

Mikroorganizmy glebowe w obliczu zmian klimatu i ich potencjał agrobiotechnologiczny

Karolina Furtak

Zakład Mikrobiologii Rolniczej
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa
– Państwowy Instytut Badawczy

Zmiany klimatu

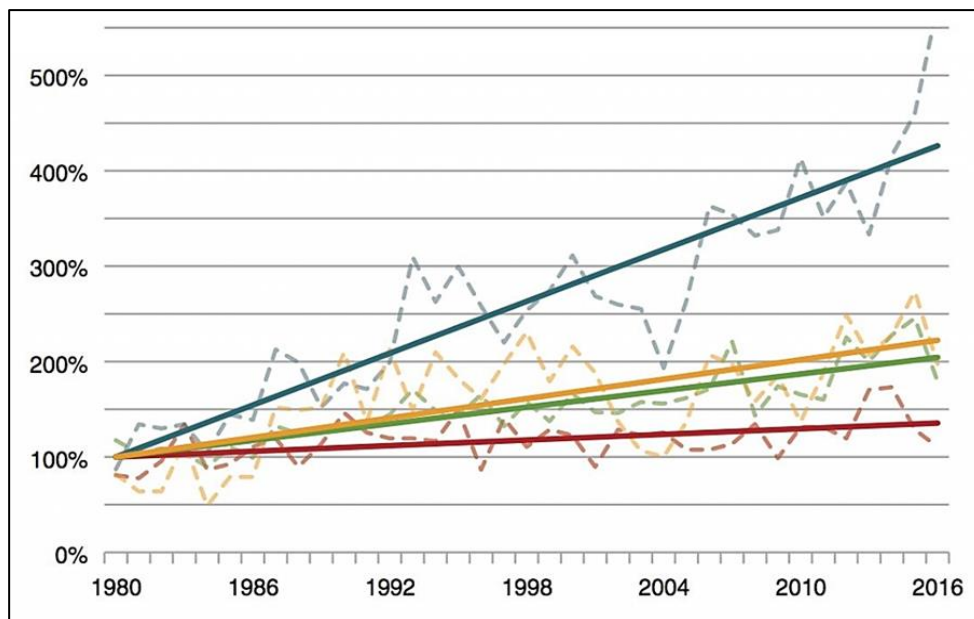


Zmiany klimatu

Naturalne wahania wilgotności związane ze zmianami sezonowymi i opadami są ważnym czynnikiem środowiskowym w metabolizmie mikroorganizmów.

W ostatnim czasie jednak częstotliwość występowania powodzi i okresowych podtopień w Polsce wzrasta, a okresy suszy ulegają wydłużeniu.

Stres wodny wywołany tymi zjawiskami wpływa na mikroorganizmy glebowe.



Wykres 1. Tendencje występowania różnych zjawisk na świecie w latach 1980-2016

- Dane meteorologiczne pokazują, że na świecie od 1980 roku liczba powodzi i innych zdarzeń hydrologicznych wzrosła czterokrotnie.
- W ciągu trzech minionych dekad o 60% wzrosła liczba ekstremalnych zdarzeń pogodowych w Europie.
- W związku ze zmianami klimatu coraz częściej zdarzać się będą zjawiska ekstremalne, wśród nich susze, ale też bardzo gwałtowne opady,

Zjawiska:

- **Geofizyczne**
- **Meteorologiczne**
- **Klimatyczne**
- **Hydrologiczne**

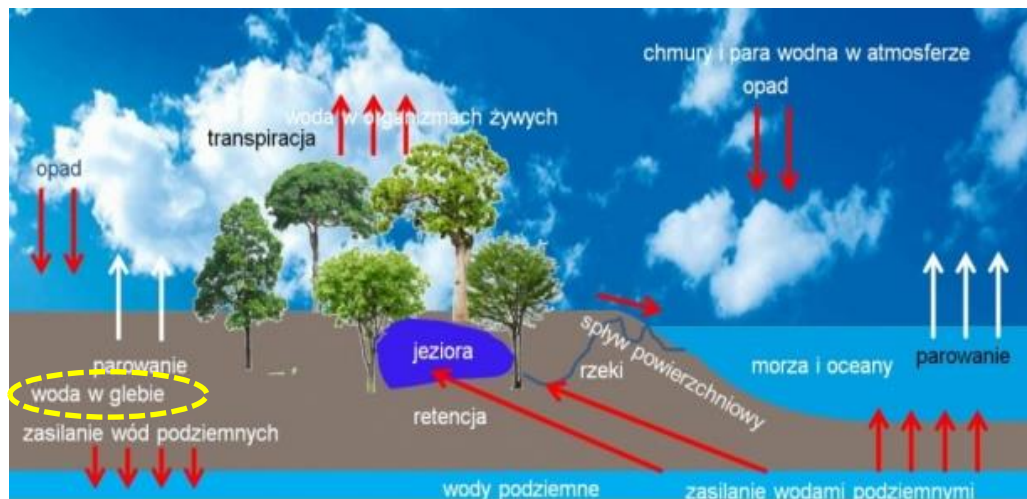


Figura 2. Zależności między elementami cyklu wodnego

Susza

Ze względu na złożoność zjawiska i jego rozległe skutki, nie ma obecnie jednej powszechnie akceptowanej definicji suszy (Hao i Singh, 2015).

Susza atmosferyczna, czyli brak opadów, prowadzi do zmniejszenia zasobów wodnych i uszczuplenia wody w zlewni.

W ślad za tym następuje tzw. **susza glebowa**, czyli proces wysychania profilu glebowego.

Przy dalszym braku opadów występuje susza hydrologiczna, która objawia się spadkiem poziomu wody w rzekach i jeziorach (Kopacz i Twardy, 2016).

Konsekwencją braku opadów i zmniejszającej się ilości wody w glebie jest **susza rolnicza**, czyli niedobór wody dostępnej dla roślin. Występuje ona wtedy, gdy w określonym czasie nie ma wystarczającej ilości wody dla danej uprawy.

Zmniejszone plony i zwiększone straty gospodarcze wynikające z obniżonego poziomu wód gruntowych i niedoborów opadów nazywane są już suszą gospodarczą (Łabędzki, 2004).

Powódź

Zgodnie z Dyrektywą Unii Europejskiej *powódź* to „czasowe pokrycie wodą terenu, który w normalnych warunkach nie jest pokryty wodą” (Dyrektywa 2007/60/WE).

Według Ustawy z dnia 20.07.2017 – Prawo wodne – *powódź* to „wezbranie wody w ciekach naturalnych, zbiornikach wodnych, kanałach lub na morzu, podczas którego woda po przekroczeniu stanu brzegowego zalewa doliny rzeczne albo tereny depresyjne i powoduje zagrożenia dla ludności lub mienia” (Dz.U. z 2017 r. poz. 1566).

Rodzaje powodzi w Polsce:

- a) roztopowa – wywołana nagłym spływem wód z topniejących śniegów w okresie wiosennym;
- b) opadowa – wywołana przez obfite i długotrwałe opady atmosferyczne;
- c) tzw. cofka – cofanie się wód rzek uchodzących do morza ponownie do koryt, nawet kilkadziesiąt kilometrów w głąb lądu;
- d) zimowa – nasilenie zjawisk lodowych;
- e) sztormowa – na zalewach i wybrzeżach.

Nasilenie występowania zjawisk hydrologicznych

- ❖ W ostatnich latach (1950-2015) nastąpił statystycznie istotny (na poziomie 95%) wzrost występowania suszy meteorologicznej w Europie. Ponadto niektóre okresy suszy trwały nawet ponad 3 miesiące (>60 dni).
- ❖ W ubiegłym stuleciu w Europie wystąpiło 45 poważnych susz, które dotknęły miliony ludzi i spowodowały straty ekonomiczne w wysokości ponad 27,8 mld USD. Obecnie susza dotyka średnio 15% powierzchni lądowej Unii Europejskiej i 17% jej ludności.
- ❖ Oczekuje się, że w najbliższych latach susze zwiększą swoją częstotliwość (o 22-123%), zasięg (23-46%) występowania i czas trwania (16-48%) (Grillakis, 2019).
- ❖ Co więcej, same warunki suszy ulegną pogorszeniu, przy czym najbardziej zagrożone będą Europa Wschodnia i regiony śródziemnomorskie (Grillakis, 2019).
- ❖ Około 72% globalnej powierzchni lądowej może stać się w przyszłości jałowa, szczególnie na Bliskim Wschodzie, w południowej Europie, południowej Afryce i Australii. W skali globalnej regiony jałowe i półjałowe powiększą się odpowiednio o 10,3% i 9,9%, co, że pokrycie powierzchni klimatem półsuchym i jałowym pod koniec XXI wieku będzie równe odpowiednio 11% i 14% całkowitej powierzchni lądów (Asadieh i Krakauer, 2017; Taylor i in., 2012; Warszawski i in., 2014).
- ❖ W Europie w ostatnich latach wzrosło zagrożenie powodziowe (Banach et al., 2009; Blöschl et al., 2017).
- ❖ W ciągu ostatnich trzech dekad liczba ekstremalnych zdarzeń pogodowych, w tym hydrologicznych, w Europie wzrosła o 60% (European Academies Science Advisory Council, 2013).
- ❖ W latach 1960-2010 w Europie Środkowej i Zachodniej zaobserwowano wzrost zrzutów powodziowych do 12% na dekadę.
- ❖ W ostatnich dwóch latach przyczyną powodzi były ulewne deszcze, oraz huragany.
- ❖ Tragicznym okresem okazał się lipiec 2021 roku, kiedy to serwis FloodList (<http://floodlist.com/>) odnotował 124 zdarzenia powodziowe w 385 lokalizacjach w ponad 20 krajach.
- ❖ Prognozy wskazują, że zmiana klimatu prowadzi do wzrostu intensywności sztormów i powodzi w Europie do 2100 roku (Vousdoukas et al., 2017).
- ❖ Szacuje się również, że zwiększy się poziom morza i wysokość fali sztormowej, a tym samym zwiększy się częstotliwość występowania przybrzeżnych zdarzeń powodziowych (Mentaschi i in., 2017).
- ❖ Ponad 98% powierzchni lądowej wykazuje wzrost intensywności ekstremalnych opadów (Tabari, 2020).

Zdarzenia hydrologiczne, a środowisko glebowe



Susza, a mikroorganizmy

- Susza, czyli spadek zawartości wody w glebie, może powodować wzrost ciśnienia osmotycznego gleby i powstanie roztworu hipertonicznego, co powoduje wysychanie komórek mikroorganizmów oraz zmniejszenie ich aktywności i wzrostu.
- Niektóre mikroorganizmy są w stanie przetrwać w takich warunkach w stanie anabiozy, czyli w stanie skrajnego obniżenia aktywności życiowej. Wiadomo, że grzyby są zdolne do egzystencji przy niższych wartościach aw niż bakterie.
- Wzrost liczby bakterii obserwowano również przy niskiej aktywności wody w środowisku, ale dotyczył on bakterii halofilnych z rodzajów *Halomonas*, *Parococcus* i *Vibrio*.
- Mikroorganizmy halofilne i tolerujące niską zawartość wody mają ten sam mechanizm obronny - produkują i gromadzą osmolity/osmoprotektanty.

Skutki niedoboru wody w glebie i ich wpływ na rolnictwo

- ❖ Wzrost ciśnienia osmotycznego; tworzenie się roztworu hipertonicznego;
 - ❖ Wysychanie oraz ograniczenie aktywności i wzrostu mikroorganizmów;
 - ❖ Ograniczenie procesu mineralizacji węgla i azotu;
 - ❖ Zwiększenie zawartości tlenu w glebie;
 - ❖ Zmniejszenie dostępności do składników pokarmowych;
 - ❖ Wzrost zasolenia gleby;
 - ❖ Degradacja gleb, zaskorupienie i pęknięcie;
 - ❖ Zahamowanie fotosyntezy, wzrostu i rozwoju roślin.
- Znaczący spadek plonów;
 - Wzrost cen żywności;
 - Utrudnienia w przeprowadzeniu podstawowych zabiegów agrotechnicznych;
 - Brak efektów nawożenia;
 - Niedobór pasz;
 - Nasilenie erozji wietrznej gleb;
 - Wzrost prawdopodobieństwa pożarów.



Nadmierna wilgotność, a mikroorganizmy

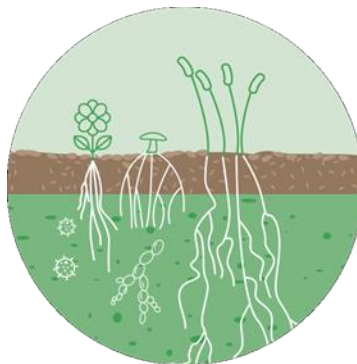
- Nadmierna wilgotność spowodowana powodziami, roztopami lub intensywnymi opadami deszczu powoduje zmiany w strukturze i aktywności mikrobiomu glebowego.
- Zwiększona wilgotność związana jest ze zmniejszoną dyfuzją tlenu i azotu w glebie oraz rozwojem drapieżników żerujących na bakteriach. W warunkach beztlenowych w glebie dostępność mikro- i makroelementów jest od dwóch do czterech razy mniejsza niż w środowisku dobrze natlenionym.
- Wśród beztlenowych mikroorganizmów glebowych znajdują się m.in. bakterie purpurowe przeprowadzające fotosyntezę beztlenową - *Rhodospirillum* sp.; bakterie redukujące siarczan - *Desulfovibrio* sp., *Desulfotomaculum* sp.; oraz bakterie wiążące azot - *Clostridium* sp.; a także przedstawiciele archaea, którzy produkują metan - *Methanobacterium* sp.
- Stwierdzono również, że występowanie intensywnych opadów w winnicach wzmacnia rozwój mikroorganizmów epifitycznych, w tym grzybów patogennych, np. *Botrytis cinerea*.

Skutki nadmiaru wody w glebie i ich wpływ na rolnictwo

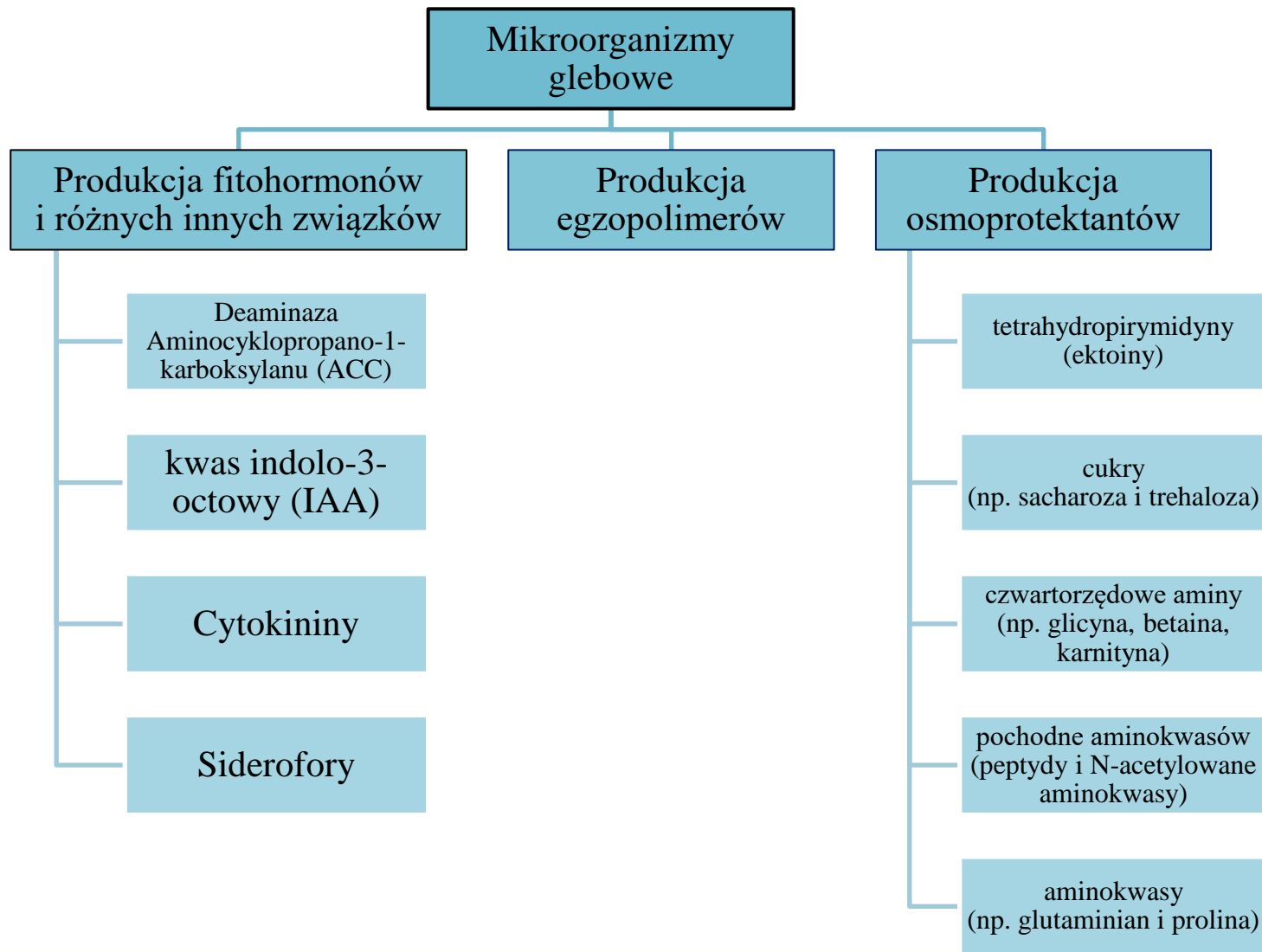
- ❖ Zmniejszenie dyfuzji tlenu i azotu w glebie;
 - ❖ Wypłukanie części składników pokarmowych: azotu, wapnia i magnezu;
 - ❖ Zmywanie w głąb profilu glebowego fosforu i potasu;
 - ❖ Rozwój drapieżników żywiących się bakteriami;
 - ❖ Rozwój mikroorganizmów beztlenowych – intensyfikacja procesów redukcji i fermentacji;
 - ❖ Spadek pH gleby;
 - ❖ Niekontrolowane niszczenie struktury gleby;
 - ❖ Naniesienie zanieczyszczeń oraz nasion gatunków roślin z odległych obszarów (w przypadku wody powodziowej).
- Rozwój procesów gnilnych, gnicie roślin, brak plonów;
 - Wzmożony rozwój mikroorganizmów patogennych;
 - Utrata żyzności gleby;
 - Nanoszenie na pola nasion chwastów;
 - Utrudnienia w przeprowadzaniu terminowych prac polowych;
 - Niedobór pasz, brak miejsca na wypas zwierząt.



Potencjał mikroorganizmów



Mechanizmy mikroorganizmów wspomagające rośliny w warunkach stresu



Biologiczna jakość gleby wspomagana przez mikroorganizmy

- Bez względu na warunki hydrologiczne biologiczna aktywność i homeostaza w glebie jest istotna i warto nad nią pracować.
- Gleba zdrowa i żyzna lepiej znosi złe warunki atmosferyczne, a rośliny później odczuwają skutki stresu.
- Wysoka liczebność bakterii z rodzaju *Pseudomonas*, *Bacillus* oraz *Azotobacter* w ryzosferze, czyli w bezpośrednim sąsiedztwie korzeni włósnikowych roślin zwiększa dostępność fosforu i żelaza, poprzez wytwarzanie specyficznych chelatów - sideroforów.
- Produkowany przez te bakterie kwas ketoglutarykowy stymuluje rozwój systemu korzeniowego i jego aktywność w pobieraniu składników pokarmowych.
- Bakterie te produkują kwas salicylowy, cyjanowodór oraz antybiotyki (fenazyne) – działają przeciwko patogenom roślinnym.
- Bakteria *Bacillus subtilis* – tworzy siderofory, produkuje antybiotyki, egzopolisacharydy, rozkłada resztki roślinne. Bakteria ta syntezuje białko (hydrofobinę BsIA), które działa zmniejszając napięcie powierzchniowe, co zwiększa zwilżenie powierzchni, prowadząc do poprawy wilgotności w okolicy systemu korzeniowego.
- Egzopolimery i osmoprotektanty wydzielane przez bakterie stabilizują koloidy glebowe zapewniając łączenie się minerałów w agregaty.
- Bakterie fosforowe np. *Bacillus megaterium* – udostępniają fosfor z form uwstecznionych i sprawiają, że powraca on do formy przyswajalnej dla roślin.
- Bakterie celulolityczne odpowiedzialne są między innymi za rozkład celuloz czy hemiceluloz, które są głównymi składowymi związkami słomy i resztek poźniwnych.

Możliwości wykorzystania mikroorganizmów w obliczu zmian klimatu

- Stymulacja, promocja wzrostu roślin;
- Poprawa jakości środowiska glebowego (m.in. struktury);
- Stymulacja procesów ochronnych u roślin;
- Inokulacja, zaprawianie ziaren roślin mikroorganizmami o zdolnościach osmoprotekcyjnych;
- Modyfikacje genetyczne roślin poprzez wprowadzenie szlaków bakteryjnych do roślin.

Przykłady mikroorganizmów wspierających rośliny w warunkach suszy

Mikroorganizm	Działanie	Roślina testowa
<i>Cladosporium cladosporioides</i> (grzyb)	wzrost biomasy roślin; wzrost względnej zawartości wody; wzrost zawartości cukrów rozpuszczalnych; wzrost zawartości białka rozpuszczalnego; wzrost zawartości proliny; wzrost aktywności enzymów antyoksydacyjnych	<i>Nicotiana benthamiana</i> (tytoń australijski)
<i>Tobamovirus</i> sp. (wirus)	zwiększenie zawartości osmotitów roślinnych; zwiększenie aktywności enzymów antyoksydacyjnych i ekspresji genów	<i>Nicotiana benthamiana</i> (tytoń australijski)
<i>Gluconacetobacter diazotrophicus</i> (bakteria)	wzrost biomasy roślin; wyższy poziom wymiany gazowej; wyższy plon; pozytywna regulacja niektórych genów obronnych	<i>Oryza sativa</i> (ryż siewny)
<i>Pseudomonas</i> sp. (LTGT-11-2Z) (bakteria)	produkcja sideroforów; produkcja EPS; zwiększona aktywność deaminazy 1-aminocyklopropano-1-karboksylianowej (ACC); poprawa zdrowia i nawodnienia roślin	<i>Triticum aestivum</i> (pszenica ozima)
<i>Microbacterium</i> sp. (3J1) (bakteria)	wyższa względna zawartość wody; wyższa świeża i sucha masa roślin; wzrost wewnątrzkomórkowego stężenia trehalozy; wzrost zawartości cukrów takich jak trehaloza, melibioza, fruktoza i glukoza	<i>Capsicum annuum</i> (pieprz zielony)
<i>Pseudomonas</i> spp. (E102 i E141) (bakteria)	większa świeża biomasa nadziemna i korzeniowa; większa liczba liści; większy wzrost roślin	<i>Phoenix dactylifera</i> (palma daktylowa)
<i>Bacillus megaterium</i> (TG1-E1) (bakteria)	zwiększona produkcja etanolaminy, która jest prekursorem glicyny betainy i proliny	<i>Solanum lycopersicum</i> (tomato)
<i>Bacillus</i> oraz <i>Pseudomonas</i> (bakteria)	poprawa wzrostu siewek soi	<i>Glycine max</i> (soja)
<i>Pseudomonas</i> spp. (M25 i N33) (bakteria)	znaczny wzrost zawartości wody i elastyczności ścian roślinnych; wzrost tworzenia nowych liści; wzrost wzrostu i zdolności fotosyntetycznej	<i>Eucalyptus grandis</i> (eukaliptus wielki)
<i>Rhizophagus irregularis</i> (grzyb)	zwiększony wzrost cykorii; wyższy procent inuliny	<i>Cichorium intybus</i> L. (cykoria)
<i>Pseudomonas fluorescens</i> (bakteria)	wzrost świeżej i suchej masy roślin	<i>Catharanthus roseus</i> (barwinek różowy)
<i>Bacillus</i> sp. (bakteria)	Zwiększenie biomasy roślin, zwiększenie potencjału wodnego, poprawa stabilności agregatów glebowych	<i>Zea mays</i> (kukurydza)

Przykłady mikroorganizmów wspierających rośliny w warunkach stresu temperaturowego

Mikroorganizm	Działanie	Roślina testowa
<i>Bacillus cereus</i> (bakteria)	Zwiększona biomasa roślin, zawartość chlorofilu i fluorescencja chlorofilu	<i>Solanum lycopersicum</i> (pomidor)
<i>Providencia rettgeri</i> (bakteria)	Zwiększona świeża i sucha masa, obniżona regulacja genów syntetyzujących prolinę. Zwiększona ekspresja genów <i>sod</i> , <i>apx1</i> i <i>cat</i> oraz (<i>sHsp</i>)	<i>Sorghum bicolor</i> (sorgo)
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> (bakteria)	Zwiększona przeżywalność roślin, zmniejszona ekspresja genów związanych ze stresem	<i>Triticum aestivum</i> (pszenica)
<i>Bacillus safensis</i> (bakteria)	Zmniejszona akumulacja ROS	<i>Triticum aestivum</i> (pszenica)
<i>Rhizophagus irregularis</i> (grzyb)	Zwiększona biomasa korzeni i zawartość chlorofilu	<i>Vigna unguiculata</i> (wspięga wężowata)
<i>Trichoderma harzianum</i> (grzyb)	Zwiększona świeża i sucha masa ciała oraz akumulacja proliny	<i>Solanum lycopersicum</i> (pomidor)
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> , <i>Brevibacillus laterosporus</i> (bakteria)	Zwiększona zawartość proliny, chlorofilu i ogólny wzrost roślin. Zmniejszony wyciek elektrolitów	<i>Oryza sativa</i> (ryż)
<i>Pseudomonas vancouverensis</i> <i>Pseudomonas fredericksbergensis</i> (bakteria)	Zmniejszone stężenie ROS, uszkodzenia błon i poprawiony wzrost i wytrzymałość roślin	<i>Solanum lycopersicum</i> (pomidor)
<i>Lysinibacillus fusiformis</i> YJ4 <i>Lysinibacillus sphaericus</i> YJ5 (bakteria)	Zwiększony wzrost roślin, całkowita zawartość fenoli, osmolity, enzymy przeciwutleniające i poziomy fitohormonów	<i>Zea mays</i> (kukurydza)
<i>Burkholderia phytofirmans</i> (bakteria)	Poprawa adaptacji roślin do warunków wysokiej temperatury	<i>Solanum tuberosum</i> (ziemniak)

Przykłady mikroorganizmów wspierających rośliny w warunkach nadmiernej wilgotności

Mikroorganizm	Działanie	Roślina testowa
<i>Pseudomonas veronii</i> (bakteria)	łagodzenie uszkodzeń związanych ze stresem wodnym poprzez poprawę zawartości chlorofilu i biomasy roślin	<i>Sesamum indicum</i> (sezam)
<i>Achromobacter xylosoxidans</i> , <i>Herbaspirillum seropedicae</i> , <i>Serratia ureilytica</i> , <i>Ochrobactrum</i> <i>rhizosphaerae</i> (bakteria)	wzrost plonów o 46,5% niż niezaszczepione rośliny w warunkach podmokłych	<i>Ocimum sanctum</i> (bazylija)
<i>Pseudomonas sp.</i> (bakteria)	łagodzenie warunków niedotlenienia	<i>Cucumis sativus</i> (ogórek) <i>Lycopersicon esculentum</i> (pomidor) <i>Brassica napus</i> (rzepak)
<i>Mesorhizobium ciceri</i> z genem deaminazy ACC z <i>Pseudomonas</i> <i>putida</i> (bakteria GMO)	wysoka promocję wzrostu i zdolność nodulacji w ciecierzycy w warunkach stresowych	<i>Cicer arietinum</i> (ciecierzyca)

Mikroorganizmy w ochronie upraw w warunkach zmiennej wilgotności – badania IUNG-PIB

- Projekt pt. „*Opracowanie innowacyjnego preparatu mikrobiologicznego o charakterze osmoprotekcyjnym do wspomagania oraz ochrony roślin uprawnych w warunkach stresu osmotycznego wywołanego zmienną wilgotnością gleby i zasoleniem – OSMO-PROTECT*” program Lider XIV, NCBR, 2024-2027 (dr Karolina Furtak).
- Projekt pt. „*Opracowanie innowacyjnej technologii wytwarzania wzbogaconych mikrobiologicznie bionawozów wspomagających zrównoważoną produkcję roślinną i jej adaptację do zmian klimatu – INNO-MIK*” program Lider XII, NCBR, 2022-2024 (dr inż. Sylwia Siebielec).
- Projekt pt. „*Poszukiwanie bakterii adaptujących się do ekstremalnych warunków wilgotności gleby oraz ocena wpływu stresu hydrologicznego na jakość środowiska glebowego*” konkurs Preludium, NCN, 2020-2024 (dr Karolina Furtak).
- Projekt pt. „*Opracowanie innowacyjnej technologii wytwarzania wzbogaconych mikrobiologicznie bionawozów wspomagających rozwój warzyw selerowatych oraz papryki w warunkach suszy*” Inkubator Innowacyjności 4.0, 2021 (dr hab. Grzegorz Siebielec, prof. IUNG-PIB).
- Projekt pt. „*Opracowanie innowacyjnej biodegradowalnej otoczki dla nasion soi opartej na biopolimerach z surowców odnawialnych dla zwiększonej tolerancji roślin na niekorzystne warunki środowiskowe*” BIOSTRATEG, NCBR, 2017-2020 (dr inż. Ewa Kopania)
- Projekt pt. „*Ocena wpływu wybranych osmoprotektantów na środowisko glebowe i wzrost pszenicy jarej*” temat statutowy, IUNG-PIB, 2023-2025 (dr Karolina Furtak).
- Projekt pt. „*Zmiany różnorodności i funkcjonalności drobnoustrojów w warunkach suszy i intensywnej zmian wilgotności gleby oraz ich konsekwencje dla emisji gazów cieplarnianych*” dotacja dla młodych naukowców, IUNG-PIB, 2016 (dr inż. Sylwia Siebielec).

Dziękuję za uwagę



dr Karolina Furtak

Zakład Mikrobiologii Rolniczej

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy

ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy

tel. (0-81) 4786 961

kfurtak@iung.pulawy.pl