

УДК 632.35:579.841.11:635.656

А. О. Трепач, кандидат сільськогосподарських наук,

ORCID: 0000-0002-0510-4277

М. Ф. Крупеник

ORCID: 0009-0000-5285-8189

Державна установа “Чернігівська фітосанітарна випробувальна лабораторія Держпродспоживслужби”; вул. Коцюбинського, м. Чернігів, 4114000, Україна;
a.trepach@karant.in.ua; m.krupenik@karant.in.ua

БАКТЕРІАЛЬНИЙ ОПІК ГОРОХУ: ФІТОСАНІТАРНІ РИЗИКИ ТА ДІАГНОСТИКА ХВОРОБИ

Мета. Проаналізувати та узагальнити інформацію літературних джерел з питань розповсюдження *Pseudomonas syringae pv. pisi* – збудника бактеріального опіку гороху, симптоматики хвороби, ризиків поширення та методів фітосанітарної діагностики патогена.

Методи. Аналіз, синтез, узагальнення. **Результати.** Обґрунтовано значення *P. syringae pv. pisi* як шкідливого організму, що призводить до втрат урожаю гороху посівного та деяких інших бобових культур. Зазначений патоген широко розповсюджений у багатьох регіонах планети, включно з Україною, внаслідок чого був виключений з переліку регульованих шкідливих організмів Європейської та Середземноморської організації з карантину та захисту рослин і сьогодні регулюється лише у декількох країнах світу. Оскільки *P. syringae pv. pisi* здатні поширюватися з безсимптомним інфікованим рослинним матеріалом, зокрема зерном, це створює фітосанітарні ризики, особливо актуальні, зважаючи на торгівельно-економічні зв'язки України з країнами, де цей патоген є регульованим. Тому для безперешкодного експорту сільськогосподарської продукції постає необхідність фітосанітарного моніторингу посівів гороху на наявність *P. syringae pv. pisi*. Однак, на разі не розроблено міжрегіонального діагностичного протоколу РМ для цього організму. Проте є достатньо наукових публікацій, які висвітлюють різнобічні дослідження цих бактерій, а також описані валідовані методи їх виявлення у насінні гороху. **Висновки.** *P. syringae pv. pisi* – фітопатогенні бактерії, які постійно в центрі уваги в країнах, де горох належить до основних сільськогосподарських культур. В Україні сьогодні суттєво зростає актуальність фітосанітарного моніторингу посівів гороху на бактеріальний опік, спричинений зазначеним патогеном, на тлі розширення торгівельної співпраці з КНР. Це потребує актуальної інформації щодо розвитку хвороби для проведення обстеження посівів та значної уваги до вибору методів виявлення збудника під час фітосанітарної експертизи.

бактеріальні хвороби гороху; бактеріальний опік; методи фітосанітарної

діагностики; *Pseudomonas syringae* pv. *pisi*; симптоми; фітосанітарний ризик

В контексті нещодавнього підписання Протоколу фітосанітарних вимог для експорту гороху з України до Китаю між Державною службою України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів та Генеральною митною адміністрацією Китайської Народної Республіки, важливий аспект фітосанітарного моніторингу посівів гороху – виявлення випадків ураження рослин бактеріальним опіком, спричиненим *Pseudomonas syringae* pv. *pisi*. Тому виникає необхідність поглибити та актуалізувати розуміння поширення цієї хвороби, її перебігу, заходів профілактики й боротьби з патогеном, а також особливостей фітосанітарного моніторингу посівів гороху та методів виявлення збудника хвороби в зразках.

Метою роботи було проаналізувати та узагальнити наявну в літературних джерелах інформацію щодо поширення *Pseudomonas syringae* pv. *pisi* – збудника бактеріального опіку гороху, симптомів та розвитку хвороби, а також методів фітосанітарної діагностики патогена.

Матеріали і методи. Шляхом аналізу літературних джерел, наявних у відкритому доступі, та узагальнення інформації, визначали сучасний стан вивчення питання поширення і розвитку бактеріального опіку гороху в Україні та світі, а також вибору методів виявлення та ідентифікації патогена, придатних до використання у фітосанітарній експертизі.

***Pseudomonas syringae*: загальний огляд виду**

Pseudomonas syringae – гетерогенний вид фітопатогенних бактерій, який складається з комплексу патоварів, що відрізняються за характеристиками патогенності щодо рослини-господаря. Всього відомо понад 60 патоварів, які мають відмінності в геномі, секреції білків вірулентності та специфічності до рослин-господарів [1; 2].

Загалом бактерії зазначеного виду поширені в усьому світі, включно з Україною, і спричиняють хвороби багатьох різних рослин – однодольних і дводольних, трав'янистих і деревних, плодкових, овочевих та декоративних. Причому серед них дуже велика кількість економічно важливих сільськогосподарських культур. Особливо шкодочинні – патовари, які інфікують плодови та декоративні дерева [3; 4]. Деякі з них є регульованими карантинними шкідниками з переліку А 2 Європейської та Середземноморської організації з карантину та захисту рослин (ЄОКЗР). Це *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*, що уражує рослини ківі, та *Pseudomonas syringae* pv. *persicae*, який інфікує персик, нектарин і сливу.

P. syringae – системний патоген, який поширюється судинами по всьому рослинному організму. Переноситься з насіннєвим та посадковим матеріалом, вітром, дощем, комахами, транспортними засобами та інструментами. Один з суттєвих фітосанітарних ризиків поширення цих бактерій – латентні інфекції, адже безсимптомними носіями можуть бути бур'яни та трави, деякі культурні рослини, які не є господарями для певного патовару [3; 4]. Цьому сприяє

ключова особливість життєвого циклу виду – здатність довгий час існувати на рослині як епіфіти, витримуючи дію несприятливих факторів середовища, завдяки синтезу захисної біоплівки з екзополісахаридів. За сприятливих умов вологості й температури швидкість розмноження бактерій зростає, вони переходять всередину рослини і запускається патогенний процес, що призводить до некрозу тканин та відмирання органів [5].

P. syringae – один з найбільш вивчених видів серед фітопатогенних бактерій. Основні стратегії вірулентності цього виду – пригнічення імунної системи рослини-господаря та колонізація міжклітинного простору у фітосфері рослин, щоб витримати конкуренцію за екологічну нішу [6; 7]. Вірулентність бактерій забезпечують джгутики, білки-ефектори, ферменти, екзополісахариди, резистентність до активних форм кисню, імітатори рослинних гормонів, фітотоксини. Розвитку захворювання сприяють поранення рослин, фактори середовища (рН ґрунту, надлишок поживних речовин, температура, вологість тощо), подвійні інфекції, наявність безсимптомних переносників. Захисну реакцію рослин на вторгнення, яка проявляється закриттям продихів, фітопатоген долає дією токсинів та ефекторних білків [4; 7].

Pseudomonas syringae pv. pisi – збудник бактеріального опіку гороху є типовим представником виду. Він вперше описаний у 1916 р. як *Pseudomonas pisi*. А з 1978 р. віднесений до виду *P. syringae* як окремий патовар [8]. За особливостями біохімічних характеристик виділяють 8 патогенних рас цих бактерій, які об'єднані у дві генетичні лінії [9–11]. Основний господар для *P. syringae pv. pisi* – горох посівний, також можливе інфікування вики, люцерни, чини, машу (вігни) [12].

Фітопатоген локалізується в усіх надземних органах рослини, включно з насінням. Бактерії можуть безперешкодно поширюватися з безсимптомними рослинами та насіннєвою продукцією. Головний шлях поширення – заражене насіння. Також бактерії здатні тривалий час зберігатися на поживних рештках гороху. Зокрема, на закопаних рештках – 29 тижнів, а на розкиданих по поверхні землі – щонайменше 78 тижнів. В одному з досліджень [13] наявність інфікованих поживних решток на полі призвела до значного ураження наступного посіву бактеріальним опіком гороху та втрати 25,0 % врожаю. Тому варто утриматися від повторних посівів гороху на тому ж полі протягом не менш ніж 2-х років.

Розповсюдження *P. syringae pv. pisi* на планеті

Випадки виявлення патогена зареєстровані у 70 країнах, розміщених на 5 континентах, причому в європейських країнах виявляли майже всі відомі раси цих бактерій. Така мінливість свідчить про багаторазове завезення бактерій з насінням з різних регіонів світу [10].

Патоген є місцевим видом для Центральної Америки (Коста Рика), звідки поширився по всьому світу. На сьогодні бактерії *P. syringae pv. pisi* повсюдно поширені у Франції, в окремих регіонах Болгарії, Греції, Угорщини, Італії, Молдови, Румунії, Великої Британії. Повідомлення

про виявлення надходили з Данії та Нідерландів, Ізраїлю, Німеччини, Лівану та Швейцарії. Також патовар поширений у США, Канаді, Австралії, окремих країнах Близького Сходу, Африки, Південної Америки [14–17].

Зараз у ЄОКЗР *P. syringae pv. pisi* не регулюється (виключений з переліку карантинних шкідників А 2 у 1999 р.). Відповідно, зацікавленість наукової спільноти ним дещо знизилася. Патовар регулюється в Китаї, Єгипті, Тунісі, Йорданії, Туреччині, Ірані, Ізраїлі, Чилі, Парагваї. Це пов'язано як з відсутністю повідомлень про виявлення, яке може свідчити про відсутність його на території, так і з карантинними ризиками, які виникають внаслідок завезення та поширення екзотичних штамів *P. syringae pv. pisi* з інших географічних ареалів [11; 16].

Як зазначено в Глобальній базі даних ЄОКЗР [16], *P. syringae pv. pisi* присутні в Україні, однак інформація датована 1992–93 рр. і відтоді не оновлювалася. Наукових публікацій щодо виявлення, поширення або дослідження властивостей *P. syringae pv. pisi* в Україні за останні 15 років нами не знайдено. На сьогодні цей фітопатоген у нашій країні не регулюється, тож актуальну інформацію щодо його наявності знайти вкрай складно. Однак, у разі збільшення посівних площ гороху, особливо у кліматичних зонах, сприятливих для розвитку патогена, існують фітосанітарні ризики спалаху бактеріального опіку гороху та його розповсюдження з інфікованим насінням. Тому Україна, як вагомий експортер на міжнародному ринку зерна, зобов'язалася знизити ці ризики, запровадивши фітосанітарний моніторинг посівів гороху, урожай яких планується експортувати до країн, де *P. syringae pv. pisi* є регульованим фітопатогеном.

Прояви бактеріального опіку на рослинах гороху

Як судинний патоген, бактерії *P. syringae pv. pisi*, потрапляючи у рослину через природні отвори та рани, мігрують по судинах та поступово колонізують всі органи господаря. Якщо рослина розвивається з насіння, зараженого патогеном, останній переміщується вгору по стеблу та досягає прилисків і листків, а пізніше – квітів, бобів і насіння. На початковій стадії розвитку хвороба проявляється локально – невеликими вологими ділянками, маслянистими плямами поблизу місця ураження [18; 19]. Поступово ці плями, просочені вологою, набувають віялоподібної форми та коричневого кольору (рис. 1). Також симптоми ураження проявляються й на інших частинах рослин, приміром, на бобах. У міру накопичення бактеріальної біомаси у судинах рослин та їх закупорення, навколишні тканини некротизуються. Глибокі ураження призводять до в'янення, відмирання пагонів та загибелі всієї рослини [18]. У посівах гороху бактеріальний опік проявляється у вигляді окремих осередків, які поступово розширюються.

У насінні гороху бактерії *P. syringae pv. pisi* локалізуються поблизу зародкових корінців та у просторі між насінневою оболонкою й ендоспермом, де утворюються літичні порожнини внаслідок некрозу тканин. Зовні таке насіння може бути вкрите вологими плямами, чорними або коричневими плямами, бактеріальними виділеннями, зморшками, а також знебарвлене [20].

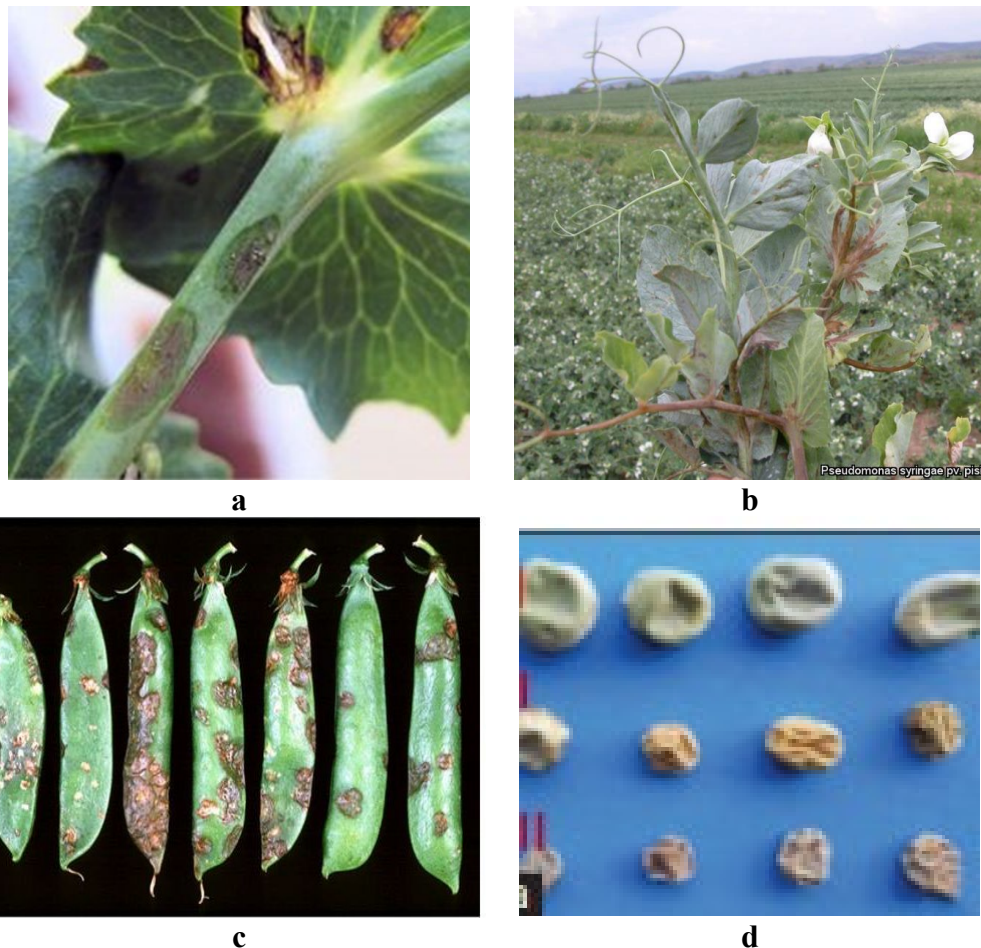


Рис. 1. Симптоми бактеріального опіку гороху:

a – на стеблі (фото Mary Burrows, Montana State University, Bugwood.org) [5]; b – на пагонах та листі [16]; c – на бобах [5]; d – на насінні гороху [20]

Шкодочинність фітопатогенних бактерій *P. syringae pv. pisi*

Економічні збитки від бактеріального опіку гороху спричинені зниженням врожайності культури. Їх розмір залежить від фази розвитку рослини, на якій відбулося інфікування, ступеня розвитку хвороби та її поширення в агроценозі. Так, за свідченнями дослідників [21], за штучного інфікування рослин гороху збудником бактеріального опіку на репродуктивній стадії розвитку втрати врожаю становили 24,0 %. Якщо інфекційний процес почався на вегетативній стадії (до фази цвітіння), врожайність знижувалася на 47,0 %. Застосування інокуляції патогеном в обидва зазначені періоди призводило до зниження врожайності культури на 71,0 %. При цьому втрати врожаю гороху від хвороби спричинені не тільки безпосередньо загибеллю рослин. Бактеріальний опік також призводить до опадання квітів, зменшення кількості стручків та кількості насінин у них, **зниження якості продукції. Так, схожість інфікованого насіння знижується до 57,77 % при 100 % у контролі [22]. Також патоген впливає на біохімічні показники зерна гороху – знижується вміст вуглеводів (на 4,46 %), сирої клітковини (на 1,01 %), сирого жиру (на 0,81 %), тоді як вміст сирого протеїну зростає (на 3,85 %) [23].**

Шкодочинність *P. syringae pv. pisi* не лише пряма – пов'язана з втратами аграрного сектору внаслідок зниження врожайності та якості продукції гороху. Також важливою для економіки є можливість експорту виробленого зерна в інші країни, яка зазнає обмежень, оскільки знижується конкурентоздатність продукції в контексті вимог щодо регулювання збудника бактеріального опіку гороху в КНР та деяких інших країнах.

Захист посівів гороху від *P. syringae pv. pisi*

Основна стратегія захисту посівів гороху від *P. syringae pv. pisi* – профілактичні заходи. Серед них – дотримання сівозмін, посів стійких сортів гороху, використання насіння, вільного від патогена, вирощування гороху у регіонах без екстремальної вологості та частих заморозків, дотримання більш пізніх строків сівби, засоби захисту рослин [10; 11; 24].

Один зі широко вживаних у світі засобів хімічного захисту – бактерициди, які містять мідь. Однак через розвиток резистентності фітопатогенів до цього металу та його токсичність при накопиченні у ґрунті, доводиться шукати альтернативні способи захисту рослин [24]. Дія сучасних захисних препаратів спрямована на зменшення вірулентності та рухливості бактерій шляхом пригнічення білків-ефекторів та регуляторів, відповідно [1; 2; 25].

Також вчені досліджували можливість активації захисних механізмів рослини, зокрема індукції стійкості до патогена. Для цього рослини гороху інокулювали бактеріями *P. syringae pv. pisi*, вбитими нагріванням та одночасно вводили живі бактерії. У результаті рослини набували стійкості до інфекції, рівень якої залежав від кількості застосованого інокулянту, тобто з'явилася системна набута резистентність до патогена [4; 26]. Продовженням стали дослідження можливості використання L-форми клітин *P. syringae pv. pisi* як агента біоконтролю бактеріального опіку гороху. Хоча вчені досягли мети у контрольованих умовах, відтворення подібних досліджень у полі не дало стабільних позитивних результатів. Через це подібні практики на сьогодні не отримали широкого застосування [27].

Діагностика бактеріального опіку гороху у фітосанітарному аналізі

Оскільки насіння гороху – основний спосіб поширення збудника бактеріального опіку, у літературних джерелах переважають дані з виявлення та ідентифікації *P. syringae pv. pisi* у насіннєвому матеріалі. Зокрема, існують міжнародні валідовані методи, які доцільно використовувати [28]. Однак, загалом приведені нижче діагностичні тести придатні до застосування й щодо ізолятів бактерій з вегетативної маси гороху.

Для ізоляції збудника зі зразка підходить класичний метод бактеріального посіву на живильні середовища. Одне з традиційних для представників роду *Pseudomonas* – середовище Кінга В, де можна спостерігати характерну ознаку – здатність бактерій продукувати флуоресцентні пігменти (рис. 2) [29]. Але, за твердженнями дослідників, не всі штами *P. syringae pv. pisi* демонструють таку реакцію [11; 28]. Тому на сьогодні для виділення цих

бактерій рекомендовані напівселективні середовища KBBCA та SNAC. На 4-ту добу культивування бактерії *P. syringae pv. pisi* на них мають характерний вигляд (рис. 3). Так на KBBCA утворюються напівпрозорі колонії кремового кольору. На SNAC проявляється властивість продукувати екзополісахарид леван, тому бачимо слизисті прозорі або білуваті колонії округлої куполоподібної форми. Крім того, деякі штами цих бактерій, культивовані на KBBCA, флуоресціюють блакитним світлом за дії ультрафіолетового випромінювання [28].

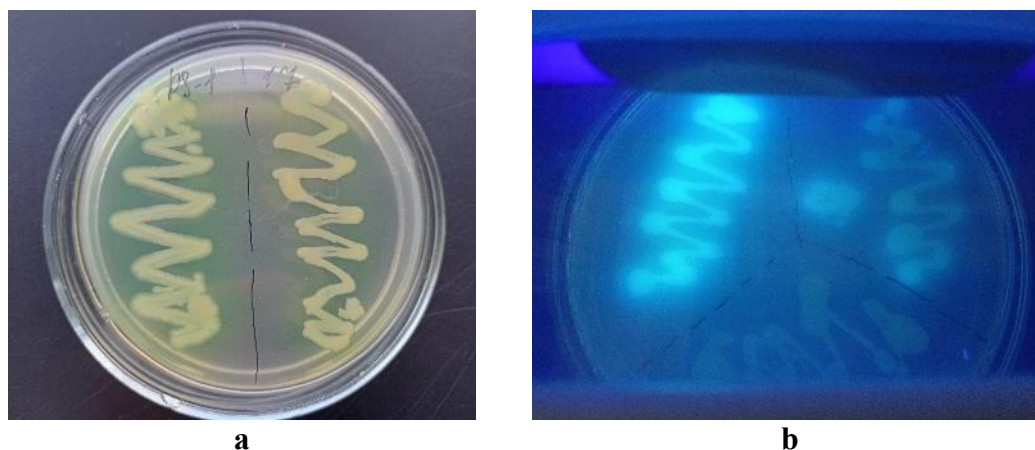


Рис. 2. Продукування флуоресцентних пігментів різними штамами бактерій *Pseudomonas sp.* на живильному середовищі Кінга В:

а – вигляд при денному світлі; б – під ультрафіолетовим випромінюванням (фото **авторів**)



Рис. 3. Типові колонії *P. syringae pv. pisi* на живильних середовищах:

а – на середовищі KBBCA; б – на середовищі SNAC [28]

Для біохімічної характеристики *P. syringae pv. pisi* також застосовують LOPAT-тест (L – продукування левану; O – продукування оксидази; P – пектинолітична активність; A – продукування аргінін-дигідролази; T – гіперчутливість рослин тютюну) [30]. Для *P. syringae pv. pisi* характерна схема реакції на LOPAT-тест: L +, O –, P –, A –, T + (рис. 4) [19; 31; 32].

Симптоми гіперчутливості на рослинах тютюну помітні вже за 24 години після інокуляції бактеріями (рис. 5). Ознаки патогенного процесу виникають на рослинах, які не є господарями для *P. syringae pv. pisi*, внаслідок дії бактеріальних генів *hgr*, які відповідають за гіперчутливість та патогенність. Наявність останніх – одна з характерних ознак патоварів *P. syringae* [19; 33].

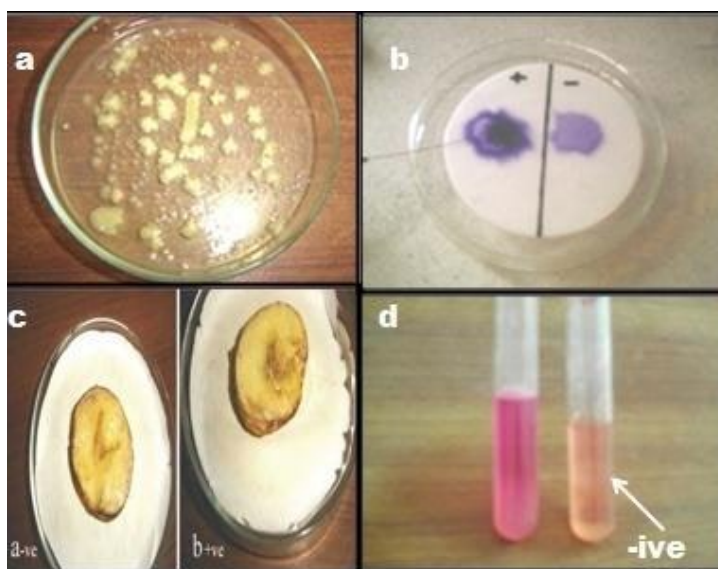


Рис. 4. Результати LOPAT-тесту *P. syringae pv. pisi*:

a – продукування левану наявне; b – оксидазна активність негативна; c – пектолітична активність негативна; d – продукування аргінін-дигідролази відсутнє [19]

Оскільки штами *P. syringae pv. pisi* можуть демонструвати різні реакції на загальноприйняті тести [11], бажано також проводити тест на патогенність на проростках рослин гороху сприйнятливих сортів, як от Kelvedon Wonder (див. рис. 5).

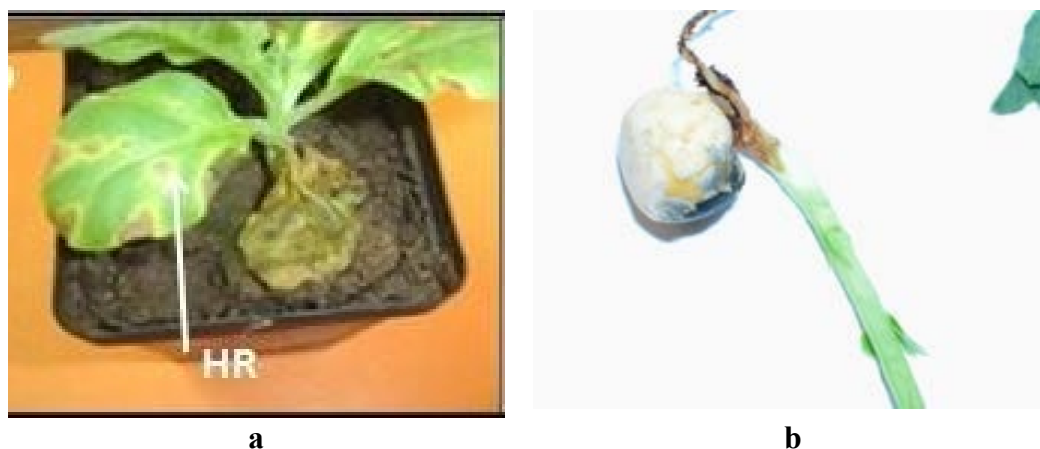


Рис. 5. Тест на патогенність *P. syringae pv. pisi*:

a – симптоми гіперчутливості рослин тютюну (HR) [19]; b – типові ураження рослин гороху сорту Kelvedon Wonder, інокульованих *P. syringae pv. pisi* [28]

Один з нюансів, який варто враховувати при проведенні бактеріологічної експертизи гороху – ця рослина є господарем, не тільки для *P. syringae pv. pisi*, але й для *P. syringae pv. syringae*, які спричиняють схожу симптоматику. Для їх розрізнення у літературі пропонують тест на гомосерин (*P. syringae pv. pisi* використовує його як єдине джерело вуглецю) та згаданий вище тест на патогенність на рослинах гороху сорту Kelvedon Wonder [10]. За іншими джерелами [34], розрізнити патовари *P. syringae* виключно за біохімічними ознаками неможливо. Тому очевидною є необхідність використання сучасних високочутливих ідентифікаційних тестів – імунофлюоресценції, імуноферментного аналізу, полімеразно-ланцюгової реакції для підтвердження попередньо отриманих результатів. Адже лише комплексний підхід у бактеріологічній експертизі насіння та рослин гороху на виявлення збудника бактеріального опіку є підставою для впевненого та обґрунтованого висновку про наявність патогена у зразку, подібно до того, як це регламентовано у міжнародних діагностичних протоколах РМ щодо інших регульованих шкідливих бактерій.

Висновки. *Pseudomonas syringae pv. pisi* – фітопатогенні бактерії, відомі та доволі добре вивчені у світі. Однак в Україні довгий час їм не приділяли достатньої уваги. Зниження ризиків поширення бактеріального опіку потребує комплексу фітосанітарних заходів, серед яких надважливими є фаховий та своєчасний моніторинг посівів культури – візуальне обстеження державними фітосанітарними інспекторами та фітосанітарний аналіз фахівцями-бактеріологами.

Фінансування: стаття має аналітичний характер.

Використання штучного інтелекту: автори підтверджують, що не використовували технології штучного інтелекту під час створення представленої роботи.

Конфлікт інтересів: автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Baltrus D. A., McCann H. C., Guttman D. S. Evolution, genomics and epidemiology of *Pseudomonas syringae*: Challenges in Bacterial Molecular Plant Pathology. Mol. Plant Pathol. 2016. V. 18. P. 52—168. <https://doi.org/10.1111/mpp.12506>
2. Almeida R. N. D., Greenberg M., Bundalovic-Torma C. et al. Predictive modeling of *Pseudomonas syringae* virulence on bean using gradient boosted decision trees. PLoS Pathog. 2022. V. 18. P. 1 —24. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1010716>
3. Lamichhane R., Varvaro L., Parisi L. et al. Disease and Frost Damage of Woody Plants Caused by *Pseudomonas syringae*: Seeing the Forest for the Trees. Advances in Agronomy. 2014. V. 126. Chapter Four. P. 235—295. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800132-5.00004-3>

4. Xiu-Fang Xin, Kvitko B., Sheng Yang He *Pseudomonas syringae*: what it takes to be a pathogen. *Nature Reviews Microbiology*. 2018. V. 16. P. 316—328. <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2018.17>
5. Dell'Olmo E., Tiberini A., Sigillo L. Leguminous Seedborne Pathogens: Seed Health and Sustainable Crop Management. *Plants*. 2023. V 12 (10). P. 1—42. <https://doi.org/10.3390/plants12102040/>
6. Ichinose Y., Taguchi F., Mukaihara T. Pathogenicity and virulence factors of *Pseudomonas syringae*. *J Gen Plant Pathol*. 2013. V. 79(5). P. 285—296. <https://doi.org/10.1007/s10327-013-0452-8>
7. Moore L. W., Pscheidt J. W. Diseases Caused by *Pseudomonas syringae*. / Adapted from L. W. Moore. *Pseudomonas syringae*: disease and ice nucleation activity. *Ornamentals Northwest Newsletter*. 1988. V. 12. P. 4—16. Режим доступа: <https://pnwhandbooks.org/plantdisease/pathogen-articles/pathogens-common-many-plants/bacteria-other-prokaryotes/diseases>
8. Young J. M., Dye D. W., Bradbury J. F. et al. A proposed nomenclature and classification for plant pathogenic bacteria. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 1978. V. 21(1). P. 153—177. <https://doi.org/10.1080/00288233.1978.10427397>
9. Bevan J. R., Taylor J. D., Crute I. R. et al. Genetics of specific resistance in pea (*Pisum sativum*) cultivars to seven races of *Pseudomonas syringae* pv. *pisi*. *Plant Pathology*. 1995. V. 44. P. 98—108. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1995.tb02721.x>
10. Martín-Sanz A., Palomo J. L., Pérez de la Vega M., Caminero C. Identification of pathovars and races of *Pseudomonas syringae*, the main causal agent of bacterial diseases in pea in North-Central Spain, and the search for resistance. *European Journal of Plant Pathology*. 2011. V. 129. P. 57—69. <https://doi.org/10.1007/s10658-010-9691-0>
11. Martín-Sanz A., Pérez de la Vega M., Murillo J., Caminero C. Genetic, biochemical and pathogenic diversity of *Pseudomonas syringae* pv. *pisi* strains. *Plant Pathology*. 2012. V. 61, I. 6. P. 1063—1072. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2012.02604.x>
12. *Pseudomonas syringae* pv. *pisi* (PSDMPI): Hosts. Режим доступа: <https://gd.eppo.int/taxon/PSDMPI/hosts>
13. Hollaway G. J., Bretag T. W. Survival of *Pseudomonas syringae* pv. *pisi* in soil and on pea trash and their importance as a source of inoculum for a following field pea crop. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 1997. V. 37(3). P. 369—375. <https://doi.org/10.1071/EA96095>
14. Hollaway G. J., Bretag T. W., Price T. V. The epidemiology and management of bacterial blight (*Pseudomonas syringae* pv. *pisi*) offield pea (*Pisum sativum*) in Australia: A review. *Aust. J. Agric. Res.* 2007. V. 58. P. 1086—1099. <https://doi.org/10.1071/AR06384>
15. Reeves J. C., Hutchins J. D., Simpkins S. A. The incidence of races of *Pseudomonas syringae* pv. *pisi* in UK pea (*Pisum sativum*) seed stocks, 1987—1994. *Plant Varieties and Seeds*. 1994.

V. 9. P. 1—8.

16. EPPO Distribution List for *Pseudomonas syringae* pv. *pisi*. Режим доступа: <https://gd.eppo.int/reporting/article-4638>

17. Mansfield P. J., Wilson D. W., Heath M. C., Saunders P. J. Development of pea bacterial blight caused by *Pseudomonas syringae* pv. *pisi* in winter and spring cultivars of combining peas (*Pisum sativum*) with different sowing dates. *Annals of applied Biology*. 2008. V. 131(2). P. 245—258. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1997.tb05154.x>

18. Benlioglu K., Özyılmaz Ü., Ertan D. First Report of Bacterial Blight Caused by *Pseudomonas syringae* pv. *pisi* on Pea in Turkey. *Plant Disease*. 2010. V. 94(7). P. 923—923. <https://doi.org/10.1094/PDIS-94-7-0923A>

19. Muhammad W. A., Muhammad U. R., Gulshan I. et al. Isolation and characterization of seedborne *Pseudomonas syringae* pv. *pisi* from pea (*Pisum sativum* L.). *Asian J Agri Biol*. 2015. V. 3(3). P. 78—83.

20. Verma A. K., Agrawal K. Location and histopathology of seed-borne bacterial pathogen *Pseudomonas syringae* pv. *pisi* carried by pea seeds. *J App Biol Biotech*. 2018. V. 6(1). P. 20—22. <https://doi.org/10.7324/JABB.2018.60104>

21. Roberts S. J. Effect of bacterial blight (*Pseudomonas syringae* pv. *pisi*) on the growth and yield of single pea (*Pisum sativum*) plants under glasshouse conditions. *Plant Pathology*. 1993. V. 42. P. 568—576.

22. Verma A. K., Meena L. M. Changes in pea seeds viability due to infection of bacterial pathogen *Pseudomonas syringae* pv. *pisi* causing bacterial blight of pea. *ISO 9001:2015 Certified Journal*. 2021. V. 10 (8). P. 997—1005. <https://doi.org/10.20959/wjpr20218-20866>

23. Nagar A., Verma A. K., Meena L. M. Effect of natural infection of bacterial pathogen *Pseudomonas syringae* pv. *pisi* on biochemical constituents of pea seeds. *International Journal of Research and Analytical Reviews*. 2017. V. 4 (4). P. 589—590.

24. Rabiey M., Roy S. R., Holtappels D. et al. Phage biocontrol to combat *Pseudomonas syringae* pathogens causing disease in cherry. *Microb Biotechnol*. 2020. V. 13 (5). P. 1428—1445. <https://doi: 10.1111/1751-7915.13585>

25. Huang Chunyan Yao, Yue Sun, Quanjiang Ji, Xin Deng Virulence-related regulatory network of *Pseudomonas syringae*. *Computational and Structural Biotechnology Journal*. 2022. V. 20. P. 6259—6270. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2022.11.011>

26. Akpa A. D., Archer S. A. Effect of heat-killed bacteria on the interaction of pea with *Pseudomonas syringae* pv. *pisi*. *Journal of Phytopathology*. 1991. V. 132. P. 237—244. <https://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0434.1993.tb01407.x>

27. Elvira-Recuenco M., van Vuurde J. W. L. Efficiency of procedures for induction and

cultivation of *Pseudomonas syringae* pv. *pisi* L-form. Microbiological Research. 2003. V. 158. I. 4. P. 271—279. <https://doi.org/10.1078/0944-5013-00205>

28. International Rules for Seed Testing. Validated Seed Health Testing Methods 7-029: Detection of *Pseudomonas syringae* pv. *pisi* in *Pisum sativum* (pea) seed. [Effective from 1 January 2024]. Verona, 2023. 11 p.

29. Cirvilleri G., Scuderi G., Catara V., Scortichini M. Typing of *Pseudomonas syringae* pv. *pisi* strains by fluorescent ALFP fingerprinting. J. Plant Pathol. 2007. V. 89(3). P. 421—425.

30. Lelliott R. A., Billing E., Hayward A. C. A determinative scheme for fluorescent plant pathogenic bacteria. J. Appl. Bacteriol. 1966. V. 29. P. 470—478.

31. Verma K. A., Arora P., Agrawal K. Incidence of bacterial blight pathogen *Pseudomonas syringae* pv. *pisi* in pea seeds grown in Rajasthan, India. Legume Research. 2016. V. 39(6). P. 1034—1037. <https://doi.org/10.18805/lr.v0iOF.8606>

32. Schaad N. W., Jones J. B., Chun W. Laboratory guide for the identification of plant pathogenic bacteria. 3 rd ed. St. Paul. Minn.: Am. Phytopathol. Soc., 2013. 312 p.

33. Senthil-Kumar M., Mysore K. S. Non host resistance against bacterial pathogens: retrospectives and prospects. Annu. Rev. Phytopathol. 2013. V. 51. P. 407—427. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082712-102319>

34. Malandrin L., Huard A., Samson R. Discriminant envelope protein profiles between *P. syringae* pv. *pisi* and *P. syringae* pv. *syringae*. FEMS Microbiology Letters. 1996. V. 141, I. 1. P. 11—17. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1996.tb08356.x>

A. Trepach, M. Krupenik

State institution "Chernigiv phytosanitary testing laboratory of the SSUFSCP",

41, Kotsiubynskoho str., Chernihiv, 14000, Ukraine

a.trepach@karant.in.ua; m.krupenik@karant.in.ua

BACTERIAL BLIGHT OF PEAS: PHYTOSANITARY RISKS AND DISEASE

DIAGNOSTICS

Objective. To analyze and summarize information from literary sources on the spread of *Pseudomonas syringae* pv. *pisi* – the causative agent of bacterial blight of peas, symptoms of the disease, risks of spread and methods of phytosanitary diagnostics of the pathogen. **Methods.** Analysis, synthesis, generalization. **Results.** The significance of *P. syringae* pv. *pisi* as a harmful organism leading to crop losses in field peas and some other legumes has been substantiated. This pathogen is widely distributed in many regions of the world, including Ukraine, as a result of which it was excluded from the list of regulated pests of the European and Mediterranean Plant Protection

Organization and is currently regulated only in a few countries around the world. Since *P. syringae pv. pisi* is capable of spreading with asymptomatic infected plant material, in particular grain, this creates phytosanitary risks, especially relevant given Ukraine's trade and economic ties with countries where this pathogen is regulated. Therefore, for the unhindered export of agricultural products, there is a need for phytosanitary monitoring of pea crops for the presence of *P. syringae pv. pisi*. However, no interregional diagnostic protocol PM has been developed for this organism. However, there are enough scientific publications that highlight the diverse studies of these bacteria, as well as the validated methods for their detection in pea seeds. **Conclusions.** *P. syringae pv. pisi* are phytopathogenic bacteria that are constantly in the spotlight in countries where peas are major crops. In Ukraine, the relevance of phytosanitary monitoring of pea crops for bacterial blight caused by the specified pathogen is significantly increasing today, against the backdrop of expanding trade cooperation with China. This requires up-to-date information on the development of the disease for conducting crop inspections and significant attention to the choice of pathogen detection methods during phytosanitary examination.

bacterial blight of peas, phytosanitary diagnostic methods, *Pseudomonas syringae pv. pisi*, symptoms, phytosanitary risk

REFERENCES

1. Baltrus D. A., McCann H. C., Guttman D. S. (2016). Evolution, genomics and epidemiology of *Pseudomonas syringae*: Challenges in Bacterial Molecular Plant Pathology. *Mol. Plant Pathol.* 18. 52—168. <https://doi.org/10.1111/mpp.12506>
2. Almeida R. N. D., Greenberg M., Bundalovic-Torma C., Martel A., Wang P. W., Middleton M. A., Guttman D. S. (2022). Predictive modeling of *Pseudomonas syringae* virulence on bean using gradient boosted decision trees. *PLoS Pathog.* 18. 1—24. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1010716>
3. Lamichhane R., Varvaro L., Parisi L., Audergon J.-M., Morris C. E. (2014). Disease and Frost Damage of Woody Plants Caused by *Pseudomonas syringae*: Seeing the Forest for the Trees. *Advances in Agronomy.* 126 (4). 235—295. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800132-5.00004-3>
4. Xiu-Fang Xin, Kvitko B., Sheng Yang He (2018). *Pseudomonas syringae*: what it takes to be a pathogen. *Nature Reviews Microbiology.* 16. 316—328. <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2018.17>
5. Dell'Olmo E., Tiberini A., Sigillo L. (2023). Leguminous Seedborne Pathogens: Seed Health and Sustainable Crop Management. *Plants.* 12 (10). 1—42. <https://doi:10.3390/plants12102040/>
6. Ichinose Y., Taguchi F., Mukaihara T. (2013) Pathogenicity and virulence factors of *Pseudomonas syringae*. *J Gen Plant Pathol.* 79 (5). 285—296. <https://doi.org/10.1007/s10327-013-0452-8>

7. Moore L. W., Pscheidt J. W. (1988). Diseases Caused by *Pseudomonas syringae*. / Adapted from L. W. Moore. *Pseudomonas syringae*: disease and ice nucleation activity. *Ornamentals Northwest Newsletter*. 12. 4—16. Режим доступа: <https://pnwhandbooks.org/plantdisease/pathogen-articles/pathogens-common-many-plants/bacteria-other-prokaryotes/diseases>
8. Young J. M., Dye D. W., Bradbury J. F., Panagopoulos C. G., Robbs C. F. (1978). A proposed nomenclature and classification for plant pathogenic bacteria. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 21(1). 153—177. <https://doi.org/10.1080/00288233.1978.10427397>
9. Bevan J. R., Taylor J. D., Crute I. R., Hunter P. J., Vivian A. (1995). Genetics of specific resistance in pea (*Pisum sativum*) cultivars to seven races of *Pseudomonas syringae* pv. *pisi*. *Plant Pathology*. 44. 98—108. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1995.tb02721.x>
10. Martín-Sanz A., Palomo J. L., Pérez de la Vega M., Caminero C. (2011). Identification of pathovars and races of *Pseudomonas syringae*, the main causal agent of bacterial diseases in pea in North-Central Spain, and the search for resistance. *European Journal of Plant Pathology*. 129. 57—69. <https://doi.org/10.1007/s10658-010-9691-0>
11. Martín-Sanz A., Pérez de la Vega M., Murillo J., Caminero C. (2012). Genetic, biochemical and pathogenic diversity of *Pseudomonas syringae* pv. *pisi* strains. *Plant Pathology*. 61(6). 1063—1072. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2012.02604.x>
12. *Pseudomonas syringae* pv. *pisi* (PSDMPI): Hosts. Режим доступа: <https://gd.eppo.int/taxon/PSDMPI/hosts>
13. Hollaway G. J., Bretag T. W. (1997). Survival of *Pseudomonas syringae* pv. *pisi* in soil and on pea trash and their importance as a source of inoculum for a following field pea crop. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 37(3). 369—375. <https://doi.org/10.1071/EA96095>
14. Hollaway G. J., Bretag T. W., Price T. V. (2007). The epidemiology and management of bacterial blight (*Pseudomonas syringae* pv. *pisi*) offield pea (*Pisum sativum*) in Australia: A review. *Aust. J. Agric. Res.* 58. 1086—1099. <https://doi.org/10.1071/AR06384>
15. Reeves J. C., Hutchins J. D., Simpkins S. A. (1994). The incidence of races of *Pseudomonas syringae* pv. *pisi* in UK pea (*Pisum sativum*) seed stocks, 1987–1994. *Plant Varieties and Seeds*. 9. 1—8.
16. EPPO Distribution List for *Pseudomonas syringae* pv. *pisi*. Режим доступа: <https://gd.eppo.int/reporting/article-4638>
17. Mansfield P. J., Wilson D. W., Heath M. C., Saunders P. J. (2008). Development of pea bacterial blight caused by *Pseudomonas syringae* pv. *pisi* in winter and spring cultivars of combining peas (*Pisum sativum*) with different sowing dates. *Annals of applied Biology*. 131(2). 245—258. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1997.tb05154.x>
18. Benlioglu K., Özyılmaz Ü., Ertan D. (2010). First Report of Bacterial Blight Caused by

Pseudomonas syringae pv. *pisi* on Pea in Turkey. Plant Disease. 94(7). 923—923.
<https://doi.org/10.1094/PDIS-94-7-0923A>

19. Muhammad W. A., Muhammad U. R., Gulshan I., Komal Z., Mehmood H., Farid A. S. (2015) Isolation and characterization of seedborne *Pseudomonas syringae* pv. *pisi* from pea (*Pisum sativum* L.). Asian J Agri Biol. 3(3). 78—83.

20. Verma A. K., Agrawal K. (2018). Location and histopathology of seed-borne bacterial pathogen *Pseudomonas syringae* pv. *pisi* carried by pea seeds. J App Biol Biotech. 6(1). 20—22.
<https://doi.org/10.7324/JABB.2018.60104>

21. Roberts S. J. (1993). Effect of bacterial blight (*Pseudomonas syringae* pv. *pisi*) on the growth and yield of single pea (*Pisum sativum*) plants under glasshouse conditions. Plant Pathology. 42. 568—576.

22. Verma A. K., Meena L. M. (2021). Changes in pea seeds viability due to infection of bacterial pathogen *Pseudomonas syringae* pv. *pisi* causing bacterial blight of pea. ISO 9001:2015 Certified Journal. 10(8). 997—1005. <https://doi.org/10.20959/wjpr20218-20866>

23. Nagar A., Verma A. K., Meena L. M. (2017). Effect of natural infection of bacterial pathogen *Pseudomonas syringae* pv. *pisi* on biochemical constituents of pea seeds. International Journal of Research and Analytical Reviews. 4(4). 589– 590.

24. Rabiey M., Roy S. R., Holtappels D., Franceschetti L., Quilty B. J., Creeth R., Jackson R. W. (2020). Phage biocontrol to combat *Pseudomonas syringae* pathogens causing disease in cherry. Microb Biotechnol. 13 (5). 1428—1445. <https://doi:10.1111/1751-7915.13585>

25. Huang Chunyan Yao, Yue Sun, Quanjiang Ji, Xin Deng (2022). Virulence-related regulatory network of *Pseudomonas syringae*. Computational and Structural Biotechnology Journal. 20. 6259—6270. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2022.11.011>

26. Akpa A. D., Archer S. A. (1991). Effect of heat-killed bacteria on the interaction of pea with *Pseudomonas syringae* pv. *pisi*. Journal of Phytopathology. 132. 237—244.
<https://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0434.1993.tb01407.x>

27. Elvira-Recuenco M., van Vuurde J. W. L. (2003). Efficiency of procedures for induction and cultivation of *Pseudomonas syringae* pv. *pisi* L-form. Microbiological Research. 158(4) 271—279. <https://doi.org/10.1078/0944-5013-00205>

28. International Rules for Seed Testing. (2023). Validated Seed Health Testing Methods 7-029: Detection of *Pseudomonas syringae* pv. *pisi* in *Pisum sativum* (pea) seed. [Effective from 1 January 2024].

29. Cirvilleri G., Scuderi G., Catara V., Scortichini M. (2007). Typing of *Pseudomonas syringae* pv. *pisi* strains by fluorescent ALFP fingerprinting. J. Plant Pathol. 89(3). 421—425.

30. Lelliott R. A., Billing E., Hayward A. C. (1966). A determinative scheme for fluorescent plant pathogenic bacteria. *J. Appl. Bacteriol.* 29. 470—478.
31. Verma K. A., Arora P., Agrawal K. (2016). Incidence of bacterial blight pathogen *Pseudomonas syringae* *pv.* *pisi* in pea seeds grown in Rajasthan, India. *Legume Research.* 39(6). 1034—1037. <https://doi.org/10.18805/lr.v0iOF.8606>
32. Schaad N. W., Jones J. B., Chun W. (2013). Laboratory guide for the identification of plant pathogenic bacteria. 3 rd ed. St. Paul. Minn.: Am. Phytopathol. Soc. 312 p.
33. Senthil-Kumar M., Mysore K. S. (2013). Non host resistance against bacterial pathogens: retrospectives and prospects. *Annu. Rev. Phytopathol.* 51. 407—427. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082712-102319>
34. Malandrin L., Huard A., Samson R. (1996). Discriminant envelope protein profiles between *P. syringae* *pv.* *pisi* and *P. syringae* *pv.* *syringae*. *FEMS Microbiology Letters.* 141(1). 11—17. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1996.tb08356.x>