

РОСЛИННІ ПРОБІОТИКИ: ВПЛИВ НА РОСЛИНИ В УМОВАХ СТРЕСУ

Дацько Оксана Миколаївна

аспірантка

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0001-9610-3087

datsko.oksana.nikol@gmail.com

Світове сільське господарство стоїть на порозі нової революції. Агровиробники прагнуть використовувати менше мінеральних добрив та пестицидів і при цьому отримувати високі врожаї. Одним із інструментів, що можуть сприяти цьому, є рослинні пробіотики. Тому мета цієї статті дослідити вплив корисних мікроорганізмів на сільськогосподарські культури, а саме на те які бактерії чи гриби можуть сприяти в боротьбі рослин проти стресу від посухи, засоленних ґрунтів чи патогенів. Важливим аспектом дослідження стала також інформація про те, що мікроорганізми позитивно впливають на поглинання рослинами поживних речовин. Всі ці фактори негативно впливають на вирощування кукурудзи на силос (*Zea mays L.*), особливо в умовах швидкої зміни клімату. Для проведення дослідження було проаналізовано літературні джерела зарубіжних та вітчизняних авторів. В результаті дослідження було з'ясовано, що на стрес від посухи у посівах кукурудзи впливає *Azospirillum lipoferum*. На засоленних ґрунтах рослини кукурудзи краще переживають стрес за інокуляції рослин *Pseudomonas syringae*, *Enterobacter aerogenes*, *P. fluorescens*, *Bacillus aquimaris*, *Serratia liquefaciens*, *Gracilibacillus*, *Staphylococcus*, *Virgibacillus*, *Salinicoccus*, *Bacillus*, *Zhihengliuella*, *Brevibacterium*, *Oceanobacillus*, *Exiguobacterium*, *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, *Halomonas* та ін. Дію на патогени в посівах кукурудзи виявляють *Pseudomonas fluorescens*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium verticillioides*, *Pseudomonas*, *Bacillus cereus*. На засвоєння рослинами кукурудзи поживних речовин впливають *Pseudomonas alcaligenes*, *Bacillus polymyxa*, *Mycobacterium phlei*, *Burkholderia*, *Bacillus spp.*, *Herbaspirillum*, *Enterobacteriales*, *Streptomyces pseudovenezuelae*, *Ruminobacter amylophilus*, *Fibrobacter succinogenes*, *Enterococcus faecium*, Арбускулярні мікоризні гриби, *Enterobacter E1S2*, *Klebsiella MK2R2*, *Bacillus B2L2*, *Azospirillum brasilense*, *Micromonospora*, *Streptomyces*, *Bacillus*, *Hyphomicrobium*, *Rhizobium*, *Azohydromonas spp.*, *Azospirillum spp.* та інші. Цікавим фактом, що було виявлено в результаті цієї статті стало те, що деякі мікроорганізми можуть виявляти позитивну дію на рослину-господаря не лише в одному напрямку як наприклад, *Pseudomonas fluorescens*.

Ключові слова: пробіотики, *Zea mays L.*, стрес від посухи, стрес від засолення ґрунту, патогени.

DOI: <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.1.2>

Вступ. Зелена революція внесла свої корективи у розвиток сільського господарства у кожній країні світу. Було створено нові сорти, які покращили продовольчу безпеку (Kharchenko et al., 2019). Однак, всі ці сорти були розраховані на вирощування за мінерального удобрення (Martínez-Hidalgo et al., 2019; Zakharchenko, 2019). Зараз світ стоїть на порозі нової революції. Сільське господарство сьогодні орієнтоване на зменшення використання синтетичних добрив чи пестицидів (Ciccillo et al., 2002). Натомість використовуючи біологічні засоби удобрення чи захисту рослин (Zakharchenko & Martynenko, 2017; Mischenko et al., 2017; Zakharchenko & Tkachenko, 2017). Одним із засобів, що може сприяти вирощуванню сільськогосподарських культур без використання мінеральних добрив, стали пробіотики. Південна Америка – приклад широкого поширення пробіотиків у світі, де інокулянтами із вмістом *Azospirillum sp.* обробляють близько 3,5 млн. га (Artyszak & Gozdowski, 2020). Поняття «пробіотики» як таке з'явилося на початку 20-го століття завдяки відкриттю І. Мечникова (Carro & Nouioui, 2017). Серед тих, що використовуються у сільському господарстві, вирізняють рослинні про- та пребіотики. Рослинні пробіотики – це живі мікроорганізми, які при застосуванні у необхідній концентрації, приносять користь здоров'ю рослин і зазвичай складаються з ризобактерій, стимулюючих ріст рослин (PCPP). В свою чергу, PCPP – це бактерії, які, переважно, виділені із ризосфери чи ризоплану і сприяють росту рослин, пригнічують ґрунтові фітопатогени та мобілізують поживні речовини рослин (Kremer, 2017; Santos et al. 2020). Існують також пребіотики, які покращують різноманіття мікробів за рахунок природних продуктів, які вони містять у своєму складі. Зазвичай,

пребіотики – це агропромислові відходи (компост, перегній, мул стічних вод та ін.) (Vassileva et al., 2020).

Для того, щоб зрозуміти, яку важливу роль відіграють мікроорганізми в агроєкосистемі, необхідно відновити систему «мікробіота-ґрунт-рослина» (Walker et al., 2020; Sharma et al., 2017). Рослина-господар отримує поживні речовини не лише завдяки фотосинтезу, а й кореневій системі. В свою чергу, на кореневій системі, і у ризосфері (Pandey et al., 2012), живуть різноманітні мікроорганізми (бактерії, мікоризні гриби, нематоди та ін.). Коріння рослин виділяє низькомолекулярні ексудати (Carrion et al., 2018), які приваблюють мікроорганізми. В той же час мікробіота сильно впливає на живлення рослин шляхом мінералізації органічних поживних речовин та перетворення неорганічних поживних речовин, тобто пришвидшують кругообіг та використання поживних речовин (Iyanyi, 2020; Yu & Hochholdinger, 2018; Rajper, 2015; Schmidt et al., 2016; Dutta, & Bora, 2019; Singh et al., 2019; Zhatova & Trotsenko, 2017;). Також мікроорганізми виділяють такі сполуки як індол-3-оцтова кислота, сидерофори або 1-аміноциклопропан-1-карбонова кислота, що допомагають при солубілізації фосфору та фіксації азоту (Marag et al., 2018; Menéndez & Raço, 2020; Liu et al., 2019). Для захисту рослин від стресу (екстремальна температура, рН, засоленість ґрунту чи засуха) мікроорганізми виділяють фітогормони і екзополісахариди (Woo & Pere, 2018; Spence et al., 2012). Важливою функцією ризосферно-асоційованих мікроорганізмів є захист рослини-господаря від патогенів (Lombardi et al., 2018). Хоча не всі пробіотичні інокулянти можуть виявляти позитивний вплив. Дослідженнями Й. Гершковіч та ін. було встановлено, що застосування *Azospirillum brasilense* не

порушує досліджувані природні популяції (Herschkovitz et al., 2005). Проте, у дослідженні П. С. Маварда та ін., де було проаналізовано більше 100 джерел, встановлено, що у 80 % випадків після інокуляції, ґрунтова мікрофлора вже не повертається до попереднього стану (Mawarda et al., 2020), тобто змінюється.

Пробіотичні організми різняться своїм видовим складом для кожної рослини, а серед однакових видів рослин можуть відрізнятися залежно від умов середовища (Teotia et al., 2017; Jansson & Hofmockel, 2020). Прикладом цього є дослідження Б. А. Мете та ін., в якому було доведено, що на трьох польових ділянках в умовах посухи мікробні угруповання відрізнялись між собою (Methe et al., 2020). Проте, дослідження Х. С. Манчінг та ін. (Manching et al., 2017), які були зосереджені на встановленні зміни кількості мікроорганізмів упродовж вегетаційного періоду кукурудзи довели, що змін мікробіоти на листках рослин майже не відбувалось. Ф. Чічілло та ін. (Ciccillo et al., 2002) при вивченні різних способів внесення ґрунтових пробіотиків довели, що при інокуляції насіння кількість мікробіоти у ризосфері зменшилась, тоді як при внесенні їх у ґрунт кількість бактерій збільшилась. Однак, для оптимального впливу мікроорганізмів на рослину-господаря потрібно не лише правильно застосувати пробіотик, а й мати відповідні умови. З. Х. Перваїз та ін. (Pervaiz et al., 2020) довели, що на мікробіоту ґрунту може впливати тип ґрунту, коливання температури і вологи, рН ґрунту, наявність кисню та поживних речовин (Abatenh et al., 2017).

При вирощуванні кукурудзи на силос дуже важливо зменшити вплив всіх вище наведених негативних факторів,

оскільки вони впливають як на урожайність, так і на якість отриманого врожаю. Вплив пробіотиків на урожайність, біометричні показники (Jarak et al., 2012; von Felten, 2010; Naveed et al., 2014; Narayan et al., 2021; Gomes et al., 2018; Mrkovacki et al., 2014; Young et al., 2013; Mowafy et al., 2021; Vidotti et al., 2019; Fernández et al., 2012) та схожість (Ahmad et al., 2012; Bradáčová et al., 2019; Kimmelshue et al., 2019) зернової кукурудзи були широко вивчені. Тому, метою цього дослідження було встановлення корисних пробіотичних організмів та їх позитивний вплив для кукурудзи на силос в умовах посухи, засоленних ґрунтів, впливу на засвоєння поживних речовин, а також дію на патогени.

Результати. Вплив пробіотиків на стреси від посухи.

Важливим фактором при вирощуванні кукурудзи є доступна волога. Однак, за останні роки її кількість у вегетаційний період культури на силос є непередбачуваною. За даними Гідрометцентру України сумарна кількість опадів (за середніми показниками) складає 346 мм з квітня по вересень, у той час, коли за сезон необхідна кількість опадів складає 450–600 мм (Basanets', 2020). Мікроорганізми кореневої зони, або ризосфери, сприяють захисту рослин від посухи за допомогою різних механізмів дії на рослину-господаря. За допомогою вироблення гіберелінів, абсцизової кислоти, індол оцтової кислоти, фітогормонів та інших продуктів життєдіяльності мікроорганізми ризосфери сприяють посиленню механізмів протистояння до посухи (табл. 1) (Yarullina et al., 2014). Деякими дослідженнями було встановлено, що грибові організми краще захищають рослину-господаря від посухи, ніж бактеріальні, завдяки розгалуженій мережі гіфів (Alori et al., 2017).

Таблиця 1

Мікроорганізми, які сприяють рослині-господарю під час стресу від посухи

Мікроорганізм	Речовина	Культура	Посилання
<i>Achromobacter piechaudii</i> ARV8	1-аміноциклопропан-1-карбоксилатдеаміназа	<i>Capsicum annuum</i> , <i>Solanum lycopersicum</i>	Dubey et al., 2018
<i>Pseudomonas fluorescens</i> штами (VUPF5, CHA0, T17-4); <i>Bacillus subtilis</i> штами (Bs96, BsVRU, BsVRU1)	Пролін, цукри, загальні фенольні сполуки, фенілаланін-аміачна ліаза, ензими	<i>Cucumis sativus</i> L.	Saberi et al., 2018
<i>Azospirillum lipoferum</i>	Абсцизова кислоти і гібереліни	<i>Zea mays</i> L.	Vandenbergh et al., 2017
<i>Bacillus cereus</i> , <i>Pseudomonas otitidis</i> , <i>Pseudomonas sp.</i>	Фермент 1-аміноциклопропан-1-карбоксилатдеаміназа	<i>Glycine max</i> (L.) Merr	Dubey et al., 2021
<i>Raenibacillus polymyxa</i>	Формує біоплівку	Озима пшениця	Kim & Anderson et al., 2018

Вплив пробіотиків на засвоєння рослинами елементів живлення. Питання засвоєння рослинами тих чи інших елементів живлення зазвичай стоїть надзвичайно гостро під час вирощування сільськогосподарських культур. Адже нестача будь-якого макро- чи мікроелемента може призвести

до втрат урожаю (Yeremko & Bridnya, 2020). Використовуючи ґрунтові пробіотики, можна знизити цю нестачу екологічно чистим способом (Hussain et al., 2020). У таблиці 2 відображено вплив ґрунтових пробіотиків на кукурудзу.

Таблиця 2

Вплив ґрунтових пробіотиків на кукурудзу

Назва мікроорганізму	Ефект	Посилання
<i>Pseudomonas alcaligenes</i> , <i>Bacillus polymyxa</i> , <i>Mycobacterium phlei</i>	Стимулюють розвиток і засвоєння рослинами N, P і K в ґрунті з низьким вмістом поживних речовин і на солонцях	Kremer, 2017
<i>Pseudomonas spp.</i>	Покращують розвиток кукурудзи в умовах стресу від посухи, збільшують вагу сухої маси рослин і урожайність Підвищують вологу масу кореня і стебла	Kremer, 2017; Cohen et al., 2009; Jarak et al., 2012
<i>Agrobacterium sp.</i> штам NGB-11, <i>Flavobacterium sp.</i> штам NGB-31	У складі біоінокулянта вплинули на довжину кореня і пагонів у сходах кукурудзи (тепличні умови)	Youseif, 2018
(<i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Pseudomonas putida</i> біотип А) + 1-аміноциклопропан-1-карбонова кислота	Сприяли збільшенню довжини кореня і стебла, а також збільшенню свіжої біомаси проростків	Shaharoona et al., 2006

Назва мікроорганізму	Ефект	Посилання
<i>Burkholderia</i>	Продукуює сидерофори за умови низького вмісту розчинного заліза у ґрунті	Spence et al., 2012
<i>Bacillus spp.</i>	Покращили поглинання поживних речовин, висоту рослин, підвищили кореневу та листову біомасу в умовах стресу від посухи Продукують сидерофори та сприяють фіксації калію	Moreno-Galván et al., 2020; Menendez & Garcia-Fraile, 2017; Jarak et al., 2012
<i>Herbaspirillum, Enterobacteriales</i>	Сприяють фіксації азоту	Menendez & Garcia-Fraile, 2017
<i>Klebsiella oxytoca, Serratia marcescens, Pseudomonas aeruginosa</i> + суперабсорбуючий полімер	Впливають на підвищення росту та урожайності рослин під час стресу від посухи	Yaseen et al., 2020
<i>Azospirillum</i> + <i>Pseudomonas</i> ; <i>Azospirillum</i> + <i>Rhizobium</i> + <i>Pseudomonas</i> .	Впливають на швидкість сходів кукурудзи (лабораторні умови)	Khokhar et al., 2006
<i>Streptomyces pseudovenezuelae</i> + поліетиленгліколь	Збільшує довжину кореня	Chukwuneme et al., 2020
<i>Ruminobacter amylophilus, Fibrobacter succinogenes, Enterococcus faecium</i>	Стимулюють ріст, а також сприяють солюбілізації фосфору, поглинанию нітрогену та утворенню індол оцтової кислоти і сидерофорів	Mello et al., 2020
Арбускулярний мікоризний гриб	Викликав накопичення загального цукру і білка, який служить для збільшення сухої речовини пагонів та кореня, однак не вплинув на стрес від посухи	Abd El-Samad et al., 2019
<i>Enterobacter E1S2, Klebsiella MK2R2, Bacillus B2L2</i>	Пришвидшують схожість зерна кукурудзи	Elsayed et al., 2019
<i>Azospirillum brasilense</i>	Посилює надходження поживних речовин	Yadav et al., 2017
<i>Micromonospora, Streptomyces, Bacillus, Hyphomicrobium, Rhizobium, Burkholderia, Azohydromonas spp.</i>	Надають рослині здатність відчувати і реагувати на посуху	Lakshmanan et al., 2014
<i>Azospirillum spp.</i>	Сприяє збільшенню кількості сухої речовини і Mg у рослині	Bildirici, 2020

Вплив пробіотиків на рослину-господаря в умовах засолених ґрунтів. Засоленість ґрунтів може призвести до зменшення врожаю у засушливих та напівзасушливих регіонах. Сіль може природним чином виникати в надрах або потрапляти у ґрунт із зрошувальною водою (Munns & Gilliham, 2015). В Україні кількість земель, що відносять до засолених складає 4 млн. га (Курчук et al., 2007). Майже таку ж площу займають посіви кукурудзи на зерно 4,0–4,5 млн. га (Kolisnyk et al., 2019). Засоленість викликає низький водний потенціал

у ґрунті. Рослини поглинають солі одночасно із водою і часто накопичують іони Na⁺ та Cl⁻, які внаслідок механізмів дисбалансу іонів є токсичними для клітин рослин. Внаслідок цього може порушуватись ферментативна активність клітин. Ці фактори викликають різні реакції у рослин, що проявляються різноманітними симптомами як на рівні клітини, так і на рівні органу (Otlewska et al., 2020; Yan et al., 2015). Для зменшення впливу солей при вирощуванні кукурудзи можна використовувати пробіотики (табл. 3).

Таблиця 3

Вплив пробіотиків на кукурудзу, що росте на засолених ґрунтах

Назва мікроорганізму	Механізм	Посилання
<i>Pseudomonas syringae, Enterobacter aerogenes, P. fluorescens</i>	1-аміноциклопропан-1-карбоксилатдеаміназа	Egamberdieva et al., 2019
<i>Gracilbacillus, Staphylococcus, Virgibacillus, Salinicoccus, Bacillus, Zhihengliuella, Brevibacterium, Oceanobacillus, Exiguobacterium, Pseudomonas, Arthrobacter, Halomonas</i>	1-аміноциклопропан-1-карбоксилатдеаміназа, формування ауксинів та біоплівки	Aslam & Ali, 2018
<i>Bacillus aquimaris</i> штам DY-3	Індол оцтова кислота	Li & Jiang, 2017
<i>Azospirillum brasilense</i> штам Ab-V5, <i>Rhizobium tropici</i> штам CIAT	Пролін та антиоксидантні ензими	Fukami et al., 2018
<i>Serratia liquefaciens</i> KM4	Антиоксидантні ензими, аскорбінова кислота, глутатіон, виробництво осмопротекторів	El-Esawi et al., 2018
<i>Bacillus safensis</i> штам HL1HP11 і <i>Bacillus pumilus</i> HL3RS14, <i>Kocuria rosea</i> HL1RP8, <i>Enterobacter aerogenes</i> AT1HP4 і <i>Aeromonas veronii</i> AT1RP10	пролін, гліцин бетаїн та малоновий диальдегід	Mukhtar et al., 2020

Вплив пробіотиків на патогени. Важливим фактором, що впливає на вирощування органічної кукурудзи на силос є патогенні організми та захист від них. При вирощуванні органічної продукції існує чіткий регламент використання біодобрив та засобів захисту рослин. Тому бактеріальні ор-

ганізми можуть мінімізувати вплив патогенів на рослину-господаря (Spence et al., 2012). Знання щодо динаміки структури мікробної спільноти ґрунту, може принести користь при формуванні екологічно обґрунтованих методів захисту рослин (Mazzola, 2004) (табл. 4).

Пробіотики, які впливають на патогенні мікроорганізми

Пробіотик	Культура	Патоген	Хвороба/ шкідник	Посилання
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Zea mays</i> L.	<i>Gaeumannomyces graminis</i>	Офіобольозна гниль	Agaras et al., 2017; Couillerot et al., 2009
<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Beta vulgaris</i>	<i>Heterodera schachtii</i>	Ґрунт заражений цистами <i>H. schachtii</i>	Borneman & Becker, 2007
<i>Fusarium verticillioides</i>	<i>Zea mays</i> L.	<i>Enterobacter cloacae</i> , <i>Stenotrophomonas maltophilia</i> , <i>Ochrobactrum pituitosum</i> , <i>Herbaspirillum frisingense</i> , <i>Pseudomonas putida</i> , <i>Curtobacterium pusillum</i> , <i>Chryseobacterium indologenes</i> .	Фітофтороз сходів	Niu et al., 2020
<i>Pseudomonas</i>	<i>Zea mays</i> L.	<i>Fusarium oxysporum</i>	Коренева гниль	Agaras et al., 2015
<i>Bacillus cereus</i> штам B25	<i>Zea mays</i> L.	<i>Fusarium verticillioides</i>	Коренева гниль	Martinez-Álvarez et al., 2016
<i>Beauveria bassiana</i> , <i>Metarhizium anisopliae</i>	<i>Zea mays</i> L.	-	<i>Spodoptera frugiperda</i>	Ramos et al., 2020

Вплив пробіотиків на здоров'я ґрунту. Однією із важливих функцій пробіотиків є покращення здоров'я ґрунту. Здоров'я ґрунту – дуже широке поняття, що визначається як стійка здатність сільськогосподарських ґрунтів функціонувати та процвітати як екосистема, яка підтримує життєздатність мікробів, рослин, комах і тварин (Pervaiz et al., 2020). Ґрунти України потребують змін у сільськогосподарській діяльності. Вміст гумусу щороку падає, а поля, хоч і локально, але забруднені важкими металами та пестицидами, забезпеченість ґрунтів мікроелементами низька (Yatsuk, 2015; Zhatova & Lavryk, 2013). Ці забруднення впливають не лише на ґрунт і рослини, але й на мікроорганізми. Одним із перших «дзвіночків» про початок деградації ґрунтів може стати зміна мікробіоти (Ayangbenro & Babalola, 2021). Пробіотики надають чудову можливість для управління якістю ґрунту (Majeed et al., 2018). Так, за впливу важких металів α -протеобактерії вдвічі збільшили час поділу, а кількість *Cytophaga*

Flavobacterium у ґрунті зменшилась більш, ніж на дві третини (Kent & Triplett, 2002). Однак, арбускулярні мікоризні гриби здатні переносити різноманітний діапазон концентрації металів у ґрунті (Kumar & Singh, 2019). А кількість *Pythium* spp. при застосуванні гліфосатів або паракватів на бобових полях збільшується (Wolmarans, 2013).

Висновки. Таким чином, з отриманих даних можна зробити висновки, що пробіотики дійсно мають позитивний вплив на рослини та ґрунт. Деякі з мікроорганізмів, наприклад *Pseudomonas fluorescens*, можуть впливати не лише на біометричні показники рослини-господаря, а й захищати від хвороб. Ця тема потребує більш широкого вивчення у відношенні до кукурудзи на силос, оскільки у літературних джерелах немає детально описаних пробіотичних організмів, що можуть сприяти органічному вирощуванню даної культури.

Бібліографічні посилання:

- Abatenh, E., Gizaw, B., Tsegaye, Z., & Wassie, M. (2017). The role of microorganisms in bioremediation-A review. *Open Journal of Environmental Biology*, 2(1), 038–046. doi: 10.17352/ojeb.000007
- Abd El-Samad, H. M., & Abd El-Hakeem, K. N. S. (2019). Strategy Role of Mycorrhiza Inoculation on Osmotic Pressure, Chemical Constituents and Growth Yield of Maize Plant Grown under Drought Stress. *American Journal of Plant Sciences*, 10(6), 1102–1120. doi: 10.4236/ajps.2019.106080
- Agaras, B. C., Scandiani, M., Luque, A., Fernández, L., Farina, F., Carmona, M., Gally M., Romero A., Wall, L., & Valverde, C. (2015). Quantification of the potential biocontrol and direct plant growth promotion abilities based on multiple biological traits distinguish different groups of *Pseudomonas* spp. isolates. *Biological Control*, 90, 173–186. doi: 10.1016/j.biocontrol.2015.07.003.
- Agaras, B. C., Wall, L. G., & Valverde, C. (2017). *Pseudomonas* Communities in Soil Agroecosystems. Chapter 6. In: *Advances in PGPR Research* 1st ed. Edited by Harikesh B. Singh, Birinchi K. Sarma, Chetan Keswani. Boston, MA: CABI, 126–147.
- Ahmad, I., Ahmad, T. K. A., Basra, S. M., Hasnain, Z., & Ali, A. (2012). Effect of seed priming with ascorbic acid, salicylic acid and hydrogen peroxide on emergence, vigor and antioxidant activities of maize. *African Journal of Biotechnology*, 11(5), 1127–1137. doi: 10.5897/AJB11.2266
- Alori, E. T., Dare, M. O., & Babalola, O. O. (2017). Microbial inoculants for soil quality and plant health. In *Sustainable agriculture reviews*. Springer, Cham, 281–307. doi: 10.1007/978-3-319-48006-0_9
- Artyszak, A., & Gozdowski, D. (2020). The effect of growth activators and plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on the soil properties, root yield, and technological quality of sugar beet. *Agronomy*, 10(9), 1262. doi: 10.3390/agronomy10091262
- Aslam, F., & Ali, B. (2018). Halotolerant bacterial diversity associated with *Suaeda fruticosa* (L.) forssk. improved growth of maize under salinity stress. *Agronomy*, 8(8), 131. doi: 10.3390/agronomy8080131
- Ayangbenro, A.S., & Babalola, O.O. (2021). Reclamation of arid and semi-arid soils: The role of plant growth-promoting archaea and bacteria. *Current Plant Biology*, 25. doi: 10.1016/j.cpb.2020.100173

10. Basanets, O. (2020). Growing corn (full technology). Superahronom. Access mode: <https://superahronom.com/articles/367-viroschuvannya-kukurudzi-povna-tehnologiya> (in Ukrainian)
11. Bildirici, N. (2020). Effects of probiotic bacteria on plants. In: Current researches in agriculture, forestry and aquaculture sciences. Edited by Prof. Atılgan Atılgan, Assoc. Prof. Burak Saltuk. Izmir. 167–181.
12. Borneman, J., & Becker, J. O. (2007). Identifying microorganisms involved in specific pathogen suppression in soil. Annual review of phytopathology, 45. 153–172. doi: 10.1146/annurev.phyto.45.062806.094354
13. Bradáčová, K., Sittinger, M., Tietz, K., Neuhäuser, B., Kandeler, E., Berger, N., Ludewig, U., & Neumann, G. (2019). Maize inoculation with microbial consortia: contrasting effects on rhizosphere activities, nutrient acquisition and early growth in different soils. Microorganisms, 7(9), 329. doi: 10.3390/microorganisms7090329
14. Carrión, V. J., Cordovez, V., Tyc, O., Etalo, D. W., de Bruijn, I., de Jager, V., Medema, M. H., Eberl, L., & Raaijmakers, J. M. (2018). Involvement of Burkholderiaceae and sulfurous volatiles in disease-suppressive soils. The ISME journal, 12(9), 2307–2321. doi: 10.1038/s41396-018-0186-x
15. Carro, L., & Nouioui, I. (2017). Taxonomy and systematics of plant probiotic bacteria in the genomic era. AIMS microbiology, 3(3), 383–412. doi: 10.3934/microbiol.2017.3.383
16. Chukwuneme, C. F., Babalola, O. O., Kutu, F. R., & Ojuederie, O. B. (2020). Biochemical and Molecular Characterization, and Bioprospecting of Drought Tolerant Actinomycetes from Maize Rhizosphere Soil. bioRxiv. The print server for biology. doi: 10.1101/2020.05.13.094003
17. Ciccillo, F., Fiore, A., Bevivino, A., Dalmastrì, C., Tabacchioni, S., & Chiarini, L. (2002). Effects of two different application methods of Burkholderia ambifaria MCI 7 on plant growth and rhizospheric bacterial diversity. Environmental Microbiology, 4(4), 238–245.
18. Cohen, A. C., Travaglia, C. N., Bottini, R., & Piccoli, P. N. (2009). Participation of abscisic acid and gibberellins produced by endophytic Azospirillum in the alleviation of drought effects in maize. Botany, 87(5), 455–462. doi: 10.1139/B09-023
19. Couillerot, O., Prigent-Combaret, C., Caballero-Mellado, J., & Moënne-Loccoz, Y. (2009). Pseudomonas fluorescens and closely-related fluorescent pseudomonads as biocontrol agents of soil-borne phytopathogens. Letters in Applied Microbiology, 48, 505–512. doi: 10.1111/j.1472-765X.2009.02566.x
20. Dubey, A., Saiyam, D., Kumar, A., Hashem, A., Abd_Allah, E. F., & Khan, M. L. (2021). Bacterial Root Endophytes: Characterization of Their Competence and Plant Growth Promotion in Soybean (Glycine max (L.) Merr.) under Drought Stress. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(3), 931. doi: 10.3390/ijerph18030931
21. Dubey, R. K., Tripathi, V., Edrisi, Sheikh, A. E., Bakshi, M., Dubey, P. K., Singh, A., Verma, J. P., Singh, A., Sarma, B. K., Raskhit, A., Singh, D. P., Singh, H. B., & Abhilash, P. C. (2018). Role of plant growth-promoting microorganisms in sustainable agriculture and environmental remediation. Chapter 5. In: Advances in PGPR Research 1st ed. Edited by Harikesh B. Singh, Birinchi K. Sarma, Chetan Keswani. Boston, MA: CABI, 75–125.
22. Dutta, J., & Bora, U. (2019). Rhizosphere microbiome and plant probiotics. In: New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering, 273–281. doi: 10.1016/B978-0-12-818258-1.00018-2
23. Egamberdieva, D., Wirth, S., Bellingrath-Kimura, S. D., Mishra, J., & Arora, N. K. (2019). Salt-tolerant plant growth promoting rhizobacteria for enhancing crop productivity of saline soils. Frontiers in microbiology, 10, 2791. doi: 10.3389/fmicb.2019.02791
24. El-Esawi, M. A., Alaraidh, I. A., Alsahli, A. A., Alzahrani, S. M., Ali, H. M., Alayafi, A. A., & Ahmad, M. (2018). Serratia liquefaciens KM4 improves salt stress tolerance in maize by regulating redox potential, ion homeostasis, leaf gas exchange and stress-related gene expression. International journal of molecular sciences, 19(11), 3310. doi: 10.3390/ijms19113310
25. Elsayed, A., Fawzy, M. M., Gebreil, A. S., & Mowafy, A. M. (2019). Endophytes isolated from wheat and Phragmites and their effect on maize grain priming: project. [Electronic resource]. Access mode: https://www.researchgate.net/publication/334192892_Endophytes_isolated_from_wheat_and_Phragmites_and_their_effect_on_maize_grain_priming
26. Felten, A. (2010). The role of Pseudomonas fluorescens in the promotion of maize growth and health within a microbial consortium containing Azospirillum spp. and Glomus spp.: molecular tools to monitor P. fluorescens inoculants and the impact on native fluorescent pseudomonads and mycotoxigenic fungi. (Doctoral dissertation, ETH Zurich). doi: 10.3929/ethz-a-006245281
27. Fernández, L., Agaras, B., Zalba, P., Wall, L. G., & Valverde, C. (2012). Pseudomonas spp. isolates with high phosphate-mobilizing potential and root colonization properties from agricultural bulk soils under no-till management. Biology and fertility of soils, 48(7), 763–773. doi: 10.1007/s00374-012-0665-6
28. Fukami, J., Osa, K., Ollero, F. J., Megias, M., & Hungria, M. (2018). Co-inoculation of maize with Azospirillum brasilense and Rhizobium tropici as a strategy to mitigate salinity stress. Functional Plant Biology 45, 328–339. doi: 10.1071/FP17167
29. Gomes, E. A., Lana, U. G. P., Quensen, J. F., Sousa, S. M., Oliveira, C. A., Guo, O. J., Guimarães, L. J. M., & Tiedje, J. M. (2018). Root-associated microbiome of maize genotypes with contrasting phosphorus use efficiency. Phytobiomes, 2(3), 129–137. doi: 10.1094/PBIOMES-03-18-0012-R
30. Herschkovitz, Y., Lerner, A., Davidov, Y., Okon, Y., & Jurkevitch, E. (2005). Azospirillum brasilense does not affect population structure of specific rhizobacterial communities of inoculated maize (Zea mays). Environmental microbiology, 7(11), 1847–1852. doi: 10.1111/j.1462-2920.2005.00926.x
31. Hussain, A., Zahir, Z. A., Ditta, A., Tahir, M. U., Ahmad, M., Mumtaz, M. Z., Hayat, K., & Hussain, S. (2020). Production and implication of bio-activated organic fertilizer enriched with zinc-solubilizing bacteria to boost up maize (Zea mays L.) production

and biofortification under two cropping seasons. *Agronomy*, 10(1), 39. doi: 10.3390/agronomy10010039

32. Iyanyi, N. G. (2020). Identification of fungal organisms associated with the rhizosphere of maize (*Zea mays* L.): basic molecular techniques. *Nigeria Agricultural Journal*, 51(2), 399–405.

33. Jansson, J. K., & Hofmockel, K. S. (2020). Soil microbiomes and climate change. *Nature Reviews Microbiology*, 18(1), 35–46. doi: 10.1038/s41579-019-0265-7

34. Jarak, M., Mrkovački, N., Bjelić, D., Joscason, D., Hajnal-Jafari, T., & Stamenov, D. (2012). Effects of plant growth promoting rhizobacteria on maize in greenhouse and field trial. *African Journal of Microbiology Research*, 6(27), 5683–5690. doi: 10.5897/AJMR12.759

35. Kent, A. D., & Triplett, E. W. (2002). Microbial communities and their interactions in soil and rhizosphere ecosystems. *Annual Reviews in Microbiology*, 56(1), 211–236.

36. Kharchenko, O., Zakharchenko, E., Kovalenko, I., Prasol, V., Pshychenko, O., & Mishchenko, Y. (2019). On problem of establishing the intensity level of crop variety and its yield value subject to the environmental conditions and constraints. *AgroLife scientific journal*, 8(1), 113–119.

37. Mischenko, Y. G., Zakharchenko, E. A., Berdin, S. I., Kharchenko, O. V., Ermantraut, E. R., & Masyk, I. M. (2019). Herbo-logical monitoring of efficiency of tillage practice and green manure in potato agroecosystem. *Ukrainian Journal of Ecology*, 9(1), 209–219.

38. Khokhar, S. N., Khan, M. A., Afzal, A., & Ahmed, R. (2006). Interaction of diazotrophs with phosphorus solubilizing bacteria: their effect on seed germination, growth and grain yield of maize, under rainfed conditions. *Int. J. Biol. Biotech*, 3(4), 773–777.

39. Kim, Y. C., & Anderson, A. J. (2018). Rhizosphere pseudomonads as probiotics improving plant health. *Molecular plant pathology*, 19(10), 2349–2359. doi: 10.1111/mpp.12693

40. Kimmelshue, C., Goggi, A. S., & Cademartiri, R. (2019). The use of biological seed coatings based on bacteriophages and polymers against *Clavibacter michiganensis* subsp. *nebraskensis* in maize seeds. *Scientific reports*, 9(1), 1–11. doi: 10.1038/s41598-019-54068-3

41. Kolisnyk O. M., Butenko A. O., Malynka L. V., Masik I. M., Onychko V. I., Onychko T. O., Kriuchko L. V., & Kobzhev, O. M. (2019). Adaptive properties of maize forms for improvement in the ecological status of fields. *Ukrainian Journal of Ecology*, 9(2), 33–37.

42. Kremer, R. J. (2017). Biotechnology impacts on soil and environmental services. In: *Soil Health and Intensification of Agroecosystems*. Chapter 16. Editors: M. M. Al-Kaisi, B. Lowery, 353–375. Elsevier. Academic Press. doi: 10.1016/B978-0-12-805317-1.00016-6

43. Kumar, S., & Singh, J. (2019). Impact of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in global sustainable environments. In: *Recent Advancement in White Biotechnology Through Fungi*. 419–436. Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-030-25506-0_17

44. Kupchuk, V. I., Ivanina, V. V., Nesterov, H. I., Tonkha, O. L., Li, M., & Metyu, H. (2007). *Grundy Ukrayiny: vlastyosti, henezys, menezhment rodyuchosti* [Soils of Ukraine: properties, genesis, fertility management]. *Navchalnyy posibnyk*. Kondor, Kyiv, 414 (in Ukrainian).

45. Lakshmanan, V., Selvaraj, G., & Bais, H. P. (2014). Functional soil microbiome: belowground solutions to an aboveground problem. *Plant physiology*, 166(2), 689–700. doi: 10.1104/pp.114.245811

46. Li, H. Q., & Jiang, X. W. (2017). Inoculation with plant growth-promoting bacteria (PGPB) improves salt tolerance of maize seedling. *Russian Journal of Plant Physiology*, 64, 235–241. doi: 10.1134/S1021443717020078

47. Liu, H., Macdonald, C. A., Cook, J., Anderson, I. C., & Singh, B. K. (2019). An ecological loop: host microbiomes across multitrophic interactions. *Trends in ecology & evolution*, 34(12), 1118–1130. doi: 10.1016/j.tree.2019.07.011.

48. Lombardi, N., Vitale, S., Turrà, D., Reverberi, M., Fanelli, C., Vinale, F., Marra, R., Ruocco, M., Pascale, A., d'Errico, G., Woo, S. L., Lorito, M. (2018). Root exudates of stressed plants stimulate and attract *Trichoderma* soil fungi. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 31(10), 982–994. doi: 10.1094/MPMI-12-17-0310-R

49. Majeed, A., Muhammad, Z., & Ahmad, H. (2018). Plant growth promoting bacteria: role in soil improvement, abiotic and biotic stress management of crops. *Plant cell reports*, 37(12), 1599–1609. <https://doi.org/10.1007/s00299-018-2341-2>

50. Manching, H. C., Carlson, K., Kosowsky, S., Smitherman, C. T., & Stapleton, A. E. (2017). Maize phyllosphere microbial community niche development across stages of host leaf growth. *F1000Research*, 6. doi: 10.12688/f1000research.12490.3

51. Marag, P. S., Suman, A., & Gond, S. (2018). Prospecting endophytic bacterial colonization and their potential plant growth promoting attributes in hybrid maize (*Zea mays* L.). *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, 7, 1292–1304. doi: 10.20546/ijcmas.2018.703.154

52. Martínez-Álvarez, J. C., Castro-Martínez, C., Sánchez-Peña, P., Gutiérrez-Dorado, R., & Maldonado-Mendoza, I. E. (2016). Development of a powder formulation based on *Bacillus cereus* sensu lato strain B25 spores for biological control of *Fusarium verticillioides* in maize plants. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32(5), 75. doi: 10.1007/s11274-015-2000-5

53. Martínez-Hidalgo, P., Maymon, M., Pule-Meulenbergh, F., & Hirsch, A. M. (2019). Engineering root microbiomes for healthier crops and soils using beneficial, environmentally safe bacteria. *Canadian journal of microbiology*, 65(2), 91–104. doi: 10.1139/cjm-2018-0315

54. Mawarda, P. C., Le Roux, X., van Elsas, J. D., & Salles, J. F. (2020). Deliberate introduction of invisible invaders: A critical appraisal of the impact of microbial inoculants on soil microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry*, 148. doi: 10.1016/j.soilbio.2020.107874

55. Mazzola, M. (2004). Assessment and management of soil microbial community structure for disease suppression. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 42, 35–59.

56. Mello, L. D. P. S., Santos, A. C., Santos, R. M., Kandasamy, S., Lazarovits, G., & Rigobelo, E. C. (2020) Application of the bacterial strains *Ruminobacter amylophilus*, *Fibrobacter succinogenes* and *Enterococcus faecium* for growth promotion in maize and soybean plants. doi: 10.21475/ajcs.20.14.12.2937.pdf
57. Menendez, E., & Garcia-Fraile, P. (2017). Plant probiotic bacteria: solutions to feed the world. *AIMS microbiology*, 3(3), 502–524. doi: 10.3934/microbiol.2017.3.502
58. Menéndez, E., & Paço, A. (2020). Is the application of plant probiotic bacterial consortia always beneficial for plants? Exploring synergies between rhizobial and non-rhizobial bacteria and their effects on agro-economically valuable crops. *Life*, 10(3), 24. doi: 10.3390/life10030024
59. Methe, B.A., Hiltbrand, D., Roach, J., Xu, W., Gordon, S.G., Goodner, B.W., Stapelton, A.E. (2020) Functional gene categories differentiate maize leaf drought-related microbial epiphytic communities. *PLoS ONE*, 15(9). doi: 10.1371/journal.pone.0237493
60. Moreno-Galván, A., Romero-Perdomo, F. A., Estrada-Bonilla, G., Meneses, C. H. S. G., & Bonilla, R. R. (2020). Dry-caribbean *Bacillus* spp. strains ameliorate drought stress in maize by a strain-specific antioxidant response modulation. *Microorganisms*, 8(6), 823. doi: 10.3390/microorganisms8060823
61. Mowafy, A. M., Fawzy, M. M., Gebreil, A., & Elsayed, A. (2021). Endophytic *Bacillus*, *Enterobacter*, and *Klebsiella* enhance the growth and yield of maize. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 1–10. doi: 10.1080/09064710.2021.1880621
62. Mrkovacki, N., Djalovic, I., Jockovic, D., Jarak, M., & Bijelic, D. (2014). Efficiency of inoculation with *Azotobacter chroococcum* on agronomic characteristics and yield of maize and sugarbeet. In *Book of proceedings: Fifth International Scientific Agricultural Symposium "Agrosym 2014"*, Jahorina, Bosnia and Herzegovina, October 23–26, 221–228.
63. Mukhtar, S., Zareen, M., Khaliq, Z., Mehnaz, S. & Malik, K. (2020), Phylogenetic analysis of halophyte-associated rhizobacteria and effect of halotolerant and halophilic phosphate-solubilizing biofertilizers on maize growth under salinity stress conditions. *J Appl Microbiol*, 128, 556–573. <https://doi.org/10.1111/jam.14497>
64. Munns, R. & Gilliam, M. (2015). Salinity tolerance of crops—what is the cost? *New phytologist*, 208(3), 668–673. doi: 10.1111/nph.13519
65. Narayan, O. P., Verma, N., Jogawat, A., Dua, M., & Johri, A. K. (2021). Sulfur transfer from the endophytic fungus *Serendipita indica* improves maize growth and requires the sulfate transporter *SiSulT*. *The Plant Cell*. doi: 10.1093/plcell/koab006
66. Naveed, M., Mitter, B., Yousaf, S., Pastar, M., Afzal, M., & Sessitsch, A. (2014). The endophyte *Enterobacter* sp. FD17: a maize growth enhancer selected based on rigorous testing of plant beneficial traits and colonization characteristics. *Biology and fertility of soils*, 50(2), 249–262.
67. Niu, B., Wang, W., Yuan, Z., Sederoff, R. R., Sederoff, H., Chiang, V. L., & Borriss, R. (2020). Microbial Interactions Within Multiple-Strain Biological Control Agents Impact Soil-Borne Plant Disease. *Frontiers in Microbiology*, 11, 2452. doi: 10.3389/fmicb.2020.585404
68. Otlewska, A., Migliore, M., Dybka-Stępień, K., Manfredini, A., Struszczyk-Świta, K., Napoli, R., Białkowska, A., Canfora, L., & Pinzari, F. (2020) When Salt Meddles Between Plant, Soil, and Microorganisms. *Front. Plant*. doi: 10.3389/fpls.2020.553087
69. Pandey, P., Bisht, S., Sood, A., Aeron, A., Sharma, G. D., & Maheshwari, D. K. (2012). Consortium of plant-growth-promoting bacteria: Future perspective in agriculture. Chapter 10. In: *Bacteria in agrobiolgy: plant probiotics*. Editor Maheshwari, D. K. Springer, Berlin, Heidelberg. 185–200.
70. Pervaiz, Z. H., Iqbal, J., Zhang, Q., Chen, D., Wei, H., & Saleem, M. (2020). Continuous cropping alters multiple biotic and abiotic indicators of soil health. *Soil Systems*, 4(4), 59. Access mode: <https://doi.org/10.3390/soilsystems4040059>
71. Rajper, A. M. (2015). Assessing the role of probiotics for the enhancement of soil quality under cover crops. (Doctoral dissertation, University of Missouri–Columbia). Access mode: <https://hdl.handle.net/10355/50186>
72. Ramos, Y., Taibo, A. D., Jiménez, J. A., & Portal, O. (2020). Endophytic establishment of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* in maize plants and its effect against *Spodoptera frugiperda* (JE Smith)(Lepidoptera: Noctuidae) larvae. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 30(1), 1–6. doi: 10.1186/s41938-020-00223-2
73. Saberi Riseh, R., Fathi, F., & Moradzadeh Eskandari, M. (2018). The effect of some probiotic bacteria in induction of drought tolerance in cucumber plants. *Advanced Research in Microbial Metabolites & Technology*, 1(2), 113–127. doi: 10.22104/ARMMT.2019.861
74. Santos, A. C., Kandasamy, S., & Rigobelo, E. C. (2020). *Bacillus cereus*, *Lactobacillus acidophilus* and *Succinivibrio dextrinosolvens* promoting the growth of maize and soybean plants. *African Journal of Microbiology Research*, 14(5), 189–197. doi: 10.5897/AJMR2020.9322
75. Schmidt, J. E., Bowles, T. M., & Gaudin, A. (2016). Using ancient traits to convert soil health into crop yield: impact of selection on maize root and rhizosphere function. *Frontiers in Plant Science*, 7, 373. doi: 10.3389/fpls.2016.00373
76. Shaharoona, B., Arshad, M., & Zahir, Z. (2006). Effect of plant growth promoting rhizobacteria containing ACC deaminase on maize (*Zea mays* L.) growth under axenic conditions and on nodulation in mung bean (*Vigna radiata* L.). *Letters in Applied Microbiology*, 42, 155–159. doi: 10.1111/j.1472-765X.2005.01827.x
77. Sharma, V., Salwan, R., & Sharma, P. N. (2017). The comparative mechanistic aspects of *Trichoderma* and probiotics: scope for future research. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 100, 84–96. doi: 10.1016/j.pmp.2017.07.005
78. Singh, D., Raina, T. K., Kumar, A., Singh, J., & Prasad, R. (2019). Plant microbiome: a reservoir of novel genes and metabolites. *Plant Gene*, 18. doi: 10.1016/j.plgene.2019.100177

79. Spence, K., Alff, E., Shantharaj, D., & Bais, H. (2012). Probiotics for Plants: Importance of Rhizobacteria on Aboveground Fitness in Plants. Chapter 1. In: *Bacteria in agrobiology: plant probiotics*. Editor Maheshwari, D. K. Springer, Berlin, Heidelberg. 1–15.
80. Teotia, P., Kumar, M., Prasad, R., Sharma, S., & Kumar, V. (2017). Endophytic Probiotics and plant health: toward a balanced accost. In *Probiotics and Plant Health* 383-399 Springer, Singapore. doi: 10.1007/978-981-10-3473-2_17
81. Ukrayinskyi hidrometeorologichnyy tseñtr [Ukrainian Hydrometeorological Center]. Access mode: https://meteo.gov.ua/ua/33275/climate/climate_stations/12/2/
82. Vandenberghe, L. P. S., Garcia, L.M.B., Rodrigues, C., Camara, M. C., Pereira, M. G. V., Oliveira, J., & Socol, C. R. (2017). Potential applications of plant probiotic microorganisms in agriculture and forestry. *AIMS microbiology*, 3(3), 629–648. doi: 10.3934/microbiol.2017.3.629
83. Vassileva, M., Flor-Peregrin, E., Malusá, E., & Vassilev, N. (2020). Towards Better Understanding of the Interactions and Efficient Application of Plant Beneficial Prebiotics, Probiotics, Postbiotics and Synbiotics. *Frontiers in plant science*, 11, 1068. doi: 10.3389/fpls.2020.01068
84. Vidotti, M.S., Matias, F.I., Alves, F.C., Pérez-Rodríguez, P., Beltran, G.A., Burgueño, J., Crossa, J., & Fritsche-Neto, R. (2019). Maize responsiveness to *Azospirillum brasilense*: Insights into genetic control, heterosis and genomic prediction. *PLoS ONE*, 14(6). doi: 10.1371/journal.pone.0217571
85. Walker, R., Otto-Pille, C., Gupta, S., Schillaci, M., & Roessner, U. (2020). Current perspectives and applications in plant probiotics. *Microbiology Australia*, 41, 95–99. doi: 10.1071/MA20024
86. Wolmarans, K. (2013). The effect of glyphosate and glyphosate-resistant maize and soybeans on soil micro-organisms and the incidence of disease (Doctoral dissertation, University of the Free State). Access mode: <https://scholar.ufs.ac.za/bitstream/handle/11660/1987/WolmaransK.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
87. Woo, S. L., & Pepe, O. (2018). Microbial consortia: promising probiotics as plant biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in plant science*, 9, 1801. doi: 10.3389/fpls.2018.01801
88. Yadav, G., Vishwakarma, K., Sharma, S., Kumar, V., Upadhyay, N., Kumar, N., Kumar Verma, R., Mishra, R., Kumar Tripathi, D., Upadhyay, R. G. (2017). Emerging Significance of Rhizospheric Probiotics and Its Impact on Plant Health: Current Perspective Towards Sustainable Agriculture. In: Kumar V., Kumar M., Sharma S., Prasad R. (eds) *Probiotics and Plant Health*. Springer, Singapore. doi: 10.1007/978-981-10-3473-2_10
89. Yan, N., Marschner, P., Cao, W., Zuo, C., & Qin, W. (2015). Influence of salinity and water content on soil microorganisms. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(4), 316–323. doi: 10.1016/j.iswcr.2015.11.003
90. Yarullina, D. R., Asafova, E. V., Kartunova, J. E., Ziyatdinova, G. K., Ilnskaya, O. N. (2014). Probiotics for plants: NO-producing lactobacilli protect plants from drought. *Applied biochemistry and microbiology*, 50(2), 166–168. doi: 10.1134/S0003683814020197
91. Yaseen, R., Hegab, R., Kenaway, M., & Eissa, D. (2020). Effect of Super Absorbent Polymer and Bio fertilization on Maize Productivity and Soil Fertility under Drought Stress Conditions. *Egyptian Journal of Soil Science*, 60(4), 377–395. doi: 10.21608/ejss.2020.35386.1372
92. Yatsuk, I. P. (2015). Periodychna dopovid' pidhotovlena na osnovi materialiv 9 turu (2006–2010 roky) ahrokhimichnoho obstezhennya zemel' silskohospodarskoho pryznachennya [Periodic report of the agrochemical survey of agricultural lands prepared on the basis of the material of the 9th round (2006–2010)]. Access mode: URL: <http://www.iogu.gov.ua/wp-content/uploads/2013/07/%D0%94%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D1%96%D0%B4%D1%8C-2015-1.pdf>
93. Yeremko, L. S., & Bridnya, Ye. O. (2020). Vplyv zabezpechenosti roslyn elementamy mineral'noho zhyttya na urozhaynist' nasynnya yachmenyu yaroho. *Materialy IX naukovo-praktychnoyi Internet – konferentsiyi «Aktual'ni pyttannya ta problematyka v tekhnolohiyakh vyroshchuvannya produktsiyi roslynnytstva»*, 74–76.
94. Young, L. S., Hameed, A., Peng, S. Y., Shan, Y. H., & Wu, S. P. (2013). Endophytic establishment of the soil isolate *Burkholderia* sp. CC-A174 enhances growth and P-utilization rate in maize (*Zea mays* L.). *Applied Soil Ecology*, 66, 40–47. doi: 10.1016/j.apsoil.2013.02.001
95. Youseif, S. H. (2018). Genetic diversity of plant growth promoting rhizobacteria and their effects on the growth of maize plants under greenhouse conditions. *Annals of Agricultural Sciences*, 63(1), 25–35. doi: 10.1016/j.aos.2018.04.002.
96. Yu, P., & Hochholdinger, F. (2018) The Role of Host Genetic Signatures on Root–Microbe Interactions in the Rhizosphere and Endosphere. *Front. Plant. Sci.*, 9, doi: 10.3389/fpls.2018.01896
97. Zakharchenko, E. A., & Martynenko, V. M. (2017). The problem of reducing the content of microelements in the soils of the Sumy region. Proceedings of the International conference scientific and practical «HONCHARIVSKI CHYTANNYA» dedicated to the 88th anniversary of Doctor of Agricultural Sciences professor Mykolay Dem'yanovych Honcharov, 25–26 May 2017. Sumy : SNAU, 62–64.
98. Zakharchenko, E. A. (2019). Effect of zinc application on the maize. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The series "Agronomy and Biology"*, 4(38). 8–14 (in Ukrainian).
99. Zakharchenko, E. A., & Tkachenko, O. V. (2017). Efficiency of foliar fertilization rokogumin of summer barley. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The series: Agronomy and Biology*, 9(34), 41–47 (in Ukrainian).
100. Zhatova, H. O., & Trotsenko, V. I. (2017). Dynamics of sunflower rhizosphere microbiota. *Ukrainian Journal of Ecology*, 7(1), 22–29 (in Ukrainian).
101. Zhatova, H. O., & Lavryk, I.N. (2013). Influence of preplanting cultivation of seeds with microfertilizers on formation of elements of productiveness of white and blue lupin. *Science and world*, 2(2), 76–78. (in Ukrainian)

Datsko O. M., PhD student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

PLANT PROBIOTICS: EFFECT ON CROPS UNDER STRESS

World agriculture is on the threshold of a new revolution. Farmers interested in using less mineral fertilizers and pesticides but still get a high yields. One of the tools that can help with this is plant probiotics. Therefore, the purpose of this article is to investigate the effects of beneficial microorganisms on crops, namely which bacteria or fungi can help control plants against stress from drought, salinity or pathogens. An important aspect of the study was also the information that microorganisms have a positive effect on the absorption of nutrients by plants. All these factors negatively affect the cultivation of silage maize (*Zea mays L.*), especially in conditions of rapid climate change. Literary sources of foreign and native authors were analyzed for the research. As a result of the study, it was recommended that the drought stress in maize crops affects *Azospirillum lipoferum*. On saline soils, maize plants can survive stress better by plants inoculating with *Pseudomonas syringae*, *Enterobacter aerogenes*, *P. fluorescens*, *Bacillus aquimaris*, *Serratia liquefaciens*, *Gracilibacillus*, *Staphylococcus*, *Virgibacillus*, *Salinicoccus*, *Bacillus*, *Bacillus*, *Bacillus aquarium*, etc. *Pseudomonas fluorescens*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium verticillioides*, *Pseudomonas*, *Bacillus cereus* have an effect on pathogens in maize crops. In mastering the corn plant nutrients affect *Pseudomonas alcaligenes*, *Bacillus polymyxa*, *Mycobacterium phlei*, *Burkholderia*, *Bacillus spp.*, *Herbaspirillum*, *Enterobacteriales*, *Streptomyces pseudovenezuelae*, *Ruminobacter amylophilus*, *Fibrobacter succinogenes*, *Enterococcus faecium*, *Arbuskulyarni mycorrhizal fungi*, *Enterobacter E1S2*, *Klebsiella MK2R2*, *Bacillus B2L2*, *Azospirillum brasiliense*, *Micromonospora*, *Streptomyces*, *Bacillus*, *Hyphomicrobium*, *Rhizobium*, *Azohydromonas spp.*, *Azospirillum spp.* and other. An interesting fact that was discovered as a result of this article was that some microorganisms can have a positive effect on the host plant in more than one direction, such as *Pseudomonas fluorescens*.

Key words: probiotics, *Zea mays L.*, drought stress, soil salinity stress, pathogens.

Дата надходження до редакції: 01.03.2021 р.