez bakterie rodzaju *Pseudomonas*, promieniowce oraz bakterie zdolne do rozpuszczania fosforanów.

16. Najwięcej bakterii rodzaju *Azotobacter* i *Bacillus* zasiedlało ryzosferę pszenicy uprawianej w wariancie z zastosowaniem obornika (OB).

17. Promieniowce oraz bakterie rozpuszczające fosforany najliczniej występowały w ryzosferze pszenicy uprawianej w wariancie DANO.

18. Nawożenie ziemniaka kompostem z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL) wpływało na najliczniejsze zasiedlenie ryzosfery przez bakterie rodzajów *Aotobacter*, *Bacillus* i *Pseudomonas*.

19. Nawozy zastosowane w doświadczeniu w niewielkim stopniu oddziaływały na społeczność bakterii glebowych, a jej zróżnicowanie taksonomiczne w większym stopniu zależało od warunków atmosferycznych i rośliny uprawnej.

20. W społeczności bakterii glebowych dominował *Candidatus* Solibacter. Nawożenie obornikiem (OB) pod rzepak ozimy wyraźnie zwiększyło udział *Rhodoplanes*, a osadem ściekowym granulowanym (O GR) - *Oscillatoria* i *Massillia*. Zastosowanie kompostu DANO wpłynęło na wzrost udziału *Bradyrhizobium* w glebie spod uprawy pszenicy.

9. PIŚMIENNICTWO

1. Abbas M. F., Naz F., Irshad G. 2013. Important fungal diseases of potato and their management- A brief review. Mycopath. 11: 45–50.
2. Abuley I. K., Nielsen B. J., Hansen H. H. 2019. The influence of timing the application of nitrogen fertilizer on early blight (*Alternaria solani*). Pest management science, 75(4): 1150-1158.
3. Adolf B., Andrade-Piedra J., Bittara Molina, F., Przetakiewicz J., Hausladen H., Kromann P., Lees A., Lindqvist-Kreuze H., Perez W., Secor G. A. 2020. Fungal, oomycete, and plasmodiophorid diseases of potato. In The Potato Crop (pp. 307-350). Springer, Cham.
4. Ahemad M., Kibret M. 2014. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective. Journal of King saud University-science, 26(1): 1-20.
5. Aloo B. N., Makumba B. A., Mbega E. R. 2019. The potential of Bacilli rhizobacteria for sustainable crop production and environmental sustainability. Microbiological Research, 219: 26-39.
6. Altaf M. M., Imran M., Abulreesh H. H., Khan M. S., Ahmad I. 2018. Diversity and applications of *Penicillium* spp. in plant-growth promotion. In New and future developments in microbial biotechnology and bioengineering (pp. 261-276). Elsevier.
7. Berg G., Zachow C., Lottmann J., Götz M., Costa R., Smalla K. 2005. Impact of plant species and site on rhizosphere-associated fungi antagonistic to *Verticillium dahliae* Kleb. Applied and Environmental Microbiology, 71(8), 4203-4213.
8. Berendsen R. L., Pieterse C. M., Bakker P. A. 2012. The rhizosphere microbiome and plant health. Trends in plant science, 17(8), 478-486.
9. Beyer M., Marozsak B., Dam D., Parisot O., Pallez-Barthel M., Hoffmann, L. 2022. Enhancing septoria leaf blotch forecasts in winter wheat II: model architecture and validation results. Journal of Plant Diseases and Protection, 129(1), 45-51.
10. Bhatti A. A., Haq S., Bhat, R. A. 2017. Actinomycetes benefaction role in soil and plant health. Microbial pathogenesis, 111, 458-467.
11. Bień J. D., Bień B. 2015. Zagospodarowanie komunalnych osadów ściekowych metodami termicznymi w obliczu zakazu składowania po 1 stycznia 2016. Ecological Engineering & Environmental Technology, 2015(45), 36-43.

12. Birch P. R., Cooke D. E. 2013. Genomics: The early days of late blight. Elife, 2, e00954.
13. Blagodatskaya E., Kuzyakov Y. 2013. Active microorganisms in soil: critical review of estimation criteria and approaches. Soil Biology and Biochemistry, 67, 192-211.
14. Boland G. J., Hall R. 1994. Index of plant hosts of *Sclerotinia sclerotiorum*. Canadian Journal of Plant Pathology, 16(2), 93-108.
15. Bonilla N., Gutiérrez-Barranquero J. A., Vicente A. D., Cazorla, F. M. 2012. Enhancing soil quality and plant health through suppressive organic amendments. Diversity, 4(4), 475-491.
16. Bonanomi G., Antignani V., Capodilupo M., Scala F. 2010. Identifying the characteristics of organic soil amendments that suppress soilborne plant diseases. Soil Biology and Biochemistry, 42(2), 136-144.
17. Bonanomi G., Antignani V., Pane C., Scala F. 2007. Suppression of soilborne fungal diseases with organic amendments. Journal of Plant Pathology, 311-324.
18. Bondoso J., Albuquerque L., Nobre M. F., Lobo-da-Cunha A., da Costa M. S., Lage O. M. 2011. *Aquisphaera giovannonii* gen. nov., sp. nov., a planctomycete isolated from a freshwater aquarium. International journal of systematic and evolutionary microbiology, 61(12), 2844-2850.
19. Brachaczek A., Kaczmarek J., Jedryczka, M. 2021. Warm and wet autumns favour yield losses of oilseed rape caused by phoma stem canker. Agronomy, 11(6), 1171.
20. Budzynski W. S., Jankowski K. J., Truszkowski W. (2005). Rolnicza i ekonomiczna efektywnosc technologii produkcji nasion rzepaku ozimego w wybranych gospodarstwach wielkoobszarowych. Rośliny Oleiste-Oilseed Crops, 26(2), 407-419.
21. Bünemann E. K., Schwenke G. D., Van Zwieten L. 2006. Impact of agricultural inputs on soil organisms - a review. Soil Research, 44(4), 379-406.
22. Cabot C., Martos S., Llugany M., Gallego B., Tolrà R., Poschenrieder C. 2019. A role for zinc in plant defense against pathogens and herbivores. Frontiers in Plant Science, 1171.
23. Cacak-Pietrzak G. 2008. Wykorzystanie pszenicy w roznych galeziach przemyslu spozywczego-wymagania technologiczne. Przegląd Zbożowo-Młynarski, 52(11), 11-13.
24. Cai Z., Wang B., Xu M., Zhang H., He X., Zhang L., Gao S. 2015. Intensified soil acidification from chemical N fertilization and prevention by manure in an 18-year field experiment in the red soil of southern China. Journal of Soils and Sediments, 15(2), 260-270.

25. Chen S., Xiang X., Ma H., Penttinen P., Zhao J., Li H., Gao R., Zheng T., Fan G. 2021. Straw mulching and nitrogen fertilization affect diazotroph communities in wheat rhizosphere. Frontiers in microbiology, 12, 658668.
26. Chowdhury S. P., Dietel K., Rändler M., Schmid M., Junge H., Borriss R., Hartmann A., Grosch R. 2013. Effects of *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 on lettuce growth and health under pathogen pressure and its impact on the rhizosphere bacterial community. Plos one, 8(7), e68818.
27. Claire Horner-Devine M., Leibold M. A., Smith V. H., Bohannan B. J. 2003. Bacterial diversity patterns along a gradient of primary productivity. Ecology letters, 6(7), 613-622.
28. Compant S., Duffy B., Nowak J., Clément C., Barka E. A. 2005. Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: principles, mechanisms of action, and future prospects. Applied and environmental microbiology, 71(9), 4951-4959.
29. Cotxarrera L., Trillas-Gay M. I., Steinberg C., Alabouvette C. 2002. Use of sewage sludge compost and Trichoderma asperellum isolates to suppress *Fusarium* wilt of tomato. Soil Biology and biochemistry, 34(4), 467-476.
30. Cozzolino V., Di Meo V., Monda H., Spaccini R., Piccolo, A. 2016. The molecular characteristics of compost affect plant growth, arbuscular mycorrhizal fungi, and soil microbial community composition. Biology and Fertility of Soils, 52(1), 15-29.
31. Czajowski G., Czembor P. 2016. Chorobotwórczość *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* i *Blumeria graminis* f. sp. *triticale* sprawców mączniaka prawdziwego zbóż i traw na pszenicy i pszenżycie. Progress in Plant Protection, 56(3).
32. Czajowski G., Strzembicka A., Karska K. 2011. Wirulencja populacji *Puccinia triticina* sprawcy rdzy brunatnej pszenicy i pszenżyta w Polsce w latach 2008–2010. Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, 260(261), 145-153.
33. Czembor P. C., Arseniuk E., Radecka-Janusik M., Piechota U., Słowacki P. 2019. Quantitative trait loci analysis of adult plant resistance to *Parastagonospora nodorum* blotch in winter wheat cv. Liwilla (*Triticum aestivum* L.). European Journal of Plant Pathology, 155(3), 1001-1016.
34. Deb D., Khan A., Dey N. 2020. Phoma diseases: Epidemiology and control. Plant Pathology, 69(7), 1203-1217.
35. Depotter J. R., Deketelaere S., Inderbitzin P., Von Tiedemann A., Höfte M., Subbarao K. V., Wood T. A., Thomma B. P. 2016. *Verticillium longisporum*, the invisible threat

to oilseed rape and other brassicaceous plant hosts. Molecular plant pathology, 17(7), 1004.

36. Derbyshire M. C., Denton-Giles M. 2016. The control of sclerotinia stem rot on oilseed rape (*Brassica napus*): current practices and future opportunities. Plant Pathology, 65(6), 859-877.
37. Diaz P. A. E., Baron N. C., Rigobelo E. C. 2019. 'Bacillus' spp. as plant growth-promoting bacteria in cotton under greenhouse conditions. Australian Journal of Crop Science, 13(12), 2003-2014.
38. Dixon G. R., Tilston E. L. 2010. Soil-borne pathogens and their interactions with the soil environment. In Soil microbiology and sustainable crop production (pp. 197-271). Springer, Dordrecht.
39. Domsch K. H., Gams W., Anderson T-H. 1980. Compendium of soil fungi. Academic Press. London, New York,Toronto, Sydney, San Francisco.
40. Domsch K. H., Gams W., Anderson T. H. 2007. Compendium of soil fungi 2nd ed. IHW-Verlg Eching, Germany.
41. Dordas C. 2008. Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. Agronomy for sustainable development, 28(1), 33-46.
42. Douaer N., Douaoui A., Mehaiguene M., Zouidi M., Hamza W. 2021. The effect of municipal sewage sludge on properties physicochemical and microbial agricultural soil. Notulae Scientia Biologicae, 13(1), 10804-10804.
43. Downie R. C., Lin M., Corsi B., Ficke A., Lillemo M., Oliver R. P., Phan H. T. T., Kar-Chun T., Cockram J. 2021. Septoria nodorum blotch of wheat: disease management and resistance breeding in the face of shifting disease dynamics and a changing environment. Phytopathology, 111(6), 906-920.
44. Dzwonkowski W. 2021. Rynek ziemniaka - stan i perspektywy. Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej, Warszawa, Polska.
45. Eddine S. B., El Yousfi B., Douira A. 2020. Effects of nitrogen forms and rates on *Fusarium culmorum* growth, fitness, aggressiveness and wheat, barley and triticale resistance to crown rot disease. Plant Cell Biotechnology and molecular biology, 107-129.
46. Elhaissoufi W., Khourchi S., Ibnyasser A., Ghoulam C., Rchiad Z., Zeroual Y., Lyamlouli K., Bargaz A. 2020. Phosphate solubilizing rhizobacteria could have a stronger influence on wheat root traits and aboveground physiology than rhizosphere P solubilization. Frontiers in plant science, 979.

47. Ellis, M.B. 1971. Dematiaceous Hyphomycetes. CMI, Kew.
48. Ezzouhri L., Castro E., Moya M., Espinola F., Lairini K. 2009. Heavy metal tolerance of filamentous fungi isolated from polluted sites in Tangier, Morocco. African journal of microbiology research, 3(2), 35-48.
49. Fassatiová O. 1983. Grzyby mikroskopowe w mikrobiologii technicznej. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.
50. Figueroa M., Hammond-Kosack K. E., Solomon P. S. 2018. A review of wheat diseases- a field perspective. Molecular plant pathology, 19(6), 1523-1536.
51. Fröschel C. 2021. In-depth evaluation of root infection systems using the vascular fungus *Verticillium longisporum* as soil-borne model pathogen. Plant methods, 17(1), 1-14.
52. Fry W. 2008. *Phytophthora infestans*: the plant (and R gene) destroyer. Molecular plant pathology, 9(3), 385-402.
53. Fry W. E., Birch P. R. J., Judelson H. S., Grünwald N. J., Danies G., Everts K. L., Gevens A. J., Gugino B. K., Johnson D. A., Johnson S. B., McGrath M. T., Myers K. L., Ristaino J. B., Roberts P. D., Secor G., Smart C. D. 2015. Five reasons to consider *Phytophthora infestans* a reemerging pathogen. Phytopathology, 105(7), 966-981.
54. Geisseler D., Scow K. M. 2014. Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms- A review. Soil Biology and Biochemistry, 75, 54-63.
55. Giraldo A., Gené J., Cano J., De Hoog S., Guarro J. 2012. Two new species of *Acremonium* from Spanish soils. Mycologia, 104(6), 1456-1465.
56. Glick B. R. 2012. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. Scientifica.
57. Gondek K. 2012. Wpływ nawożenia nawozami mineralnymi, obornikiem od trzody chlewnej i komunalnymi osadami ściekowymi na plon i niektóre wskaźniki jakości ziarna pszenicy jarej (*Triticum aestivum* L.). Acta Agrophysica, 19(2).
58. Grover M., Nain L., Singh S. B., Saxena, A. K. 2010. Molecular and biochemical approaches for characterization of antifungal trait of a potent biocontrol agent *Bacillus subtilis* RP24. Current microbiology, 60(2), 99-106.
59. GUS. 2018. Środki produkcji w rolnictwie w roku gospodarczym 2016/2017.
60. GUS. 2021. Ochrona środowiska 2021.
61. GUS 2022. Rocznik statystyczny rolnictwa 2021.
62. Guyer A., De Vrieze M., Bönisch D., Gloor R., Musa T., Bodenhausen N., Bailly A., Weisskopf L. 2015. The anti-phytophthora effect of selected potato-associated

Pseudomonas strains: from the laboratory to the field. Frontiers in microbiology, 6, 1309.

63. Habtewold J. Z., Helgason B. L., Yanni S. F., Janzen H. H., Ellert B. H., Gregorich E. G. 2020. Litter composition has stronger influence on the structure of soil fungal than bacterial communities. European Journal of Soil Biology, 98, 103190.
64. Hemkemeyer M., Schwalb S. A., Heinze S., Joergensen R. G., Wichern F. 2021. Functions of elements in soil microorganisms. Microbiological Research, 252, 126832.
65. Howard D. D., Chambers A. Y., Logan, J. 1994. Nitrogen and fungicide effects on yield components and disease severity in wheat. Journal of production agriculture, 7(4), 448-454.
66. Hinfner K., Hommonay F. 1964. Atlas chorób i szkodników zbóż i kukurydzy. PWRiL Warszawa.
67. Hurst C. J. 2019. Dirt and disease: the ecology of soil fungi and plant fungi that are infectious for vertebrates. In Understanding terrestrial microbial communities (pp. 289-405). Springer, Cham.
68. Imas P., Bansal S. K. 2002. Potassium and integrated nutrient management in potato. In Potato, global research & development. Proceedings of the Global Conference on Potato, New Delhi, India, 6-11 December, 1999: Volume 2 (pp. 744-754). Indian Potato Association.
69. Jacoby R., Peukert M., Succurro A., Koprivova A., Kopriva S. 2017. The role of soil microorganisms in plant mineral nutrition-current knowledge and future directions. Frontiers in plant science, 8, 1617.
70. Jaczewska-Kalicka A., 2000. Zmienność strat plonu pszenicy ozimej powodowanych przez choroby grzybowe w latach 1996–1999. Progress in Plant Protection, 40 (2), s: 623–625
71. Jędryczka M., Korbas M., Jajor E., Danielewicz J., Kaczmarek, J. 2013. Występowanie *Plasmodiophora brassicae* w glebach z uprawami roślin rolniczych w Wielkopolsce, w latach 2011-2012. Progress in Plant Protection, 53(4), 774-778.
72. Jindo K., Evenhuis A., Kempenaar C., Pombo Sudré C., Zhan X., Goitom Teklu M., Kessel G. 2021. Holistic pest management against early blight disease towards sustainable agriculture. Pest Management Science, 77(9), 3871-3880.
73. Joergensen R. G., Emmerling C. 2006. Methods for evaluating human impact on soil microorganisms based on their activity, biomass, and diversity in agricultural soils. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 169(3), 295-309.

74. Jones F. P., Clark I. M., King R., Shaw L. J., Woodward M. J., Hirsch P. R. 2016. Novel European free-living, non-diazotrophic *Bradyrhizobium* isolates from contrasting soils that lack nodulation and nitrogen fixation genes- a genome comparison. Scientific reports, 6(1), 1-10.
75. Kaczmarek J., Brachaczek A., Jędryczka M. 2012. Monitorowanie występowania w powietrzu zarodników grzybów rodzaju *Fusarium* jako narzędzie wspierające ochronę pszenicy przed fuzariozą kłosów. Progress in Plant Protection, 52(4), 1016-1019.
76. Khan M. D., Zaidi A., Ahmad E. 2014. Mechanism of phosphate solubilization and physiological functions of phosphate-solubilizing microorganisms. In Phosphate solubilizing microorganisms (pp. 31-62). Springer, Cham.
77. Kobus J. 1996. Rola mikroorganizmów w przemianach azotu w glebie. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 440.
78. Kokhmetova A., Kumarbayeva M., Atishova M., Nehe A., Riley I. T., Morgounov A. 2021. Identification of high-yielding wheat genotypes resistant to *Pyrenophora tritici-repentis* (tan spot). Euphytica, 217(6), 1-15.
79. Kominko H., Gorazda K., Wzorek Z. 2019. Potentiality of sewage sludge-based organo-mineral fertilizer production in Poland considering nutrient value, heavy metal content and phytotoxicity for rapeseed crops. Journal of environmental management, 248, 109283.
80. Köninger J., Lugato E., Panagos P., Kochupillai M., Orgiazzi A., Briones M. J. 2021. Manure management and soil biodiversity: Towards more sustainable food systems in the EU. Agricultural Systems, 194, 103251.
81. Korbas M. 2008. Epidemiologia łamliwości źdźbła pszenicy ozimej w Polsce. Rozprawy Naukowe Instytutu Ochrony Roślin, Poznań 18, 68 ss.
82. Korbas M., Horoszkiewicz-Janka J., Mrówczyński M. 2017. Metodyka integrowanej ochrony pszenicy ozimej i jarej dla doradców. Poznań: IOR–PIB.
83. Kordalewska M., Brillowska-Dąbrowska A. 2015. PCR detection of *Scopulariopsis brevicaulis*. Polish Journal of Microbiology, 64(1), 5.
84. Kozieł M., Gałązka A. 2021. Systematyka i analizy genomiczne bakterii z rodzaju *Azotobacter*. Postępy mikrobiologii- Advancements of microbiology, 60, 4, 299–308
85. Krawczyk K., Zwolińska A., Kamasa J., Maćkowiak-Sochacka A., Przemieniecki S. 2016. Identyfikacja i charakterystyka bakterii endofitycznych wykazujących cechy promujące wzrost roślin. Progress in Plant Protection, 56(1).

86. Krzysztofik B., Marks N., Baran D. 2009. Wpływ wybranych czynników agrotechnicznych na ilościowe cechy plonu bulw ziemniaka. Inżynieria Rolnicza, 13, 123-129.
87. Kulichevskaya I. S., Detkova E. N., Bodelier P. L., Rijpstra W. I. C., Damste J. S. S., Dedysh S. N. 2012. *Singulisphaera rosea* sp. nov., a planctomycete from acidic *Sphagnum* peat, and emended description of the genus *Singulisphaera*. International journal of systematic and evolutionary microbiology, 62(1), 118-123.
88. Kumar A., Saini S., Wray V., Nimtz M., Prakash A., Johri B. N. 2012. Characterization of an antifungal compound produced by *Bacillus* sp. strain A5F that inhibits *Sclerotinia sclerotiorum*. Journal of Basic Microbiology, 52(6), 670-678.
89. Kurowski T.P. 2002. Studia nad chorobami podsuszkowymi zbóż uprawianych w wieloletnich monokulturach. Wyd. UWM Olsztyn, Rozprawy i Monografie 56.
90. Kurowski T.P., Mikołajska J., Wojciechowska-Kot H. 1990. Zdrowotność podstawowych zbóż w uprawie monokulturowej. W: Ekologiczne procesy w monokulturowych uprawach zbóż. Red. L. Ryszkowski, J. Karg, J. Pudełko. Wydaw. Uniw. A. Mickiewicza w Poznaniu, s: 223–231
91. Kurowski T. P., Przemieniecki S. W., Grabowski K., Damszel M., Kwiatkowska E. 2016. Change in Microbiological Conditions of Lawn Grass Root Zones as a Result of Fertilization with Sewage Sludge. Polish Journal of Environmental Studies, 25(5).
92. Kuzdraliński A., Szczerba H., Tofil K., Filipiak A., Garbarczyk E., Dziadko P., Muszyńska M., Solarska E. 2014. Early PCR-based detection of *Fusarium culmorum*, *F. graminearum*, *F. sporotrichioides* and *F. poae* on stem bases of winter wheat throughout Poland. European journal of plant pathology, 140(3), 491-502.
93. Lambert D. H., Powelson M. L., Stevenson W. R. 2005. Nutritional interactions influencing diseases of potato. American Journal of Potato Research, 82(4), 309-319.
94. Lane D., Denton-Giles M., Derbyshire M., Kamphuis L. G. 2019. Abiotic conditions governing the myceliogenic germination of *Sclerotinia sclerotiorum* allowing the basal infection of *Brassica napus*. Australasian Plant Pathology, 48(2), 85-91.
95. Lange M., Eisenhauer N., Sierra C. A., Bessler H., Engels C., Griffiths R. I., Mellado-Va´zquez P. G., Malik A. A., Gleixner G. 2015. Plant diversity increases soil microbial activity and soil carbon storage. Nature communications, 6(1), 1-8.
96. Leroux P., Gredt M., Remuson F., Micoud A., Walker A. S. 2013. Fungicide resistance status in French populations of the wheat eyespot fungi *Oculimacula acuformis* and *Oculimacula yallundae*. Pest Management Science, 69(1), 15-26.

97. Li H., Cai X., Gong J., Xu T., Ding G. C., Li J. 2019. Long-term organic farming manipulated rhizospheric microbiome and Bacillus antagonism against pepper blight (*Phytophthora capsici*). Frontiers in microbiology, 10, 342.
98. Liang Q., Chen H., Gong Y., Yang H., Fan M., Kuzyakov Y. (2014). Effects of 15 years of manure and mineral fertilizers on enzyme activities in particle-size fractions in a North China Plain soil. European Journal of Soil Biology, 60, 112-119.
99. Lista Opisowa Odmian Roślin Rolniczych- Burak, Ziemniak, Oleiste, Pastewne. COBORU. Słupia Wielka 2019.
100. Lista Opisowa Odmian Roślin Rolniczych- Ziemniak. COBORU. Słupia Wielka 2021.
101. Lista Opisowa Odmian Roślin Rolniczych- Zbożowe. COBORU. Słupia Wielka 2021.
102. López-Bucio J., Pelagio-Flores R., Herrera-Estrella A. 2015. *Trichoderma* as biostimulant: exploiting the multilevel properties of a plant beneficial fungus. Scientia horticulturae, 196, 109-123.
103. Luo C., Ma L., Zhu J., Guo Z., Dong K., Dong Y. 2021. Effects of nitrogen and intercropping on the occurrence of wheat powdery mildew and stripe rust and the relationship with crop yield. Frontiers in Plant Science, 12, 179.
104. Luo Y., van Veelen H. P. J., Chen S., Sechi V., ter Heijne A., Veeken, A., Buisman C. J. N., Bezemer T. M. 2022. Effects of sterilization and maturity of compost on soil bacterial and fungal communities and wheat growth. Geoderma, 409, 115598.
105. Łopaciuk W. 2021. Rynek zbóż - stan i perspektywy. Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej, Warszawa, Polska.
106. Macdonald C. A., Clark I. M., Zhao F. J., Hirsch P. R., Singh B. K., McGrath, S. P. 2011. Long-term impacts of zinc and copper enriched sewage sludge additions on bacterial, archaeal and fungal communities in arable and grassland soils. Soil Biology and Biochemistry, 43(5), 932-941.
107. Malhotra H., Sharma S., Pandey R. 2018. Phosphorus nutrition: plant growth in response to deficiency and excess. In Plant nutrients and abiotic stress tolerance (pp. 171-190). Springer, Singapore.
108. Małecka I., Blecharczyk A., Sawińska Z., Hagedorn M. 2010. Wpływ przedplonu i nawożenia na zdrowotność pszenżyta ozimego w doświadczeniu wieloletnim. Progress in Plant Protection, 50 (2), 935-938.
109. Mann R. L., Kettlewell P. S., Jenkinson P. 2004. Effect of foliar-applied potassium chloride on septoria leaf blotch of winter wheat. Plant pathology, 53(5), 653-659.

110. Mańka K. 1974: Zbiorowiska grzybów jako kryterium oceny wpływu środowiska na choroby roślin. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych 160: 9-23.
111. Martyniuk S., Martyniuk M. 2003. Occurrence of *Azotobacter* spp. in some Polish soils. Polish journal of environmental studies, 12(3), 371-374.
112. Mascagni Jr. H. J., Harrison S. A., Russin J. S., Desta H. M., Colyer P. D., Habetz Hallmark W. B., Moore S. H., Raab J. L., R. J., Hutchinson R. L., Boquet D. J. 1997. Nitrogen and fungicide effects on winter wheat produced in the Louisiana Gulf Coast region. Journal of plant nutrition, 20(10), 1375-1390.
113. Mavrodi O. V., Mavrodi D. V., Parejko J. A., Thomashow L. S., Weller D. M. 2012. Irrigation differentially impacts populations of indigenous antibiotic-producing *Pseudomonas* spp. in the rhizosphere of wheat. Applied and Environmental Microbiology, 78(9), 3214-3220.
114. McDaniel M. D., Tiemann L. K., Grandy A. S. 2014. Does agricultural crop diversity enhance soil microbial biomass and organic matter dynamics? A meta-analysis. Ecological Applications, 24(3), 560-570.
115. Mendes R., Kruijt M., De Bruijn I., Dekkers E., van der Voort M., Schneider J. H., Piceno Y. M., DeSantis T. Z., Andersen G. L., Bakker P. A. H. M., Raaijmakers J. M. 2011. Deciphering the rhizosphere microbiome for disease-suppressive bacteria. Science, 332(6033), 1097-1100.
116. Metzger L., Levanon D., Mingelgrin U. 1987. The effect of sewage sludge on soil structural stability: microbiological aspects. Soil Science Society of America Journal, 51(2), 346-351
117. Mittelstraß K., Treutter D., Pleßl M., Heller W., Elstner E. F., Heiser I. 2006. Modification of primary and secondary metabolism of potato plants by nitrogen application differentially affects resistance to *Phytophthora infestans* and *Alternaria solani*. Plant Biology, 8(05), 653-661.
118. Mora I., Cabrefiga J., Montesinos E. 2011. Antimicrobial peptide genes in *Bacillus* strains from plant environments. Int Microbiol, 14(4), 213-223.
119. Moreno M. V., Casas C., Biganzoli F., Manso L., Silvestro L. B., Moreira E., Stenglein S. A. 2021. Cultivable soil fungi community response to agricultural management and tillage system on temperate soil. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 20(4), 217-226.

120. Moreno-Gavíra A., Diánez F., Sánchez-Montesinos B., Santos M. 2021. Biocontrol effects of *Paecilomyces variotii* against fungal plant diseases. Journal of Fungi, 7(6), 415.
121. Mueller T., Behrendt U. 2021. Exploiting the biocontrol potential of plant-associated pseudomonads- A step towards pesticide-free agriculture?. Biological Control, 155, 104538.
122. Mujiyati M., Supriyadi S. 2009. Effect of manure and NPK to increase soil bacterial population of *Azotobacter* and *Azospirillus* in chili (*Capsicum annum*) cultivation. Nusantara Bioscience, 1(2).
123. Mwale V. M., Chilembwe E. H. C., Uluko H. C. 2014. Wheat powdery mildew (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*): Damage effects and genetic resistance developed in wheat (*Triticum aestivum*). Int Res J Plant Sci, 5(1), 1-16.
124. Nannipieri P., Ascher J., Ceccherini M. T., Landi L., Pietramellara G., Renella G., Valori F. 2007. Microbial diversity and microbial activity in the rhizosphere. Ciencia del suelo, 25(1), 89-97.
125. Natywa M., Selwet M., Maciejewski T. 2014. Wpływ wybranych czynników agrotechnicznych na liczebność i aktywność drobnoustrojów glebowych. Fragmenta Agronomica, 31(2), 56-63.
126. Noble R., Roberts S. J. 2004. Eradication of plant pathogens and nematodes during composting: a review. Plant pathology, 53(5), 548-568.
127. Oerke E. C. 2006. Crop losses to pests. The Journal of Agricultural Science, 144(1), 31-43.
128. Oleksy A., Szmigiel A., Kolodziejczyk M. 2008. Wpływ intensywności uprawy na zawartość i plon białka odmian pszenicy ozimej. Acta Scientiarum Polonorum. Agricultura, 7(1).
129. Osowski J. 2014. Alternarioza (sucha i brunatna plamistość liści ziemniaka)– występowanie, objawy i zwalczanie. Ziemniak Polski, 24(2).
130. Ozimek E., Hanaka A. 2020. *Mortierella* species as the plant growth-promoting fungi present in the agricultural soils. Agriculture, 11(1), 7.
131. Paśmionka I. B., Bulski K., Boligłowa, E. 2021. The Participation of Microbiota in the Transformation of Nitrogen Compounds in the Soil - A Review. Agronomy, 11(5), 977.
132. Peralta A. L., Sun Y., McDaniel M. D., Lennon J. T. 2018. Crop rotational diversity increases disease suppressive capacity of soil microbiomes. Ecosphere, 9(5), e02235.

133. Pintos Á., Alvarado P. 2021. Phylogenetic delimitation of *Apiospora* and *Arthrinium*. Fungal systematics and evolution, 7(1), 197-221.
134. Pląskowska E., Matkowski K., Moszczyńska E., Kordas L. 2008. The effect of soil tillage system on infection of stem bases of winter wheat by F*usarium* spp. Phytopathologia Polonica, 48, 45-51.
135. Poslušná J., Plachká E., Horáček J., Macháčková I., Ondráčková E., Šmirous P., Vrbovský V. 2019. The harmfulness of phoma stem canker, Sclerotinia stem rot, and phytoplasma on winter oilseed rape with regard to Czech breeding programs. Agronomy, 9(2), 75.
136. Przemieniecki S. W., Kurowski T. P., Kotlarz K., Krawczyk K., Damszel M., Pszczółkowska A., Kacprzak-Siuda K., Chareńska A., Mastalerz J. 2019. Bacteria isolated from treated wastewater for biofertilization and crop protection against *Fusarium* spp. pathogens. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 19(1), 1-11.
137. Przemieniecki S. W., Zapałowska A., Skwiercz A., Damszel M., Telesiński A., Sierota Z., Gorczyca A. 2021. An evaluation of selected chemical, biochemical, and biological parameters of soil enriched with vermicompost. Environmental Science and Pollution Research, 28(7), 8117-8127.
138. Raaijmakers J. M., Paulitz T. C., Steinberg C., Alabouvette C., Moënne-Loccoz Y. 2009. The rhizosphere: a playground and battlefield for soilborne pathogens and beneficial microorganisms. Plant and soil, 321(1), 341-361.
139. Rana S. K., Katoch S., Sharma P. N. 2020. Assessment of yield losses caused by *Stagonospora* leaf and glume blotch (SLGB) of wheat; its status and distribution in Himachal Pradesh. Indian Phytopathology, 73(2), 267-272.
140. Ray R. V., Crook M. J., Jenkinson P., Edwards S. G. 2006. Effect of eyespot caused by *Oculimacula yallundae* and *O. acuformis*, assessed visually and by competitive PCR, on stem strength associated with lodging resistance and yield of winter wheat. Journal of experimental botany, 57(10), 2249-2257.
141. Ren F., Sun N., Xu M., Zhang X., Wu L., Xu M. 2019. Changes in soil microbial biomass with manure application in cropping systems: a meta-analysis. Soil and Tillage Research, 194, 104291.
142. Rey T., Dumas B. 2017. Plenty is no plague: *Streptomyces* symbiosis with crops. Trends in plant science, 22(1), 30-37
143. Ros B., Mohler V., Wenzel G., Thümmler F. (2008). *Phytophthora infestans*- triggered response of growth-and defense-related genes in potato cultivars with different levels

of resistance under the influence of nitrogen availability. Physiologia Plantarum, 133(2), 386-396.

144. Rosiak E. 2021. Rynek rzepaku - stan i perspektywy. Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej, Warszawa, Polska.

145. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz.U. 2015 poz. 257)

146. Ruske R. E., Gooding M. J., Jones S. A. 2003. The effects of adding picoxystrobin, azoxystrobin and nitrogen to a triazole programme on disease control, flag leaf senescence, yield and grain quality of winter wheat. Crop Protection, 22(7), 975-987.

147. Russel S., Wyczółkowski A. I. 2005. Metody oznaczania aktywności enzymów w glebie. Acta Agrophysica 120, Rozpr. Monogr. 3.

148. Savary S., Bregaglio S., Willocquet L., Gustafson D., Mason D'Croz D., Sparks A., Castilla N., Djurle A., Allinne C., Sharma M., Rossi V., Amorim M., Bergamin A., Yuen J., Esker P., McRoberts N., Avelino J., Duveiller E., Koo J., Garrett, K. 2017. Crop health and its global impacts on the components of food security. Food Security, 9(2), 311-327.

149. Savary S., Ficke A., Aubertot J. N., Hollier C. 2012. Crop losses due to diseases and their implications for global food production losses and food security. Food security, 4(4), 519-537.

150. Sawicka B. 2005. Terminy pojawiania się i rozwoju *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary w zmiennych warunkach pola uprawnego. Acta Agrophysica, 6(2), 537-547.

151. Schneijderberg M., Schmitz L., Cheng X., Polman S., Franken C., Geurts R., Bisseling T. 2018. A genetically and functionally diverse group of non-diazotrophic *Bradyrhizobium* spp. colonizes the root endophytic compartment of *Arabidopsis thaliana*. BMC plant biology, 18(1), 1-9.

152. Schroder J. L., Zhang H., Girma K., Raun W. R., Penn C. J., Payton M. E. 2011. Soil acidification from long-term use of nitrogen fertilizers on winter wheat. Soil Science Society of America Journal, 75(3), 957-964.

153. Siebielec G., Siebielec S., Lipski D. 2018. Long-term impact of sewage sludge, digestate and mineral fertilizers on plant yield and soil biological activity. Journal of Cleaner Production, 187, 372-379.

154. Siebold M., von Tiedemann A. 2013. Effects of experimental warming on fungal disease progress in oilseed rape. Global change biology, 19(6), 1736-1747.

155. Simón M. R., Cordo C. A., Perello A. E., Struik P. C. 2003. Influence of nitrogen supply on the susceptibility of wheat to *Septoria tritici*. Journal of Phytopathology, 151(5), 283-289.
156. Smreczak B., Klimkowicz-Pawlas A., Maliszewska-Kordybach B. 2013. Biodostępność trwałych zanieczyszczeń organicznych (TZO) w glebach. Studia i Raporty IUNG-PIB, 35(9), 137-152.
157. Solecka J., Ziemska J., Rajnisz A., Laskowska A., Guśpiel A. 2013. Promieniowce– występowanie i wytwarzanie związków biologicznie czynnych. Post. Mikrobiol, 52(1), 83-91.
158. Spaccini R., Piccolo A. 2007. Molecular characterization of compost at increasing stages of maturity. 2. Thermochemolysis- GC-MS and 13C-CPMAS-NMR spectroscopy. Journal of agricultural and food chemistry, 55(6), 2303-2311.
159. Starmer W. T., Lachance M. A. 2011. Yeast ecology. The yeasts, 65-83.
160. Sumbul A., Ansari R. A., Rizvi R., Mahmood I. 2020. *Azotobacter*: A potential bio-fertilizer for soil and plant health management. Saudi Journal of Biological Sciences, 27(12), 3634.
161. Sun Z. B., Li S. D., Ren Q., Xu J. L., Lu X., Sun M. H. 2020. Biology and applications of *Clonostachys rosea*. Journal of applied microbiology, 129(3), 486-495.
162. Sun Y., Wang M., Mur L. A. J., Shen Q., Guo S. 2020. Unravelling the roles of nitrogen nutrition in plant disease defences. International Journal of Molecular Sciences, 21(2), 572.
163. Sun R., Zhang X. X., Guo X., Wang D., Chu H. 2015. Bacterial diversity in soils subjected to long-term chemical fertilization can be more stably maintained with the addition of livestock manure than wheat straw. Soil Biology and Biochemistry, 88, 9-18.
164. Szwedziak K. (2006). Charakterystyka osadów ściekowych i rolnicze wykorzystanie. Inżynieria Rolnicza, 10, 297-302.
165. Świerczyńska I., Pieczul K. 2012. Genetic diversity of *Rhizoctonia cerealis* isolates from western Poland. Progress in Plant Protection, 52(4), 784-787.
166. Taylor D. L., Hollingsworth T. N., McFarland J. W., Lennon N. J., Nusbaum C., Ruess R. W. (2014). A first comprehensive census of fungi in soil reveals both hyperdiversity and fine- scale niche partitioning. Ecological Monographs, 84(1), 3-20.

167. Tian S., Zhu B., Yin R., Wang M., Jiang Y., Zhang C., Li D., Chen X., Kardol P., Liu M. 2022. Organic fertilization promotes crop productivity through changes in soil aggregation. Soil Biology and Biochemistry, 165, 108533.
168. Tiemann L. K., Grandy A. S., Atkinson E. E., Marin-Spiotta E., McDaniel M. D. 2015. Crop rotational diversity enhances belowground communities and functions in an agroecosystem. Ecology letters, 18(8), 761-771.
169. Tillmann M., von Tiedemann A., Winter M. 2017. Crop rotation effects on incidence and diversity of *Fusarium* species colonizing stem bases and grains of winter wheat. Journal of Plant Diseases and Protection, 124(2), 121-130.
170. Termorshuizen A. J., Van Rijn E., Van Der Gaag D. J., Alabouvette C., Chen Y., Lagerlöf J., Malandrakis A. A., Paplomatas E. J., Rämert B., Steinberg C., Ryckeboer J., Zmora-Nahum, S. 2006. Suppressiveness of 18 composts against 7 pathosystems: variability in pathogen response. Soil Biology and Biochemistry, 38(8), 2461-2477.
171. Tompkins D. K., Fowler D. B., Wright A. T. 1992. Foliar disease development in no-till winter wheat: influence of agronomic practices on powdery mildew development. Canadian Journal of Plant Science, 72(3), 965-972.
172. Town J. R., Gregorich E. G., Drury C. F., Lemke R., Phillips L. A., Helgason B. L. 2022. Diverse crop rotations influence the bacterial and fungal communities in root, rhizosphere and soil and impact soil microbial processes. Applied Soil Ecology, 169, 104241.
173. Treseder K. K., Lennon J. T. 2015. Fungal traits that drive ecosystem dynamics on land. Microbiology and Molecular Biology Reviews, 79(2), 243-262.
174. Uroz S., Calvaruso C., Turpault M. P., Frey-Klett P. 2009. Mineral weathering by bacteria: ecology, actors and mechanisms. Trends in microbiology, 17(8), 378-387.
175. Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu (Dz.U. 2007 nr 147 poz. 1033)
176. van der Bom F., Nunes I., Raymond N. S., Hansen V., Bonnichsen L., Magid J., Nybroe O., Jensen L. S. 2018. Long-term fertilisation form, level and duration affect the diversity, structure and functioning of soil microbial communities in the field. Soil Biology and Biochemistry, 122, 91-103.
177. Van Der Heijden M. G., Bardgett R. D., Van Straalen N. M. 2008. The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. Ecology letters, 11(3), 296-310.
178. Venter Z. S., Jacobs K., Hawkins H. J. 2016. The impact of crop rotation on soil microbial diversity: A meta-analysis. Pedobiologia, 59(4), 215-223.

179. Vieira S., Luckner M., Wanner G., Overmann J. 2017. *Luteitalea pratensis* gen. nov., sp. nov. a new member of subdivision 6 Acidobacteria isolated from temperate grassland soil. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 67(5), 1408-1414.
180. Viketoft M., Riggi L. G., Bommarco R., Hallin S., Taylor A. R. 2021. Type of organic fertilizer rather than organic amendment per se increases abundance of soil biota. PeerJ, 9, e11204.
181. Wakuliński W., Zamorski C., Nowicki B., Schollenberger M., Kachlicki P., 2002. Wybrane zagadnienia z epidemiologii brunatnej plamistości liści pszenicy i pszenżyta-charakterystyka i znaczenie źródeł infekcji. Acta Agrobotanica 55(1), 347–357.
182. Walters D. R., Bingham I. J. 2007. Influence of nutrition on disease development caused by fungal pathogens: implications for plant disease control. Annals of applied biology, 151(3), 307-324.
183. Walther G., Wagner L., Kurzai O. 2020. Outbreaks of mucorales and the species involved. Mycopathologia, 185(5), 765-781.
184. Wang X. W., Yang F. Y., Meijer M., Kraak B., Sun B. D., Jiang Y. L., Wu Y. M., Bai F. Y., Seifert K. A., Crous P. W., Samson R. A., Houbraken, J. 2019. Redefining *Humicola* sensu stricto and related genera in the *Chaetomiaceae*. Studies in mycology, 93, 65-153.
185. Weber R., Hryńczuk B., Kita W. 2005. Wpływ przedplonu i sposobu uprawy roli na porażenie kilku odmian pszenicy ozimej przez grzyby wywołujące choroby podstawy źdźbła. Pamiętnik Puławski, 139, 299-310.
186. Weller D. M., Raaijmakers J. M., Gardener B. B. M., Thomashow L. S. 2002. Microbial populations responsible for specific soil suppressiveness to plant pathogens. Annual review of phytopathology, 40(1), 309-348.
187. Wierzbowska J., Sienkiewicz S., Zalewska M., Żarczyński P., Krzebietke S. 2020. Phosphorus fractions in soil fertilised with organic waste. Environmental monitoring and assessment, 192(5), 1-11.
188. Wierzbowska J., Sienkiewicz S., Załuski D. 2021. Nitrogen Fractions in Soil Fertilized with Waste Organic Materials. Agronomy, 11(8), 1474.
189. Willyerd K. T., Bradley C. A., Chapara V., Conley S. P., Esker P. D., Madden L. V., Wise K. A., Paul P. A. 2015. Revisiting fungicide-based management guidelines for leaf blotch diseases in soft red winter wheat. Plant disease, 99(10), 1434-1444.

190. Windisch S., Sommermann L., Babin D., Chowdhury S. P., Grosch R., Moradtalab N., Walker F., Höglinger B., El-Hasan A., Armbruster W., Nesme J., Sørensen S. J., Schellenberg J., Geistlinger J., Smalla K., Rothballer M., Ludewig U., Neumann G. 2021. Impact of long-term organic and mineral fertilization on rhizosphere metabolites, root–microbial interactions and plant health of lettuce. Frontiers in microbiology, 11, 597745.
191. Watanabe T. 2002. Pictorial atlas of soil and seed fungi, CRC PRESS. Tsukuba, Ibaraki, Japan.
192. Wrzaszcz W., Prandecki K. 2020. Rolnictwo a Europejski Zielony Ład. Zagadnienia Ekonomiki Rolnej/Problems of Agriculture Economics, (4), 365.
193. Wu L. S., Nie Y. Y., Yang Z. R., Zhang,J. 2016. Responses of soil inhabiting nitrogen-cycling microbial communities to wetland degradation on the Zoige Plateau, China. Journal of Mountain Science, 13(12), 2192-2204.
194. Wójtowicz A., Wójtowicz M., Pasternak M. 2020. Opracowanie i ocena wiarygodności modeli matematycznych do szacowania okresu inkubacji rdzy brunatnej żyta (*Puccinia recondita*). Fragmenta Agronomica, 36(1).
195. Xiang X., Liu J., Zhang J., Li D., Xu C., Kuzyakov Y. 2020. Divergence in fungal abundance and community structure between soils under long-term mineral and organic fertilization. Soil and Tillage Research, 196, 104491.
196. Xin X. F., Kvitko B., He S. Y. 2018. *Pseudomonas syringae*: what it takes to be a pathogen. Nature Reviews Microbiology, 16(5), 316-328.
197. Yadav A. N., Verma P., Kumar V., Sangwan P., Mishra S., Panjiar N., Gupta V. K., Saxena A. K. 2018. Biodiversity of the genus *Penicillium* in different habitats. In New and future developments in microbial biotechnology and bioengineering (pp. 3-18). Elsevier.
198. Yang Y., Liang L. Y., Li H. C., Han W. S. 2021. Dynamics of soil bacteria and fungi communities of dry land for 8 years with soil conservation management. Journal of Environmental Management, 299, 113544.
199. Young C. S., Werner C. P. 2012. Infection routes for *Sclerotinia sclerotiorum* in apetalous and fully petalled winter oilseed rape. Plant pathology, 61(4), 730-738.
200. Zaitlin B., Turkington K., Parkinson D., Clayton G. 2004. Effects of tillage and inorganic fertilizers on culturable soil actinomycete communities and inhibion of fungi by specific actinomycetes. Applied Soil Ecology, 26(1), 53-62.

201. Zak D. R., Holmes W. E., White D. C., Peacock A. D., Tilman D. 2003. Plant diversity, soil microbial communities, and ecosystem function: are there any links?. Ecology, 84(8), 2042-2050.
202. Zalewski M. 2021. Rynek środków produkcji dla rolnictwa - stan i perspektywy. Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej, Warszawa, Polska.
203. Zhang J., Li J., Geng G., Hu W., Ren T., Cong R., Li X., Lu J. 2020. Combined application of nitrogen and potassium reduces seed yield loss of oilseed rape caused by *Sclerotinia* stem rot disease. Agronomy Journal, 112(6), 5143-5157.
204. Zhang,Q. C., Shamsi I. H., Xu D. T., Wang G. H., Lin X. Y., Jilani G., Hussain N., Chaudhry A. N. 2012. Chemical fertilizer and organic manure inputs in soil exhibit a vice versa pattern of microbial community structure. Applied Soil Ecology, 57, 1-8.
205. Zhao Y., Selvaraj J. N., Xing F., Zhou L., Wang Y., Song H., Tan X., Sun L., Sangare L., Folly Y., M., E., Liu Y. 2014. Antagonistic action of *Bacillus subtilis* strain SG6 on *Fusarium graminearum*. PloS one, 9(3), e92486.
206. Zhu J., Li M., Whelan M. 2018. Phosphorus activators contribute to legacy phosphorus availability in agricultural soils: A review. Science of the Total Environment, 612, 522-537.
207. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?mode=Info&id=1386
208. https://www.dekalb.pl/documents/70112/697110/Exquisite+v8.pdf

ZAŁĄCZNIKI

TABELE

Tabela 1. Skład chemiczny obornika i materiałów organicznych użytych w doświadczeniu

Składnik	Obornik (OB)	Kompost z osadu ściekowego i słomy (K OS+SL)	Osad ściekowy suszony i granulowany (O GR)	Kompost z osadu ściekowego (K OS)	Kompost z odpadów komunalnych (K DANO)	Kompost z odpadów zieleni miejskiej (K ZM)
			$g \cdot kg^{-1}$			
s.m.	226,.04	560	411	136	647	811
			$g \cdot kg^{-1}$ s.m.			
C	393	290	729	661	260	112
N	17,5	20,4	63,6	55,4	12,6	5
P	1,02	6,4	20,2	34,4	2,6	1,3
Ca	18,2	24,6	26,6	36,4	62,4	27,3
Mg	6,1	2,4	4,2	4,9	3,3	2,3
			$g \cdot kg^{-1}$			
Cu	36,8	65,5	249	402	297	34,1
Zn	223	295	1360	980	831	133
Mn	335,4	210,6	300,5	228	273,6	326,8
Pb	<2,50	24,9	20,3	15,8	178	29,1
Cd	0,26	1,72	2,29	0,69	3,13	1,13
Cr	3,51	153	33,2	56,9	53,7	19,8
Ni	6,64	17,7	36,6	28	35,2	15,5
Hg	0,06	0,26	1,27	0,39	0,53	0,06

Tabela 2. Warunki pogodowe w latach badań (dane według Stacji Meteorologicznej w Bałcynach)

a) Średnia temperatura powietrza [°C]

Rok	**Miesiąc**											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2017	-3,2	-1,2	5,1	6,7	13,1	16,7	17,3	18,7	13,5	9,4	4,3	1,9
2018	0	-4,1	-0,5	11,9	16,5	17,9	20	20,4	15,3	9,8	4,1	1,1
2019	-2,6	2,0	5,2	8,9	12,1	21,0	17,4	19,5	14,0	10,1	5,6	2,8
2020	2,4	3,1	3,6	6,8	9,9	17,8	17,6	19,2	14,7	10,1	5,6	1,5
Średnia z lat 1981-2010	-3,5	-2,6	1,2	6,6	12,4	15,7	16,9	16,5	12,6	8,1	2,8	-1,3

b) Suma opadów atmosferycznych [mm]

Rok	**Miesiąc**											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2017	15,8	40,5	53,0	52,1	34,0	109,9	106,1	54,8	211,1	160,3	49,0	53,8
2018	37,6	2	25	28,1	41	64,7	140,7	31,2	29,1	46,9	24,5	57,2
2019	43	33,8	30,2	0	97,8	92	85,8	64,8	43	38,1	20,1	17,6
2020	28,6	44,9	25,4	1,1	64,0	99,3	39,7	107,2	32,1	81,2	10,9	25,1
Suma z lat 1981-2010	26,3	19,6	27,4	35,2	56,7	68,3	81,3	78,1	57,1	54,0	51,4	40,4

Tabela 3. Nasilenie chorób rzepaku ozimego

Obiekt	Choroba (Patogen)	Średnia (stopnie 0-5°)	Udział porażonych roślin (%)	Średni stopień porażonych roślin (0-5°)	Wartości istotne wobec kontroli (K)	Wartości istotne wobec NPK
K	Werticilioza rzepaku (*Verticillium dahliae*, *Verticillium longisporum*)	0,09	9,00	1,00	-	0,0028
NPK		0,45	24,00	1,88	0,0028	-
OB		0,24	12,00	2,00	0,4492	0,0258
K OS+SL		0,27	15,00	1,80	0,1975	0,0897
O GR		0,57	24,00	2,38	0,0010	0,7629
K OS		0,30	21,00	1,43	0,0258	0,4492
K DANO		0,24	21,00	1,14	0,0395	0,3540
K ZM		0,27	24,00	1,13	0,0107	0,6648
K	Czerń krzyżowych (*Alternaria* spp.)	0,03	3,00	1,00	-	1,0000
NPK		0,03	3,00	1,00	1,0000	-
OB		0,00	0,00	0,00	0,0811	0,0811
K OS+SL		0,00	0,00	0,00	0,0811	0,0811
O GR		0,06	6,00	1,00	0,0811	0,0811
K OS		0,00	0,00	0,00	0,0811	0,0811
K DANO		0,00	0,00	0,00	0,0811	0,0811
K ZM		0,00	0,00	0,00	0,0811	0,0811

*K - Kontrola; NPK- Nawożenie mineralne; OB - Obornik; K OS+SL - Kompost z komunalnego osadu ściekowego i słomy; O GR - Osad ściekowy suszony i granulowany; K OS - Kompost z osadu ściekowego; K DANO - Kompost z odpadów komunalnych; K ZM - Kompost z odpadów zieleni miejskiej.

Kolorem pomarańczowym oznaczono warianty różniące się istotnie - $p < 0,01$, jaśniejszym odcieniem oznaczono $p < 0,05$.

Tabela 4. Nasilenie chorób liścia flagowego pszenicy ozimej

Obiekt	Choroba (Patogen)	Średnia (stopnie 0-5°)	Udział porażonych roślin (%)	Średni stopień porażonych roślin (0-5°)	Wartości istotne wobec kontroli (K)	Wartości istotne wobec NPK
K	Septorioza paskowana liści pszenicy (*Mycosphaerella graminicola*)	0,69	55,00	1,25	-	0,0059
NPK		0,44	36,00	1,22	0,0059	-
OB		0,46	43,00	1,07	0,0324	0,5397
K OS+SL		0,59	52,00	1,13	0,4306	0,0495
O GR		0,57	52,00	1,10	0,3872	0,0591
K OS		0,74	63,00	1,17	0,3829	0,0003
K DANO		0,40	36,00	1,11	0,0031	0,8345
K ZM		0,71	64,00	1,17	0,8469	0,0032
K	Brunatna plamistość liści (*Pyrenophora tritici-repentis*)	0,01	1,00	1,00	-	0,0455
NPK		0,00	0,00	0,00	0,0455	-
OB		0,00	0,00	0,00	0,0455	1,0000
K OS+SL		0,00	0,00	0,00	0,0455	1,0000
O GR		0,00	0,00	0,00	0,0455	1,0000
K OS		0,00	0,00	0,00	0,0455	1,0000
K DANO		0,00	0,00	0,00	0,0455	1,0000
K ZM		0,00	0,00	0,00	0,0455	1,0000

*K; NPK; OB; K OS+SL; O GR; K OS; K DANO; K ZM - patrz tabela 3.

Tabela 5. Nasilenie chorób kłosa pszenicy ozimej

Wariant	Choroba (Patogen)	Średnia (stopnie 0-5°)	Udział porażonych roślin (%)	Średni stopień porażonych roślin (0-5°)	Wartości istotne wobec kontroli (K)	Wartości istotne wobec NPK
K	Septorioza plew pszenicy (*Phaeosphaeria nodorum*)	0,29	29,00	1,00	-	0,1830
NPK		0,39	38,00	1,03	0,1830	-
OB		0,44	43,00	1,02	0,0413	0,4784
K OS+SL		0,34	33,00	1,03	0,5335	0,4784
O GR		0,56	53,00	1,06	0,0004	0,0252
K OS		0,43	37,00	1,16	0,1734	0,9761
K DANO		0,44	41,00	1,07	0,0618	0,5917
K ZM		0,37	36,00	1,03	0,2947	0,7768
K	Fuzarioza kłosów zbóż (*Fusarium* spp.)	0,01	1,00	1,00	-	1,0000
NPK		0,01	1,00	1,00	1,0000	-
OB		0,02	2,00	1,00	0,5899	0,5899
K OS+SL		0,03	3,00	1,00	0,2811	0,2811
O GR		0,02	2,00	1,00	0,5899	0,5899
K OS		0,01	1,00	1,00	1,0000	1,0000
K DANO		0,03	3,00	1,00	0,2811	0,2811
K ZM		0,01	1,00	1,00	1,0000	1,0000
K	Czerń zbóż (*Cladosporium herbarum, Alternaria alternata*)	0,04	3,00	1,33	-	0,2438
NPK		0,01	1,00	1,00	0,2438	-
OB		0,01	1,00	1,00	0,2438	1,0000
K OS+SL		0,00	0,00	0,00	0,0810	0,5625
O GR		0,00	0,00	0,00	0,0810	0,5625
K OS		0,07	5,00	1,40	0,2458	0,0200
K DANO		0,04	2,00	2,00	0,5639	0,5561
K ZM		0,00	0,00	0,00	0,0810	0,5625

*K; NPK; OB; K OS+SL; O GR; K OS; K DANO; K ZM - patrz tabela 3.

Tabela 6. Nasilenie chorób podstawy źdźbła pszenicy ozimej

Obiekt	Choroba (Patogen)	Średnia (stopnie 0-2°)	Udział porażonych roślin (%)	Średni stopień porażonych roślin (0-2°)	Wartości istotne wobec kontroli (K)	Wartości istotne wobec NPK
K	Fuzaryjna zgorzel podstawy źdźbła i korzeni (*Fusarium* spp.)	0,37	35,00	1,06	-	0,0034
NPK		0,63	54,00	1,17	0,0034	-
OB		0,44	41,00	1,07	0,3942	0,0380
K OS+SL		0,35	31,00	1,13	0,6829	0,0009
O GR		0,63	50,00	1,26	0,0083	0,7726
K OS		0,54	49,00	1,10	0,0426	0,3685
K DANO		0,58	48,00	1,21	0,0282	0,4639
K ZM		0,34	33,00	1,03	0,7460	0,0011
K	Łamliwość źdźbła zbóż i traw (*Oculimacula yallundae, Oculimacula acuformis*)	0,04	4,00	1,00	-	0,6813
NPK		0,02	2,00	1,00	0,6813	-
OB		0,12	11,00	1,09	0,1429	0,0607
K OS+SL		0,24	21,00	1,14	0,0004	0,0001
O GR		0,21	19,00	1,11	0,0017	0,0004
K OS		0,20	18,00	1,11	0,0034	0,0008
K DANO		0,15	14,00	1,07	0,0374	0,0127
K ZM		0,19	17,00	1,12	0,0064	0,0017
K	Ostra plamistość oczkowa (*Ceratobasidium cereale*)	0,00	0,00	0,00	-	1,0000
NPK		0,00	0,00	0,00	1,0000	-
OB		0,00	0,00	0,00	1,0000	1,0000
K OS+SL		0,03	3,00	1,00	0,0140	0,0140
O GR		0,01	1,00	1,00	0,4128	0,4128
K OS		0,00	0,00	0,00	1,0000	1,0000
K DANO		0,02	2,00	1,00	0,1014	0,1014
K ZM		0,00	0,00	0,00	1,0000	1,0000

*K; NPK; OB; K OS+SL; O GR; K OS; K DANO; K ZM - patrz tabela 3.

Tabela 7. Nasilenie zarazy ziemniaka na naci

Wariant	Choroba (Patogen)	Średnia (stopnie 1-9°)	Udział porażonych roślin (%)	Średni stopień porażonych roślin (1-9°)	Wartości istotne wobec kontroli (K)	Wartości istotne wobec NPK
K	Zaraza ziemniaka (*Phytophthora infestans*)	6,33	100,00	6,33	-	0,00
NPK		3,93	100,00	3,93	0,00	-
OB		5,30	100,00	5,30	0,01	0,00
K OS+SL		5,13	100,00	5,13	0,00	0,00
O GR		3,53	100,00	3,53	0,00	0,25
K OS		3,73	100,00	3,73	0,00	0,58
K DANO		5,97	100,00	5,97	0,60	0,00
K ZM		6,40	100,00	6,40	0,92	0,00

*K; NPK; OB; K OS+SL; O GR; K OS; K DANO; K ZM - patrz tabela 3.

Tabela 8. Grzyby wyizolowane z gleby spod uprawy rzepaku ozimego

Gatunek (Takson)	K	NPK	OB	K OS+SL	O GR	K OS	K DANO	K ZM	Suma	%
Acrostalagmus luteoalbus (Link) Zare, W. Gams & Schroers			1	1					2	0,1
Arthrinium phaeospermum (Corda) M.B. Ellis	5								5	0,2
Ascochyta medicaginicola Qian Chen & L. Cai		1				1		1	3	0,1
Aureobasidium pullulans (de Bary & Löwenthal) G. Arnaud								1	1	0,0
Dichotomopilus erectus (Skolko & J.W. Groves) X.Wei Wang & Samson	1	1	3	3	1	1		1	11	0,4
Gymnoascus reessii Baran.	2			3		3	1		9	0,3
Humicola fuscoatra Traaen						21			21	0,7
Juxtiphoma eupyrena (Sacc.) Valenz.-Lopez, Crous, Stchigel, Guarro & Cano		2			1				3	0,1
Microdochium nivale (Fr.) Samuels & IC Hallett		2	3				2	2	9	0,3
Monilia pruinosa Cooke & Massee					1				1	0,0
Penicillium sp.	239		14	36	1159	1	89	1422	2960	97,4
Scopulariopsis brumptii Salv.-Duval							1		1	0,0
Stachybotrys chartarum (Ehrenb.) S. Hughes		1							1	0,0
Trichocladium griseum (Traaen) X. Wei Wang & Houbraken	2								2	0,1
Trichoderma aureoviride Rifai						1			1	0,0
Trichoderma virens (J.H. Mill., Giddens & A.A. Foster) Arx					1				1	0,0
Trichoderma viride Pers.				1		2			3	0,1
Xenodidymella humicola (J.C. Gilman & E.V. Abbott) Qian Chen & L. Cai		2		2				1	5	0,2
Suma	249	9	21	46	1163	30	93	1428	3039	100,0

*K; NPK; OB; K OS+SL; O GR; K OS; K DANO; K ZM - patrz tabela 3.

Eudominant	Dominant	Subdominant	Recedent	Subrecedent	
>50%	20-50%	5-20%	1-5%	<1%	0

Tabela 9. Grzyby wyizolowane z ryzosfery rzepaku ozimego

Gatunek (Takson)	K	NPK	OB	K OS+SL	O GR	K OS	K DANO	K ZM	Suma	%
Acaulium acremonium (Delacr.) Sand.-Den., Guarro & Gené		4							4	0,3
Apiospora montagnei Sacc.				122				19	141	11,3
Arthrinium phaeospermum (Corda) M.B. Ellis		1			21				22	1,8
Ascochyta medicaginicola Qian Chen & L. Cai								1	1	0,1
Byssochlamys laguncularіae (C. Ram) Samson, Houbraken		3				51			54	4,3
Chaetomium piluliferum J. Daniels			6				86		92	7,4
Colletotrichum acutatum J.H. Simmonds		6				4			10	0,8
Colletotrichum falcatum Went					3				3	0,2
Dipodascus geotrichum (E.E. Butler & L.J. Petersen) Arx								58	58	4,7
Fusarium oxysporum Schltdl.		1							1	0,1
Gilmaniella humicola G.L. Barron				114					114	9,1
Humicola fuscoatra Traaen						13		237	250	20,0
Juxtiphoma eupyrena (Sacc.) Valenz.-Lopez, Crous, Stchigel, Guarro & Cano								2	2	0,2
Microascus chartarum (G. Sm.) Sand.-Den., Gené & Guarro			38					8	46	3,7
Microdochium nivale (Fr.) Samuels & IC Hallett			3						3	0,2
Monilia pruinosa Cooke & Massee	1								1	0,1
Mucor heterogamus Vuill.				6					6	0,5
Mucor hiemalis Wehmer			1						1	0,1
Paecilomyces variotii Bainier	54		22		277		15		368	29,5
Phoma herbarum Westend.	1		1						2	0,2
Pseudopithomyces chartarum (Berk. & M.A. Curtis) Jun F. Li, Ariyaw. & K.D. Hyde						2			2	0,2
Rhizopus sp.		4							4	0,3
Sarocladium strictum (W. Gams) Summerb.	2						29		31	2,5

Tabela 9. c.d.

Gatunek (Takson)	K	NPK	OB	K OS+SL	O GR	K OS	K DANO	K ZM	Suma	%
Scopulariopsis brumptii Salv.-Duval								1	1	0,1
Stachybotrys chartarum (Ehrenb.) S. Hughes								20	20	1,6
Trichocladium griseum (Traaen) X. Wei Wang & Houbraken						8			8	0,6
Trichoderma viride Pers.							1		1	0,1
Xenodidymella humicola (J.C. Gilman & E.V. Abbott) Qian Chen & L. Cai	1								1	0,1
Suma	59	19	71	242	301	78	131	346	1247	100,0

*K; NPK; OB; K OS+SL; O GR; K OS; K DANO; K ZM - patrz tabela 3.

Tabela 10. Grzyby wyizolowane z ryzoplany rzepaku ozimego

Gatunek (Takson)	K	NPK	OB	K OS+SL	O GR	K OS	K DANO	K ZM	Suma	%
Acaulium acremonium (Delacr.) Sand.-Den., Guarro & Gené		1	1				1		3	0,2
Alternaria chartarum Preuss						2			2	0,2
Amorphotheca resinae Parbery					5				5	0,4
Apiospora montagnei Sacc.				152					152	11,9
Arthrinium phaeospermum (Corda) M.B. Ellis				1	1	3			5	0,4
Ascochyta medicaginicola Qian Chen & L. Cai					3	23		4	30	2,4
Byssochlamys laguncularіae (C. Ram) Samson, Houbraken		6			1				7	0,5
Chaetomium piluliferum J. Daniels	1		3				7		11	0,9
Clonostachys rosea (Link) Schroers, Samuels, Seifert & W. Gams						23			23	1,8
Colletotrichum acutatum J.H. Simmonds		5							5	0,4
Fusarium graminearum Schwabe								2	2	0,2
Fusarium oxysporum Schltdl.		2							2	0,2
Gilmaniella humicola G.L. Barron				110					110	8,6
Gymnoascus reessii Baran.					2				2	0,2
Humicola fuscoatra Traaen					1			187	188	14,8
Juxtiphoma eupyrena (Sacc.) Valenz.-Lopez, Crous, Stchigel, Guarro & Cano						5		48	53	4,2
Microascus chartarum (G. Sm.) Sand.-Den., Gené & Guarro	2			1					3	0,2
Microdochium nivale (Fr.) Samuels & IC Hallett	1								1	0,1
Monilia pruinosa Cooke & Massee								1	1	0,1
Mortierella verrucosa Linnem.		1	1				18		20	1,6
Mucor heterogamus Vuill.				8					8	0,6
Mucor hiemalis Wehmer	10								10	0,8
Neurospora sitophila Shear & B.O. Dodge	1		1						2	0,2

Tabela 10. c.d.

Gatunek (Takson)	K	NPK	OB	K OS+SL	O GR	K OS	K DANO	K ZM	Suma	%
Paecilomyces variotii Bainier	89		24		314	32	46		505	39,6
Penicillium sp.		2					35	1	38	3,0
Phoma herbarum Westend.	1								1	0,1
Sarocladium strictum (W. Gams) Summerb.	23		1			2		7	33	2,6
Scopulariopsis brumptii Salv.-Duval								31	31	2,4
Trichoderma hamatum (Bonord.) Bainier						18		2	20	1,6
Trichoderma viride Pers.	1								1	0,1
Suma	129	17	31	272	327	108	107	283	1274	100,0

*K; NPK; OB; K OS+SL; O GR; K OS; K DANO; K ZM - patrz tabela 3.

Tabela 11. Grzyby wyizolowane z korzeni rzepaku ozimego

Gatunek (Takson)	K	NPK	OB	K OS+SL	O GR	K OS	K DANO	K ZM	Suma	%
Alternaria chartarum Preuss						1			1	0,6
Ascochyta medicaginicola Qian Chen & L. Cai					3				3	1,9
Fusarium avenaceum (Fr.) Sacc.						3			3	1,9
Fusarium culmorum (Wm.G. Sm.) Sacc.							1	1	2	1,3
Fusarium graminearum Schwabe					4			5	9	5,7
Fusarium oxysporum Schltdl.	3						1		4	2,5
Fusarium solani (Mart.) Sacc.			2				1		3	1,9
Juxtiphoma eupyrena (Sacc.) Valenz.-Lopez, Crous, Stchigel, Guarro & Cano	2								2	1,3
Microdochium nivale (Fr.) Samuels & IC Hallett								3	3	1,9
Mortierella alpina Peyronel		16		8	1			2	27	17,2
Mortierella tuberosa Tiegh.	12	6	17		8	9	9		61	38,9
Mortierella verrucosa Linnem.					2				2	1,3
Mucor plumbeus Bonord.			2						2	1,3
Rhizoctonia sp.		4				5	1	7	17	10,8
Rhizopus sp.					2				2	1,3
Sarocladium strictum (W. Gams) Summerb.	6						10		16	10,2
Suma	23	26	21	8	20	18	23	18	157	100,0

*K; NPK; OB; K OS+SL; O GR; K OS; K DANO; K ZM - patrz tabela 3.

Tabela 12. Grzyby wyizolowane z gleby spod uprawy pszenicy ozimej

Gatunek (Takson)	K	NPK	OB	K OS+SL	O GR	K OS	K DANO	K ZM	Suma	%
Acremonium murorum (Corda) W. Gams	1				1				2	1,0
Aureobasidium pullulans (de Bary & Löwenthal) G. Arnaud						1	1		2	1,0
Botrytis cinerea Pers.	1								1	0,5
Byssochlamys laguncularіae (C. Ram) Samson, Houbraken		1				1			2	1,0
Chaetomium piluliferum J. Daniels							1		1	0,5
Chaetomium convolutum Chivers								1	1	0,5
Clonostachys rosea (Link) Schroers, Samuels, Seifert & W. Gams		2		2		1			5	2,5
Dichotomopilus erectus (Skolko & J.W. Groves) X.Wei Wang & Samson	13	5	8		1	3	3	6	39	19,6
Dissophora globulifera (O. Rostr.) Vandepol & Bonito								1	1	0,5
Fusarium oxysporum Schltdl.								1	1	0,5
Gonytrichum macrocladum (Sacc.) S. Hughes	1								1	0,5
Gymnoascus reessii Baran.					10	1	3		14	7,0
Humicola fuscoatra Traaen		2	5			39	7		53	26,6
Ilyonectria radicicola (Gerlach & L. Nilsson) P. Chaverri & Salgado		4	3						7	3,5
Juxtiphoma eupyrena (Sacc.) Valenz.-Lopez, Crous, Stchigel, Guarro & Cano								2	2	1,0
Linnemannia gamsii (Milko) Vandepol & Bonito		1							1	0,5
Microascus brevicaulis S.P. Abbott		6	2	2		4	9	5	28	14,1
Monilia pruinosa Cooke & Massee		1							1	0,5
Mortierella jenkinii (A.L. Sm.) Naumov	1								1	0,5
Mortierella verrucosa Linnem.	2								2	1,0
Mortierella zonata Linnem. ex W. Gams		1							1	0,5
Mucor hiemalis Wehmer						1			1	0,5
Paecilomyces variotii Bainier								1	1	0,5

Tabela 12. c.d.

Gatunek (Takson)	K	NPK	OB	K OS+SL	O GR	K OS	K DANO	K ZM	Suma	%
Papulaspora irregularis Hotson		1	1			15			17	8,5
Penicillium sp.		1						1	2	1,0
Pseudogymnoascus roseus Raillo		1							1	0,5
Pythium sp.		1		1					2	1,0
Rhizopus sp.			1				3		4	2,0
Sarocladium strictum (W. Gams) Summerb.		2							2	1,0
Stachybotrys chartarum (Ehrenb.) S. Hughes						1		1	2	1,0
Trichoderma hamatum (Bonord.) Bainier				1					1	0,5
Suma	19	29	20	6	12	67	27	19	199	100,0

*K; NPK; OB; K OS+SL; O GR; K OS; K DANO; K ZM - patrz tabela 3.

Tabela 13. Grzyby wyizolowane z ryzosfery pszenicy ozimej

Gatunek (Takson)	K	NPK	OB	K OS+SL	O GR	K OS	K DANO	K ZM	Suma	%
Acaulium acremonium (Delacr.) Sand.-Den., Guarro & Gené							1		1	0,2
Acremonium murorum (Corda) W. Gams	5								5	1,1
Alternaria alternata (Fr.) Keissl.							1		1	0,2
Apiospora montagnei Sacc.						6	12		18	3,9
Ascochyta medicaginicola Qian Chen & L. Cai		22	7	3					32	6,9
Aureobasidium pullulans (de Bary & Löwenthal) G. Arnaud	1								1	0,2
Botrytis cinerea Pers.			1						1	0,2
Byssochlamys laguncullariae (C. Ram) Samson, Houbraken	3								3	0,7
Chaetomium piluliferum J. Daniels		1		2					3	0,7
Clonostachys rosea (Link) Schroers, Samuels, Seifert & W. Gams		1			36	15	15	2	69	15,0
Cordyceps farinosa (Holmsk.) Kepler, B. Shrestha & Spatafora	7								7	1,5
Dichotomopilus erectus (Skolko & J.W. Groves) X.Wei Wang & Samson	5	1		1					7	1,5
Dichotomopilus funicola (Cooke) X.Wei Wang & Samson							3	1	4	0,9
Fusarium chlamydosporum Wollenw. & Reinking				2		1			3	0,7
Fusarium solani (Mart.) Sacc.								25	25	5,4
Gymnoascus reessii Baran.		3							3	0,7
Juxtiphoma eupyrena (Sacc.) Valenz.-Lopez, Crous, Stchigel, Guarro & Cano		2	1					2	5	1,1
Microascus chartarum (G. Sm.) Sand.-Den., Gené & Guarro					1				1	0,2
Mucor piriformis A. Fisch.		3			30	27	25	33	118	25,6
Paecilomyces variotii Bainier	21	2		14	66	5		14	122	26,5
Rhizopus sp.	7	2	6		3				18	3,9
Sarocladium strictum (W. Gams) Summerb.							2		2	0,4
Scopulariopsis brumptii Salv.-Duval								2	2	0,4

Tabela 13. c.d.

Gatunek (Takson)	K	NPK	OB	K OS+SL	O GR	K OS	K DANO	K ZM	Suma	%
Trichoderma viride Pers.							1		1	0,2
Umbelopsis isabellina (Oudem.) W. Gams						9			9	2,0
Suma	49	37	15	22	136	63	60	79	461	100,0

*K; NPK; OB; K OS+SL; O GR; K OS; K DANO; K ZM - patrz tabela 3.

Tabela 14. Grzyby wyizolowane z ryzoplany pszenicy ozimej

Gatunek (Takson)	K	NPK	OB	K OS+SL	O GR	K OS	K DANO	K ZM	Suma	%
Acaulium acremonium (Delacr.) Sand.-Den., Guarro & Gené			5						5	1,0
Acremonium murorum (Corda) W. Gams		3		1					4	0,8
Amorphotheca resinae Parbery					1				1	0,2
Apiospora montagnei Sacc.			1	1		1	3		6	1,2
Ascochyta medicaginicola Qian Chen & L. Cai		116	6	5	2	3			132	27,3
Botrytis cinerea Pers.				1					1	0,2
Byssochlamys laguncularіae (C. Ram) Samson, Houbraken	5								5	1,0
Cladosporium macrocarpum Preuss		1							1	0,2
Clonostachys rosea (Link) Schroers, Samuels, Seifert & W. Gams		1	1	1	52	20	8	10	93	19,2
Dichotomopilus erectus (Skolko & J.W. Groves) X.Wei Wang & Samson	16		5	1	3		2		27	5,6
Dichotomopilus funicola (Cooke) X.Wei Wang & Samson						5		1	6	1,2
Fusarium chlamydosporum Wollenw. & Reinking		2	1						3	0,6
Fusarium culmorum (Wm.G. Sm.) Sacc.								7	7	1,4
Fusarium solani (Mart.) Sacc.					1			16	17	3,5
Gymnoascus reessii Baran.			1				1		2	0,4
Humicola brevis (J.C. Gilman & E.V. Abbott) J.C. Gilman				1					1	0,2
Humicola fuscoatra Traaen				2					2	0,4
Humicola nigrescens var. thermorongeura Subrahm.				1					1	0,2
Ilyonectria destructans (Zinssm.) Rossman, L. Lombard & Crous				2					2	0,4
Juxtiphoma eupyrena (Sacc.) Valenz.-Lopez, Crous, Stchigel, Guarro & Cano		2	2			1			5	1,0
Microascus brevicaulis S.P. Abbott			1						1	0,2
Microdochium bolleyi (R. Sprague) de Hoog & Herm.-Nijh.				6					6	1,2
Mortierella alpina Peyronel				1					1	0,2

Tabela 14. c.d.

Gatunek (Takson)	K	NPK	OB	K OS+SL	O GR	K OS	K DANO	K ZM	Suma	%
Mucor piriformis A. Fisch.			2		12	10	9	13	46	9,5
Mucor plumbeus Bonord.			1						1	0,2
Paecilomyces variotii Bainier					18	11	5	34	68	14,0
Penicillium sp.		1	1	3					5	1,0
Phoma prunicola Schwein.						1			1	0,2
Rhizopus sp.		1	3	4					8	1,7
Sarocladium strictum (W. Gams) Summerb.					1	2	6	4	13	2,7
Scopulariopsis brumptii Salv.-Duval						1			1	0,2
Stachybotrys chartarum (Ehrenb.) S. Hughes						1			1	0,2
Trichoderma viride Pers.				2					2	0,4
Umbelopsis isabellina (Oudem.) W. Gams						2	6		8	1,7
Umbelopsis ramanniana (Möller) W. Gams			1						1	0,2
Suma	21	127	31	32	90	58	40	85	484	100,0

*K; NPK; OB; K OS+SL; O GR; K OS; K DANO; K ZM - patrz tabela 3.

Tabela 15. Grzyby wyizolowane z korzeni pszenicy ozimej

Gatunek (Takson)	K	NPK	OB	K OS+SL	O GR	K OS	K DANO	K ZM	Suma	%
Alternaria alternata (Fr.) Keissl.								1	1	0,7
Ascochyta medicaginicola Qian Chen & L. Cai	2			5		1			8	5,7
Aureobasidium pullulans (de Bary & Löwenthal) G. Arnaud						2			2	1,4
Bipolaris sorokiniana Shoemaker		1							1	0,7
Cladosporium herbarum (Pers.) Link						1		1	2	1,4
Fusarium avenaceum (Fr.) Sacc.		1						1	2	1,4
Fusarium chlamydosporum Wollenw. & Reinking	1		1				1		3	2,1
Fusarium culmorum (Wm.G. Sm.) Sacc.						4			4	2,8
Fusarium equiseti (Corda) Sacc.						1			1	0,7
Fusarium fujikuroi Nirenberg								1	1	0,7
Fusarium graminearum Schwabe		2		5	41				48	34,0
Fusarium oxysporum Schltdl.	4	11		4			1		20	14,2
Fusarium poae (Peck) Wollenw.	2		1			2		1	6	4,3
Fusarium solani (Mart.) Sacc.		5							5	3,5
Ilyonectria destructans (Zinssm.) Rossman, L. Lombard & Crous				2					2	1,4
Juxtiphoma eupyrena (Sacc.) Valenz.-Lopez, Crous, Stchigel, Guarro & Cano	2	2	3		1		2		10	7,1
Microdochium nivale (Fr.) Samuels & IC Hallett								2	2	1,4
Mortierella tuberosa Tiegh.				1			2	1	4	2,8
Papulaspora irregularis Hotson	1								1	0,7
Podila humilis (Linnem. ex W. Gams) Vandepol & Bonito							1		1	0,7
Rhizoctonia sp.				1		1	2		4	2,8
Rhizopus sp.								1	1	0,7
Sarocladium strictum (W. Gams) Summerb.	2		4				1		7	5,0

Tabela 15. c.d.

Gatunek (Takson)	K	NPK	OB	K OS+SL	O GR	K OS	K DANO	K ZM	Suma	%
Trichoderma viride Pers.	2		3						5	3,5
Suma	16	22	12	18	42	12	10	9	141	100,0

*K; NPK; OB; K OS+SL; O GR; K OS; K DANO; K ZM - patrz tabela 3.

Tabela 16. Grzyby wyizolowane z gleby spod uprawy ziemniaka

Gatunek (Takson)	K	NPK	OB	K OS+SL	O GR	K OS	K DANO	K ZM	Suma	%
Acremonium murorum (Corda) W. Gams				1					1	0,8
Albifimbria verrucaria (Alb. & Schwein.) L. Lombard & Crous			1		2				3	2,3
Apiospora montagnei Sacc.		1			2	2			5	3,8
Ascochyta medicaginicola Qian Chen & L. Cai					1	3		1	5	3,8
Byssochlamys laguncularіae (C. Ram) Samson, Houbraken		4	2		2				8	6,2
Chaetomium piluliferum J. Daniels		1							1	0,8
Clonostachys rosea (Link) Schroers, Samuels, Seifert & W. Gams		1			3	1			5	3,8
Cordyceps farinosa (Holmsk.) Kepler, B. Shrestha & Spatafora		2							2	1,5
Dichotomopilus erectus (Skolko & J.W. Groves) X.Wei Wang & Samson	5	3		2	4	3	2	3	22	16,9
Dichotomopilus funicola (Cooke) X.Wei Wang & Samson	1	1	1		1	2	1	2	9	6,9
Fusarium roseum Link	2			2		1			5	3,8
Fusarium acuminatum Ellis & Everh.						2			2	1,5
Gymnoascus reessii Baran.	3	4			5	3	2	1	18	13,8
Humicola fuscoatra Traaen	1								1	0,8
Juxtiphoma eupyrena (Sacc.) Valenz.-Lopez, Crous, Stchigel, Guarro & Cano				1		1			2	1,5
Microascus brevicaulis S.P. Abbott	2								2	1,5
Microascus chartarum (G. Sm.) Sand.-Den., Gené & Guarro			1						1	0,8
Mortierella alpina Peyronel				1		1			2	1,5
Mucor hiemalis Wehmer	1					1	1		3	2,3
Mucor piriformis A. Fisch.			1						1	0,8
Paecilomyces variotii Bainier		1			2				3	2,3
Papulaspora irregularis Hotson								1	1	0,8
Penicillium sp.	1	2		4	2	4	1	1	15	11,5

Tabela 16. c.d.

Gatunek (Takson)	K	NPK	OB	K OS+SL	O GR	K OS	K DANO	K ZM	Suma	%
Rhizoctonia sp.						1		1	2	1,5
Sarocladium strictum (W. Gams) Summerb.			1		1		1		2	2,3
Trichoderma viride Pers.					1				1	0,8
Umbelopsis isabellina (Oudem.) W. Gams	1				1				2	1,5
Umbelopsis ramanniana (Möller) W. Gams				1	1	1	1	1	5	3,8
Suma	17	20	7	13	27	26	9	11	130	100,0

*K; NPK; OB; K OS+SL; O GR; K OS; K DANO; K ZM - patrz tabela 3.

Tabela 17. Grzyby wyizolowane z ryzosfery ziemniaka

Gatunek (Takson)	K	NPK	OB	K OS+SL	O GR	K OS	K DANO	K ZM	Suma	%
Acremonium murorum (Corda) W. Gams	11	673	14		4	27	21		750	41,0
Alternaria alternata (Fr.) Keissl.		7					4	2	13	0,7
Alternaria chartarum Preuss		2							2	0,1
Amorphotheca resinae Parbery	6		1				1	1	9	0,5
Chaetomium piluliferum J. Daniels						1			1	0,1
Cladosporium macrocarpum Preuss		1				1			2	0,1
Dichotomopilus erectus (Skolko & J.W. Groves) X.Wei Wang & Samson	11						7		18	1,0
Dichotomopilus funicola (Cooke) X.Wei Wang & Samson								1	1	0,1
Fusarium culmorum (Wm.G. Sm.) Sacc.						1			1	0,1
Fusarium incarnatum (Desm.) Sacc.	1								1	0,1
Humicola brevis (J.C. Gilman & E.V. Abbott) J.C. Gilman							3	1	4	0,2
Humicola fuscoatra Traaen	1					9			10	0,5
Linnemannia elongata (Linnem.) Vandepol & Bonito							1		1	0,1
Microascus brevicaulis S.P. Abbott								5	5	0,3
Microascus chartarum (G. Sm.) Sand.-Den., Gené & Guarro		7							7	0,4
Mucor hiemalis Wehmer	1	9					1		11	0,6
Mucor piriformis A. Fisch.						21			21	1,1
Penicillium sp.	1	39	33	10	16		84	12	195	10,7
Rhizopus sp.	3	3	12	12	2	13	9	5	59	3,2
Sarocladium strictum (W. Gams) Summerb.	97	100	20	241	7		63	166	694	37,9
Stachybotrys chartarum (Ehrenb.) S. Hughes						7			7	0,4
Trichocladium griseum (Traaen) X. Wei Wang & Houbraken						1			1	0,1
Trichoderma hamatum (Bonord.) Bainier				9					9	0,5

Tabela 17. c.d.

Gatunek (Takson)	K	NPK	OB	K OS+SL	O GR	K OS	K DANO	K ZM	Suma	%
Trichoderma viride Pers.			3	1					4	0,2
Umbelopsis isabellina (Oudem.) W. Gams						3			3	0,2
Suma	132	841	83	273	29	84	194	193	1829	100,0

*K; NPK; OB; K OS+SL; O GR; K OS; K DANO; K ZM - patrz tabela 3.

Tabela 18. Grzyby wyizolowane z ryzoplany ziemniaka

Gatunek (Takson)	K	NPK	OB	K OS+SL	O GR	K OS	K DANO	K ZM	Suma	%
Acremonium murorum (Corda) W. Gams	6	338	1		8	30	11		394	27,4
Alternaria alternata (Fr.) Keissl.		1	2					3	6	0,4
Apiospora montagnei Sacc.						3			3	0,2
Ascochyta medicaginicola Qian Chen & L. Cai		2							2	0,1
Botrytis cinerea Pers.							3		3	0,2
Chaetomium piluliferum J. Daniels		2							2	0,1
Cladosporium herbarum (Pers.) Link							2		2	0,1
Cladosporium macrocarpum Preuss		1							1	0,1
Dichotomopilus erectus (Skolko & J.W. Groves) X.Wei Wang & Samson	9				1	2		30	42	2,9
Fusarium solani (Mart.) Sacc.			1						1	0,1
Humicola brevis (J.C. Gilman & E.V. Abbott) J.C. Gilman	2						2	5	9	0,6
Humicola fuscoatra Traaen						28	6		34	2,4
Ilyonectria radicicola (Gerlach & L. Nilsson) P. Chaverri & Salgado	1						1	2	4	0,3
Microascus brevicaulis S.P. Abbott			1		8		1		10	0,7
Microascus chartarum (G. Sm.) Sand.-Den., Gené & Guarro		9							9	0,6
Mortierella alpina Peyronel	2								2	0,1
Mucor hiemalis Wehmer		11				8	1		20	1,4
Mucor piriformis A. Fisch.	1	1	7			2			11	0,8
Penicillium sp.	13	20	23	5	41	4	35	6	147	10,2
Rhizopus sp.	2	6	20	18	5	6	8	2	67	4,7
Sarocladium strictum (W. Gams) Summerb.	53	79	36	174	40	60	63	140	645	44,8
Trichocladium griseum (Traaen) X. Wei Wang & Houbraken						1			1	0,1
Trichoderma hamatum (Bonord.) Bainier				2					2	0,1

Tabela 18. c.d.

Gatunek (Takson)	K	NPK	OB	K OS+SL	O GR	K OS	K DANO	K ZM	Suma	%
Trichoderma viride Pers.			3	2			4		9	0,6
Umbelopsis isabellina (Oudem.) W. Gams						13			13	0,9
Suma	89	470	94	201	103	157	137	188	1439	100,0

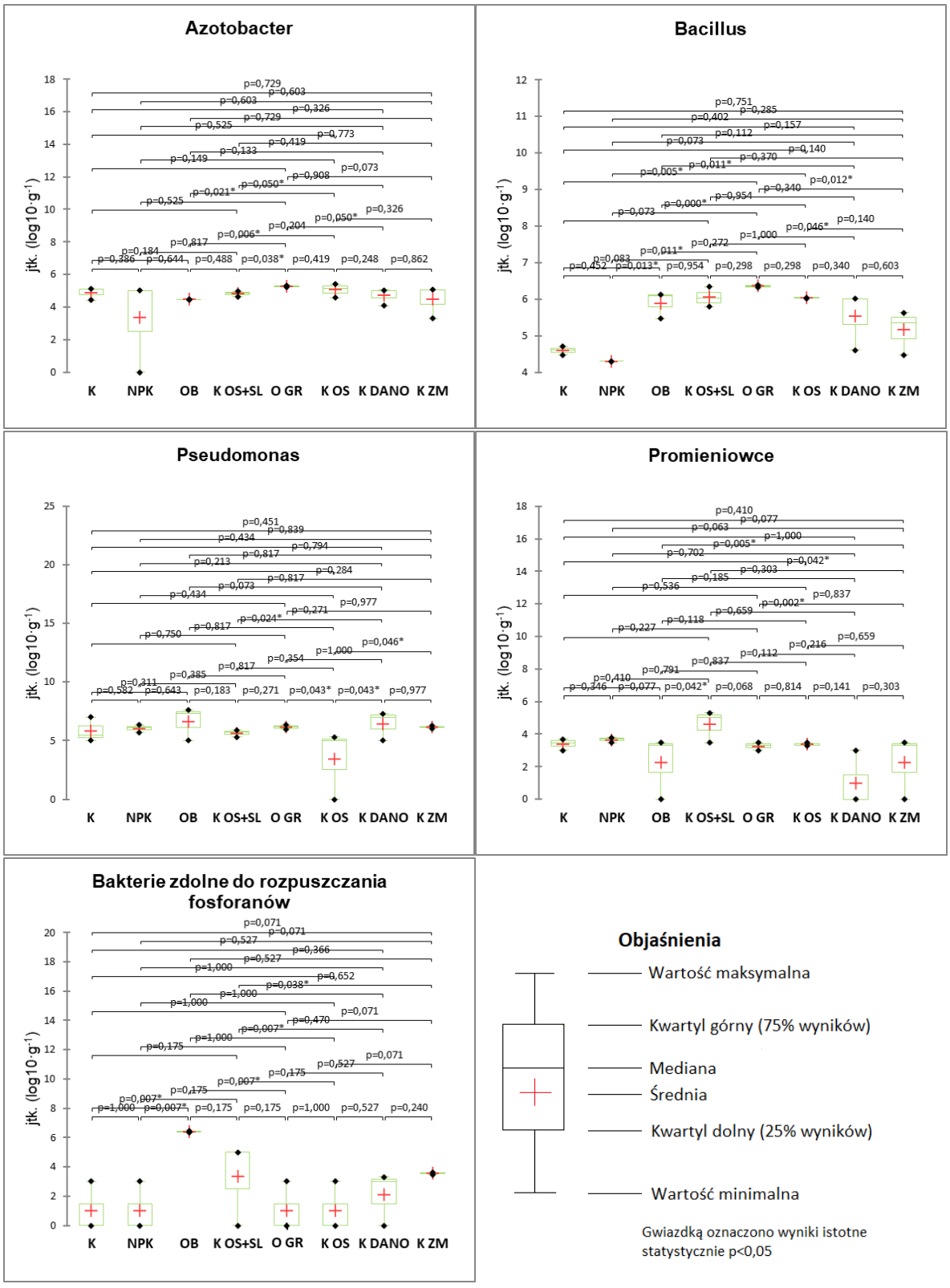
*K; NPK; OB; K OS+SL; O GR; K OS; K DANO; K ZM - patrz tabela 3.

Tabela 19. Grzyby wyizolowane z korzeni ziemniaka

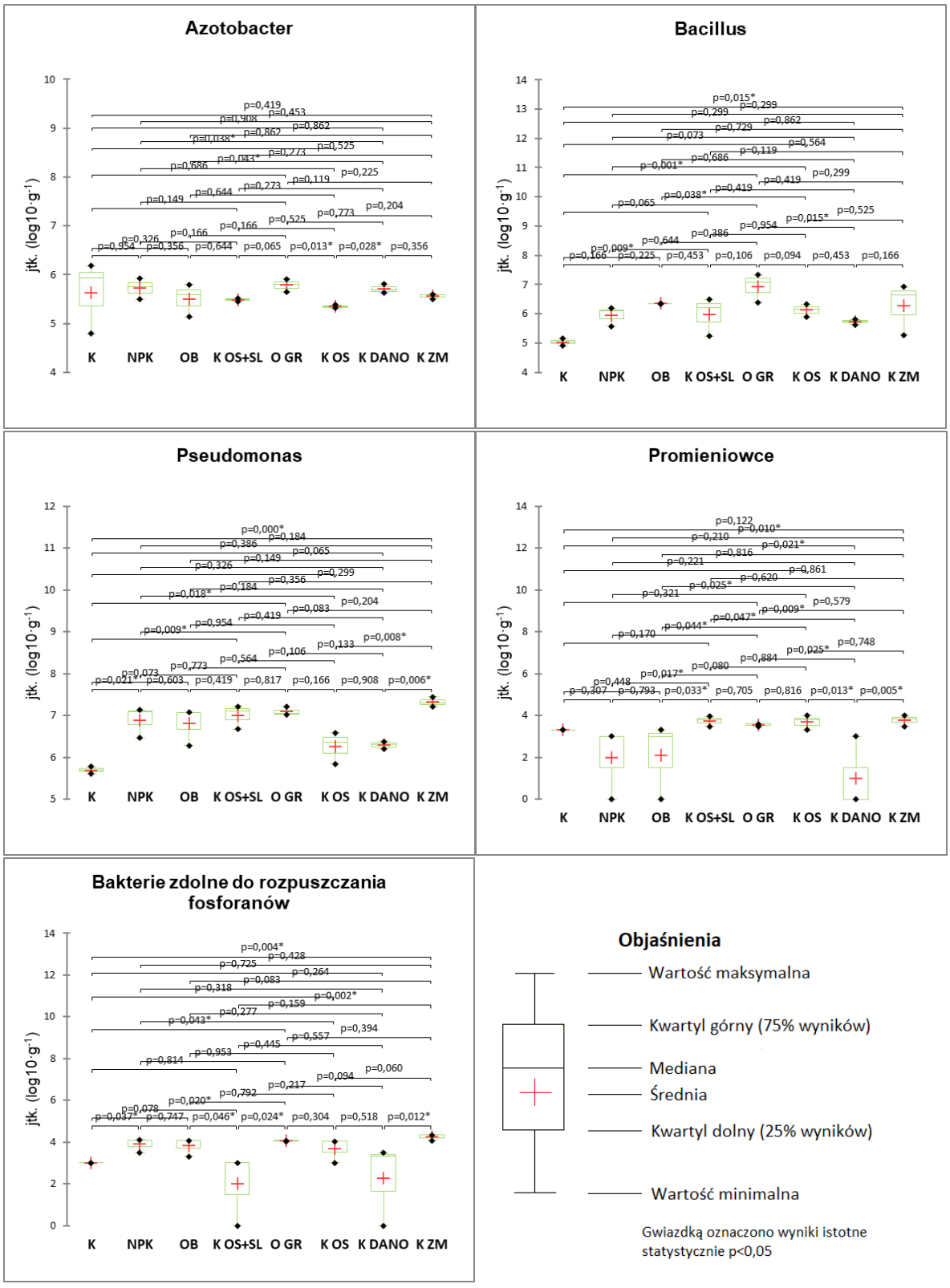
Gatunek (Takson)	K	NPK	OB	K OS+SL	O GR	K OS	K DANO	K ZM	Suma	%
Alternaria alternata (Fr.) Keissl.		6	11	15	2			1	35	21,0
Ascochyta medicaginicola Qian Chen & L. Cai			3	4					7	4,2
Cladosporium herbarum (Pers.) Link			4						4	2,4
Dissophora globulifera (O. Rostr.) Vandepol & Bonito	19								19	11,4
Fusarium chlamydosporum Wollenw. & Reinking								1	1	0,6
Mucor hiemalis Wehmer					15	3	16	13	47	28,1
Mucor piriformis A. Fisch.		1				1			2	1,2
Papulaspora irregularis Hotson		1							1	0,6
Penicillium sp.	2	1							3	1,8
Rhizomucor pusillus (Lindt) Schipper		1	7	4					12	7,2
Rhizopus sp.	4	1			2		3	1	11	6,6
Stachybotrys chartarum (Ehrenb.) S. Hughes								1	1	0,6
Umbelopsis isabellina (Oudem.) W. Gams		4				20			24	14,4
Suma	25	15	25	23	19	24	19	17	167	100,0

*K; NPK; OB; K OS+SL; O GR; K OS; K DANO; K ZM - patrz tabela 3.

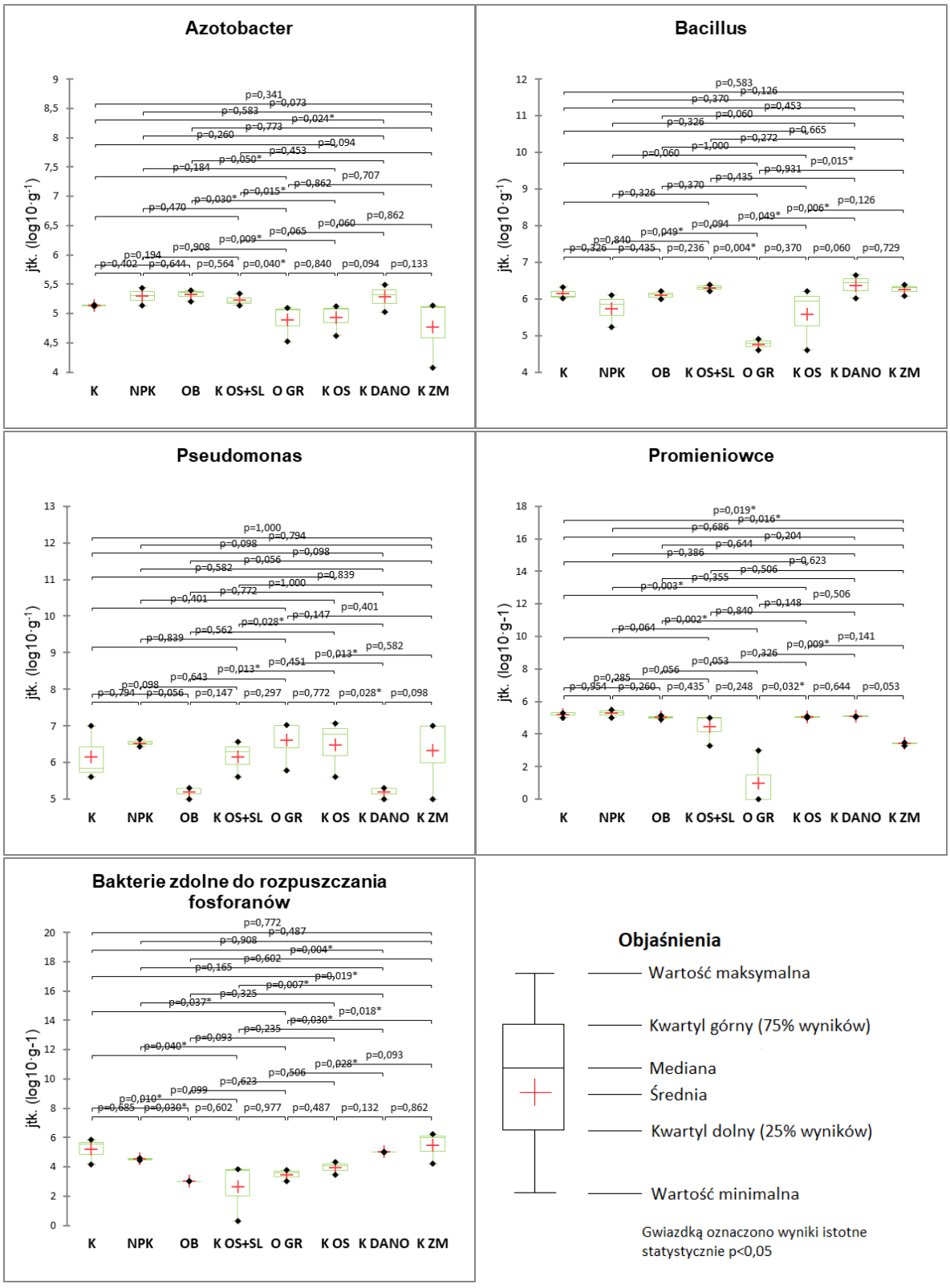
WYKRESY



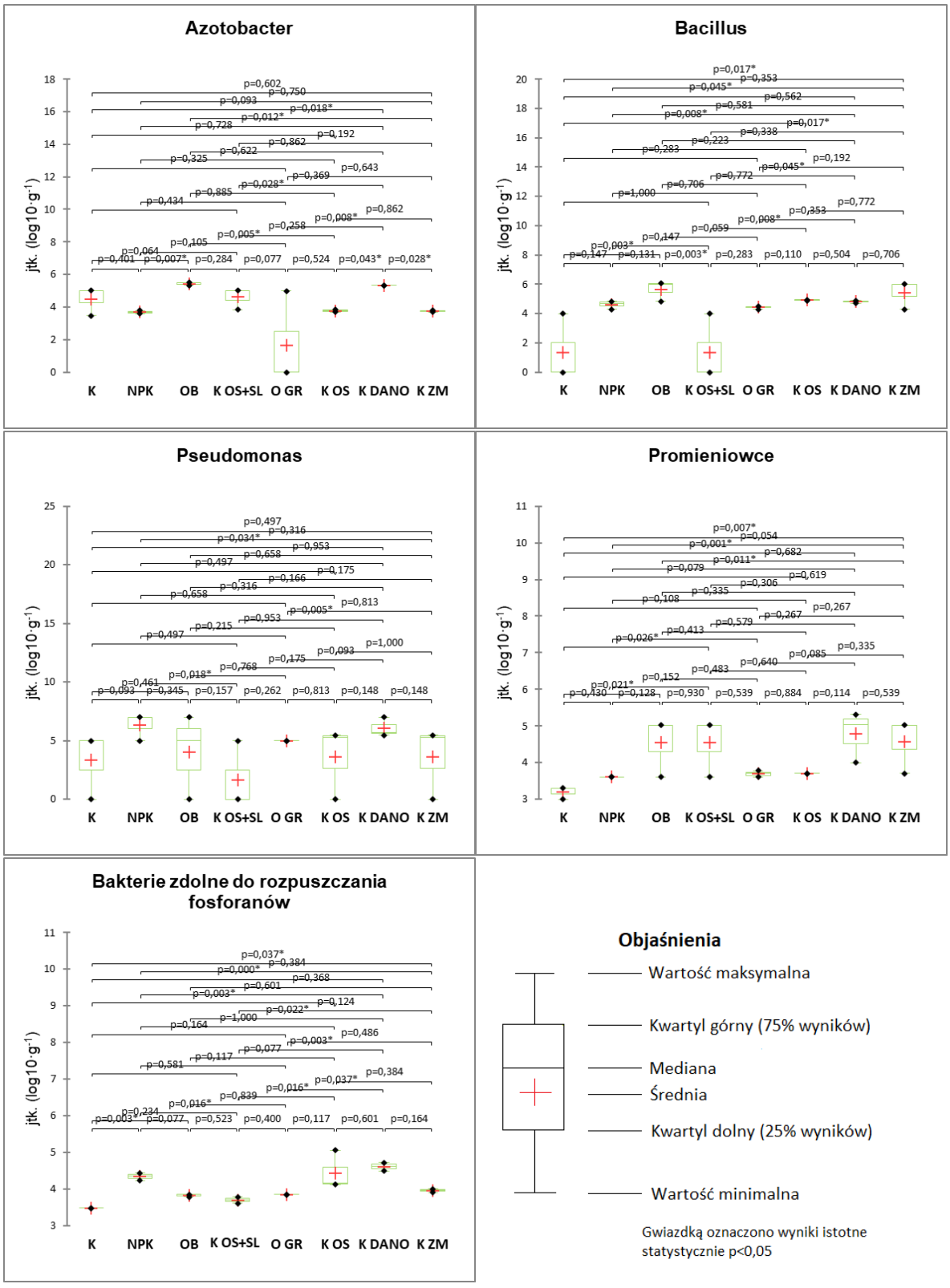
Wykres 1. Liczba bakterii wyizolowanych z gleby spod uprawy rzepaku ozimego



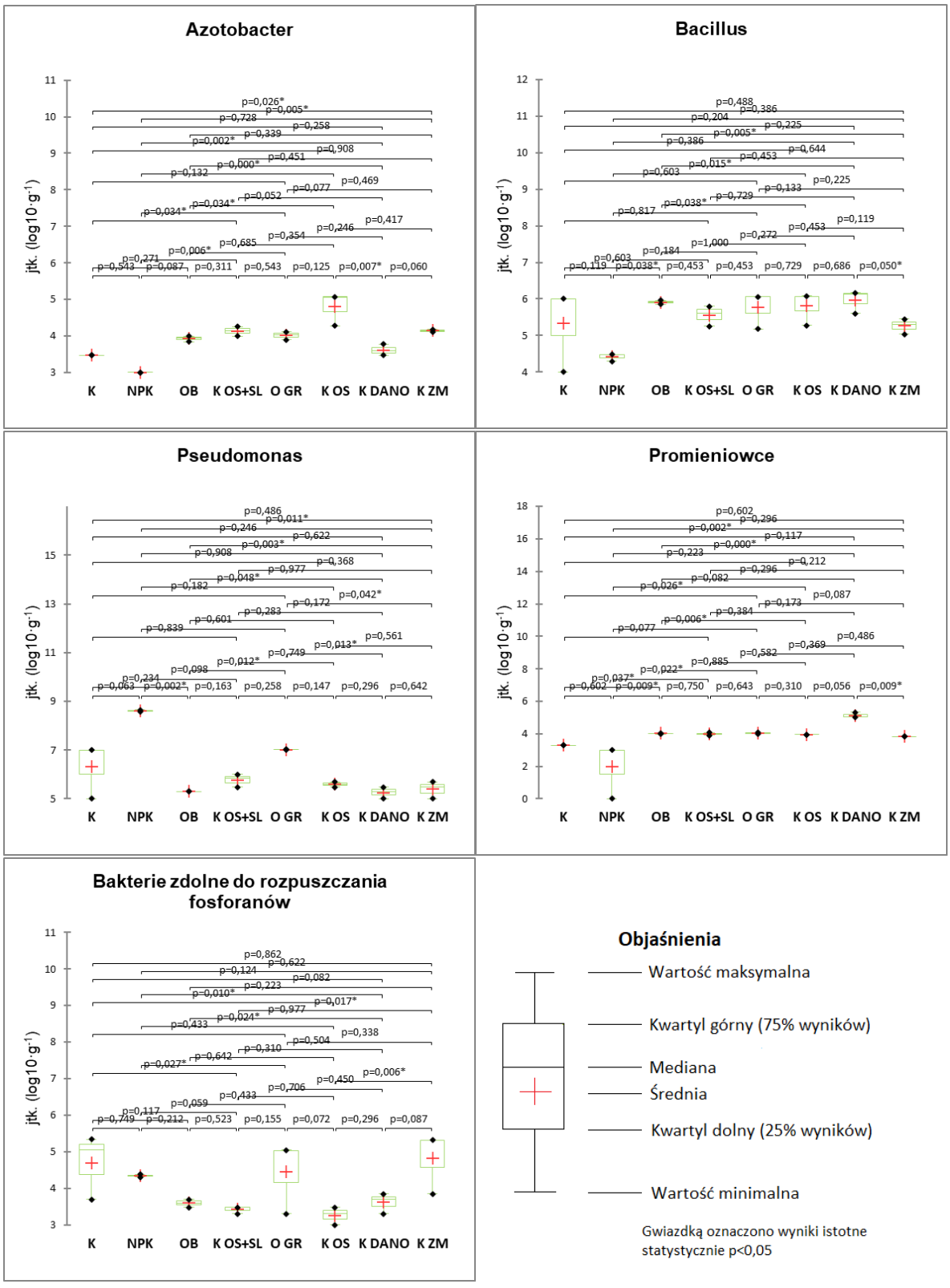
Wykres 2. Liczba bakterii wyizolowanych z ryzosfery rzepaku ozimego



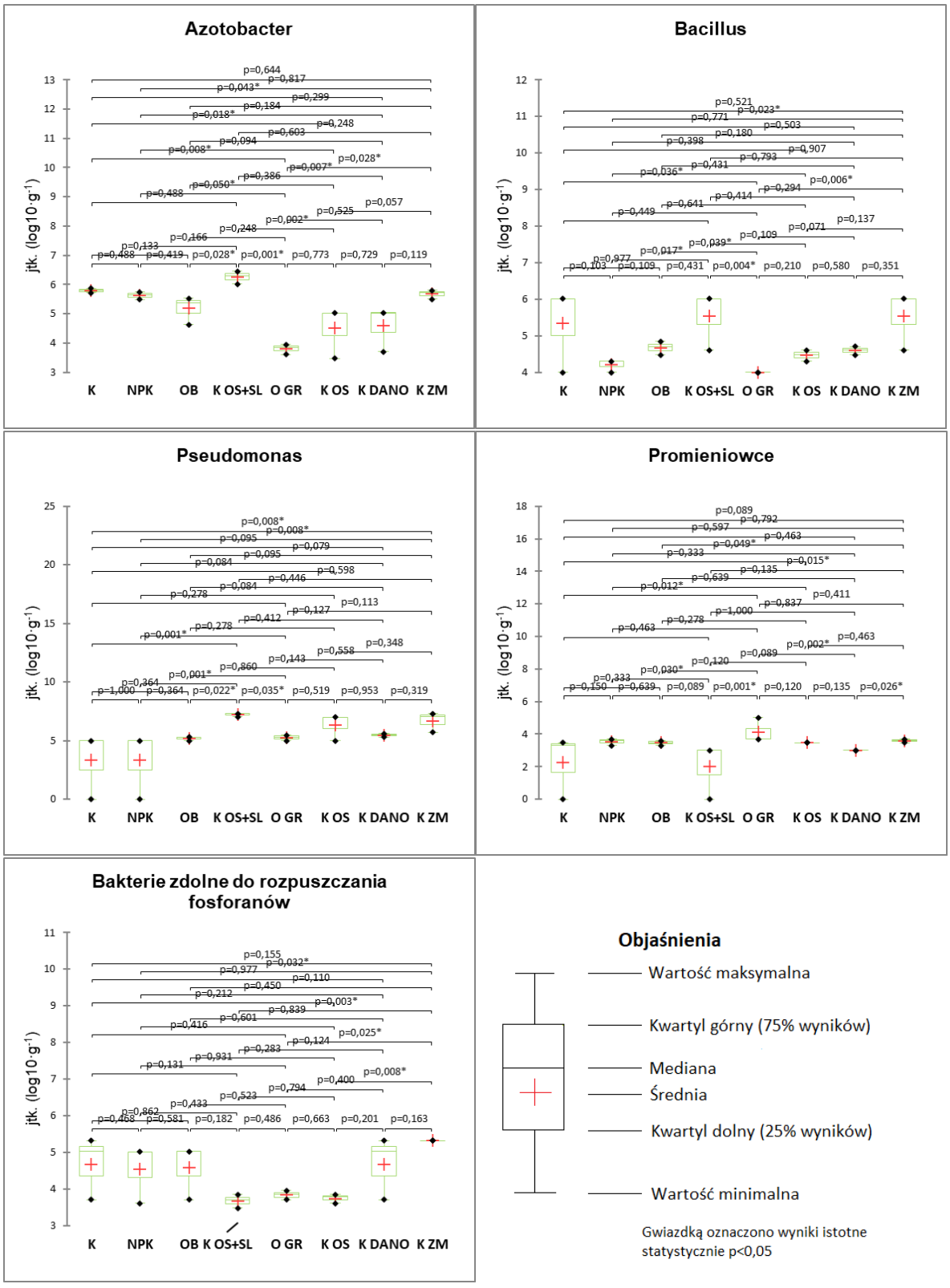
Wykres 3. Liczba bakterii wyizolowanych z gleby spod uprawy pszenicy ozimej



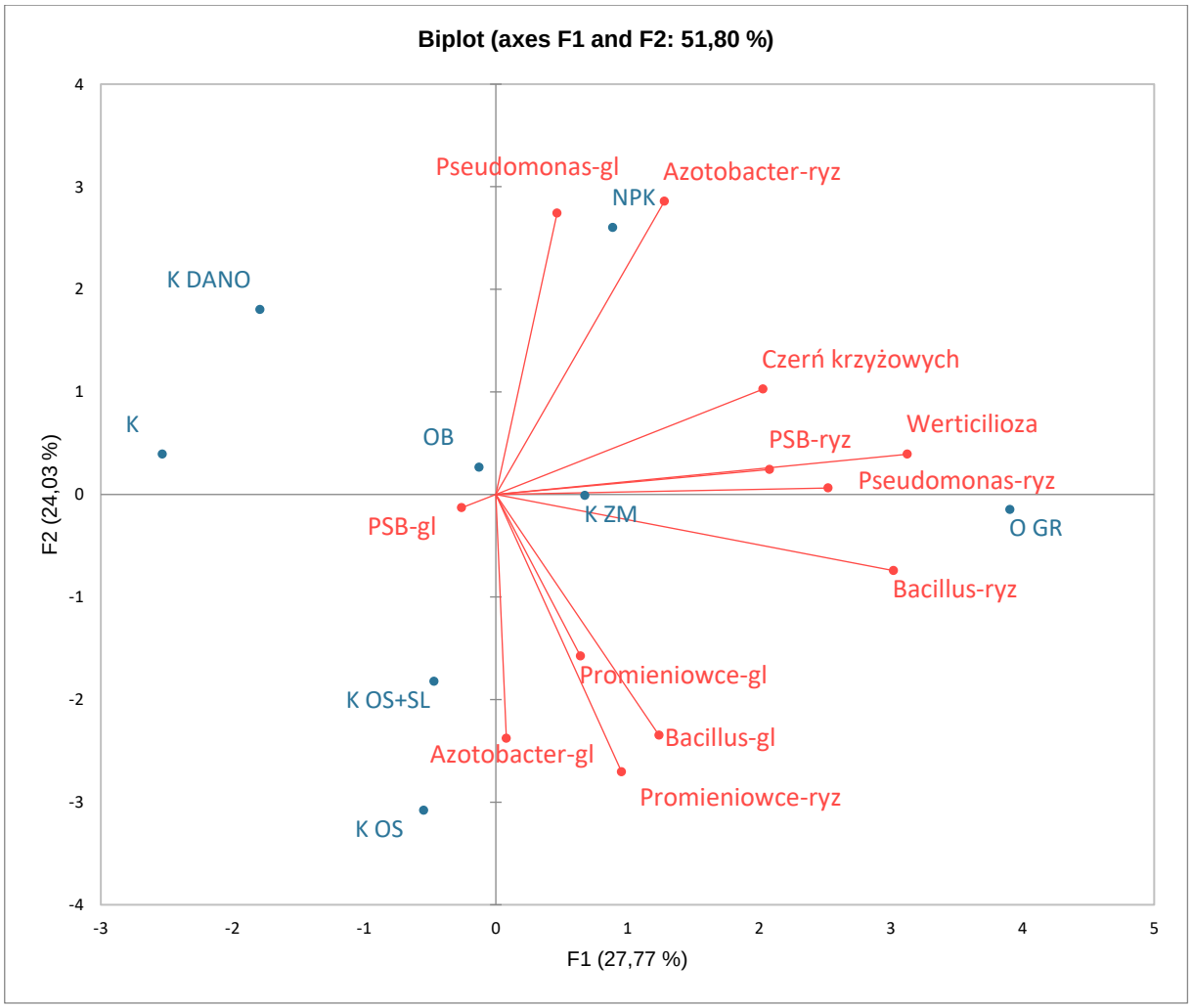
Wykres 4. Liczba bakterii wyizolowanych z ryzosfery pszenicy ozimej



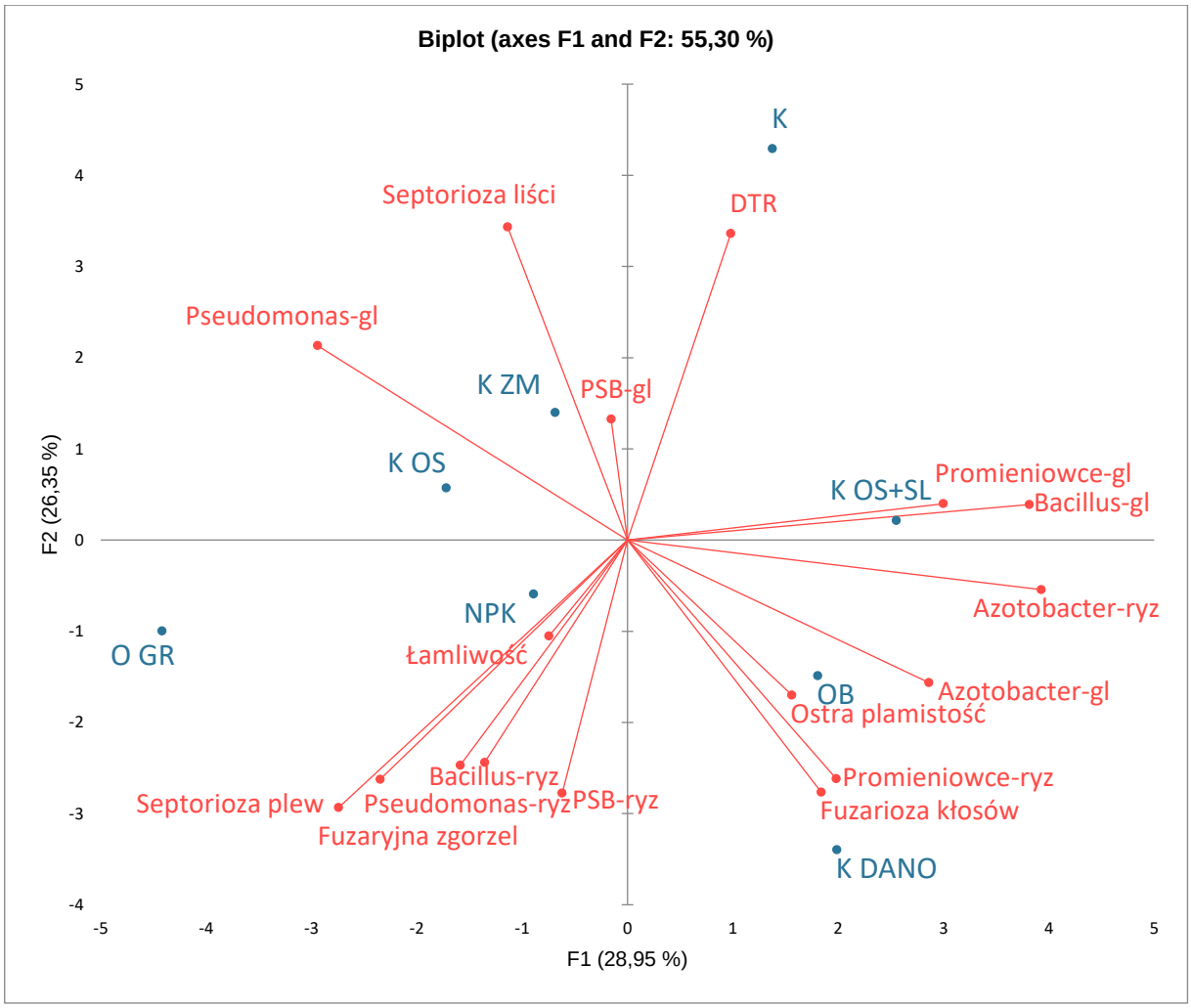
Wykres 5. Liczba bakterii wyizolowanych z gleby spod uprawy ziemniaka



Wykres 6. Liczba bakterii wyizolowanych z ryzosfery ziemniaka

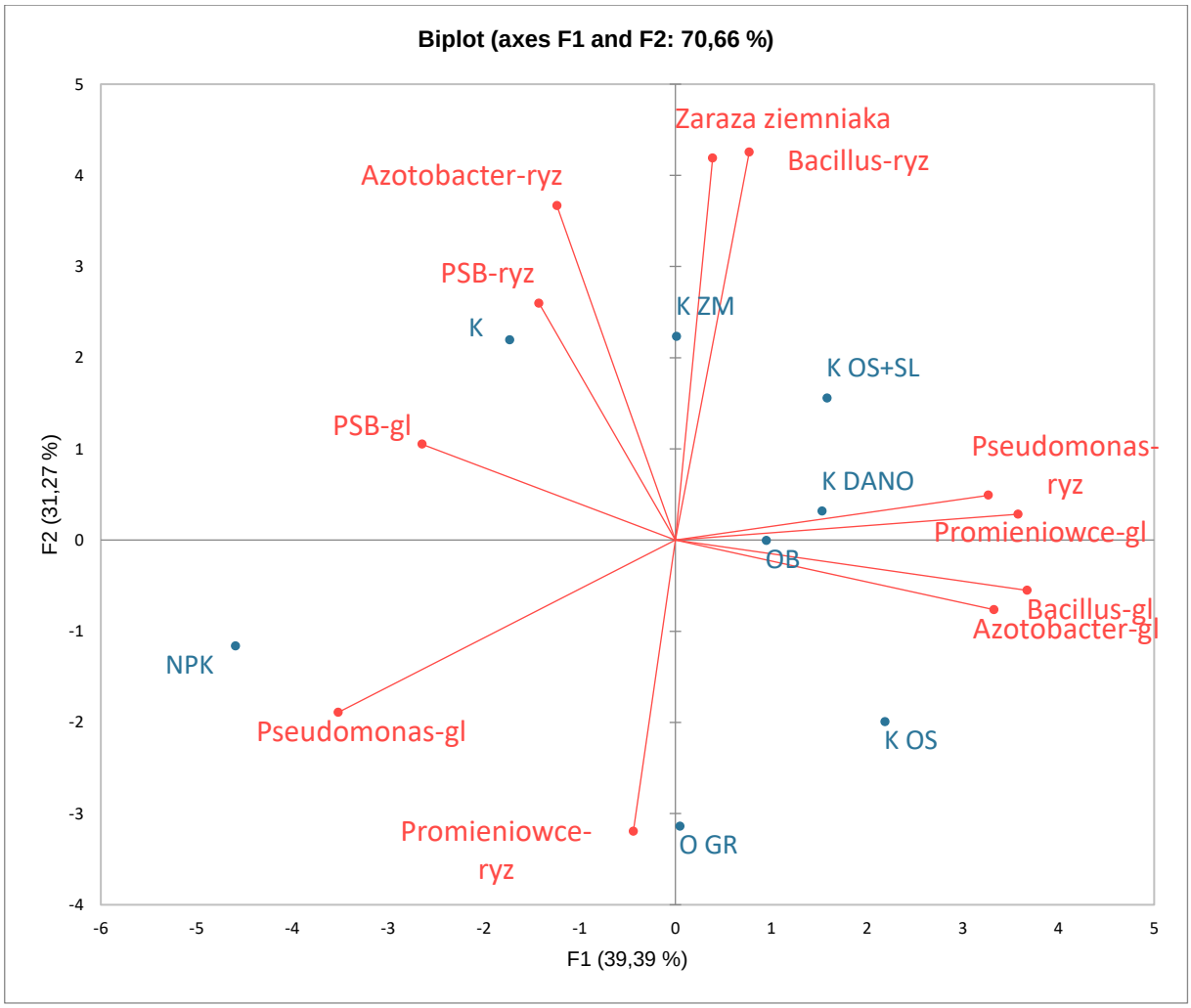


Wykres 7. Analiza głównych składowych (PCA) zależności pomiędzy czynnikami doświadczenia, a obserwacjami w rzepaku ozimym

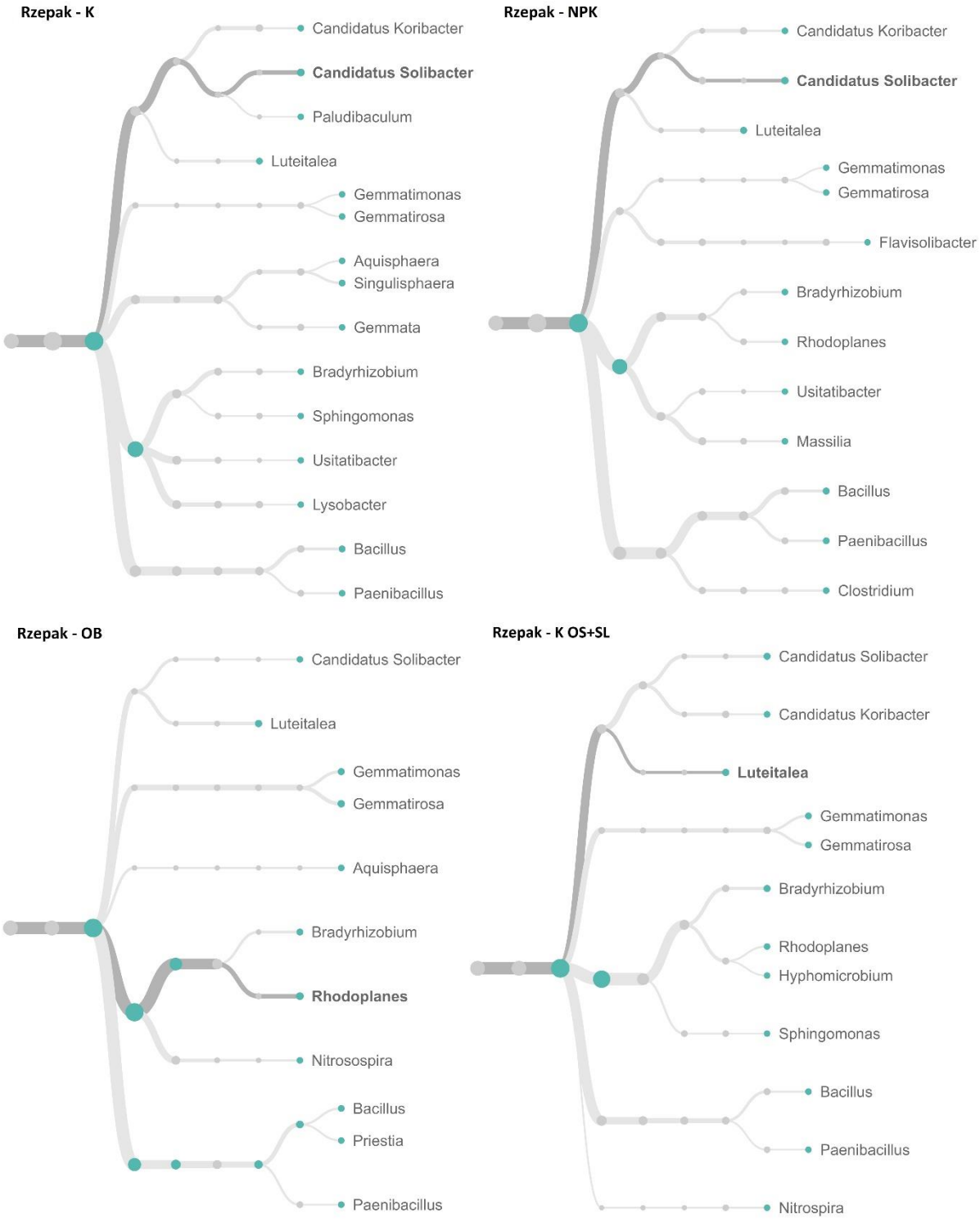


Wykres 8. Analiza głównych składowych (PCA) zależności pomiędzy czynnikami doświadczenia, a obserwacjami w pszenicy ozimej

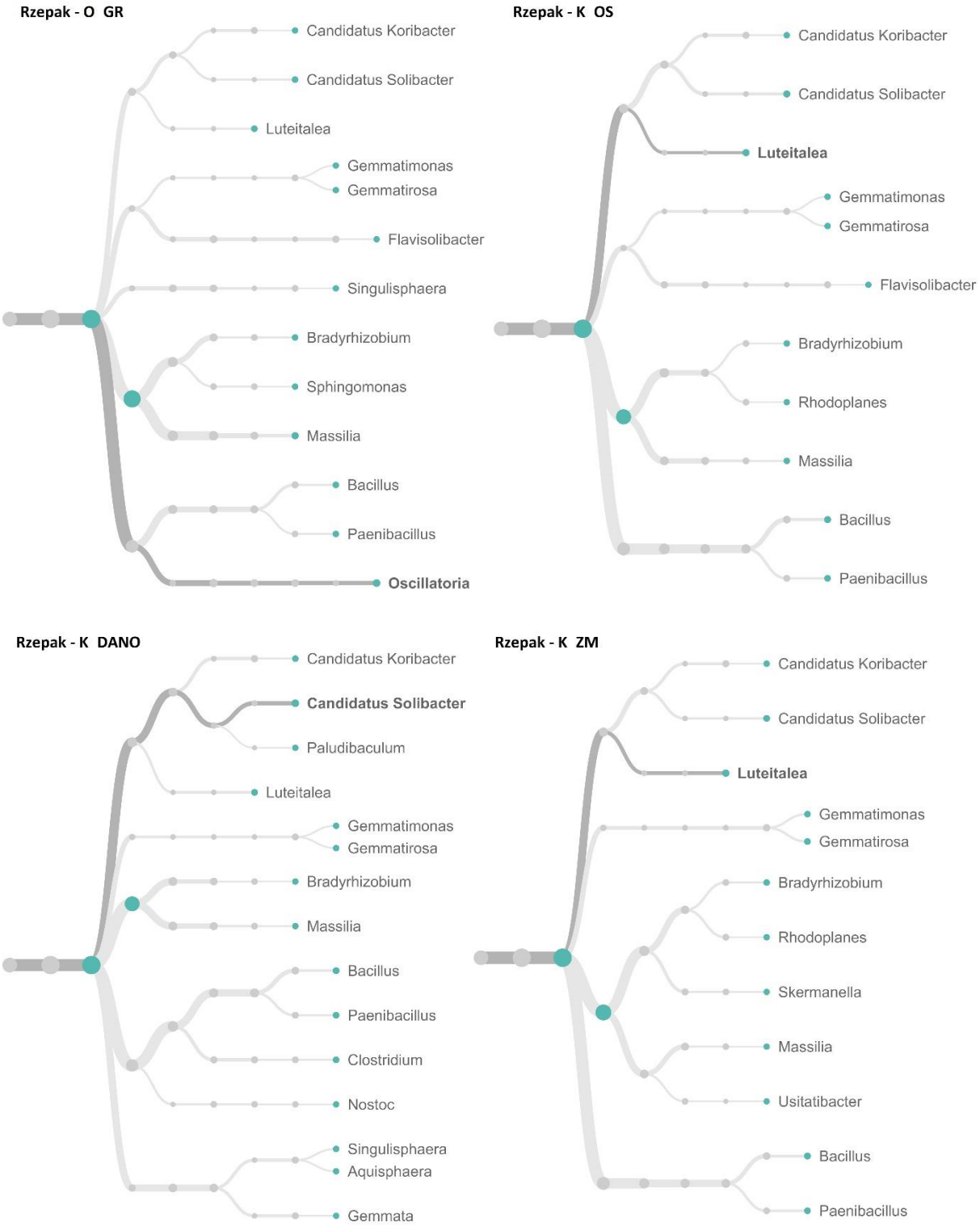
.



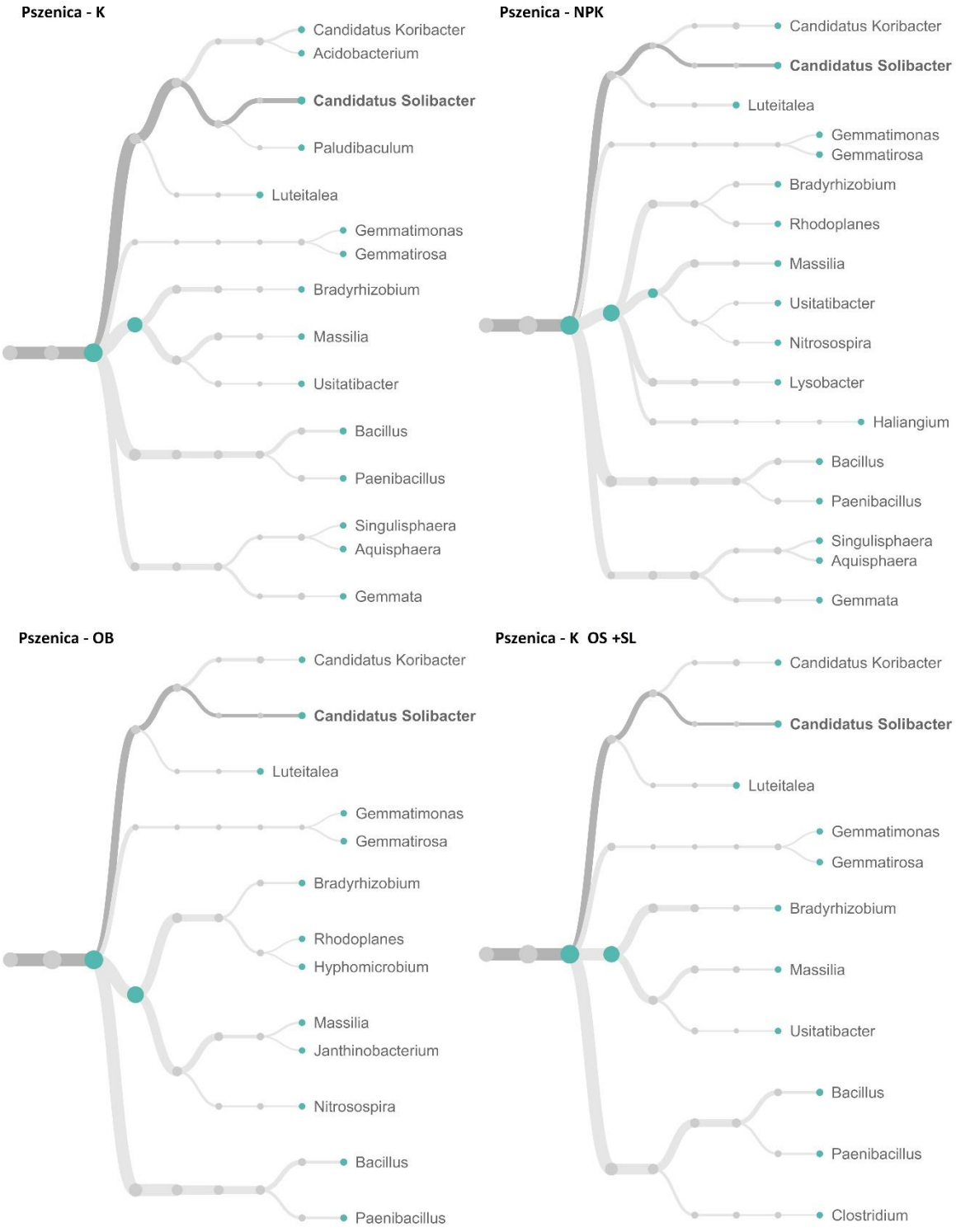
Wykres 9. Analiza głównych składowych (PCA) zależności pomiędzy czynnikami doświadczenia, a obserwacjami w ziemniaku



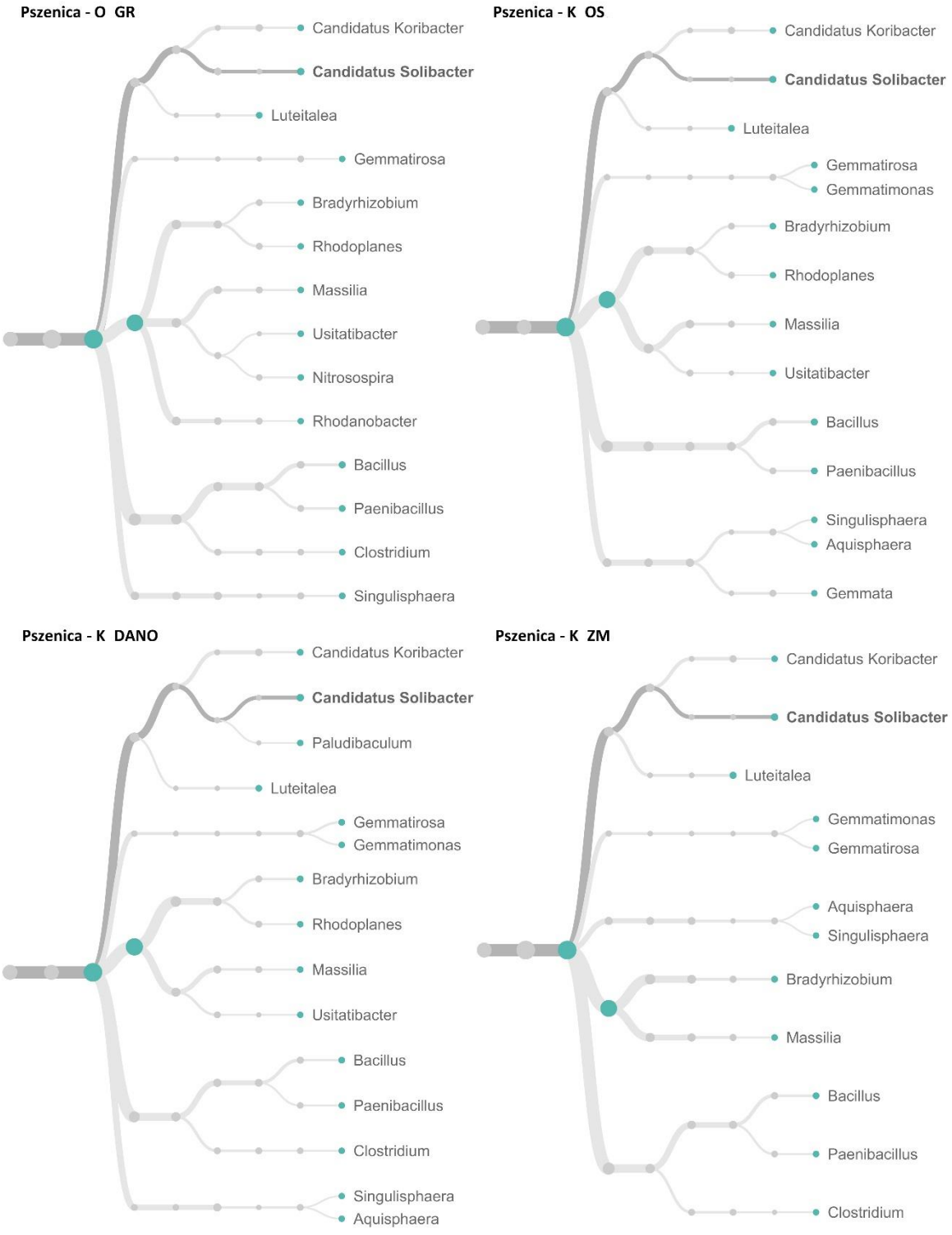
Wykres 10. Społeczności bakterii zasiedlających glebę spod uprawy rzepaku ozimego- Na dendrogramie przedstawiono liczebność rodzin powyżej 1 procenta.


Rzepak - O GR
Candidatus Koribacter
Candidatus Solibacter
Luteitalea
Gemmatimonas
Gemmatirosa
Flavisolibacter
Singulisphaera
Bradyrhizobium
Sphingomonas
Massilia
Bacillus
Paenibacillus
Oscillatoria
Rzepak - K OS
Candidatus Koribacter
Candidatus Solibacter
Luteitalea
Gemmatimonas
Gemmatirosa
Flavisolibacter
Bradyrhizobium
Rhodoplanes
Massilia
Bacillus
Paenibacillus
Rzepak - K DANO
Candidatus Koribacter
Candidatus Solibacter
Paludibaculum
Luteitalea
Gemmatimonas
Gemmatirosa
Bradyrhizobium
Massilia
Bacillus
Paenibacillus
Clostridium
Nostoc
Singulisphaera
Aquisphaera
Gemmata
Rzepak - K ZM
Candidatus Koribacter
Candidatus Solibacter
Luteitalea
Gemmatimonas
Gemmatirosa
Bradyrhizobium
Rhodoplanes
Skermanella
Massilia
Usitatibacter
Bacillus
Paenibacillus

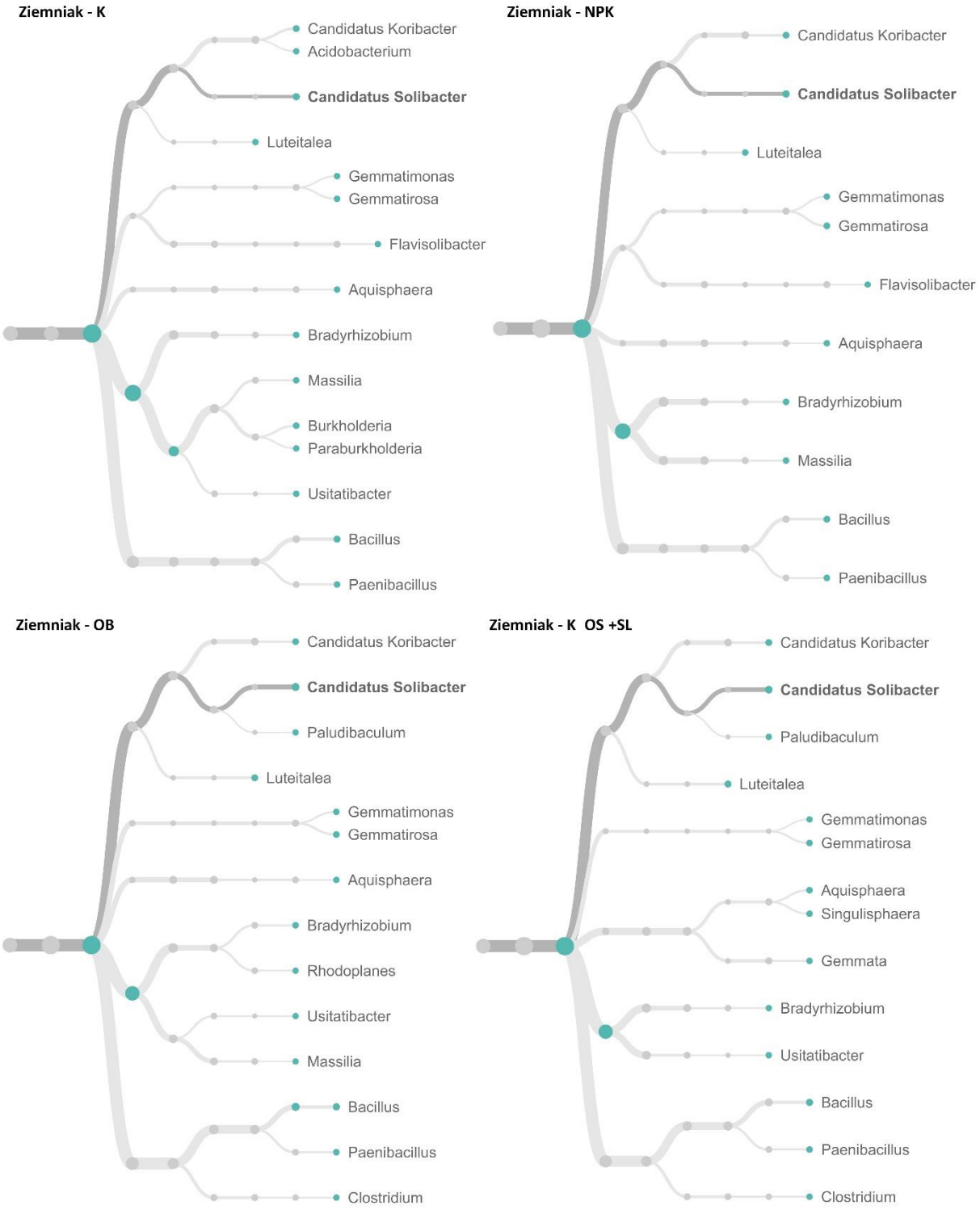
Wykres 10. c.d.



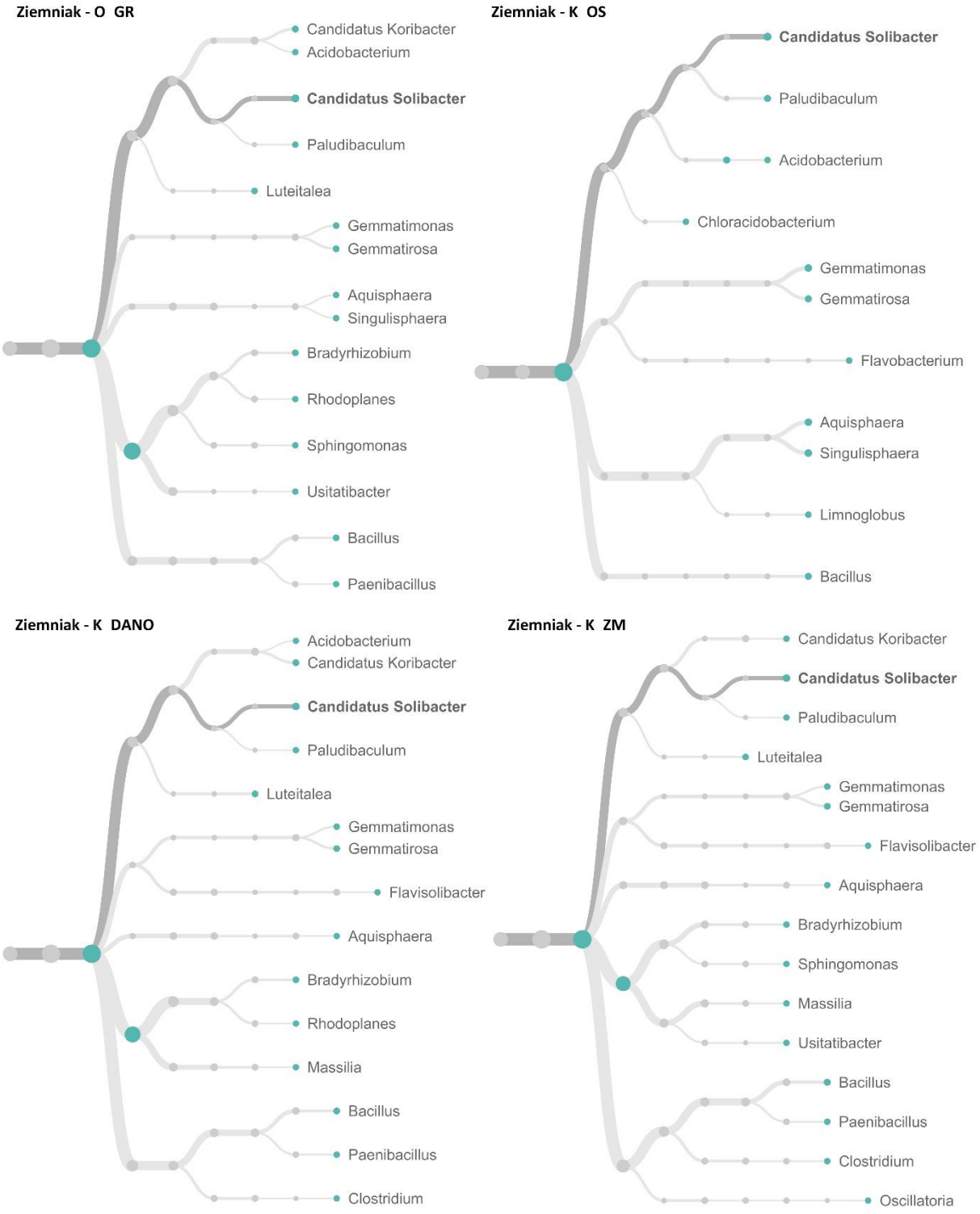
Wykres 11. Społeczności bakterii zasiedlających glebę spod uprawy pszenicy ozimej- Na dendrogramie przedstawiono liczebność rodzin powyżej 1 procenta.


Pszenica - O GR
Candidatus Koribacter
Candidatus Solibacter
Luteitalea
Gemmatirosa
Bradyrhizobium
Rhodoplanes
Massilia
Usitatibacter
Nitrosospira
Rhodanobacter
Bacillus
Paenibacillus
Clostridium
Singulisphaera
Pszenica - K OS
Candidatus Koribacter
Candidatus Solibacter
Luteitalea
Gemmatirosa
Gemmatimonas
Bradyrhizobium
Rhodoplanes
Massilia
Usitatibacter
Bacillus
Paenibacillus
Singulisphaera
Aquisphaera
Gemmata
Pszenica - K DANO
Candidatus Koribacter
Candidatus Solibacter
Paludibaculum
Luteitalea
Gemmatirosa
Gemmatimonas
Bradyrhizobium
Rhodoplanes
Massilia
Usitatibacter
Bacillus
Paenibacillus
Clostridium
Singulisphaera
Aquisphaera
Pszenica - K ZM
Candidatus Koribacter
Candidatus Solibacter
Luteitalea
Gemmatimonas
Gemmatirosa
Aquisphaera
Singulisphaera
Bradyrhizobium
Massilia
Bacillus
Paenibacillus
Clostridium

Wykres 11. c.d.



Wykres 12. Społeczności bakterii zasiedlających glebę spod uprawy ziemniaka- Na dendrogramie przedstawiono liczebność rodzin powyżej 1 procenta.


Ziemniak - O GR
Candidatus Koribacter
Acidobacterium
Candidatus Solibacter
Paludibaculum
Luteitalea
Gemmatimonas
Gemmatirosa
Aquisphaera
Singulisphaera
Bradyrhizobium
Rhodoplanes
Sphingomonas
Usitatibacter
Bacillus
Paenibacillus
Ziemniak - K OS
Candidatus Solibacter
Paludibaculum
Acidobacterium
Chloracidobacterium
Gemmatimonas
Gemmatirosa
Flavobacterium
Aquisphaera
Singulisphaera
Limnoglobus
Bacillus
Ziemniak - K DANO
Acidobacterium
Candidatus Koribacter
Candidatus Solibacter
Paludibaculum
Luteitalea
Gemmatimonas
Gemmatirosa
Flavisolibacter
Aquisphaera
Bradyrhizobium
Rhodoplanes
Massilia
Bacillus
Paenibacillus
Clostridium
Ziemniak - K ZM
Candidatus Koribacter
Candidatus Solibacter
Paludibaculum
Luteitalea
Gemmatimonas
Gemmatirosa
Flavisolibacter
Aquisphaera
Bradyrhizobium
Sphingomonas
Massilia
Usitatibacter
Bacillus
Paenibacillus
Clostridium
Oscillatoria

Wykres 12. c.d.

STRESZCZENIE

Wpływ użyźniania gleby materiałami organicznymi na zdrowotność roślin uprawnych oraz zbiorowiska mikroorganizmów strefy korzeniowej

mgr inż. Jędrzej Mastalerz

Słowa kluczowe: nawożenie organiczne, rolnicze wykorzystanie odpadów, osad ściekowy, kompost, rzepak ozimy, pszenica ozima, ziemniak, społeczność mikroorganizmów glebowych, zdrowotność roślin.

W latach 2017-2020 w wieloletnim statycznym doświadczeniu polowym przeprowadzono badania dotyczące wpływu nawożenia organicznego na zdrowotność rzepaku ozimego, pszenicy ozimej i ziemniaka, a także na występowanie zbiorowisk mikroorganizmów zasiedlających glebę, strefę korzeniową oraz korzenie testowanych roślin. Eksperyment założono w Bałcynach koło Ostródy (53.60 °N, 19.85 °E) w 2004 roku metodą losowanych bloków w trzech powtórzeniach. W doświadczeniu jednoczynnikowym stosowano obornik, zmodyfikowane osady ściekowe oraz komposty wytworzone z odpadów komunalnych i odpadów zieleni miejskiej w dawce 5 t s.m.·ha^{-1} dwa razy w zmianowaniu pod rzepak ozimy i ziemniak.

W badaniach wykazano, że nawożenie osadem ściekowym suszonym i granulowanym wpłynęło na największe porażenie rzepaku przez *Verticillium* spp. oraz największe porażenie podstawy źdźbła i korzeni pszenicy przez grzyby rodzaju *Fusarium*. Nawożenie to stwarzało jednak korzystne warunki do wzrostu roślin, i pomimo największego porażenia rzepaku oraz pszenicy przez patogeny związane ze środowiskiem glebowym, obserwowano najlepszą zdrowotność ziemniaka. Gorszy stan fizjologiczny roślin uprawianych w obiekcie kontrolnym - bez nawożenia oraz nawożonych kompostem z odpadów zieleni miejskiej spowodował największe nasilenie septoriozy paskowanej liści pszenicy oraz zarazy ziemniaka. Najmniejsze porażenie kłosów przez *Phaeosphaeria nodorum* w powyższych wariantach spowodowane było przedwczesnym zakończeniem wegetacji roślin w wyniku dużego nasilenia septoriozy paskowanej liści pszenicy.

Nawożenie osadem ściekowym granulowanym oraz kompostami: z osadu ściekowego, z odpadów komunalnych DANO i z odpadów zieleni miejskiej wpłynęło najlepiej na zasiedlenie ryzosfery rzepaku i pszenicy przez grzyby, spośród których najliczniej izolowano

gatunek *Paecillomyces variotti*. W ziemniaku grzyby również stosunkowo licznie występowały w ryzosferze pod wpływem stosowania kompostów: z odpadów komunalnych DANO i z odpadów zieleni miejskiej, jednak liczniej po zastosowaniu NPK oraz kompostu z osadu ściekowego i słomy. Nie zaobserwowano wyraźnego wpływu badanych nawozów na liczebność grzybów izolowanych z gleby poszczególnych roślin na co mogły wpłynąć odmienne warunki atmosferyczne w latach badań.

Nawożenie osadem ściekowym suszonym i granulowanym wpłynęło na istotnie większe zasiedlenie gleby spod uprawy rzepaku i ziemniaka przez bakterie rodzaju *Azotobacter* w stosunku do nawożenia mineralnego. Zastosowanie osadu granulowanego oddziaływało również korzystnie na występowanie bakterii *Pseudomonas* spp. w glebie spod uprawy pszenicy i ziemniaka. Nawożenie kompostem DANO istotnie zwiększało zasiedlenie gleby spod uprawy pszenicy i ziemniaka przez bakterie rodzaju *Bacillus*. Wykazano korzystne oddziaływanie kompostu z odpadów zieleni miejskiej na liczebność bakterii zdolnych do rozpuszczania fosforanów zasiedlających glebę spod wszystkich badanych roślin. Najwięcej bakterii *Azotobacter* i *Bacillus* z ryzosfery rzepaku wyizolowano pod wpływem nawożenia osadem granulowanym, natomiast w badaniach dotyczących pszenicy bakterie te najliczniej zasiedlały ryzosferę po zastosowaniu obornika. Zarówno w ryzosferze rzepaku i pszenicy wykazano istotnie większą liczbę bakterii *Bacillus* w porównaniu do nawożenia mineralnego. Nawożenie rzepaku kompostem z odpadów zieleni miejskiej wpłynęło korzystnie na występowanie w ryzosferze bakterii rodzaju *Pseudomonas*, promieniowców oraz bakterii zdolnych do rozpuszczania fosforanów. Promieniowce i bakterie rozpuszczające fosforany najliczniej występowały w ryzosferze pszenicy pod wpływem stosowania kompostu DANO. Nawożenie ziemniaka kompostem z osadu ściekowego i słomy oddziaływało na liczne zasiedlanie ryzosfery przez bakterie rodzajów *Azotobacter, Bacillus* i *Pseudomonas*.

Na podstawie wyników sekwencjonowania nanoporowego wykazano niewielkie zróżnicowanie taksonomiczne w społeczności bakterii zasiedlających glebę. W większości gleb dominował *Candidatus* Solibacter. Zastosowanie obornika w rzepaku wyraźnie zwiększyło udział *Rhodoplanes* spp., a nawożenie osadem ściekowym suszonym i granulowym wpłynęło na zwiększenie udziału rodzajów *Oscillatoria* i *Massillia*. W glebie spod uprawy pszenicy wykazano mniejszą dominację Solibacter niż w badaniach innych roślin, a zastosowanie kompostu DANO wpłynęło na wzrost udziału *Bradyrhizobium*.

SUMMARY

Effect of soil fertilization with organic materials on the health status of cultivated plants and the community of root zone microorganisms

Jędrzej Mastalerz, M. Sc.

Key words: organic fertilization, agricultural waste utilization, sewage sludge, compost, winter oilseed rape, winter wheat, potato, soil microorganism community, health status of plants.

In 2017-2020, in a long-term static field experiment, research was carried out on the effect of organic fertilization on the health of winter rape, winter wheat and potato, as well as on the presence of microbial communities inhabiting the soil, root zone and roots of the tested plants. The experiment was set up in Bałcyny near Ostróda (53.60 ° N, 19.85 ° E) in 2004 using the randomized block method in three repetitions. In the one-factor experiment, manure, modified sewage sludge and composts produced from municipal waste and municipal green waste at a dose of 5 t dry mass · ha^{-1} were used twice in rotation for winter oilseed rape and potato.

The studies showed that fertilization with dried and granulated sewage sludge caused the increase infection of rape by *Verticillium* spp. And the greatest infection of the base of the stalk and wheat roots by fungi of the genus *Fusarium*. This fertilization had the most beneficial effect of plant growth, and despite the greatest infection of rape and wheat by pathogens related to the soil environment, the best healthiness of potatoes was observed. The worse physiological condition of the plants grown in without fertilization and fertilized with compost from urban green waste caused the greatest intensity of striped wheat leaf septoriosis and potato blight. The lowest infection of ears by *Phaeosphaeria nodorum* in the above variants was caused by premature termination of plant vegetation as a result of high intensity of septoriosis of striped wheat.

Fertilization with granulated sewage sludge and composts: from sewage sludge, DANO municipal waste and urban green waste had the best effect on the colonization of the rape and wheat rhizosphere by fungi, and *Paecillomyces variotti* was the most numerously isolated species. In potato, fungi were also relatively numerous in the rhizosphere due to the use of composts: from municipal waste DANO and waste from urban green areas, but more often after

the application of NPK and compost from sewage sludge and straw. There was no clear effect of the tested fertilizers on the number of fungi isolated from the soil of individual plants, which could have been influenced by different weather conditions in the years of the study.

Fertilization with dried and granulated sewage sludge resulted in a significantly greater colonization of the soil under the cultivation of oilseed rape and potato by the bacteria of the genus *Azotobacter* as compared to mineral fertilization. The use of granulated sludge also had a positive effect on the presence of *Pseudomonas* spp. In the soil under the cultivation of wheat and potatoes. Fertilization with DANO compost significantly increased the colonization of the soil under the cultivation of wheat and potato with bacteria of the genus *Bacillus*. The beneficial effect of compost from urban green waste on the number of bacteria phosphate solubilizing bacteria inhabiting the soil from under all tested plants was demonstrated. The greatest abundance of *Azotobacter* and *Bacillus* bacteria from the rapeseed rhizosphere was isolated due to fertilization with granulated sludge, while in wheat studies, these bacteria were the most abundance in the rhizosphere after manure application. In the rape and wheat rhizosphere, a significantly higher abundance of *Bacillus* bacteria was found compared to mineral fertilization. Fertilizing rape with compost from urban green waste had a positive effect on the presence of *Pseudomonas* bacteria, actinomycetes and bacteria phosphate solubilizing bacteria in the rape rhizosphere. Actinomycetes and phosphate solubilizing bacteria were most abundance in the rhizosphere of wheat due to the use of DANO compost. Fertilization of potatoes with sewage sludge and straw compost had a stimulating effect on the colonization of the rhizosphere by bacteria of the genera *Azotobacter*, *Bacillus* and *Pseudomonas*.

Based on the results of nanopore sequencing, poor taxonomic diversity in the community of bacteria inhabiting the soil was demonstrated. *Candidatus* Solibacter dominated in most of the soil samples. The use of manure in rape significantly increased the abundance of *Rhodoplanes* spp., and fertilization with dried and granulated sewage sludge increased the abundance of *Oscillatoria* and *Massillia*. In the soil grown under wheat, a lower dominance of *Ca*. Solibacter was shown than in the studies of other plants, and the use of DANO compost increased the abundance of *Bradyrhizobium*.