

## БАКТЕРІЇ РОДУ *BURKHOLDERIA* У РОСЛИННИЦТВІ: НЕБЕЗПЕКА ЧИ КОРИСТЬ?

Л.М. Буценко<sup>1</sup>, Л.А. Пасічник<sup>2</sup>, Ю.В. Коломієць<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Національний університет харчових технологій (м. Київ, Україна)  
e-mail: l.m.butsenko@gmail.com; ORCID: 0000-0002-3575-4289

<sup>2</sup>Інститут мікробіології і вірусології імені Д.К. Заболотного НАН України  
(м. Київ, Україна)  
e-mail: imv\_phyto@ukr.net; ORCID: 0000-0002-5662-3106

<sup>3</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України  
(м. Київ, Україна)  
e-mail: julyja12345@gmail.com; ORCID: 0000-0002-1919-6336

Бактерії роду *Burkholderia* є одним із найбільш гетерогенних родів, що об'єднав патогенні для людини, тварин і рослин види із сапротрофними мешканцями ґрунтових та водних екосистем. Навіть більше, об'єднання гетерогенних патогенів простежується у межах окремих видів роду *Burkholderia*. Представники саме цього таксона якнайкраще демонструють явища полібіотрофії, здатності представників одного виду спричинювати ураження макроорганізмів різних царств. Кількість публікацій у міжнародних базах даних, щодо представників роду *Burkholderia*, зростає останні два десятиліття і такі публікації стосуються як патогенних буркхолдерій, так і представників роду із корисними для людини властивостями. Особливу увагу привертають спроби використання представників роду *Burkholderia* як біологічних агентів для контролю шкідників і збудників хвороб у рослинництві та інтродукція цих прокариотів у агроценози. Таксономічний статус окремих представників цього роду все ще викликає дискусії у науковій спільноті. До одного виду можуть належати штами патогенні для людини, рослини і штами-стимулятори росту рослин, як це відбувається із *Burkholderia gladioli*, за відсутності чітких критеріїв, що дають можливість розмежувати патогенні й корисні буркхолдерії. Метою дослідження є аналіз й узагальнення даних щодо асоційованих із рослинами представників гетерогенного роду *Burkholderia*. Встановлено, що фітопатогенні бактерії роду *Burkholderia* є небезпечними патогенами, яким притаманна здатність до полібіотрофії. *Burkholderia gladioli* та *Burkholderia seracida* можуть пригнічувати інші патогени, але зберігають здатність уражувати рослини та людей за сприятливих умов. Фітопатогени даного роду мають значний потенціал для поширення на території України. Зокрема, в Одеській обл. у 2022 р. вперше було виявлено *B. glatae* на насінні і рослинах рису. Інтродукція представників цього роду в агроценози України без встановлення чітких критеріїв розмежування патогенних і сапротрофних штамів становить потенційну загрозу не лише рослинництву, а й здоров'ю населення України.

**Ключові слова:** інтродукція патогенів, збудники бактеріальних хвороб, біологічні агенти, агроєкосистеми, управління ризиками.

### ВСТУП

Рід *Burkholderia* об'єднує велику кількість видів грамнегативних паличковидних бактерій, які можуть бути патогенами людини, тварин та рослин. Найвідомішими представниками цього роду є зоонозні збудники *Burkholderia mallei* (sap) та *Burkholderia pseudomallei* (меліоїдоз). Перші представники роду *Burkholderia* були ізольовані та

досліджені майже століття тому. В 1942 р. Walter H. Burkholder описав одну з перших буркхолдерій — *Phytomonas caryophylli* Burkholder et al., 1942, пізніше відому як *Pseudomonas caryophylli* (Burkholder 1942) Starr and Burkholder 1942 (Approved Lists 1980), *Burkholderia caryophylli* (Burkholder 1942) Yabuuchi et al. 1993, *ParaBurkholderia caryophylli* (Burkholder 1942) Sawana et al. 2015, а сьогодні отримала новий статус

*Trinickia caryophylli* (Burkholder 1942) Estrada-de Los Santos et al. 2018 [1]. Згодом цей дослідник також описав фітопатогенні буркхолдерії, які спричиняли гниль у цибулинах *Allium cepa*, і дав їм видову назву «*cepacia*». Цей вид був відомий як *Pseudomonas cepacia* (ex Burkholder 1950) Palleroni and Holmes 1981, а наразі має статус *Burkholderia cepacia* (Palleroni and Holmes 1981 ex Burkholder 1950) Yabuuchi et al. 1993. Власне вид *Burkholderia cepacia* є типовим представником роду *Burkholderia* та об'єднує патогенні для людей, рослин й сапротрофні штами, які є мешканцями ґрунту, води, філосфери та багатьох інших екологічних ніш [2]. Тривалий час багатьох представників великого гетерогенного роду *Burkholderia* класифікували як *Pseudomonas* на основі вивчення їх фенотипових ознак. Розвиток нових підходів у таксономії прокариотів дав змогу розділити представників роду *Pseudomonas* на декілька окремих родів. Так, у 1992 р. був утворений рід *Burkholderia*.

**Метою дослідження** є аналіз й узагальнення даних щодо асоційованих із рослинами представників гетерогенного роду *Burkholderia*.

### АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

В останнє десятиліття таксономія роду *Burkholderia* зазнала чи не найбільших реорганізацій серед усіх прокариотів [3; 4]. Цьому сприяли розвиток молекулярних методів дослідження та напрацювання критеріїв таксонів різних рангів. Станом на сьогодні рід *Burkholderia* налічує 36 видів бактерій [4].

Деякі види, що на початку 2000 років було віднесено до роду *Burkholderia*, нині набули статусу окремих родів у межах сімейства *Burkholderiaceae*. Не останню роль у необхідності рекласифікації бактерій цієї групи відіграє бажання відділити патогенні види від непатогенних й встановити критерії безпеки за практичного використання буркхолдерій. Наприклад, у 2014 р. було запропоновано у межах роду *Burkholderia* залишити клінічно значимих

та фітопатогенних представників буркхолдерій, а сапротрофних представників рекласифікувати у рід *Paraburkholderia*. Водночас таксономічний статус окремих представників цього роду все ще викликає дискусії у науковій спільноті. І донині до одного виду можуть належати штами патогенні для людини, рослини і штами-стимулятори росту рослин, як це відбувається із *Burkholderia gladioli* або *Burkholderia cepacia*. Бактерії роду *Burkholderia* відомі не лише як патогени. Представники цього роду (*Burkholderia orbicola*) відіграють значну роль у багатьох екологічних нішах і навіть можуть виявляти здатність до темної фіксації карбону, виступаючи таким чином первинними продуцентами біомаси [5]. Аналіз наукових публікацій останніх років свідчить про зростаючий інтерес до використання *Burkholderia* у складі препаратів для рослинництва [6].

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для дослідження застосовували загальнонаукові (узагальнення, порівняння, системний аналіз) методи. Матеріалами аналітичного дослідження були дані відкритих джерел Європейської та Середземноморської організації з карантину і захисту рослин [7], Державної служби України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів [8], Державного реєстру пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні [9], дані наукової літератури та результати власних досліджень авторів.

### РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

**Збудники хвороб рослин роду *Burkholderia*.** Бактерії роду *Burkholderia* мають тісний зв'язок із рослинами. Представники цього роду — ендofіти рослин, асоціативні мікроорганізми із здатністю до стимуляції росту рослин, ризосферними симбіонтами, тощо [10–12]. Значна частина буркхолдерій є патогенними для рослин, які можуть спричиняти гнилі й плямистості широкого кола рослин (табл. 1).

Таблиця 1. Фітопатогенні види роду *Burkholderia*

Вид	Синоніми	Рослини, які уражують	Примітка
<i>Burkholderia agaricola</i> (Burkholder 1942) Starr and Burkholder 1942	<i>Burkholderia gladioli</i> pv. <i>agaricola</i> (Severini 1913) Yabuuchi et al. 1993	Вищі мікроміцети	
<i>Burkholderia alliiicola</i> (Burkholder 1942) Starr and Burkholder 1942	<i>Burkholderia gladioli</i> pv. <i>alliiicola</i> (Severini 1913) Yabuuchi et al. 1993, <i>Pseudomonas alliiicola</i> (Burkholder 1942) Starr and Burkholder 1942	Цибуля	Карантинний патоген в Єгипті, Мексичі, Китаї, Йорданії
<i>Burkholderia andropogonis</i> (Smith 1911) Gillis et al. 1995	<i>Paraburkholderia andropogonis</i> (Smith 1911) Sawana et al. 2015, <i>Robbsia andropogonis</i> (Smith 1911) Lopes-Santos et al. 2017	Соргові, кукурудза	Карантинний патоген в Ізраїлі
<i>Burkholderia caryophylli</i> (Burkholder 1942) Yabuuchi et al. 1993	<i>Pseudomonas caryophylli</i> (Burkholder 1942) Starr and Burkholder 1942; <i>Paraburkholderia caryophylli</i> (Burkholder 1942) Sawana et al. 2015; <i>Trinickia caryophylli</i> (Burkholder 1942) Estrada-de Los Santos et al. 2018	Гвоздики, кермек	Карантинний патоген в Україні, країнах Євросоюзу, Молдові, Грузії, Ізраїлі, Китаї, Мексичі, Йорданії, Ірані, Марокко та ін.
<i>Burkholderia cepacia</i> (Palleroni and Holmes 1981 ex Burkholder 1950) Yabuuchi et al. 1993	<i>Pseudomonas cepacia</i> (ex Burkholder 1950) Palleroni and Holmes 1981, <i>Pseudomonas multivorans</i> Stanier et al. 1966	Цибуля	
<i>Burkholderia gladioli</i> (Severini 1913) Yabuuchi et al. 1993	<i>Pseudomonas marginata</i> (McCulloch) Stapp;		
<i>Pseudomonas gladioli</i> Severini 1913 (Approved Lists 1980); <i>Burkholderia cocovenenans</i> (van Damme et al. 1960) Gillis et al. 1995	Гладіолус, іриси, орхідні	Карантинний патоген у Мексиці та Йорданії	
<i>Burkholderia glumae</i> (Kurita and Tabei 1967) Urakami et al. 1994	<i>Pseudomonas glumae</i> Kurita and Tabei 1967 (Approved Lists 1980)	Рис	Карантинний патоген в Аргентині, Бразилії, Мексиці, Китаї, Єгипті
<i>Burkholderia plantarii</i> (Azegami et al. 1987) Urakami et al. 1994	<i>Pseudomonas plantarii</i> Azegami et al. 1987; <i>Burkholderia vandii</i> Urakami et al. 1994	Рис	

Фітопатогенні буркхолдерії за сучасними уявленнями належать до видів *Burkholderia gladioli*, *Burkholderia andropogonis*, *Burkholderia glumae*, *Burkholderia plantarii*, *Burkholderia cepacia*, *Burkholderia caryophylli*. Найчастіше фітопатогенні представники роду *Burkholderia* асоціюються із гниллю цибулі та квіткових рослин, які утворюють цибулини. Види *B. glumae* та *B. plantarii* здатні викликати гниття і плямистості такої важливої для продовольчої безпеки світу культури, як рис. *B. andropogonis* є збудником бактеріозів соргових і кукурудзи, що є основними культурами для годівлі тварин.

Зазвичай фітопатогенні *Burkholderia* є теплолюбними бактеріями і мають оптимальну температуру росту 32–35°C, відповідно і спричинюють інфікування рослин у регіонах із субтропічним і тропічним кліматом. За змін клімату може відбуватися поступова зміна складу мікробного угруповання на користь видів, які більш адаптовані до високих температур і мають прискорені темпи росту. Зважаючи на це зростає небезпека розповсюдження фітопатогенних буркхолдерій на території із помірним кліматом, зокрема, України.

**Небезпека інтродукції нових патогенів в Україні. Карантинні фітопатогенні бактерії роду *Burkholderia*.** Одним із небезпечних видів фітопатогенних бактерій, які викликають ураження рослин за високих температур, є *Burkholderia caryophylli*. Цей збудник зумовлює ураження рослин родини гвоздикові, зокрема, гвоздики садової (*Dianthus caryophyllus* L.) та становить загрозу промислового квітникарству [13]. Зважаючи на значну шкідливість та з метою реалізації заходів для обмеження поширення патогенів роду *Burkholderia* збудника *B. caryophylli* внесено до переліку ЕРРО A2 LIST – Патогени, що мають обмежене поширення на території Європейського Союзу. Перелік таких організмів в ЄС затверджено Європейською та Середземноморською організацією із захисту рослин (European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO) та розміщено на офіційному сайті цієї організації

[14]. На сьогодні цей збудник відсутній на території України та належить до Переліку регульованих шкідливих організмів (затверджено Наказом Мінагрополітики України від 16.07.2019 № 397 «Про внесення змін до Переліку регульованих шкідливих організмів»). До того ж він має значний потенціал для інтродукції на територію нашої країни та потребує додаткової уваги.

**Поширеність фітопатогенів роду *Burkholderia* в Україні.** Глобальне потепління зумовлює поширення збудників хвороб роду *Burkholderia* у регіони із помірним кліматом. Саме із цим пов'язана поява *B. glumae* на насінні та рослинах рису сортів Камео і Балдо в Україні. Збудник уперше виявлено в Одеській обл. у 2022 р. *B. glumae* є збудником бактеріального опіку волоті рису, який помічений у багатьох регіонах вирощування рису, включаючи країни Азії, Африки, Центральної та Південної Америки. Умовою розвитку цієї хвороби є висока температура (зокрема високі нічні температури). Значні спалахи бактеріального опіку волоті рису відбувалися у різних країнах в роки з рекордно високими температурами, особливо, вночі. Зважаючи на зростання температури в Україні, можемо впевнено прогнозувати збільшення частоти виникнення і шкідливості бактеріозів рису у нашій країні в найближчі роки [15].

**Явище полібіотрофії. Бактерії виду *Burkholderia cepacia*.** У 1981 р. д-р біол. наук, проф. Р.І. Гвоздяк визначив здатність бактерій одного таксона уражувати представників різних царств як полібіотрофію. Це була одна з перших наукових публікацій, яка порушувала питання універсальності патогенів. Згодом у публікаціях інших авторів було розкрито механізми організації генів патогенності у спеціалізованих кластерах, які часто розміщено на позакромосомних генетичних елементах. Здатність уражувати рослини і тварини (зокрема, людей) найчастіше характеризує так звані опортуністичні патогени. Інфекції, що спричинюють такі бактерії, можуть мати серйозні наслідки для людей та навіть призводити до загибелі. Чіткою озна-

кою явища полібіотрофії є вид *Burkholderia cepacia* [16]. Ці бактерії вперше було ізольовано із гнилей цибулі і вони є визнаними фітопатогенами цієї культури. Водночас представників цього виду часто виділяють як збудників хвороб людини.

Дослідники визнали, що *B. cepacia* насправді характеризує принаймні 20 різних видів, кожен з яких має різний ризик патогенності для людей, але всі вони здатні спричинити інфекції у вразливих людей. *Burkholderia cepacia* complex — це аеробні неспорутовувальні, каталазопозитивні грамотрицателі бактерії, що поширені в навколишньому середовищі. Це серйозний патоген, особливо для пацієнтів з муковісцидозом (МВ). Однак патогенність *Burkholderia cepacia* не обмежується пацієнтами з МВ. Їх також виявляють у педіатричних пацієнтів [16]. Спричинені

*B. cepacia* тяжкі ураження легень у хворих на муковісцидоз фіксуються і в Україні [17]. *Burkholderia pseudomallei* є збудником дихальних нозокоміальних інфекцій у клінічних установах України у 5,3% випадків таких інфікувань [18].

*B. cepacia* є не єдиним представником буркхолдерій, які здатні уражувати макроорганізми різних царств. Вид *Burkholderia gladioli* на сьогодні є чи не найдосліджуванішим представником цього роду. І виявлені властивості є дуже різноплановими й суперечливими у різних штамів цього виду.

**Полібіотрофія бактерій виду *Burkholderia gladioli*. Таксономічне значення вірулентних властивостей бактерій.** *Burkholderia gladioli* добре відомі як фітопатогенні бактерії, що можуть уражувати рослини родини орхідей (табл. 2). До того ж *B. gla-*

Таблиця 2. Властивості *Burkholderia gladioli* за використання API20NE

Умовне позначення	Тест	<i>Burkholderia gladioli</i>	<i>Burkholderia caryophylli</i>	<i>Burkholderia glumae</i>
NO <sub>3</sub>	Редукція нітратів	–	+	+
TRP	Утворення індолу	–	–	–
GLU	Зброджування глюкози	–	–	–
ADH	Аргініндигідролаза	–	–	–
URE	Уреаза	–	–	–
ESC	β-глюкозидаза (гідроліз ескуліну)	–	–	–
GEL	Желатиназа	+	–	+
PNPG	β-галактозидаза	+	+	+
Асиміляція:				
GLU	D-глюкоза	+	+	+
ARA	L-арабіноза	+	+	+
MNE	D-маноза	+	+	+
MAN	D-манітол	+	+	+
NAG	N-ацетил-глюкозамін	+	+	+
MAL	D-мальгоза	–	–	–
GNT	Глюконат калію	+	–	+
CAP	Капріонова кислота	+	+/-	+
ADI	Адипінова кислота	+	–	+/-
MLT	Яблучна кислота	+	+	+
CIT	Натрію цитрат трьохзаміщений	+	–	+
PAC	Фенілоцтова кислота	+	–	–
OX	Цитохромоксидаза	d	d	–

Примітки: розроблено авторами за основи [22]; + – 100% штамів позитивні; – – 100% штамів негативні, d – ознака варіабельна.

*dioli* здатні спричиняти ураження людей. Зокрема, відомі випадки синоназальних інфекцій дорослих і новонароджених дітей з ослабленим імунітетом. Водночас *B. gladioli* у людей часто асоціюється з поганим прогнозом [19; 20]. Відомо про здатність штамів *B. gladioli* спричиняти різні ураження у людей: ендoftальміт трансплантата рогівки ока, буркхолдеріозний кератит, раннього неонатального, так і нозокоміального сепсису у новонароджених, остеомієліту дрібних кісток і абсцесу м'яких тканин. Є повідомлення навіть про коінфекцію *B. gladioli* у пацієнта, госпіталізованого з приводу COVID-19 [21].

Бактерії виду *B. gladioli* можуть утворювати поліненасичену розгалужену бонгкрекову кислоту, яка має здатність пригнічувати дихання. Це небезпечна речовина неодноразово ставала причиною масових харчових отруень [23]. Слід зазначити, що спроможність продукувати бонгкрекову кислоту характерна для виду *Burkholderia cocovenenans*, який призводить до високої смертності у випадках харчових отруень. Однак *B. cocovenenans* рекласифіковано як *Burkholderia gladioli* у 1999 р. на основі даних аналізу послідовності 16S рРНК, гібридизації ДНК-ДНК і аналізу жирних

кислот без урахування їхньої патогенності та токсичності. Отже, вид *B. gladioli* дійсно поєднав летальні штами, що виробляють токсини, з нелетальними. Для врахування патогенності штамів, які належать до одного виду *B. gladioli*, використовують розділення на патовари. Крім того, відсутня належна оцінка здатності уражувати певну групу організмів як таксономічного критерія [10]. Залишається дискусійним питання щодо набуття здатності представників виду *B. gladioli* уражувати іншу групу макроорганізмів.

**Застосування представників роду *Burkholderia* у рослинництві.** Не зважаючи на те, що значна кількість видів роду *Burkholderia* є патогенами та шкодять як сільському господарству, так і здоров'ю людей, окремі представники цього роду характеризуються здатністю пригнічувати фітопатогенів та стимулювати ріст рослин і є корисними для рослинництва. Такі буркхолдерії пропонують включати до складу біопрепаратів для контролю фітопатогенів (табл. 3). Наприклад, бактерії *Burkholderia* spp. здатні утворювати інсектицидні сполуки і можуть бути використані для контролю такого небезпечного шкідника, як дротяник у насадженнях картоплі [6]. Личинки жуків-

Таблиця 3. Використання бактерій роду *Burkholderia* у контролі шкідників і патогенів рослин

Біологічний агент	Шкідник (патоген), який можна контролювати	Джерело
<i>Burkholderia</i> spp.	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	
Біла гниль соняшника, ріпаку, моркви, огірків, помідорів, картоплі та низки інших поширених культур	Compant, 2008	
<i>Burkholderia rinojensis</i>	Інсектицид проти бурякових щитівок ( <i>Spodoptera exigua</i> ) і двокрапчастого павутинного кліща ( <i>Tetranychus urticae</i> )	Cordova-Kreylos, 2013
<i>Burkholderia</i> spp.	Кореневі нематоди <i>Meloidogyne</i> spp.	Kim, 2023
<i>Burkholderia arboris</i>	Коренева нематода ( <i>Meloidogyne incognita</i> ) є найпоширенішою нематодою, що уражає посіви пасльонових	Zhang, 2022
<i>Burkholderia</i> spp.	Дротяники ( <i>Coleoptera: Elateridae</i> ) на картоплі ( <i>Solanum tuberosum</i> )	Pagani, 2023

Біологічний агент	Шкідник (патоген), який можна контролювати	Джерело
<i>Burkholderia gladioli</i>	Грибні патогени ( <i>Ustilagoideae virens</i> , <i>Alternaria solani</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Phytophthora capsica</i> , <i>Corynespora cassiicola</i> , <i>Magnaporthe oryzae</i> та <i>Botrytis cinerea</i> )	Yang, 2023
<i>Burkholderia gladioli</i>	<i>Botrytis cinerea</i>	Wang, 2023
<i>Burkholderia gladioli</i>	<i>Sporisorium scitamineum</i> сажку цукрової тростини	Cui, 2020
<i>Burkholderia gladioli</i>	<i>Fusarium oxysporum</i> на шафрані посівному ( <i>Crocus sativus</i> )	Ahmad, 2022

коваликів (*Coleoptera: Elateridae*), відомі як дротяники, становлять дедалі більшу загрозу для сільськогосподарських культур по всьому світу, і Україна не виняток.

У літературі є повідомлення про виділення бактерій *Burkholderia cepacia* та *Burkholderia* spp., як ендofітів. Ендofітні буркхолдерії характеризуються здатністю утворювати симбіотичні зв'язки із рослинами і можуть бути корисними для останніх. Привертає увагу, що ендofітні буркхолдерії ідентифіковані як *B. cepacia* – опортуністичні патогени. Або не були ідентифіковані до виду. Це вказує на недосконалість підходів до ідентифікації та неможливість чітко відокремити патогенні і сапротрофні види, що створює ризики, які пов'язані із неможливістю розпізнати патогенів, що можуть перебувати у латентній фазі.

На основі штамів роду *Burkholderia* навіть випускають комерційні препарат для контролю нематод Majestene® (*Burkholderia* spp. A396). Цей препарат позиціонують як потужний та водночас зручний для працівників видово-селективний біонематоцид, який діє проти яєць, молодих та дорослих нематод кореневих вузлів, кінджальних нематод, ниркових і соєвих цистоподібних нематод. Однак, штам що є основою цього препарату не було ідентифіковано до виду [24; 25].

В Україні також зареєстровано препарат для використання у рослинництві, що містить у своєму складі бактерії роду *Burkholderia*. Це біофунгіцид Базеос (*Bacillus*

*megaterium* 1·10<sup>9</sup> КУО/мл; *Streptomyces beta-vulgaris* 1·10<sup>9</sup> КУО/мл; *Burkholderia* spp. 1·10<sup>9</sup> КУО/мл). Препарат зареєстровано у 2018 р. фірмою «Агронутріціон», Франція [9].

До складу біопрепаратів часто рекомендують включати не лише не ідентифіковані до виду буркхолдерії, а й представників патогенних видів, наприклад, *Burkholderia gladioli*. Ендofітний штам *B. gladioli* CGB10 засвідчив сильну інгібіторну активність щодо ниткоподібного росту грибних патогенів, одним із яких є *Sporisorium scitamineum*, який спричинює сажку цукрової тростини, основне захворювання, що впливає на якість і виробництво цукрової тростини в тропічних і субтропічних регіонах. *B. gladioli* CGB10 може ефективно пригнічувати сажку цукрової тростини в польових умовах, не викликаючи жодних явних пошкоджень або хвороб, у такий спосіб підкреслюючи великий потенціал як агента біоконтролю сажки цукрової тростини. У геномі *B. gladioli* CGB10 ідентифіковано кластер генів біосинтезу та транспорту токсифлавіну, потенційно відповідальний за таку антигрибну активність. Крім того, кластер генів, що сприймають кворум, також був ідентифікований і порівняний із двома близькими видами *Burkholderia*, таким чином підтверджуючи загальний зв'язок із регуляцією синтезу токсифлавіну в них [26]. Штам *B. gladioli* KRS027 продемонстрував протигрибну дію широкого спектра щодо різних фіто-

патогенних грибів шляхом виділення розчинних і летких сполук. *B. gladioli* KRS027 також має здатність стимулювання росту рослин, включаючи фіксацію азоту, солюбілізацію фосфатів і калію, утворення сидерофорів і різноманітних ферментів. *B. gladioli* KRS027 може ефективно захищати тютюн і столовий виноград від сірої гнилі, спричиненої *Botrytis cinerea*. Крім того, *B. gladioli* KRS027 має змогу індукувати стійкість рослин шляхом індукції системної резистентності [27].

**Безпека препаратів для рослинництва на основі бактерій роду *Burkholderia*.** *Burkholderia*, за оцінками дослідників, є важливим бактеріальним родом, представники якого проявляють різні корисні ефекти, як-от сприяння росту рослин, зокрема компетентність ризосфери для секреції аелолохімічних речовин, виробництва антибіотиків і сидерофорів. Окрім того, багато представників роду *Burkholderia* виявили потенціал щодо біоконтролю різних фітопатогенів [28]. Водночас не можна ігнорувати здатність буркхолдерій спричинювати ураження людей і рослин, потенційну можливість цих бактерій набувати чинників патогенності та відсутність чітких критеріїв для розмежування патогенних і сапротрофних представників роду *Burkholderia*.

Дані літератури підтверджують наявність антагоністичних властивостей не лише у сапротрофних, а й у вірулентних штамів фітопатогенних буркхолдерій. Зокрема, *Burkholderia glumae*, *B. plantarii* та *B. gladioli* є відповідальними за серйозні захворювання в посівах рису. Ці патогени здатні до одночасного ураження посівів рису. За вивчення антагоністичної взаємодії між цими збудниками встановлено здатність *B. gladioli* сильно пригнічувати *B. glumae* та *B. plantarii*. Результати виявили, що спільна інокуляція *B. gladioli* сприяє до значного зниження тяжкості захворювання та колонізації тканин рису порівняно з одноразовою інокуляцією *B. glumae* або *B. plantarii*. Це дослідження демонструє взаємодію між трьома патогенними для рису видами *Burkholderia* та сильну анта-

гоністичну активність *B. gladioli in vitro* та *in planta* [29; 30].

Безумовно застосування біопрепаратів у рослинництві має перспективу з точки зору поліпшення якості врожаю та вирішення екологічних проблем сучасності. Системний підхід до вивчення взаємовідносин макро- та мікроорганізмів відкриває нові можливості використання біоценотичних взаємозв'язків в екосистемах для розв'язання проблем контролю збудників та шкідників й підвищення врожайності. До того ж біопрепарати, які використовують у рослинництві насамперед мають бути безпечними як для людини, так і з точки зору фітосанітарного стану, появи нових патогенів та зростання агресивності відомих. Інтродукція в агроценози України потенційно патогенних штамів, які до цього часу мають обмежене поширення на території нашої країни, потребує зваженої оцінки користі та ризику такого кроку.

## ВИСНОВКИ

Бактерії роду *Burkholderia* є одним із найбільш гетерогенних родів, що об'єднав патогенні для людини, тварин й рослин види із сапротрофними мешканцями ґрунтових та водних екосистем. Таксономічний статус окремих представників цього роду все ще викликає дискусії у науковій спільноті. До одного виду можуть належати штами, патогенні для людини, рослини і штами-стимулятори росту рослин, як це відбувається із *Burkholderia gladioli*, за відсутності чітких критеріїв, що дають змогу розмежувати патогенні й корисні буркхолдерії.

Фітопатогенні бактерії роду *Burkholderia* мають значний потенціал для поширення на території України. Зокрема, в Одеській обл. у 2022 р. уперше виявлено *B. glumae* на насінні та рослинах рису. Інтродукція представників даного роду в агроценози України без встановлення чітких критеріїв розмежування патогенних і сапротрофних штамів становить потенційну загрозу не лише рослинництву, а й здоров'ю населення України.



## ЛІТЕРАТУРА

- Estrada-de Los Santos P., Palmer M., Chávez-Ramírez B. et al. Whole Genome Analyses Suggests that *Burkholderia* sensu lato Contains Two Additional Novel Genera (*Mycetohabitans* gen. nov. and *Trinickia* gen. nov.): Implications for the Evolution of Diazotrophy and Nodulation in the *Burkholderiaceae*. *Genes*. 2018. Vol. 9 (8). P. 389. DOI: <https://doi.org/10.3390/genes9080389/>.
- Tavares M., Kozak M., Balola A. and Sá-Correia I. *Burkholderia cepacia* Complex Bacteria: a Feared Contamination Risk in Water-Based Pharmaceutical Products. *Clinical microbiology reviews*. 2020. Vol. 33 (3). P. 00139-19. DOI: <https://doi.org/10.1128/CMR.00139-19/>.
- Dobritsa A.P. and Samadpour M. Reclassification of *Burkholderia insecticola* as *Caballeronia insecticola* comb. nov. and reliability of conserved signature indels as molecular synapomorphies. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*. 2019. Vol. 69 (7). P. 2057–2063. DOI: <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.003431>.
- Parte A.C., Sardà Carbasse J., Meier-Kolthoff J.P. et al. List of Prokaryotic names with Standing in Nomenclature (LPSN) moves to the DSMZ. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*. 2020. Vol. 70 (11). P. 5607–5612. DOI: <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.004332>.
- Liu B., Hou L., Zheng Y. et al. Dark carbon fixation in intertidal sediments: Controlling factors and driving microorganisms. *Water research*. 2022. Vol. 216. P. 118381. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118381>.
- Pagani M.K., Johnson T.B., Doughty H.B. et al. *Burkholderia* spp.-based biopesticide controls wireworms (*Coleoptera: Elateridae*) in potatoes. *Journal of economic entomology*. 2023. Vol. 116 (5). P. 1934–1938. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/toad146>.
- Європейська та Середземноморська організація з карантину і захисту рослин. URL: <https://gd.eppo.int>.
- Державна служби України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів. URL: <https://dpss.gov.ua>.
- Державний реєстр пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні. URL: <https://mepr.gov.ua/upravlinnya-vidhodamy/derzhavnyj-reyestr-pestytsydiv-i-agrohimiaktiv-dozvolenyh-dovykorystannya-v-ukrayini/>.
- Manna M., Park I. and Seo Y.S. Genomic Features and Insights into the Taxonomy, Virulence and Benevolence of Plant-Associated *Burkholderia* Species. *International journal of molecular sciences*. 2018. Vol. 20 (1). P. 121. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms20010121>.
- Ahmad T., Bashir A., Farooq S. and Riyaz-Ul-Hasan S. *Burkholderia gladioli* E39CS3, an endophyte of *Crocus sativus* Linn., induces host resistance against corm-rot caused by *Fusarium oxysporum*. *Journal of applied microbiology*. 2022. Vol. 132 (1). P. 495–508. DOI: <https://doi.org/10.1111/jam.15190>.
- Pal G., Saxena S., Kumar K. et al. Endophytic *Burkholderia*: Multifunctional roles in plant growth promotion and stress tolerance. *Microbiological research*. 2022. Vol. 265. P. 127201. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.127201>.
- Hnatyuk T. *Burkholderia caryophylli* — potentially dangerous patient of bacterial witness in floristry of Ukraine. *Biological Systems: Theory and Innovation*. 2022. Vol. 13 (1). P. 50–58. DOI: [https://doi.org/10.31548/biologiya13\(1-2\).2022.005](https://doi.org/10.31548/biologiya13(1-2).2022.005).
- Paudel S., Dutta B. and Kvitko B. Onion-pathogenic *Burkholderia* species: Role and regulation of characterized virulence determinants. *Plant Pathology*. 2024. P. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.1111/ppa.13972>.
- Bedir Demirdag T., Ozkaya Parlakay A., Aygar I.S. et al. Major Aspects of *Burkholderia gladioli* and *Burkholderia cepacia* Infections in Children. *The Pediatric infectious disease journal*. 2020. Vol. 39 (5). P. 374–378. DOI: <https://doi.org/10.1097/INF.0000000000002587>.
- Klymenko V.A., Pasichnyk O.V., Drobova N.M. and Yanovska K.O. Clinical observation of the child with cystic fibrosis. *Child's health*. 2017. Vol. 12 (5). P. 631–635. DOI: <https://doi.org/10.22141/2224-0551.12.5.2017.109282>.
- European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO). URL: [https://www.eppo.int/ACTIVITIES/quarantine\\_activities](https://www.eppo.int/ACTIVITIES/quarantine_activities).
- Konechnyi Y., Skurativskiy Y., Tymchuk I. et al. Microbiological profile of nosocomial infections. Proceedings of the Shevchenko Scientific Society. *Medical Sciences*. 2019. Vol. 55 (1). P. 56–64. DOI: <https://doi.org/10.25040/ntsh2019.01.05>.
- Zanotti C., Munari S., Brescia G. and Barion U. *Burkholderia gladioli* sinonasal infection. *European annals of otorhinolaryngology, head and neck diseases*. 2019. Vol. 136 (1). P. 55–56. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anorl.2018.01.011>.
- Marom A., Miron D., Wolach B. et al. *Burkholderia gladioli*-associated facial pustulosis as a first sign of chronic granulomatous disease in a child — Case report and review. *Pediatric Allergy and Immunology*. 2018. Vol. 29 (4). P. 451–453. DOI: <https://doi.org/10.1111/pai.12884>.
- Rajendraprasad S., Creech Z.A., Truong G.T.D. et al. Fatal Case of *Burkholderia gladioli* Pneumonia in a Patient With COVID-19. *Ochsner journal*. 2022. Vol. 22 (4). P. 349–352. DOI: <https://doi.org/10.31486/toj.22.0002>.
- BacDive is the worldwide largest database for standardized bacterial information. URL: <https://bacdive.dsmz.de>
- Lai C.C., Wang J.L. and Hsueh P.R. *Burkholderia gladioli* and bongkrekic acid: An under-recognized foodborne poisoning outbreak. *The Journal of infection*. 2024. Vol. 89 (1). P. 106182. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2024.106182>.
- Kim J.H., Lee B.M., Kang M.K. et al. Assessment of nematocidal and plant growth-promoting effects of *Burkholderia* sp. JB-2 in root-knot nematode-

- infested soil. *Frontiers in plant science*. 2023. Vol. 14. P. 1216031. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1216031>.
25. Zhang R., Ouyang J., Xu X. et al. Nematicidal Activity of *Burkholderia arboris* J211 Against Meloidogyne incognita on Tobacco. *Frontiers in microbiology*. 2022. Vol. 13. P. 915546. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.915546>.
  26. Cui G., Yin K., Lin N. et al. *Burkholderia gladioli* CGB10: A Novel Strain Biocontrolling the Sugarcane Smut Disease. *Microorganisms*. 2020. Vol. 8 (12). P. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms8121943>.
  27. Wang D., Luo W.Z., Zhang D.D. et al. Insights into the Biocontrol Function of a *Burkholderia gladioli* Strain against *Botrytis cinerea*. *Microbiology spect-rum*. 2023. Vol. 11 (2). P. 0480522. DOI: <https://doi.org/10.1128/spectrum.04805-22>.
  28. Elshafie H.S. and Camele I. An Overview of Metabolic Activity, Beneficial and Pathogenic Aspects of *Burkholderia* spp. *Metabolites*. 2021. Vol. 11 (5). P. 321. DOI: <https://doi.org/10.3390/metabo11050321>.
  29. Kim N., Mannaa M., Kim J. et al. The *In Vitro* and *In Planta* Interspecies Interactions Among Rice-Pathogenic *Burkholderia* Species. *Plant disease*. 2021. Vol. 105 (1). P. 134–143. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-20-1252-RE>.
  30. Tomar P., Thakur N., Jhamta S. et al. Bacterial biopesticides: Biodiversity, role in pest management and beneficial impact on agricultural and environmental sustainability. *Heliyon*. 2024. Vol. 10 (11). P. 31550. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31550>.

## REFERENCES

1. Estrada-de Los Santos, P., Palmer, M., Chávez-Ramírez, B. et al. (2018). Whole Genome Analyses Suggests that *Burkholderia sensu lato* Contains Two Additional Novel Genera (*Mycetohabitans* gen. nov. and *Trinickia* gen. nov.): Implications for the Evolution of Diazotrophy and Nodulation in the *Burkholderiaceae*. *Genes*, 9 (8), 389. DOI: <https://doi.org/10.3390/genes9080389/> [in English].
2. Tavares, M., Kozak, M., Balola, A. & Sá-Correia, I. (2020). *Burkholderia cepacia* Complex Bacteria: a Feared Contamination Risk in Water-Based Pharmaceutical Products. *Clinical microbiology reviews*, 33 (3), 00139-19. DOI: <https://doi.org/10.1128/CMR.00139-19/> [in English].
3. Dobritsa, A.P. & Samadpour, M. (2019). Reclassification of *Burkholderia insecticola* as *Caballeronia insecticola* comb. nov. and reliability of conserved signature indels as molecular synapomorphies. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 69 (7), 2057–2063. DOI: <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.003431> [in English].
4. Parte, A.C., Sardà Carbasse, J., Meier-Kolthoff, J.P. et al. (2020). List of Prokaryotic names with Standing in Nomenclature (LPSN) moves to the DSMZ. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 70 (11), 5607–5612. DOI: <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.004332> [in English].
5. Liu, B., Hou, L., Zheng, Y. et al. (2022). Dark carbon fixation in intertidal sediments: Controlling factors and driving microorganisms. *Water research*, 216, 118381. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118381> [in English].
6. Pagani, M.K., Johnson, T.B., Doughty, H.B. et al. (2023). *Burkholderia* spp.-based biopesticide controls wireworms (*Coleoptera: Elateridae*) in potatoes. *Journal of economic entomology*, 116 (5), 1934–1938. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/toad146> [in English].
7. Yevropeys'ka ta Seredzemnomors'ka orhanizatsiya z karantynu i zakhystu roslyn [European and Mediterranean Organization for Quarantine and Plant Protection]. (n.d.). URL: <https://gd.eppo.int> [in Ukrainian].
8. Derzhavna sluzhby Ukrainy z pytan' bezpechnosti kharchovykh produktiv ta zakhystu spozhyvachiv. [State Service of Ukraine on Food Safety and Consumer Protection]. (n.d.). URL: <https://dpss.gov.ua> [in Ukrainian].
9. Derzhavnyi reyestr pestytsydiv i ahrokhimikativ, dozvolenykh do vykorystannya v Ukraini [State register of pesticides and agrochemicals approved for use in Ukraine]. (n.d.). URL: <https://mepr.gov.ua/upravlinnya-vidhodamy/derzhavnyj-reyestr-pestytsydiv-i-agrokhimikativ-dozvolenykh-do-vykorystannya-v-ukraini/> [in Ukrainian].
10. Mannaa, M., Park, I. & Seo, Y.S. (2018). Genomic Features and Insights into the Taxonomy, Virulence, and Benevolence of Plant-Associated *Burkholderia* Species. *International journal of molecular sciences*, 20 (1), 121. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms20010121> [in English].
11. Ahmad, T., Bashir, A., Farooq, S. & Riyaz-Ul-Hasan, S. (2022). *Burkholderia gladioli* E39CS3, an endophyte of *Crocus sativus* Linn., induces host resistance against cork-rot caused by *Fusarium oxysporum*. *Journal of applied microbiology*, 132 (1), 495–508. DOI: <https://doi.org/10.1111/jam.15190> [in English].
12. Pal, G., Saxena, S., Kumar, K. et al. (2022). Endophytic *Burkholderia*: Multifunctional roles in plant growth promotion and stress tolerance. *Microbiological research*, 265, 127201. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.127201> [in English].
13. Hnatyuk, T. (2022). *Burkholderia caryophylli* — potentially dangerous patient of bacterial witness in floristry of Ukraine. *Biological Systems: Theory and Innovation*, 13 (1), 50–58. DOI: [https://doi.org/10.31548/biologiya13\(1-2\).2022.005](https://doi.org/10.31548/biologiya13(1-2).2022.005) [in Ukrainian].
14. Paudel, S., Dutta, B. & Kvitko, B. (2024). Onion-pathogenic *Burkholderia* species: Role and regulation of characterized virulence determinants. *Plant Pathology*, 1–17. DOI: <https://doi.org/10.1111/ppa.13972> [in English].
15. Bedir Demirdag, T., Ozkaya Parlakay, A., Aygar, I.S. et al. (2020). Major Aspects of *Burkholderia gladioli* and *Burkholderia cepacia* Infections in Children. The

- Pediatric infectious disease journal*, 39 (5), 374–378. DOI: <https://doi.org/10.1097/INF.0000000000002587> [in English].
16. Klymenko, V.A., Pasichnyk, O.V., Drobova, N.M. & Yanovska, K.O. (2017). Clinical observation of the child with cystic fibrosis. *Child's health*, 12 (5), 631–635. DOI: <https://doi.org/10.22141/2224-0551.12.5.2017.109282> [in Ukrainian].
  17. European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO). (n.d.). URL: [https://www.eppo.int/ACTIVITIES/quarantine\\_activities](https://www.eppo.int/ACTIVITIES/quarantine_activities) [in English].
  18. Konechnyi, Y., Skurativskiy, Y., Tymchuk, I. et al. (2019). Microbiological profile of nosocomial infections. Proceedings of the Shevchenko Scientific Society. *Medical Sciences*, 55 (1), 56–64. DOI: <https://doi.org/10.25040/ntsh2019.01.05> [in Ukrainian].
  19. Zanotti, C., Munari, S., Brescia, G. & Barion, U. (2019). *Burkholderia gladioli* sinonasal infection. *European annals of otorhinolaryngology, head and neck diseases*, 136 (1), 55–56. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anorl.2018.01.011> [in English].
  20. Marom, A., Miron, D., Wolach, B. et al. (2018). *Burkholderia gladioli*-associated facial pustulosis as a first sign of chronic granulomatous disease in a child — Case report and review. *Pediatric Allergy and Immunology*, 29 (4), 451–453. DOI: <https://doi.org/10.1111/pai.12884> [in English].
  21. Rajendraprasad, S., Creech, Z.A., Truong, G.T.D. et al. (2022). Fatal Case of *Burkholderia gladioli* Pneumonia in a Patient With COVID-19. *Ochsner journal*, 22 (4), 349–352. DOI: <https://doi.org/10.31486/toj.22.0002> [in English].
  22. BacDive is the worldwide largest database for standardized bacterial information. (n.d.). URL: <https://bacdive.dsmz.de> [in English].
  23. Lai, C.C., Wang, J.L. & Hsueh, P.R. (2024). *Burkholderia gladioli* and bongkrekic acid: An under-recognized foodborne poisoning outbreak. *The Journal of infection*, 89 (1), 106182. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2024.106182> [in English].
  24. Kim, J.H., Lee, B.M., Kang, M.K. et al. (2023). Assessment of nematocidal and plant growth-promoting effects of *Burkholderia* sp. JB-2 in root-knot nematode-infested soil. *Frontiers in plant science*, 14, 1216031. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1216031> [in English].
  25. Zhang, R., Ouyang, J., Xu, X. et al. (2022). Nematocidal Activity of *Burkholderia arboris* J211 Against *Meloidogyne incognita* on Tobacco. *Frontiers in microbiology*, 13, 915546. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.915546> [in English].
  26. Cui, G., Yin, K., Lin, N. et al. (2020). *Burkholderia gladioli* CGB10: A Novel Strain Biocontrolling the Sugarcane Smut Disease. *Microorganisms*, 8 (12), 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms8121943> [in English].
  27. Wang, D., Luo, W.Z., Zhang, D.D. et al. (2023). Insights into the Biocontrol Function of a *Burkholderia gladioli* Strain against *Botrytis cinerea*. *Microbiology spectrum*, 11 (2), 0480522. DOI: <https://doi.org/10.1128/spectrum.04805-22> [in English].
  28. Elshafie, H.S. & Camele, I. (2021). An Overview of Metabolic Activity, Beneficial and Pathogenic Aspects of *Burkholderia* spp. *Metabolites*, 11 (5), 321. DOI: <https://doi.org/10.3390/metabo11050321> [in English].
  29. Kim, N., Mannaa, M., Kim, J. et al. (2021). The *In Vitro* and *In Planta* Interspecies Interactions Among Rice-Pathogenic *Burkholderia* Species. *Plant disease*, 105 (1), 134–143. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-20-1252-RE> [in English].
  30. Tomar, P., Thakur, N., Jhamta, S. et al. (2024). Bacterial biopesticides: Biodiversity, role in pest management and beneficial impact on agricultural and environmental sustainability. *Heliyon*, 10 (11), 31550. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31550> [in English].

Стаття надійшла до редакції журналу 15.09.2024