



**AKTUALNY STAN WIEDZY  
NA TEMAT BIOPREPARATÓW  
STOSOWANYCH W ROLNICTWIE**

**AGNIESZKA KUŹNIAR  
KINGA WŁODARCZYK  
PATRYCJA GROMADZKA  
ANNA SIARA  
AGNIESZKA WOLIŃSKA**

Recenzenci  
dr hab. Jolanta Jaroszuk-Ścisiel, prof. UMCS  
dr hab. Anna Gałązka, prof. IUNG-PIB

Opracowanie redakcyjne  
Emilia Melon

Opracowanie komputerowe  
Jarosław Bielecki

Projekt okładki i stron tytułowych  
Dorota Woźniak



Opracowanie finansowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju  
z projektu pt. „Innowacyjny preparat do stymulacji wzrostu i plonowania pszenicy ozimej”  
w ramach programu LIDER IX

---

© Copyright by Wydawnictwo KUL, Lublin 2021

ISBN 978-83-8061-964-7



Wydawnictwo KUL  
ul. Konstantynów 1H, 20-708 Lublin, tel. 81 740-93-40  
e-mail: [wydawnictwo@kul.lublin.pl](mailto:wydawnictwo@kul.lublin.pl), <http://wydawnictwo.kul.lublin.pl>

Druk i oprawa: [volumina.pl](http://volumina.pl) Daniel Krzanowski  
ul. Księcia Witolda 7-9, 71-063 Szczecin, tel. 91 812-09-08  
e-mail: [druk@volumina.pl](mailto:druk@volumina.pl)

Autorzy składają serdeczne podziękowania Recenzentom  
za podjęcie się opiniowania i poświęcony czas na recenzowanie broszury.  
Dziękujemy za staranność, wnikliwość i terminowość recenzji.



# Wstęp

Od XX wieku w związku z powszechnym rozwojem konwencjonalnej produkcji rolnej obserwujemy jej wymierne konsekwencje, m.in. wyczerpywanie się zasobów naturalnych, zwiększoną erozję i utratę naturalnej żyzności gleb, wzrost liczby nowych chorób, załamanie zaopatrzenia w wodę, ograniczenie produkcji biomasy i zaburzenie różnorodności przyrodniczej (Dara 2019; Baker i wsp. 2020; Hamid i wsp. 2021). Dlatego wprowadzenie nowych zasad do produkcji rolnej stało się nieuniknione. Obecnie realizowany jest trend oparcia zintegrowanej produkcji rolnej na koncepcji agroekologicznej. To człowiek dzięki swojemu doświadczeniu i wiedzy oraz efektom ciągłego postępu w nauce i technologii może zarządzać glebami i roślinami, w celu zaspokojenia rosnących i zmieniających się ludzkich potrzeb żywnościowych bez szkody dla środowiska (Arrebola i wsp. 2019; Dara 2019; Baker i wsp. 2020; Hamid i wsp. 2021).

Obecnie duży nacisk położony jest na ochronę środowiska i zrównoważony rozwój, idący w harmonii z naturą. Nie możemy jednak zapominać, że zrównoważona produkcja ma również na celu zwiększenie produkcji żywności oraz ograniczenie występowania chorób i szkodników do tego stopnia, by nie powodowały znacznych szkód w uprawach rolniczych. Dlatego niezwykle ważne jest opracowywanie nowych metod przywracania naturalnych mechanizmów stabilności zarówno w społeczności mikroorganizmów, jak i roślin uprawnych (Dara 2019; Baker i wsp. 2020; Hamid i wsp. 2021).

Opinia publiczna coraz częściej i coraz głośniej wyraża zaniepokojenie odnośnie do wpływu stosowania pestycydów na środowisko, co powoduje, że kładziony jest coraz większy nacisk na projektowanie i opracowywanie nowych środków ochrony upraw o pożądanym profilu środowiskowym oraz z niską toksycznością dla ludzi i dzikich zwierząt (Srinivasan 2006). W tym kontekście wprowadzenie biopreparatów staje się lepszą alternatywą niż stosowanie syntetycznych nawozów i środków ochrony roślin (Dara 2019; Baker i wsp. 2020; Hamid i wsp. 2021).

Niniejsza broszura, przygotowana na podstawie badań prezentowanych w światowej literaturze, podsumowuje aktualny stan wiedzy w zakresie stosowania, działania i charakterystyki biopreparatów aplikowanych w rolnictwie.



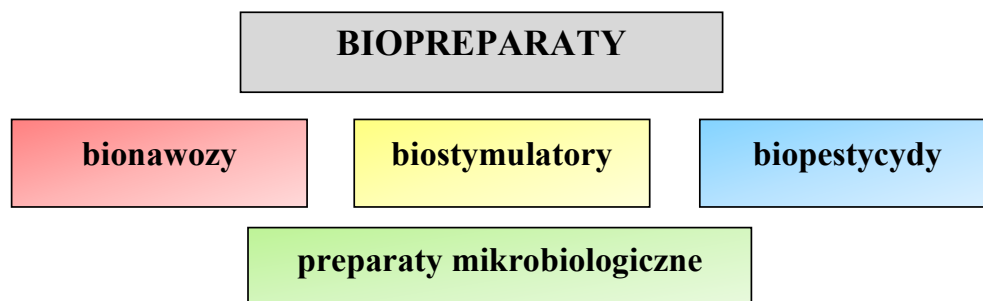
# Charakterystyka biopreparatów stosowanych w agronomii

1

**B**iopreparaty to substancje zawierające żywe organizmy lub odpowiednio przygotowane produkty ich metabolizmu (Guo i wsp. 2020). Nazwa „biopreparat” pochodzi od greckiego słowa *bios*, czyli „życie” i łacińskiego *preparatum*, oznaczającego przygotowanie (Sosnowska 2019). Zasada działania biopreparatów opiera się na wykorzystywaniu substancji organicznych jako źródła węgla i energii przez mikroorganizmy w nich zawarte. Wzrost i rozwój drobnoustrojów możliwy jest przy jednoczesnej stopniowej biodegradacji substancji organicznych do nieszkodliwych produktów końcowych (Grzyb i wsp. 2019). Biopreparaty stosowane są w celu zahamowania rozwoju patogennych grzybów lub bakterii. Chronią rośliny przed czynnikami chorobotwórczymi oraz korzystnie wpływają na ich wzrost i rozwój (Derkowska i wsp. 2015). Ze względu na intensywny rozwój rolnictwa, który wiąże się z nadużywaniem nawozów chemicznych, pestycydów i herbicydów, przyczyniających się do zachwiania równowagi w środowisku naturalnym, zaczęto poszukiwać alternatywnych metod zapewniających wzrost plonowania oraz ochronę roślin (Augustyniak i Roszak 2017). W wielu krajach prowadzono badania mające na celu wykorzystanie pożytecznych grup mikroorganizmów w praktyce rolniczej. Efektem tych prac jest opracowywanie i wdrażanie do produkcji licznych biopreparatów (Toader i wsp. 2020). Mogą być one wykonywane z różnych bioproduktów pochodzenia naturalnego, np. ekstraktów roślinnych, polisacharydów czy substancji humusowych. Ponadto mogą zawierać pożyteczne bakterie i grzyby (Pylak i wsp. 2019).

Ze względu na skład biopreparaty dzieli się na: (1) grzybowe, (2) bakteryjne, (3) bakteryjno/grzybowo-enzymatyczne, (4) bakteryjno-grzybowe i enzymatyczne (Toader i wsp. 2020). Wśród preparatów bakteryjnych i grzybowych wyróżniamy preparaty jednoskładnikowe, które zawierają pojedyncze szczepy mikroorganizmów oraz biopreparaty wieloszczepowe, składające się z kilku szczepów mikroorganizmów o zróżnicowanych właściwościach i szerokim spektrum działania. Inny podział oparty jest na zróżnicowaniu biopreparatów pod kątem zawartości związków organicznych aktywnych biologicznie oraz mikro- i makroelementów. Odrębną grupę stanowią

biopreparaty, do produkcji których wykorzystuje się żywe mikroorganizmy (bakterie i grzyby), stymulujące wzrost i plonowanie roślin (Grzyb i wsp. 2019).



Rys. 1. Rodzaje biopreparatów (opracowanie własne)

Bionawozy są jednym z najlepszych sposobów na wzrost lub utrzymanie obecnego tempa produkcji żywności, przy jednoczesnym zapewnieniu stabilności środowiska. Składają się bowiem z wyselekcjonowanych żywych mikroorganizmów, które poprawiają jakość gleby i wspomagają wzrost roślin w wyniku syntezy regulatorów wzrostu, biokontroli fitopatogenów czy indukcji odporności podczas występowania warunków stresowych dla roślin. Wpływają też na poprawę przyswajalności trudnodostępnych pierwiastków, co wynika z ich zdolności do solubilizacji fosforu (P), potasu (K) i cynku (Zn) (Singh i wsp. 2017).

Biopestycydy to preparaty, które mogą stanowić alternatywę dla stosowania chemicznych środków ochrony roślin w wielu uprawach. W ich skład mogą wchodzić mikrobiologiczne insektycydy, ograniczające liczebność szkodliwych owadów (Grzyb i wsp. 2019). Drobnoustrojami stanowiącymi czynne składniki biopestycydów są bakterie z rodzajów *Pseudomonas* i *Bacillus* oraz grzyby z rodzajów *Trichoderma*, *Coniothyrium*, *Beauveria*. Wśród tego rodzaju preparatów wyróżniamy bioinsektycydy, biofungicydy, bioherbicydy, biobakteriocydy i bionematocydy (Piwowar 2015).

Produkty, inne niż nawozy, które mają zdolność stymulacji wzrostu roślin nawet przy stosowaniu w niewielkich ilościach, definiowane są jako biostymulanty. Mają one na celu zwiększenie wydajności upraw w rolnictwie ekologicznym w wyniku wzrostu rozpuszczalności składników odżywczych w glebie. Jednymi z najważniejszych biostymulatorów roślin powszechnie stosowanymi od wielu lat są substancje humusowe, które powstają na skutek chemicznego i biologicznego rozkładu materii organicznej (Pylak i wsp. 2019).

W ostatnich latach szeroko stosowane są także preparaty mikrobiologiczne. Poprawiają one chemiczne, fizyczne i mikrobiologiczne właściwości gleb, dzięki czemu stymulują wzrost i plonowanie niektórych gatunków roślin uprawnych (Sosnowska 2019). W przypadku tego rodzaju preparatów stosowanych w rolnictwie ekologicznym nie jest wymagana procedura rej-



stracyjna, tak więc istnieje ryzyko wprowadzenia na rynek produktów o niepotwierdzonej jakości i efektywności (Martyniuk i Księżak 2011). W grupie preparatów mikrobiologicznych znane i często wykorzystywane w praktyce rolniczej są także szczepionki bakteryjne czy też grzybowe. Szczepionka to rodzaj swoistego biopreparatu o ściśle ukierunkowanym działaniu, podawana do szczepienia bezpośrednio roślin. Szczepionki zostały tak skomponowane, aby zapewnić dedykowanej roślinie najlepszy wzrost i rozwój. Wśród nich wyróżniamy takie, które zawierają bakterie wiążące azot atmosferyczny w symbiozie z korzeniami roślin bobowatych (motylkowatych) oraz szczepionki stosowane w leśnictwie do mykoryzacji sadzonek w szkółkach drzew (Martyniuk i Księżak 2011). Na rynku obecne są także szczepionki opracowane na bazie różnych gatunków grzyba z rodzaju *Trichoderma* sp., które przyczyniają się do ochrony roślin poprzez produkcję antybiotyków i enzymów degradujących ściany komórkowe patogenów (Churilov i wsp. 2020). Preparaty te dopuszczane są do obrotu po spełnieniu wymogów procedury rejestracyjnej, dlatego są produktami o dobrej jakości pod względem mikrobiologicznym i o sprawdzonej efektywności (Grzyb i wsp. 2019).

Liczne badania wykazały, że działalność rolnicza, różne czynniki glebowe i warunki klimatyczne wywierają istotny wpływ na właściwości gleby (Woźniak i wsp. 2019). Zarówno naukowcy, jak i rolnicy nieustannie poszukują nowych metod pozwalających na utrzymanie i poprawę żyzności gleby w celu osiągnięcia wysokich plonów o dobrej jakości (Kriaučiūnienė i wsp. 2018). Wykorzystanie biopreparatów mikrobiologicznych w ekosystemach rolniczych stymuluje wzrost roślin, korzystnie wpływa na kondycję gleb dotkniętych nadmiernym stosowaniem nawozów chemicznych, umożliwia przekształcenie nierozpuszczalnych form pierwiastków w formy dostępne dla roślin oraz chroni przed niektórymi chorobami i szkodnikami (Toader i wsp. 2020). Stwierdzono, że w wielu przypadkach stosowanie biopreparatów może być co najmniej tak samo skuteczne, jak dostępne na rynku środki chemiczne (Pylak i wsp. 2019). Dodatkowo biopreparaty posiadają znacznie więcej zalet w porównaniu z nawozami i środkami ochrony roślin, produkowanymi w oparciu o wykorzystanie związków chemicznych (Toader i wsp. 2020). Są bowiem źródłem substancji naturalnie syntetyzowanych przez rośliny, dzięki czemu oszczędzana jest energia wykorzystywana w innych procesach biochemicznych zachodzących w roślinach. Mikroorganizmy zawarte w biopreparatach dostarczają roślinom hormonów, witamin, aminokwasów i stymulatorów, co powoduje ich lepszy wzrost i rozwój (Derkowska i wsp. 2015). Biopreparaty przyczyniają się do zwiększenia przyswajalności trudno dostępnych pierwiastków, poprawiają warunki próchnicotwórcze gleby oraz zapobiegają jej gniciu (Kosicka i wsp. 2015). Dodatkowo stymulowana jest przez nie aktywność i różnorodność mikrobiologiczna środowiska glebowego. Zaprawianie nasion i roślin biopreparatami poprawia również jakość plonu. Rozwiązania takie nie wpływają na dalsze zanieczyszczenie ekosystemu, co ma kluczowe znaczenie przy obecnie

obowiązujących restrykcjach ekologicznych, wynikających z nadmiernego stosowania agrochemikaliów nieproporcjonalnie do potrzeb roślin (Kocira i wsp. 2020).

Ogromną zaletą używania produktów bakteryjnych jest też aspekt ekonomiczny (Alferov i wsp. 2017). Biopreparaty mają znacznie niższą cenę niż konwencjonalne nawozy chemiczne. Technologia ich aplikacji również wpływa na niższe koszty ponoszone przez rolników. Niezależnie od tego, czy preparat ma formę płynu, czy proszku zaleca się jego stosowanie w dwóch zabiegach. Wpływa to na obniżenie nakładów finansowych związanych z paliwem, materiałami eksploatacyjnymi i siłą roboczą. Kolejną zaletą biopreparatów jest nadwyżka składników mineralnych dostarczanych uprawom. Przyczynia się to do zmniejszenia kosztów związanych z zabiegami fitosanitarnymi oraz produktami stymulującymi wzrost i rozwój materiału siewnego (Toader i wsp. 2020). Ponadto mikroorganizmy zawarte w preparatach wzbogacają glebę w azot, dzięki czemu nie jest już konieczne stosowanie kosztownych nawozów azotowych, które w nadmiarze zaburzają równowagę jonową, zmniejszają zdolność przyswajania przez roślinę innych składników odżywczych czy też niekorzystnie wpływają na strukturę gleby (Kriauciūnienė i wsp. 2018). Mimo wielu korzyści wynikających ze stosowania biopreparatów należy pamiętać, że ich skuteczność jest różna i w dużym stopniu zależy od czynników środowiskowych, takich jak wilgotność gleby i powietrza czy opady deszczu (Pylak i wsp. 2019).

Zastosowanie biopreparatów w uprawach rolniczych ma na celu uzyskanie znacznie wyższych plonów niż w przypadku nawożenia środkami chemicznymi (Sosnowska 2019). Ich obecność w gospodarce rolnej w ostatnich latach systematycznie wzrasta. Rozwiązania takie jak bionawozy, szczepionki czy biostymulatory pozytywnie wpływają na ilość i jakość plonów, kondycję gleby oraz stabilność środowiska (Kumar i Verma 2018). Stosowanie biopreparatów bakteryjnych obniża koszty uprawy i zmniejsza podatność roślin na choroby wywołane niedoborem składników odżywczych. Istotny jest fakt, że aby osiągnąć takie efekty, należy posiadać odpowiednią wiedzę w zakresie doboru biopreparatów, ich dawek i stężeń oraz sposobu ich stosowania (Kocira i wsp. 2020).

## Działanie biopreparatów służących stymulacji wzrostu i ochronie roślin uprawnych

# 2

**P**otrzeba ochrony środowiska naturalnego spowodowała wraz z końcem XX wieku na całym świecie wzmożoną intensywność prac nad stworzeniem preparatów, których substancję aktywną stanowi czynnik biologiczny (Dara 2019; Baker i wsp. 2020; Hamid i wsp. 2021), które w XXI wieku są szczególnie intensywnie rozwijane. Podejmowana tematyka badań odnośnie do poszukiwania nowych rozwiązań biopreparatów staje się priorytetową dla tego stulecia. Biopreparaty wykorzystują różnorodne mechanizmy działania i pod tym względem można wyróżnić: biopreparaty, które mogą wybiórczo działać na glebę, roślinę, jak też kompleksowo na roślinę i glebę (Piwowar 2015). Działania biopreparatów skoncentrowane są na następujących cechach (Jakienes i Liakas 2013; Juknevičius i wsp. 2020):

- zwiększaniu wchłaniania substancji pokarmowych roślin, np. mineralnych,
- zwiększaniu intensywności wzrostu i rozwoju roślin,
- polepszaniu produktywności,
- odporności na fitopatogeny,
- odporności na abiotyczne czynniki środowiskowe i stres,
- utrzymaniu lub zwiększaniu ilości węgla organicznego w glebie,
- zwiększaniu porowatości gleby.

Emtsev i wsp. (2006) dokonali izolacji szczepu *Klebsiella planticola* TSHA-91, który stanowi biologiczny składnik preparatu mikrobiologicznego pod nazwą „Bioplant-K”. Działanie tych bakterii ograniczało się nie tylko wokół wzmacniania wzrostu i rozwoju roślin, dostarczając roślinom azot i substancje odżywcze, ale także zapewniało ochronę systemu korzeniowego przed fitopatogennymi grzybami. Biopreparat „Bioplant-K” przetestowany został w różnych szerokościach geograficznych w latach 1992–1996. Oszacowano jego wysoką skuteczność na wielu uprawach rolniczych. Określono, że wzrost plonu ziemniaków wyniósł 35%, pszenicy ozimej – 27%, owsa – 38%, prosa – 42%, jęczmienia – 76%, ogórka – 24%, pomidora – 31%, dyni – 31%. „Bioplant-K” testowano także jako środek ochrony biologicznej roślin przed różnymi

chorobami, takimi jak gnicie korzeni zbóż i kultur warzywnych. Otrzymane wyniki wykazały, że zastosowanie „Bioplant-K” w uprawie ziemniaków może całkowicie zastąpić najpowszechniej stosowany fungicyd „Tekto 450”.

Lekavičiene i wsp. (2021) badali wpływ różnych biopreparatów na właściwości fizyczne gleby, ilość resztek pszenicy ozimej oraz siłę uciążu maszyn podczas płytkiej uprawy roli. Autorzy wiosną, po wznowieniu wegetacji pszenicy ozimej, zastosowali biopreparaty i ich mieszanki. Pierwszy biopreparat posiadał następujący skład: olejki eteryczne z roślin, 40 gatunków różnych ekstraktów ziołowych, ekstrakty z alg morskich oraz oleje mineralne. Drugi biopreparat posiadał w swoim składzie szczepy *Azospirillum* sp., *Frateuria aurentia*, *Bacillus megaterium* oraz ekstrakt z wodorostów. W trzecim biopreparacie składnikiem biologicznym były szczepy *Azotobacter chroococcum*, *Azospirillum brasilense* oraz P, K i ekstrakt z wodorostów. Kolejny biopreparat posiadał następujące składniki: *Azotobacter vinelandii*, kwasy huminowe, 0,5% kwas giberelinowy, 0,01% miedzi (Cu), 0,01% cynku (Zn), 0,01% manganu (Mn), 0,01% żelaza (Fe), 0,01% wapnia (Ca), 0,005% molibdenianu sodu. Badania wykazały pozytywny wpływ biopreparatów na całkowitą porowatość i gęstość gleb oraz na siłę trakcyjną maszyny.

Pellegrino i wsp. (2020) wykazali, że gleba zaszczipiona *Rhizophagus irregularis* podczas wysiewu stymulowała pobieranie mikroelementów przez ziarna pszenicy z zaznaczeniem dużej zmienności między genotypami pszenicy. Oo i wsp. (2020) określili pozytywny efekt zanurzania sadzonek ryżu w roztworze wzbogaconym w P przed ich przesadzeniem. Autorzy ci wskazali zwiększony potencjał pobierania P przez sadzonki. Šimanský i wsp. (2018) stwierdzili, że zastosowanie biopreparatów „Trichomil” i „Betaliq” w uprawie pszenicy i rzepaku miało statystycznie istotny wpływ na wzrost azotu azotanowego w glebie Haplic Luvisol (Pellegrino i wsp. 2020).

Vojnov i wsp. (2017) określili wpływ zastosowania biopreparatów na wzrost i rozwój (głównie cechy morfologiczne) słodkiej kukurydzy ZP355su i innych roślin okrywowych (np. orkisz, kapustne pastewne i wyka włochata). Po 90 dniach wegetacji roślin przeprowadzono analizy morfologiczne materiału roślinnego, które wykazały, że najwyższą średnią masę kłosa wyki włochatej (18,25 g) osiągnięto, stosując ekstrakt z *Ascophyllum nodosum* (0,3%) i aminokwasy roślinne (0,5%). Cechy morfologiczne słodkiej kukurydzy o stosunkowo krótkim okresie wegetacji zależą od zaopatrzenia gleby w składniki pokarmowe, co zaobserwowano, stosując biopreparat (Vojnov i wsp. 2017).

Romanowska-Duda i wsp. (2020) analizowali wzrost produktywności roślin oraz ograniczenie zanieczyszczenia środowiska poprzez stosowanie nawozów naturalnych. Celem tych badań było wykazanie wpływu popiołu z topinamburu stosowanego samodzielnie lub razem z biopreparatami i odpadami biogazowni na wzrost i aktywność fizjologiczną sorgo oraz wykazanie ich przydatności jako alternatywy dla nawożenia chemicznego. Wyniki badań otrzymane przez Romanowską-Dudę i wsp. (2020) wskazują, że badany popiół może służyć jako nawóz

naturalny i może zredukować o połowę zalecane dawki nawozów chemicznych. Udowodniono, że stosowanie łącznie bionawozu i biopreparatu „YaraMila Complex”, „Apol-Humus” oraz „Stymjod”, wpływa na wzrost roślin, plon biomasy poprzez modulowanie zawartości chlorofilu, wymianę gazową (fotosyntezę netto, transpirację, przewodnictwo szparkowe, międzykomórkowy poziom stężenia CO<sub>2</sub>), aktywności enzymów (fosforylasy kwaśnej i zasadowej, RNazy, dehydrogenazy).

Wpływ technologii uprawy z zastosowaniem mikrobiologicznych biopreparatów i ekstraktów ziołowych na zawartość suchej masy, skrobi i plonowanie oraz zawartość witaminy C analizowano w dwóch odmianach ziemniaka „Vineta” i „Satina” (Pszczółkowski i wsp. 2016). Zastosowane techniki uprawy z użyciem preparatów mikrobiologicznych, ekstraktów ziołowych oraz fungicydów przyczyniły się do istotnego wzrostu zawartości suchej masy i witaminy C, natomiast nie wpłynęły istotnie na plon suchej masy ziemniaków (Pszczółkowski i wsp. 2016).



## Charakterystyka mikroorganizmów stosowanych w biopreparatach

# 3

**W**spółczesne rolnictwo opiera się na ekonomii, wydajności procesów i ekologii. Równowaga między tymi czynnikami jest możliwa tylko w przypadku jednoczesnego wzrostu wydajności upraw i obniżenia kosztów. Jednym z najważniejszych aspektów dotyczących rolnictwa ekologicznego jest zastosowanie do produkcji roślinnej biopreparatów mikrobiologicznych, stanowiących zamiennik stosowanych dotychczas środków chemicznych. Biopreparaty są tworzone w oparciu o drobnoustroje (bakterie lub/i grzyby) o cennych właściwościach (Kyrychenko 2015; Baker i wsp. 2020). Rola biopreparatów polega na przywróceniu żyzności gleby, zapewnieniu roślinom substancji biologicznie czynnych (np. hormonów lub witamin), poprawie odżywiania roślin, np. azotem i fosforem, oraz biologicznej ochronie przed fitopatogenami.

Dotychczas szczepy z rodzaju *Bacillus* oraz *Thiobacillus* były bakteriami dominującymi w dostępnych na rynku i szeroko wykorzystywanych biopreparatach. Jednakże szczepy endofityczne, takie jak: *Pseudomonas* sp. (Arrebola i wsp. 2019), *Azospirillum* sp., *Rhizobium* sp. czy *Gluconacetobacter* sp. mogą także stanowić konsorcjum skutecznego biopreparatu (Kuźniar i wsp. 2019). Grobelak i wsp. (2016) wyprodukowali biopreparat do stymulacji wzrostu roślin pozostających w niekorzystnych warunkach glebowych, oparty na technologii immobilizacji mikroorganizmów na pożywkach. Zastosowane drobnoustroje pochodziły z kolekcji szczepów Instytutu Inżynierii Środowiska i należały do nich m.in. *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus* sp., *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus mycoides*, *Bacillus anthracis*, *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas* sp. Bakterie te zostały wyizolowane z gleby zanieczyszczonej metalami ciężkimi i unieruchomione na podłożach mineralno-organicznych z alginianem sodu. Wyżej wspomniani badacze dowiedli, że zastosowane szczepy bakterii wykazują zdolność do produkcji kwasu indolilo-3-octowego (IAA, ang. Indole-3-Acetic Acid) i rozkładu kwasu 1-aminocyklopropano-1-karboksyłowego (ACC) – prekursora etylenu przez deaminazę ACC syntetyzowaną przez mikroorganizmy, asymilacji azotu atmosferycznego, rozkładu fosforanów, a także posiadają właściwości proteolityczne i przeciwgrzybiczne. Uzyskali tym samym wyższe plonowanie roślin

(traw, rzepaku) w bardzo niekorzystnych warunkach glebowych (niska zawartość składników pokarmowych oraz wysoka koncentracja metali ciężkich) oraz wykryli przeciwgrzybowe metabolity bakterii, co pozwoliło na uzyskanie znacznie lepszych plonów i obniżenie ilości fungicydów stosowanych w uprawie roślin (Grobelać i wsp. 2016).

Wiele bakterii związanych z roślinami zostało bardzo dobrze poznanych ze względu na ich zdolność do promowania wzrostu roślin. Wśród nich dominującą grupą bakterii są przedstawiciele rodzaju *Bacillus* (Qiao i wsp. 2014). Liczne badania dowodzą, że bakterie *Bacillus* spp. przyczyniają się do wzmocnienia wzrostu wielu roślin uprawnych, m.in. poprzez indukcję syntezy IAA przez *Bacillus subtilis* i *Bacillus velezensis* (Karnwał 2017) i innych auksyn (Chandler i wsp. 2015; Banerjee i wsp. 2017), giberelin (Jaroszuk-Ścisła i wsp. 2019), proteaz (Uttatree i Charoenpanich 2016), sideroforów (Yu i wsp. 2011), jak też indukcję syntezy przez rośliny substancji sygnałowych wytwarzanych w różnych szlakach odporności: kwasu jasmonowego, etylenu, kwasu absycynowego. Ponadto, niektóre szczepy *Bacillus* sp. niwelują szkodniki roślin uprawnych, a tym samym pośrednio promują wzrost roślin (Meng i wsp. 2016).

Moreira i wsp. (2020) stworzyli bioinokulant mikrobiologiczny, mający rozwiązać problem zasolonych gleb, wywołany przez bakterie pobudzające wzrost roślin oraz grzyby mykoryzowe. Celem ustalenia potencjalnych efektów synergistycznych bioinokulantów o odmiennych zależnościach funkcjonalnych z gospodarzem roślinnym naukowcy poddali kukurydzę (*Zea mays* L.) warunkom stresu solnego i inokulowali ją kolejno: dwoma szczepami (*Pseudomonas actans* EDP28 i *Pantoea alli* ZS 3-6), jednym (*Rhizoglossum irregulare*) oraz kombinacją powyższych szczepów. Naukowcy dowiedli, że testowane bioinokula, mogące być komponentem biopreparatu, są najskuteczniejsze dla wzrostu i najbezpieczniejsze dla zachowania zdrowotności kukurydzy, gdy są współzaszczepiane, czyli tworzą konsorcjum. Efekt synergistyczny wywołany przez te drobnoustroje przyczynił się do skutecznego spadku jonów Na<sup>+</sup> oraz wzrostu zawartości K<sup>+</sup> w tkankach roślinnych. Doświadczenie dowiodło, że efekty synergiczne potencjalnie przyczyniają się do rozszerzenia produkcji roślinnej na nieproduktywne gleby. Uzyskane wyniki sugerowały, że połączenie tych dwóch szczepów bakterii z jednym gatunkiem grzyba mykoryzowego prowadzi do interakcji, które mogą mieć potencjalną pozytywną rolę w łagodzeniu stresu i poprawie produktywności upraw w glebach zasolonych.

Varinderpal-Singh i wsp. (2020) przeprowadzili 5-letnie badania terenowe, których celem była poprawa wydajności wykorzystania azotu i fosforu w glebie przez gatunki pszenicy *Triticum aestivum* L. przy synergistycznym wykorzystaniu ryzobakterii: *Pseudomonas jessenii* i *Pseudomonas synxantha*, promujących wzrost roślin (PGPR, ang. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria) oraz mykoryzowych grzybów arbuskularnych (AMF, ang. Arbuscular Mycorrhizal Fungi) – *Rhizoglossum irregulare*. Badacze dowiedli, że inokulacja nasion pszenicy przez bionawóz, składający się z konsorcjum bakteryjno-grzybowego, przyczyniła się do intensywniejszego rozwoju



grzybów mykoryzowych i ich interakcji z roślinami uprawnymi, a ich synergiczne zastosowanie poprawiło populację PGPR w glebie, aktywność dehydrogenazy i fosfatazy alkalicznej w glebie (Varinderpal-Singh i wsp. 2020).

Passera i wsp. (2019) przebadali dwa szczepy *Pseudomonas syringae*: szczep 260-02 oraz DC300 w warunkach szklarniowych w hodowli pomidora. Naukowcy dowiedli, że *P. syringae* 260-02 promował wzrost roślin i wywierał biokontrolę *P. syringae* DC3000 przeciwko grzybowi *B. cinerea* i wirusowi pierścieniowej plamistości *Cymbidium* sp. (Passera i wsp. 2019).

Istnieje wiele doniesień na temat inokulacji drobnoustrojów (zarówno pojedynczych, jak i konsorcjów) do roślin lub nasion, które w rezultacie posłużyć mogą jako biopreparaty bądź bionawozy, a kolejne przykłady zestawiono w tabeli 1.

**Tab. 1.** Przykłady konsorcjów szczepów bakteryjnych mogących znaleźć zastosowanie w biopreparatach i bionawozach

Inokulat mikrobiologiczny	Gatunek inokulowanej rośliny	Wpływ	Literatura
<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Bacillus megaterium</i> , <i>Bacillus</i> sp.	<i>Cuminum cyminum</i>	Zwiększony plon nasion i większa zawartość olejków eterycznych w roślinach	Mishra i wsp. 2019
<i>Bacillus subtilis</i> C-3102 i materiał nośny	<i>Oryza sativa</i> oraz <i>Hordeum vulgare</i>	Produkcja IAA, proteaz, sideroforów, wzrost produkcji suchej masy	Jamily i wsp. 2019
<i>Pseudomonas putida</i> , <i>Novosphingobium</i> sp.	<i>Citrus macrophylla</i>	Zmniejszone skutki stresu solnego poprzez zmniejszenie produkcji kwasu abscysynowego i salicylowego	Vives-Peris i wsp. 2018

Na szczególną uwagę przy doborze optymalnego szczepu lub konsorcjum bakteryjnego zasługuje mikrobiom endofityczny, będący często potencjalnym komponentem wielu biopreparatów. Endofity bakteryjne znajdujące się w roślinach wykorzystują bezpośrednie lub pośrednie mechanizmy poprawiające wzrost i rozwój roślin oraz zwiększające ich tolerancję na stres biotyczny i abiotyczny (Santoyo i wsp. 2016; Shahzad i wsp. 2017). Endofity ułatwiają rozwój roślin poprzez aktywowanie składników odżywczych, dostarczają hormonów roślinnych, pomagają zwalczać lub hamować rozwój fitopatogenów w celu ochrony roślin, mogą wzmacniać strukturę gleby oraz wspomagać bioremediację skażonej gleby poprzez sekwestrację niebezpiecznych metali

i degradację mieszanek ksenobiotycznych (Maehara i wsp. 2016; Siara i wsp. 2021). Bakterie należące do endofitów przenoszonych przez nasiona mogą również brać udział w modulowaniu endogennych fitohormonów (Shahzad i wsp. 2017).

Królestwo grzybów to bardzo zróżnicowana grupa występująca praktycznie we wszystkich środowiskach, szczególnie w ekosystemach lądowych. Grzyby odgrywają kluczową rolę w obiegu składników odżywczych. Mogą pełnić rolę patogenów, pasożytów innych organizmów, ale również mogą żyć w symbiozie z roślinami, glonami, zwierzętami. Istnieje ogromna grupa grzybów wykazująca działanie korzystne dla innych organizmów, szczególnie dla roślin (Naranjo-Ortiz i Gabaldón 2019).

Grzyby z rodzaju *Trichoderma* są powszechnie uważane za skuteczne i bezpieczne jako składniki biologiczne biopreparatów. Przedstawiciele rodzaju *Trichoderma* posiadają zdolność efektywnego rozkładu martwej materii organicznej, poprawiają właściwości fitochemiczne gleby oraz jej jakość, uwalniają makro- i mikroelementy z materii organicznej do roztworu glebowego, co jest wykorzystywane przez rośliny. Pełnią rolę czynników biokontroli poprzez wytwarzanie związków hamujących rozwój patogenów, mykopasożytnictwo, inaktywację enzymów patogennych czy indukcję odporności ogólnoustrojowej roślin. Biopreparaty na bazie grzybów z rodzaju *Trichoderma* stosowane są do ograniczania rozwoju fitopatogenicznych grzybów należących do rodzajów: *Pythium*, *Phytophthora*, *Penicillium*, *Fusarium* i *Scerotium* (tab. 2) oraz owadów. Reprezentanci rodzaju *Trichoderma* mogą kontrolować obecność fitopatogenów należących do rodzaju *Botrytis*, *Verticillium*, *Colletotrichum*, powodujących między innymi szarą pleśń u malin, co prowadzi do nieurodzaju i obniżenia jakości plonów. Preparat na bazie *Trichoderma* sp. posiada dwie formy, występuje jako granulki/żel stosowane podczas sadzenia oraz w postaci rozpuszczalnego proszku używanego w trakcie podlewania (Oszust i wsp. 2021).

Rośliny zakażone przez grzyby endofityczne z gatunków *Cladosporium herbarum*, *Rhodotorula rubra*, *Alternaria alternata*, *Epicoccum nigrum*, *Penicillium* sp., *Fusarium graminearum*, *Cryptococcus* spp. wykazują odporność na roślinożerność. Owadobójcze działanie grzybów można im przypisać dzięki wytwarzaniu przez nie metabolitów wtórnych (np. toksyn) oraz enzymów m.in. chitynaz (Okongo i wsp. 2019; Singh i Arya 2019). Mykotoksyny, takie jak alfatoksyny, fumonizyny, mają duże znaczenie w rolnictwie przy zwalczaniu szkodników. Metabolity wtórne, np. awermektyny, panteryna, destruksyny oraz kwas ibotenowy i tricholomowy również wykazują wysoką aktywność przeciwko owadom.

Czynniki chorobotwórcze wytwarzane są przeciwko larwom motyli, mszycom oraz innym szkodliwym gatunkom, jednak stanowią niewielkie zagrożenie lub nie stanowią żadnego zagrożenia dla owadów pożytecznych (Kaur i wsp. 2020; tab. 2).

**Tab. 2.** Przykłady konsorcjów szczepów grzybowych mogących znaleźć swoje zastosowanie w biopreparatach i bionawozach

Inokulat mikrobiologiczny	Gatunek inokulowany	Wpływ	Literatura
<i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>Epicocum nigrum</i>	<i>Vitis</i> L.	Zwalczanie patogenów wywołujących choroby pnia winorośli	de Almeida i wsp. 2020
<i>Trichoderma</i> sp.	<i>Rubus idaeus</i>	Hamują rozwój patogenów	Oszust i wsp. 2021
<i>Cladosporium herbarum</i> , <i>Rhodotorula rubra</i>	–	Działanie owadobójcze	Kaur i wsp. 2020
<i>Glomus intraradices</i> , <i>Trichoderma atroviride</i> , <i>Candida</i> spp., <i>Kloeckera</i> spp., <i>Hanseniaspora</i> spp.,	–	Wytwarzanie aminokwasów, giberelin, IAA; stymulują pobieranie azotu; zwiększają tolerancję na stres środowiskowy	Yakhin i wsp. 2017
<i>Penicillium</i> CBRF65	<i>Brassica napus</i>	Zwiększanie biomasy rośliny	
<i>P. funiculosum</i>	<i>Glycine</i> Willd.	Zwiększanie tolerancji na metale ciężkie	Kouipou i wsp. 2020
<i>P. ruqueforti</i>	<i>Triticum</i> L.	Przyśpieszanie wzrostu roślin na glebie skażonej metalami ciężkimi	
<i>Glomus versiforme</i>	<i>Allium cepa</i> L.	Stymulowanie aktywności antyoksydacyjnej	
<i>Glomus intraradices</i> , <i>Trichoderma harzianum</i> , <i>Bacillus subtilis</i>	<i>Allium cepa</i> L.	Stymulowanie akumulacji selenu	Golubkina i wsp. 2020

W biopreparatach mogą być wykorzystywane grzyby zarówno aktywnie rosnące i rozmnażające, np. żywe *Glomus intraradices* i *Trichoderma atroviride*, jak również tylko elementy morfotyczne lub dezaktywowane/atenuowane grzybnie czy zarodniki grzybów i ich metabolity, np. *Candida* spp., *Hanseniaspora* spp., *Issatchenkia* spp., *Kloeckera* spp., *Saccharomyces bayanus*, *S. boulard*, *S. pastorianus*. Działanie tych mikroorganizmów to przede wszystkim wytwarzanie składników i związków bioaktywnych, np. aminokwasów, niektórych auksyn: IAA, czy też giberelin, witamin i wielu innych korzystnych dla roślin substancji. Grzyby te mogą powodować poprawę pobierania składników odżywczych, stymulują pobieranie azotu, zwiększają aktywność

niektórych enzymów roślinnych, wpływają na metabolizm roślin, stymulują syntezę aminokwasów, zwiększają ilość pigmentów: chlorofilu i karotenoidów, wywołują reakcje obronne roślin, zwiększają tolerancję na stres środowiskowy, ograniczają rozprzestrzenianie się chorób, zapobiegają zakażeniu fitopatogenów (Yakhin i wsp. 2017).

Grzyby endofityczne mogą znaleźć zastosowanie jako składnik biologicznej kontroli patogenów wywołujących choroby pnia winorośli (GTD, ang. Grapevine Trunk Diseases). Schorzenie to jest jednym z najczęściej występujących, a obecne środki zwalczające je nie odnoszą pełnego efektu. Choroba pnia winorośli rozwija się latami, gdyż wywołujące je mikroorganizmy charakteryzują się powolnym wzrostem w tkankach roślin, utrudniając transport wody i składników pokarmowych. W momencie pojawienia się objawów na liściach, choroba przekształca się już w stan ciężki, w niektórych przypadkach doprowadzając do obumarcia rośliny. W przeszłości do zwalczania GTD stosowano arsenian sodu, który w Europie został zakazany ze względu na wysoką toksyczność dla środowiska i zdrowia ludzi. Grzyby endofityczne, wykazujące potencjał do zwalczania GTD, kolonizują zdrowe tkanki roślin, nie powodując przy tym żadnych widocznych objawów chorobowych, mogą zaś nadawać tolerancję roślinom na stres środowiskowy i patogeny. Wśród grzybów o potencjalnym antagonistycznym oddziaływaniu wobec patogenów GTD można wymienić: *Fusarium oxysporum*, *Trichoderma* sp., *Aspergillus niger*, *Penicillium* sp., *Clonostachys rosea* i *Epicocum nigrum*. Grzyby te rywalizują o składniki pokarmowe oraz przestrzeń do rozwoju z patogenami, działając jako inhibitory wzrostu GTD (de Almeida i wsp. 2020; tab. 2).

Grzyby z rodzaju *Penicillium*, obejmujące ponad 200 gatunków, znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach, np. w medycynie czy rolnictwie. Znaczenie *Penicillium* sp. w rolnictwie odnosi się zazwyczaj do procesów fitoremediacji i wspomagania wzrostu roślin. Szczep *Penicillium* sp. CBRF65 wyizolowany z *Brassica napus* znacząco zwiększał biomasę rośliny oraz promował ekstrakcję Pb i Cd. Z kolei wyizolowany z soi szczep *P. funiculosum* LHL06, poza zwiększaniem biomasy rośliny oraz zwiększaniem tolerancji na metale ciężkie, reguluje produkcję giberelin i IAA. Zwiększa również ekspresję białek związanych ze stresem w celu zwalczania toksyczności metali. *Penicillium ruqueforti* inokulowany do pszenicy rosnącej w glebie skażonej metalami ciężkimi dodatkowo wspomagał roślinę w szybszym wzroście i pobieraniu składników odżywczych. Ponadto przedstawiciele rodzaju *Penicillium* sp. mogą służyć do zwalczania patogenów. Przykładem może być ekstrakt z *Penicillium* sp. wyizolowany z drzewa *Camptotheca acuminata*, który hamuje wzrost patogenów roślinnych: *Rhizoctonia solani*, *Gibberella fujikuroi*, *Pyricularia grisea*, *Fusarium oxysporum*. Związki wyizolowane z endofitycznego grzyba *Penicillium janthinellum* testowano pod kątem działania owadobójczego i wykazano, że mogą być użyte przeciw owadom: *Aphis gossypii*, *Plutella xylostella*, *Heliothis virescens*, *Septoria tritici* i *Uromyces fabae*. Wyniki tych badań przemawiają na korzyść produktów naturalnych, jako źródeł nowych związków owadobójczych (Kouipou i wsp. 2020; tab. 2).

Grzyby AMF to mikroorganizmy tworzące symbiotyczne relacje z większością gatunków roślin lądowych. W rolnictwie wykorzystywane są w celu zwiększenia plonów i jakości produktów przy jednoczesnym zmniejszeniu nawozów mineralnych, herbicydów i insektycydów. Gatunki grzybów arbuskularnych AMF mogą być wykorzystywane w celu poprawy wzrostu roślin zaliczanych do rodzaju *Allium*. Przedstawiciele tego rodzaju charakteryzują się słabo rozwiniętym systemem korzeniowym, przez co wchłaniają mniej wody oraz składników pokarmowych. Są one jednak bogate w związki biologicznie czynne, takie jak pochodne siarki, kwercetynę, flawonoidy, saponiny, o znaczącym działaniu przeciwnowotworowym, przeciwzapalnym czy przeciwdrobnoustrojowym. Stosowanie grzybów mykoryzowych AMF przy uprawie gatunków czosnku wykazało pozytywne efekty. *Glomus versiforme* stosowany przy uprawie cebuli wpłynął na wzrost aktywności antyoksydacyjnej; *G. versiforme*, *G. intraradices*, *G. etunicatum* wpłynęły na poprawę wzrostu siewek i efektywność wykorzystania wody. Preparat o nazwie „Rhizotech MB: *Glomus intraradices*” w interakcji z niewielkim liczebnie inokulum *Trichoderma harzianum* i *Bacillus subtilis* spowodował wzrost akumulacji selenu (Golubkina i wsp. 2020; tab. 2).

Wymienione powyżej przykłady przeprowadzanych badań pokazują, że poszukiwanie szczepów grzybów mogących znaleźć zastosowanie jako składnik biologiczny preparatów jest właściwe, gdyż istnieje wiele gatunków mogących wpłynąć na tolerancję roślin na stres środowiskowy oraz metale ciężkie, wykazujących działania przeciw fitopatogenom czy wspomagających wzrost zasiedlanych mikroorganizmów.



## Podsumowanie i perspektywy na przyszłość

**W**zrost populacji ludności na świecie wiąże się ze zwiększonym zapotrzebowaniem na produkty rolne. Priorytetem staje się poszukiwanie nowych rozwiązań pozwalających na podniesienie wydajności upraw, przy jednoczesnym zapewnieniu stabilności środowiska (Liu i wsp. 2017). Jedną z takich metod jest stosowanie biopreparatów zawierających mikroorganizmy, zapewniające szeroki zakres korzyści, od stymulacji wzrostu roślin, po ich ochronę przed czynnikami stresowymi (Yadav i Yadav 2017). Rozwiązanie to stanowi ekologiczną alternatywę dla konwencjonalnych technologii rolniczych, ponieważ w mniejszym stopniu opiera się na stosowaniu środków chemicznych.

Biopreparaty nie tylko pozytywnie wpływają na jakość plonów i ich wielkość. Pomagają w tworzeniu specyficznej kultury rolnej oraz zapewniają długotrwałe i stabilne plony upraw polowych przy zachowaniu czystego środowiska, bez szkody dla człowieka (Baker i wsp. 2020). W znaczący sposób poprawiają jakość użytkowanych gleb, wzmacniają naturalną odporność roślin na szkodniki i stresy abiotyczne oraz obniżają koszty produkcji rolniczej (Toader i wsp. 2020). Obecnie obserwuje się intensyfikację badań nad wpływem stosowania opracowanych środków chemicznych w celu zwiększenia produkcji na środowisko w krótkotrwałych, ale i długotrwałych doświadczeniach. Podczas stosowania chemicznych środków obserwowane są ograniczenia naturalnych procesów samoregulacji w glebie i rosnące zanieczyszczenie środowiska. Na podstawie wyników tych badań powstają kolejne unijne dyrektywy, a tym samym regulacje w Polsce, ograniczające stosowanie chemicznych środków w rolnictwie (np. program azotanowy, Dz. U. z 2018 r. poz. 1339). Ze względu na konieczność spełnienia wymogów przepisów unijnych, rolnicy będą zobligowani do rezygnacji lub ograniczania stosowania nawozów chemicznych i wówczas powinni sięgać po naturalne środki ochrony i wspomaganie roślin.

W związku z tym, mając na uwadze potencjał biologiczny i rolę mikroorganizmów we wzroście i rozwoju roślin, w dalszym ciągu należy prowadzić badania nad ich wykorzystaniem w technologiach agroekologicznych, tak aby osiągnąć jak najbardziej zadowalające efekty w zakresie produktywności rolnictwa i ochrony środowiska (Dubey i wsp. 2020).





## Piśmiennictwo

1. Alferov A.A., Chernova L.S., Zavalin A.A., Chebotar' V.K. (2017). *The efficiency of the endophytic biopreparations and nitrogen fertilizer application*. „AGRIS” 5, 21–24.
2. Arrebola E., Tienda S., Vida C., de Vicente A., Cazorla F.M. (2019). *Fitness Features Involved in the Biocontrol Interaction of Pseudomonas chlororaphis with Host Plants: The Case Study of PcPCL1606*. „Frontiers in Microbiology” 10, 719.
3. Augustyniak A., Roszak M. (2017). *Zastosowanie mikrobiologii w nowoczesnym rolnictwie*. „Badania i Rozwój Młodych Naukowców w Polsce – Agronomia i ochrona roślin” 1, 7–12.
4. Baker B.P., Green T.A., Loker A.J. (2020). *Biological Control and Integrated Pest Management in Organic and Conventional Systems*. „Biological Control” 140, 104095.
5. Banerjee A., Bareth D.A., Joshi S.R. (2017). *Native microorganisms as potent bioinoculants for plant growth promotion in shifting agriculture (Jhum) systems*. „Journal of Soil Science and Plant Nutrition” 17(1), 127–140.
6. Chandler S., van Hese N., Coutte F., Jacques P., Hofte M., de Vleeschauwer D. (2015). *Role of cyclic lipopeptides produced by Bacillus subtilis in mounting induced immunity in rice (Oryza sativa L.)*. „Physiological and Molecular Plant Pathology” 91, 20–30.
7. Churilov D., Polischuk S., Churilov G., Shemyakin A., Churilova V., Andreev K., Arapov I., Obidina I. (2020). *The possibility of using biopreparations based on nanoparticles of biogenic metals in crop production and plant protection*. „International AgroScience Conference” 422, 012014.
8. Dara S.K. (2019). *The New Integrated Pest Management Paradigm for the Modern Age*. „Journal of Integrated Pest Management” 10(1), 12, 1–9.
9. De Almeida A.B., Concas J., Campos M.D., Materatski P., Varanda C., Patanita M., Murolo S., Romanazzi G., do Rosário Félix M. (2020). *Endophytic Fungi as Potential Biological Control Agents against Grapevine Trunk Diseases in Alentejo Region*. „Biology (Basel)” 9(12), 420.
10. Derkowska E., Paszt L.S., Harbuzov A., Sumorok B. (2015). *Root Growth, Mycorrhizal Frequency and Soil Microorganisms in Strawberry as Affected by Biopreparations*. „Advances in Microbiology” 5, 65–73.
11. Dubey A., Malla M.A., Kumar A., Dayanandan S., Khan M.L. (2020). *Plants endophytes: unveiling hidden agenda for bioprospecting toward sustainable agriculture*. „Critical Reviews in Biotechnology” 40(8), 1210–1231.
12. Emtsev V., Selitskaja O.B., Bruk M. (2006). *Effective Biofertilizer „Bioplant-K” for Non-legume Plants in Sustainable Agriculture*. Moscow Agricultural Academy.

13. Golubkina N., Krivenkov L., Sekara A., Vasileva V., Tallarita A., Caruso G. (2020). *Prospects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Utilization in Production of Allium Plants*. „Plants” 9(2), 279.
14. Grobelak A., Napora A., Hiller J., Kacprzak M. (2016). *Analysis of commercialisation possibilities of biopreparation „Rhizofertum” for plant growth stimulation in unfavourable soil conditions*. „Acta Innovations” 19, 45–51.
15. Grzyb A., Waraczewska Z., Niewiadomska A., Wolna-Maruwka A. (2019). *Czym są biopreparaty i jakie jest ich zastosowanie?*. „Nauka – Przyroda – Technologie” 13(2), 65–76.
16. Guo D.-J., Singh R.K., Singh P., Li D.-P., Sharma A., Xing Y.-X., Song X.-P., Yang L.-T., Li Y.-R. (2020). *Complete Genome Sequence of Enterobacter roggenkampii ED5, a Nitrogen Fixing Plant Growth Promoting Endophytic Bacterium With Biocontrol and Stress Tolerance Properties, Isolated From Sugarcane Root*. *Frontiers in Microbiology*” 11, 580081.
17. Hamid B., Zaman M., Farooq S., Fatima S., Sayyed R.Z., Baba Z.A., Sheikh T.A., Reddy M.S., Enshasy H.E., Gafur A., Suriani N.L. (2021). *Bacterial Plant Biostimulants: A Sustainable Way towards Improving Growth, Productivity, and Health of Crops*. „Sustainability” 13, 2856.
18. Jakiene E., Liakas V. (2013). *Effect of the biological preparations Azofit and Amalgerol on sugar beet seeding*. W: *Proceedings of the 6th International Scientific Conference „Rural Development 2013”*. Akademija, 106–110.
19. Jamily A.S., Koyama Y., Win T.A., Toyota K., Chikamatsu S., Shirai T., Uesugi T., Murakami H., Ishida T., Yasuhara T. (2019). *Effects of inoculation with a commercial microbial inoculant Bacillus subtilis C-3102 mixture on rice and barley growth and its possible mechanism in the plant growth stimulatory effect*. „Journal of Plant Protection Research” 59, 193–205.
20. Jaroszuk-Ścisł J., Tyśkiewicz R., Nowak A., Ozimek E., Majewska M., Hanaka A., Tyśkiewicz K., Pawlik A., Janusz G. (2019). *Phytohormones (Auxin, Gibberellin) and ACC deaminase in vitro synthesized by the mycoparasitic Trichoderma DEMTkZ3A0 strain and changes in the level of auxin and plant resistance markers in wheat seedlings inoculated with this strain conidia*. „International Journal of Molecular Sciences” 20(19), 4923.
21. Juknevičius D., Kriauciuniene Z., Jasinskas A., Šarauskis E. (2020). *Analysis of changes in soil organic carbon, energy consumption and environmental impact using bio-products in the production of winter wheat and oilseed rape*. „Sustainability” 12, 8246.
22. Karnwal A. (2017). *Isolation and identification of plant growth promoting rhizobacteria from maize (Zea mays L.) rhizosphere and their plant growth promoting effect on rice (Oryza sativa L.)*. „Journal of Plant Protection Research” 57(2), 144–151.
23. Kaur M., Chadha P., Kaur S., Kaur A., Kaur R. (2020). *Schizophyllum commune induced oxidative stress and immunosuppressive activity in Spodoptera litura*. „BMC Microbiology” 20, 139.
24. Kocira S., Hara P., Szparaga A., Czerwińska E., Beloev H., Findura P., Bajus P. (2020). *Evaluation of the Effectiveness of the Use of Biopreparations as Seed Dressings*. „Agriculture” 10, 90.
25. Kosicka D., Wolna-Maruwka A., Trzeciak M. (2015). *Wpływ preparatów mikrobiologicznych na glebę oraz wzrost i rozwój roślin*. „Kosmos” 64(2), 327–335.
26. Kouipou Toghueo R.M., Fekam Boyom F. (2020). *Endophytic Penicillium species and their agricultural, biotechnological, and pharmaceutical applications*. „3 Biotech” 10(3), 107.

27. Kriauciūnienė Z., Marcinkevičienė A., Velička R., Mockevičienė R., Kosteckas R., Butkevičienė L.M., Čekanauskas S., Kosteckienė S. (2018). *Application of bio-preparations in organic spring rapeseed crop and the humus content effect on soil properties*. „Agronomy” 41–44.
28. Kumar A., Verma J.P. (2018). *Does plant-Microbe interaction confer stress tolerance in plants: A review?*. „Microbiology Research” 207, 41–52.
29. Kuźniar A., Włodarczyk K., Wolińska A. (2019). *Agricultural and Other Biotechnological Applications Resulting from Trophic Plant-Endophyte Interactions*. „Agronomy” 9(12), 779.
30. Kyrychenko O.V. (2015). *Market analysis and microbial biopreparations creation for crop production in Ukraine*. „Biotechnologia Acta” 8(4), 40–52.
31. Lekavičiūnienė K., Naujokiene V., Šarauskis E., Jasinskis A. (2021). *Influence of biopreparations on soil and crop residue properties, traction force of machines in shallow tillage*. „Applied Sciences” 11, 6018.
32. Liu H., Carvalhais L.C., Crawford M., Singh E., Dennis P.G., Pieterse C.M.J., Schenk P.M. (2017). *Inner Plant Values: Diversity, Colonization and Benefits from Endophytic Bacteria*. „Frontiers in Microbiology” 8, 2552.
33. Maehara S., Augusta A., Kitamura C., Ohashi K., Shibuya H. (2016). *Composition of the endophytic filamentous fungi associated with Cinchona ledgeriana seeds and production of Cinchona alkaloids*. „Journal of Natural Medicines” 70, 271–275.
34. Martyniuk S., Książak J. (2011). *Ocena pseudomikrobiologicznych biopreparatów stosowanych w uprawie roślin*. „Polish Journal of Agronomy” 6, 27–33.
35. Meng Q., Jiang H., Hao J. (2016). *Effects of Bacillus velezensis strain BAC03 in promoting plant growth*. „Biological Control: Theory and Applications in Pest Management” 98, 18–26.
36. Mishra B.K., Lal G., Sharma Y.K., Kant K., Saxena S.N., Dubey P.N. (2019). *Effect of microbial inoculants on cumin (Cuminum cyminum Linn.) growth and yield*. „International Journal of Seed Spices” 9(1), 53–56.
37. Moreira H., Pereira S., Vega A., Castro P.M., Marques A.P. (2020). *Synergistic effects of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting bacteria benefit maize growth under increasing soil salinity*. „Journal of Environmental Management” 257, 109982.
38. Naranjo-Ortiz M.A., Gabaldón T. (2019). *Fungal evolution: major ecological adaptations and evolutionary transitions*. „Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society” 94(4), 1443–1476.
39. Okongo R.N., Puri A.K., Wang Z., Singh S., Permaul K. (2019). *Comparative biocontrol ability of chitinases from bacteria and recombinant chitinases from the thermophilic fungus Thermomyces lanuginosus*. „Journal of Bioscience and Bioengineering” 127(6), 663–671.
40. Oo A.Z., Tsujimoto Y., Rakotoarisoa N.M. (2020). *Optimizing the Phosphorus Concentration and Duration of Seedling Dipping in Soil Slurry for Accelerating the Initial Growth of Transplanted Rice*. „Agronomy” 10(2), 240.
41. Oszust K., Pylak M., Frąć M. (2021). *Trichoderma-Based Biopreparation with Perbiotics Supplementation for the Naturalization of Raspberry Plant Rhizosphere*. „International Journal of Molecular Sciences” 22(12), 6356.

42. Passera A., Compant S., Casati P., Maturo M.G., Battelli G., Quaglino F., Antonielli L., Salerno D., Brasca M., Toffolatti S.L., Mantegazza F., Delledonne M., Mitter B. (2019). *Not just a pathogen? Description of a plant-beneficial Pseudomonas syringae strain.* „Frontiers in Microbiology” 10, 1409.
43. Pellegrino E., Piazza G., Arduini I., Ercoli L. (2020). *Field Inoculation of Bread Wheat with Rhizopus irregularis under Organic Farming: Variability in Growth Response and Nutritional Uptake of Eleven Old Genotypes and a Modern Variety.* „Agronomy” 10(3), 333.
44. Piwowar A. (2015). *Środki biologiczne i biotechniczne w produkcji roślinnej.* „Zagadnienia Doradztwa Rolniczego” 4, 92–102.
45. Pszczółkowski P., Sawicka B., Lenartowicz T. (2016). *Efektywność nawadniania wczesnych odmian ziemniaka w trzech regionach Polski.* „Fragmenta Agronomica” 33(4), 97–109.
46. Pylak M., Oszust K., Frąc M. (2019). *Review report on the role of bioproducts, biopreparations, biostimulants and microbial inoculants in organic production of fruit.* „Reviews in Environmental Science and Bio/Technology” 18, 597–616.
47. Qiao J.-Q., Wu H.-J., Huo R., Gao X.-W., Borriss R. (2014). *Stimulation of plant growth and bio-control by Bacillus amyloliquefaciens subsp. plantarum FZB42 engineered for improved action.* „Chemical and Biological Technologies in Agriculture” 12, 1.
48. Romanowska-Duda Z., Grzesik M., Janas R. (2020). *Ash from Jerusalem artichoke and biopreparations enhance the growth and physiological activity of sorghum and limit environmental pollution by decreasing artificial fertilization needs.* „International Agrophysics” 34(3), 365–379.
49. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 5 czerwca 2018 r. w sprawie przyjęcia „Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu” (Dz. U. z 2018 r. poz. 1339).
50. Santoyo G., Moreno-Hagelsieb G., Orozco-Mosqueda C., Glick B.R. (2016). *Plant growth-promoting bacterial endophytes.* „Microbiological Research” 183, 92–99.
51. Shahzad R., Khan A.L., Bilal S., Waqas M., Kang S.-M., Lee I.-J. (2017). *Inoculation of abscisic acid-producing endophytic bacteria enhances salinity stress tolerance in Oryza sativa.* „Environmental and Experimental Botany” 136(C), 68–77.
52. Siara A., Kuźniar A., Włodarczyk K., Wolińska A. (2021). *Przegląd badań nad endofitami zasiedlającymi wewnątrz tkanek roślin zbożowych. W: Znaczenie roślin w nauce, przemyśle i medycynie – wybrane zagadnienia.* Wydawnictwo Naukowe Tygiel, 36–46.
53. Šimanský V., Jonczak J., Kováčik P., Bajčan D. (2018). *Impact of crop residues and biopreparations on nitrogen changes in Haplic Luvisol – Model experiment.* „Soil Science Annual” 69(4), 251–258.
54. Singh G., Arya S.K. (2019). *Antifungal and insecticidal potential of chitinases: a credible choice for the eco-friendly farming.* „Biocatalysis and Agricultural Biotechnology” 20, 101289.
55. Singh M., Kumar A., Singh R., Pandey K.D. (2017). *Endophytic bacteria: a new source of bioactive compounds.* „3 Biotech” 7(5), 315.
56. Sosnowska D. (2019). *Parasitic and antagonistic fungi in biological plant protection in Poland.* „Progress in Plant Protection” 59(4), 223–231.
57. Srinivasan A. (2006). *Handbook of Precision Agriculture.* CRC Press.

58. Toader G., Chiurciu V., Mrierean N., Sevciuc P., Filip V., Burnichi F., Trifan D., Luxita R., Catalin Ionut E., Toader V., Ilie L. (2020). *Economic advantages of using bacterial biopreparations in agricultural crops*. „Agrarian Economy and Rural Development – Realities and Perspectives for Romania” 11, 230–237.
59. Uttatree S., Charoenpanich J. (2016). *Isolation and characterization of a broad pH- and temperature-active, solvent and surfactant stable protease from a new strain of Bacillus subtilis*. „Biocatalysis and Agricultural Biotechnology” 8(C), 32–38.
60. Woźniak M., Gałązka A., Tyśkiewicz R., Jaroszek-Ścisł J. (2019). *Endophytic Bacteria Potentially Promote Plant Growth by Synthesizing Different Metabolites and their Phenotypic/Physiological Profiles in the Biolog GEN III MicroPlate™ Test*. „International Journal of Molecular Sciences” 20, 5283
61. Varinderpal-Singh, Sharma S., Gosal S.K., Choudhary R., Singh R., Adholeya A. (2020). *Synergistic Use of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria, Arbuscular Mycorrhizal Fungi, and Spectral Properties for Improving Nutrient Use Efficiencies in Wheat (Triticum aestivum L.)*. „Communications in Soil Science and Plant Analysis” 51, 14–27.
62. Vives-Peris V., Gomez-Cadenas A., Perez-Clemente R.M. (2018). *Salt stress alleviation in citrus plants by plant growth-promoting rhizobacteria Pseudomonas putida and Novosphingobium sp.* „Plant Cell Reports” 37(11), 1557–1569.
63. Vojnov B., Šeremešić S., Milošev D, Srdić J., Dolijanović Ž., Babec B. (2017). *The influence of cover crops and biopreparates on morphological characteristics of sweet maize (Zea mais ssp. saccharata) in the organic production*. Poster. <https://www.researchgate.net/publication/336210593>.
64. Yadav A., Yadav K. (2017). *Exploring the Potential of Endophytes in Agriculture: A Minireview*. „Advances in Plants & Agriculture Research” 6(4), 102–106.
65. Yakhin O.I., Lubyantsev A.A., Yakhin I.A., Brown P.H. (2017). *Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective*. „Frontiers in Plant Science” 7, 2049.
66. Yu X., Ai C., Xin L., Zhou G. (2011). *The siderophore-producing bacterium, Bacillus subtilis CAS15, has a biocontrol effect on Fusarium wilt and promotes the growth of pepper*. „European Journal of Soil Biology” 47(2), 138–145.



# Spis treści

Wstęp .....	5
1. Charakterystyka biopreparatów stosowanych w agronomii .....	7
2. Działanie biopreparatów służących stymulacji wzrostu i ochronie roślin uprawnych ...	11
3. Charakterystyka mikroorganizmów stosowanych w biopreparatach .....	15
Podsumowanie i perspektywy na przyszłość .....	23
Piśmiennictwo .....	25

