

УДК 632.3:635.8

© 2021

БАКТЕРІАЛЬНА ВИРАЗКА — НЕБЕЗПЕЧНА ХВОРОБА КАШТАНА КІНСЬКОГО В ЄВРОПІ

Л.М. Буценко

доктор біологічних наук

Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України

вул. Заболотного, 154, м. Київ, 03143, Україна

e-mail: plant_path@ukr.net

ORCID: 0000-0002-3575-4289

Надійшла 14.08.2021

Мета. Проаналізувати й узагальнити дані шкодочинності, способів поширення, ідентифікації та методів контролю збудника бактеріальної виразки каштана кінського *Pseudomonas syringae* pv. *aesculi* (Young, Bradbury, Davis, Dickey, Ergolani, Hayward & Vidaver 1991a) та спрогнозувати можливість інтродукції цього виду в Україні. **Методи.** Загальнонаукові (узагальнення, порівняння, системний аналіз), польові (візуальне обстеження вуличних насаджень каштана кінського). **Результати.** Збудник *P. syringae* pv. *aesculi* потрапив до Європи з Індії та в результаті адаптації до кліматичних умов європейського континенту набув підвищеної агресивності. Основним симптомом ураження є мокнучий некроз на стовбурі та основних гілках. Уражені цим збудником дерева каштана кінського часто гинуть упродовж 3–4-х років. Ідентифікацію збудника можна здійснити способом ампліфікації та секвенування гена *gus B*. Поширений у Європі й Україні шкідник каштанів — каштанова мінуюча міль, призводить до більшого ураження дерев бактеріальною виразкою, але можливість шкідника бути вектором *P. syringae* pv. *aesculi* не підтверджено. Джерелом інфікування можуть бути епіфітні популяції збудника, які є на листі та корі дерев каштана кінського. У м. Києві серед вуличних насаджень каштана кінського трапляються дерева із типовими для бактеріальної виразки ураженнями стовбура. Для підтвердження наявності збудника на території України слід провести моніторинг насаджень каштана кінського в різних областях і лабораторного підтвердження ідентифікації збудника. З метою запобігання поширенню збудника потрібно застосовувати профілактичні заходи. **Висновки.** Фітопатогенні бактерії *P. syringae* pv. *aesculi* спричинюють ураження каштана кінського в усіх європейських країнах. Статус збудника для України наразі не визначено. Перспективним методом контролю збудника є інтродукція стійких до *P. syringae* pv. *aesculi* форм каштана кінського.

Ключові слова: *Pseudomonas syringae* pv. *aesculi*, бактеріоз, симптоми, поширення, шкодочинність, контроль збудника.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agroviznyk202110-05>

Нині в усьому світі зростає шкодочинність збудників бактеріальних хвороб, зумовлена появою нових патогенів і швидким

розширенням їхніх ареалів [1, 2]. Тому потрібно не тільки виявляти збудників хвороб у межах України, а й аналізувати

фітосанітарний стан сусідніх країн. Саме виходячи з аналізу поширених у сусідніх країнах збудників хвороб слід формувати список карантинних (відсутніх у нашій країні) збудників, на їхню наявність перевіряти рослини, які перевозять через кордон України. Одним із таких збудників є *Pseudomonas syringae* pv. *aesculi* (Young, Bradbury, Davis, Dickey, Ercolani, Hayward & Vidaver 1991a) — збудник виразки каштана кінського (*Aesculus hippocastanum*). Наразі про поширення цієї хвороби повідомили більшість країн Європи: Бельгія, Чехія, Франція, Німеччина, Угорщина, Ірландія, Нідерланди, Норвегія, Словенія, Швейцарія та Велика Британія [3–7]. Повідомлялось і про значне поширення хвороби у насадженнях каштана кінського у Краснодарському краї та республіці Адигея Російської Федерації [8].

Мета досліджень — аналіз й узагальнення даних щодо шкодочинності, способів поширення, методів ідентифікації та контролю збудника бактеріальної виразки *P. syringae* pv. *aesculi* каштана кінського та прогнозування можливості інтродукції фітопатогенних бактерій цього виду в Україні.

Матеріали та методи досліджень. Матеріалами аналітичного дослідження були дані фітосанітарних служб різних країн, Європейської та середземноморської організації з карантину і захисту рослин та наукової літератури.

Для виявлення типових для бактеріальної виразки симптомів ураження здійснювали візуальний огляд вуличних насаджень каштанів на окремих локаціях у Святошинському та Шевченківському районах м. Києва.

Результати досліджень. Історія виявлення і поширення хвороби. Вперше бактеріальну виразку каштана кінського (bleeding canker of horse chestnut) було виявлено у Франції в 2001 р. у м. Рубе, а потім і в інших районах регіону Нор — Па-де-Кале (Вільнев-д'Аск, Лілль, Туркуен, Мон-ан-Баруль, Лесквін, Нордпін) [9]. Починаючи з 2003 р., значно збільшилася кількість уражених бактеріальною виразкою дерев у Великій Британії [6]. Переважно ураження каштана кінського було ідентифіковано саме збудником *P. syringae* pv. *aesculi*. Від 2000 р. кількість повідомлень про

виявлення в країнах ЄС *P. syringae* pv. *aesculi* зростає і нині це вже епіфітотія [3–5, 10].

У 2009 р. збудник бактеріальної виразки каштана кінського було включено до Сигнального списку Європейської та середземноморської організації з карантину і захисту рослин (Alert List) [9]. Однак у 2014 р. цей збудник було виключено зі списку, зважаючи на значне поширення патогену в країнах Європи та відсутність загрози завезення цього збудника до ЄС з інших країн.

Хоча більшість повідомлень про виявлення бактеріальної виразки каштана кінського наразі надходить з країн Європи, дослідники вважають, що країною походження патогену є Індія [6, 11] та наголошують, що до активного поширення нового збудника на Європейському континенті призвела зміна кліматичних умов і насамперед теплі вологі зимові періоди. Потрібно зазначити, що в Індії *P. syringae* pv. *aesculi* спричинював ураження індійського каштана (*Aesculus indica*) та характеризувався як слабоагресивний, а хвороба не мала економічного значення [9].

Симптоми. Типовим симптомом бактеріальної виразки каштана кінського є поява на стовбурі дерева мокнучої ділянки, з якої виділяється іржаво-червоний, коричневий або чорний бактеріальний ексудат [9]. Такі ураження виникають біля основи дерева або на стовбурі на висоті приблизно 1 м. Кількість ексудату збільшується особливо восени і навесні. В сухий спекотний сезон його виділення може припинитися, після висихання ексудат утворює на стовбурі темну крихку кірку. Мокнучі виразки, крім стовбура, виявляють також на основних гілках дерева. Кора на стовбурі та гілках може розтріскуватися (рисунок).

За ураження *P. syringae* pv. *aesculi* крона дерев стає рідкою, листя дрібним і світлішого кольору.

У місцях появи виразок на корі спостерігається також ураження флоєми дерева. Після відшарування кори уражена тканина деревини має мармуровий темно-коричневий до червонуватого колір й істотно відрізняється від здорової, світлої деревини каштана. У зону камбію збудник проникає після повного некрозу кори на останніх

стадіях розвитку хвороби [8]. З часом некроз кори, зумовлений *P. syringae* pv. *aesculi*, повністю опоясує стовбур і перешкоджає постачанню вологи до крони, що призводить до загибелі дерева.

Симптоми ураження *P. syringae* pv. *aesculi* подібні до уражень мінуючою міллю, яка є перманентним шкідником усіх насаджень каштана кінського. Деякі дослідники вважають мінуючу міль переносником *P. syringae* pv. *aesculi* [8].

У м. Києві серед вуличних насаджень каштана кінського трапляються дерева з типовими для бактеріальної виразки враженнями стовбура. Для підтвердження наявності збудника на території України слід провести моніторинг насаджень каштана кінського в різних областях і лабораторно підтвердити ідентифікацію збудника.

Шкодочинність. Бактеріальна виразка каштана кінського є агресивною і шкідливою хворобою каштана кінського на Європейському континенті. Внаслідок ураження *P. syringae* pv. *aesculi* каштанові дерева гинуть упродовж 3–4-х років [9]. Як і в багатьох випадках хвороб дерев, справжньою



Симптоми ураження стовбура каштана кінського збудником *P. syringae* pv. *aesculi*

причиною загибелі дерева є захисні реакції рослини. Щоб запобігти поширенню збудника рослини каштана кінського утворюють велику кількість тилоз, які блокують ксилему дерева і таким чином спричинюють його голодування [9, 12].

Крім каштана кінського збудник уражує *A. carnea*, *A. flava*, *A. pavia*.

Характеристика збудника. Збудник виразки каштана кінського *P. syringae* pv. *aesculi* Young et al. 1991a належить до найбільш поширеного і важливого з економічного погляду фітопатогенного виду *P. syringae* [13]. Однак цей патогар є одним із найменш вивчених представників *P. syringae*. Збудник бактеріальної виразки каштана кінського — це грамнегативні неспороутворювальні бактерії, які утворюють флуоресцентний пігмент на середовищі Кінга В. Вони утворюють леван на поживному середовищі з сахарозою, є оксидазонегативними, не мають пектатліази та аргеніндігідролази, спричинюють реакцію надчутливості на листках тютюну (LOPAT + - - - +) [6].

Послідовність нуклеїнових кислот гена *gyr B* штамів *P. syringae* pv. *aesculi*, які ізолювані у Європі, є ідентичною послідовності *P. syringae* pv. *aesculi* (NCPBV3681), виділеного з листя *A. indica* в Індії, та штаму *P. syringae*, виділеного від симптомів плямистості листя на *A. indica* у Сурреї (Велика Британія) у 2005 р. [6]. Це підтверджує думку про проникнення збудника до Європи з Індії.

Збудник розмножується за температури від -4°C до 35°C , оптимальною є температура 25°C [14], що свідчить про його здатність адаптуватися в кліматичних зонах України.

Особливістю, що відрізняє *P. syringae* pv. *aesculi* від інших патогарів, які уражують деревні культури (*P. syringae* pv. *syringae* та *P. syringae* pv. *morsprunorum*), є здатність уражувати саме тверді частини дерева (стовбур, основні гілки). Водночас *P. syringae* pv. *syringae* й *P. syringae* pv. *morsprunorum* уражують м'які частини: листя, молоді пагони, плоди [15].

Методи виділення та ідентифікація збудника. Виділення збудника виразки каштана кінського можна здійснити із ураженої тканини на межі зі здоровою деревиною

способом висіву на різні поживні середовища [6].

Для ідентифікації збудника використовують ампліфікацію та секвенування гена *gus B* [16, 17]. Ампліфікацію області гірази В проводять з праймерами: G1 (5'-GACCTACGTGCATGGTGTTC-3') і G2 (5'-TCAGGTTACGCGTCAATGCG-3'). У результаті ампліфікації ДНК штамів *P. syringae* pv. *aesculi* з цими праймерами утворюється єдиний продукт розміром 500 п.н. Бактерії інших видів не утворюють продуктів ампліфікації з цими праймерами або утворюють кілька продуктів різного розміру, про що свідчить наявність багатьох розсіяних полос на електрофореграмі продуктів ампліфікації. *P. fluorescens* утворює сильну смугу довжиною приблизно 800 п.н., з додатковою слабкою смугою. Штами інших патоварів *P. syringae* утворювали слабку смугу в положенні 500 п.н. і часто інші смуги різного розміру. Для підтвердження ідентифікації продукти ПЛР з праймерами G1 і G2 можуть бути очищені і секвеновані та порівняні із задепонованими у GenBank (<http://генероол.bio.ed.ac.uk>) послідовностями гена гірази В *P. syringae* pv. *aesculi* [14].

Джерела інфекції. Нині епідеміологія захворювання залишається недостатньо вивченою. *P. syringae* можна було виділити з поверхонь листя та гілок каштана кінського, а також на квітках і різних частинах плодів. Також бактерії були виявлені у дощовій воді поблизу хворих дерев, що стало підставою для твердження про важливу роль води у перенесенні інфекції [9]. Ймовірно, хвороба може поширюватися з інфікованими саджанцями з розплідників [4].

Вважають, що бактерії здатні проникати в рослини через пошкодження та природні отвори. Чи комахи є переносниками збудника достатніх даних немає. Так само потребує дослідження господарська діяльність людини у поширенні збудника.

За даними [14], *P. syringae* pv. *aesculi* може розмножуватися на деревах *A. hippocastanum* та *A. indica* як епіфіт. Саме такі великі епіфітні популяції збудника провокують виникнення хвороби та поширюють збудник для патоварів *P. syringae*.

Хоча досі не було підтверджено значення одного із найпоширеніших шкідників

(каштанової мінуючої молі) у перенесенні *P. syringae* pv. *aesculi*, дослідниками встановлено, що за наявності мінуючої молі значно збільшуються пошкодження дерев, спричинені збудником бактеріальної виразки [18]. Можливою причиною такої синергічної дії є зниження фотосинтетичної продуктивності внаслідок дефоліації, яка спричинена міллю. Це призводить до пригнічення активності двох ключових ферментів антибактеріального захисту рослин каштана кінського: β -1,3-глюконази і пероксидази [18].

Запобігання поширенню та контроль збудника. Враховуючи значну загибель дерев, яку вже спостерігали в північно-західній Європі, бажано запобігти подальшому поширенню *P. syringae* pv. *aesculi*, оскільки цей збудник становить основну загрозу для міських дерев, лісових масивів і розплідників.

Однак можна вживати профілактичних заходів для запобігання поширенню хвороби, наприклад, максимально уникати обрізки, обладнання для обрізки слід дезінфікувати, хворий рослинний матеріал слід транспортувати в закритих контейнерах, спалювати або ретельно компостувати.

P. syringae pv. *aesculi* включено до переліку карантинних шкідників і збудників хвороб у Туреччині (2016 р.) та Канаді (2019 р.).

Нині в Україні немає повідомлень про виявлення цього збудника. Однак це може свідчити не лише про його відсутність на території нашої країни, а й про недостатню увагу до фітосанітарного обстеження насаджень каштана кінського і, особливо, до лабораторного підтвердження виявлення збудника. Кліматичні умови України не відрізняються від умов багатьох європейських країн, де поширення збудника бактеріальної виразки каштана кінського має характер епіфітотії. Крім того, про наявність збудника повідомляють сусідні країни, що свідчить про високу ймовірність проникнення *P. syringae* pv. *aesculi* в Україну. Водночас цього збудника немає у Переліку регульованих шкідливих організмів, який затверджено Наказом № 716 Міністерства аграрної політики України від 29.11.2006 (зі змінами, внесеними згідно з Наказами Міністерства аграрної політики № 467 від 04.08.2010, № 397 від 16.07.2019) (<https://zakon.rada.gov.ua/>

laws/show/z1300-06#Text). Отже, контролю за ввезенням цього збудника на територію України немає. Враховуючи повідомлення про масову загибель дерев каштана кінського, зумовлену *P. syringae* pv. *aesculi* у європейських країнах, потрібно запобігти поширенню цього збудника у насадженнях каштана в містах, парках і лісах України.

Методи контролю збудника. Зважаючи на те, що після проникнення у луб дерева збудник стає недосяжним до використуваних ззовні препаратів хімічного захисту, застосування більшості пестицидів після виявлення ознак ураження дерева є не ефективним. Як альтернативний метод лікування уражених збудником бактеріальної виразки саджанців каштана кінського було запропоновано теплову обробку каштана кінського [19]. Метод передбачає витримку саджанців за температури 39°C упродовж 2-х діб. За таких умов *P. syringae* pv. *aesculi* стають неактивними. Термотерапія добре

переносилася *A. hippocastanum* [19].

Також значних успіхів у контролі над збудником бактеріальної виразки каштана кінського досягнуто за використанням фагів *P. syringae* pv. *aesculi* [12].

Перспективним є отримання сортів каштана кінського — стійкого до *P. syringae* pv. *aesculi*, адже у літературі є повідомлення про існування в природних популяціях рослин цього виду зі стійкістю до збудника бактеріальної виразки [20].

Достатньо високу ефективність у контролі збудника бактеріальної виразки каштана кінського мають фосфіт калію і фосфіт кремнію [21].

Природним захисним бар'єром дерев каштана кінського від *P. syringae* pv. *aesculi* є епіфітна мікробіота [22]. Саме наявність різноманітної мікробіоти може бути вирішальним чинником як первинного інфікування, так і тяжких уражень каштана кінського.

Висновки

Збудник *P. syringae* pv. *aesculi* спричиняє ураження каштана кінського в усіх європейських країнах і має високу ступінь імовірності проникнення й акліматизації в Україні. Статус збудника для України наразі не визначено. Основним симптомом ураження є мокнучий некроз на стовбурі та основних гілках. Збудник спричинює економічну та соціальну шкоду. Уражені *P. syringae* pv. *aesculi* дерева каштана кінського часто гинуть упродовж 3–4-х років. Ідентифікація збудника може бути

здійснена способом ампліфікації та секвенування гена *gug B*. Підтвердження наявності збудника на території України потребує проведення моніторингу насаджень каштана в різних областях і лабораторної ідентифікації збудника. З метою запобігання поширенню збудника необхідно вживати профілактичні заходи. Перспективним методом контролю збудника є інтродукція стійких до *P. syringae* pv. *aesculi* форм каштана кінського.

Butsenko L.

Institute of Microbiology and Virology named after D.K. Zabolotnyi of NAS of Ukraine, 154 Zabolotnoho Str., Kyiv, 03143, Ukraine; e-mail: plant_path@ukr.net; ORCID: 0000-0002-3575-4289

Bacterial ulcer — a dangerous disease of horse chestnut in Europe

Goal. To analyze and summarize the data of harmfulness, methods of distribution, identification, and methods of control of the causative agent of bacterial ulcer of horse chestnut *Pseudomonas*

syringae pv. *aesculi* (Young, Bradbury, Davis, Dickey, Ercolani, Hayward & Vidaver 1991a) and predict the possibility of introduction of this species in Ukraine. **Methods.** General scientific — for generalization, comparison, and system analysis; field — for visual inspection of street horse chestnut plantations. **Results.** The causative agent of *P. syringae* pv. *aesculi* came to Europe from India and as a result of adaptation to the climatic conditions of the European continent became more aggressive. The main symptom of the lesion is weeping necrosis on the trunk and main branches. Horse chestnut

trees affected by this pathogen often die within 3–4 years. Identification of the pathogen can be done by amplification and sequencing of the *gyr B* gene. A common pest of chestnuts in Europe and Ukraine — chestnut moth, leads to greater damage to trees by bacterial ulcers, but the possibility of the pest to be a vector of *P. syringae* pv. *aesculi* not confirmed. The source of infection can be epiphytic populations of the pathogen, which are on the leaves and bark of horse chestnut trees. In Kyiv, among the street plantations of horse chestnut, there are trees with typical for bacterial ulcers lesions of the trunk. To confirm the presence of the pathogen in Ukraine, it is necessary to monitor horse chestnut plantations

in different areas and laboratory confirmation of the pathogen identification. Preventive measures should be taken to prevent the spread of the pathogen. **Conclusions.** Phytopathogenic bacteria *P. syringae* pv. *aesculi* affect horse chestnut in all European countries. The status of the pathogen for Ukraine has not been determined yet. A promising method of pathogen control is the introduction of resistant to *P. syringae* pv. *aesculi* forms of horse chestnut.

Ke ywords: *Pseudomonas syringae* pv. *aesculi*, bacteriosis, symptoms, spread, harmfulness, control of the pathogen.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202110-05>

Бібліографія

1. Sundin G.W., Castiblanco L.F., Yuan X. et al. Bacterial disease management: challenges, experience, innovation and future prospects: Challenges in Bacterial Molecular Plant Pathology. *Mol Plant Pathol.* 2016. V.17. Is. 9. P. 1506–1518. doi: 10.1111/mp.12436
2. Newberry E.A., Babu B., Roberts P.D. et al. Molecular Epidemiology of *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* Causing Bacterial Leaf Spot of Watermelon and Squash in Florida. *Plant Disease.* 2018. V. 102. Is. 3. P. 511–518. doi: 10.1094/PDIS-07-17-1002-RE
3. Meyer J.B., Brunner M., Rigling D. First report of *Pseudomonas syringae* pv. *aesculi* on horse chestnut in Switzerland. *New Disease Reports* 2016. V. 33. P. 19. doi: 10.5197/j.2044-0588.2016.033.019
4. Pirc M., Dreo T., Jurc D. First Report of *Pseudomonas syringae* pv. *aesculi* as the Causal Agent of Bleeding Canker of Horse Chestnut in Slovenia. *Plant Disease.* 2018. V. 102. Is. 10. P. 2025. doi: 10.1094/PDIS-12-17-1868-PDN
5. Perminow J.I.S., Brurberg M.B., Sletten A., Talg V. *Pseudomonas syringae* pv. *aesculi* Detected on Horse Chestnut in Norway. *Plant Health Progress.* 2014. V. 15. Is. 2. P. 1–62. doi: 10.1094/PHP-RS-13-0112
6. Webber J.F., Parkinson N.M., Rose J. et al. Isolation and identification of *Pseudomonas syringae* pv. *aesculi* causing bleeding canker of horse chestnut in the UK. *Plant Pathology.* 2008. V. 57. P. 368–378. doi: 10.1111/j.1365-3059.2007.01754.x
7. Mertelik J., Kloudova K., Pankova I. et al. Occurrence of horse chestnut bleeding canker caused by *Pseudomonas syringae* pv. *aesculi* in the Czech Republic. *For. Path.* 2013. V. 43. P. 165–167. doi: 10.1111/efp.12021
8. Черпаков В.В. О бактериальном поражении *Pseudomonas syringae* pv. *aesculi* конского каштана в Российской Федерации. *Актуальные проблемы лесного комплекса.* 2013. № 37. С. 1–8.
9. A new disease of horse chestnut caused by *Pseudomonas syringae* pv. *aesculi*: addition to the EPPO Alert List. *EPPO Reporting Service.* 2009. № 6.
10. Green S., Studholme D.J., Laue B.E. et al. Comparative Genome Analysis Provides Insights into the Evolution and Adaptation of *Pseudomonas syringae* pv. *aesculi* on *Aesculus hippocastanum*. *PLOS ONE.* 2010. V.5. Is. 4. P. e10224. doi: 10.1371/journal.pone.0010224
11. Brasier C.M. The biosecurity threat to the UK and global environment from international trade in plants. *Plant Pathology* 2008. V. 57. P. 792–808. doi: 10.1111/j.1365-3059.2008.01886.x
12. James S.L., Rabiey M., Neuman B.W. et al. Isolation, Characterisation and Experimental Evolution of Phage that Infect the Horse Chestnut Tree Pathogen, *Pseudomonas syringae* pv. *aesculi*. *Curr Microbiol.* 2020. V. 77. P.1438–1447. doi: 10.1007/s00284-020-01952-1
13. Young J.M. Taxonomy of *Pseudomonas syringae*. *J. of Plant Pathology.* 2010. V. 92 (Supplement 1). P. 5–14. doi: 10.4454/jpp.v92i1sup.2501
14. Mullett M.S., Webber J.F. *Pseudomonas syringae* pv. *aesculi*: foliar infection of *Aesculus* species and temperature — growth relationships. *For. Path.* 2013. V. 43. P. 371–378. doi: 10.1111/efp.12040
15. Steele H., Laue B.E., MacAskill G.A. et al. Analysis of the natural infection of European horse chestnut (*Aesculus hippocastanum*) by *Pseudomonas syringae* pv. *aesculi*. *Plant Pathol.* 2010. V. 59. Is. 6. P. 1005–1013. doi: 10.1111/j.1365-3059.2010.02354.x
16. Schmidt O., Dujesiefken D., Stobbe H. et al. *Pseudomonas syringae* pv. *aesculi* associated with horse chestnut bleeding canker in Germany. *For Pathol.* 2008. V.38. Is.2. P.124–128. doi: 10.1111/j.1439-0329.2007.00539.x
17. Green S., Laue B., Fossdal C.G. et al. Infection

of horse chestnut (*Aesculus hippocastanum*) by *Pseudomonas syringae* pv. *aesculi* and its detection by quantitative real-time PCR. *Plant Pathology*. 2009. V. 58. P. 731–744. doi: 10.1111/j.1365-3059.2009.02065.x

18. Percival G.C., Banks J.M. Studies of the interaction between horse chestnut leaf miner (*Cameraria ohridella*) and bacterial bleeding canker (*Pseudomonas syringae* pv. *aesculi*). *Urban Forestry & Urban Greening*. 2014. V. 13. Is. 2. P. 403–409. doi: 10.1016/j.ufug.2014.01.002

19. de Keijzer J., van den Broek L.A.M., Ketelaar T., van Lammeren A.A.M. Histological Examination of Horse Chestnut Infection by *Pseudomonas syringae* pv. *aesculi* and Non-Destructive Heat Treatment to Stop Disease Progression. *PLOS ONE*. 2012. V. 7. Is.7.

P. e39604. doi: 10.1371/journal.pone.0039604

20. Pánková I., Krejzar V., Mertelík J., Kloudová K. The occurrence of lines tolerant to the causal agent of bleeding canker, *Pseudomonas syringae* pv. *aesculi*, in a natural horse chestnut population in Central Europe. *Eur J Plant Pathol*. 2015. V. 142. P. 37–47. doi: 10.1007/s10658-014-0587-2

21. Percival G.C., Banks J.M. Evaluation of plant defence activators for the potential control of *Pseudomonas syringae* pv. *aesculi*. *Arboricultural J*. 2014. V. 36. Is. 2. P. 76–88. doi: 10.1080/03071375.2014.921396

22. Koskella B., Meaden S., Crowther W.J. et al. A signature of tree health? Shifts in the microbiome and the ecological drivers of horse chestnut bleeding canker disease. *New Phytol*. 2017. V. 15. P. 737–746. doi: 10.1111/nph.14560