

ЗБУДНИКИ БАКТЕРІАЛЬНИХ ХВОРОБ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР ЗА ЗМІН КЛІМАТУ

В. П. Патика¹, <https://orcid.org/0000-0003-1896-7116>,

А. В. Калініченко², <https://orcid.org/0000-0001-7342-3803>

¹Інститут мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України
вул. Академіка Заболотного, 154; м. Київ, 03680, Україна.

²Факультет природничих наук і технологій Опольського університету
45-365 Ополе, вул. Дмовського, 7-9, Польща
e-mail: patykavolodymyr@gmail.com

Мета. Дослідити роль фітопатогенних бактерій у патології біоенергетичних культур. **Методи.** У роботі використано класичні мікробіологічні, фітопатологічні, біохімічні, статистичні методи, враховано метеорологічні умови в роки проведення досліджень. **Результати.** В експериментально-оглядовій статті підтверджено причетність збудників бактеріозів *Pectobacterium carotovora* subsp. *carotovora* (збудник м'якої бактеріальної гнилі жолудів), *Lelliottia nimipressuralis* (збудник бактеріальної водянки), *Lonsdalea quercina* (збудник «краплинної хвороби» жолудів), *Erwinia rharontici* (збудник сухої гнилі гілок і стовбурів) та *Pseudomonas fluorescens* (збудник раково-виразкового захворювання) до ослаблення та масового всихання дерев дуба звичайного на території України. Збудником бактеріозу берези повислої *Betula pendula* є фітопатогенна бактерія-полібіотроф *L. nimipressuralis*, яка спричиняє також водянку хвойних і листяних лісових деревних рослин. Встановлена пряма залежність поширення туберкульозу від частки ясена (*Fraxinus excelsior*) у складі насаджень різних вікових груп. У регіоні досліджень туберкульоз сягає епіфітотії на паростевих деревах, особливо молодого віку. Спалахи туберкульозу ясена в регіоні дослідження відзначено в роки, коли індекс вологозабезпеченості був найнижчим. **Висновки.** Результати вивчення бактеріальної патології біоенергетичних деревних рослин (береза, ясен, тополя, дуб, верба) вказують на еволюційний негативний процес, що призводить до значного зменшення збору врожаю або загибелі дерев.

Ключові слова: біоенергетичні культури, фітопатогенні бактерії, шкодочинність, агресивність і патогенність збудника.

Вступ. Глобальні проблеми, спричинені змінами клімату, очолюють ранжований перелік потенційних ризиків, які в найближче десятиліття призведуть до значних збитків у різних сферах економічної діяльності, оскільки дестабілізують загальну концепцію розвитку регіонів.

За чинними рекомендаціями Всесвітньої Метеорологічної Організації (ВМО), кліматичною нормою вважають усереднені за 30-річний період показники погоди, отже, кліма-

тичні норми обраховували за 1961–1990 рр. та 1991–2020 рр. За останні 30 років лісова біоенергетична галузь України зазнала значних змін, пов'язаних із глобальним потеплінням і змінами клімату. Усе частіше озвучується думка про те, що Південний Степ стає не найкращим місцем для вирощування біоенергетичних культур, відзначається також більший вихід продукції у зонах Полісся та Лісостепу. Водночас стрімке та надмірне потепління скорочує вегетаційний період

рослин, спричиняє передчасне досягання різних культур і може призвести до зменшення врожайності [1–4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно з експертними оцінками офіційних статистичних даних [5], теоретичний потенціал біопалива в Україні становить 50 млн тон умовного палива (т у. п.), технічний — 30,23, а економічно доцільний — 27,27 млн т у. п. Тобто, з огляду на нинішній рівень загального споживання первинних енергоносіїв в Україні (210 млн т у. п. у 2007 р.), економічний потенціал біомаси може задовольнити близько 13 % загальної потреби України в енергії.

В Україні існує багато джерел енергії біомаси. Це переважно сільськогосподарські відходи (солома озимих і ярих культур, стовбури і початки кукурудзи, лушпиння та стовбури соняшника), а також біоенергетична деревина чи відходи лісової промисловості [5].

Зважаючи на це, було проаналізовано динаміку бактеріальних хвороб у патогенезі деревних рослин. Експериментально доведено, що за певних умов фітопатогенні бактерії здатні спричиняти патологічний процес (хворобу) деревних рослин. У зв'язку з цим суттєво змінюються підходи щодо оцінок первинного інфікування рослин, інкубаційного періоду тощо. Ключовими факторами шкодочинності фітопатогенних бактерій є агресивність і патогенність збудника, конгеніальність збудника і рослини-живителя, які визначаються численними морфологічними, фізіолого-біохімічними та молекулярно-генетичними властивостями бактерій, їхніх господарів (деревних рослин) і різними факторами середовища [5–7].

Матеріали і методи. Зразки біоенергетичних культур, уражених фітопатогенними мікроорганізмами, збирали у зоні Полісся на територіях державних лісгосподарських підприємств ДП «Смільчинське ЛГ», ДП «Коростенське ЛГ», ДП «Овруцьке ЛМГ», ДП «Народицьке ЛГ», ДП «Малинське ЛГ», ДП «Новоград-Волинське ЛГ», ДП «Олевське ЛГ», ДП «Житомирське ЛГ», ДП «Вінницьке ЛГ», ДП «Хмельницьке ЛГ», ДП «Чортківське ЛГ», на південній межі Поліського регіону України, зокрема в ДП «Баранівське ЛГ» та Боярській ЛДС, а також лісгосподарських підприємств з вирощування

біоенергетичних культур Опольського воєводства, Польща.

Загальна схема досліджень бактеріальних хвороб біоенергетичних культур та їх збудників передбачала такі етапи: лісопатологічні обстеження за загальноприйнятими лісівничо-таксаційними та фітопатологічними методами; відбір уражених органів і тканин; ізолювання мікроорганізмів у чисту культуру; перевірка патогенних властивостей виділених ізолятів та їх ідентифікація.

Для бактеріологічного аналізу використано зразки деревини, насіннєвого матеріалу та листків біоенергетичних культур з типовими ознаками ураження бактеріальними хворобами. Зокрема, для бактеріологічного аналізу відбирали матеріал ураженої деревини (на межі із ззовні здоровою тканиною).

Досліджували деревостани різного складу, віку, повноти та в різних лісорослинних умовах. Усього для мікробіологічних досліджень відібрано 465 зразків; виділено 112 ізолятів бактерій, зокрема 87 штамів фітопатогенних бактерій, які використані нами для подальших досліджень.

Бактеріологічний аналіз проводили шляхом гомогенізації рослинного матеріалу з подальшим посівом у чашки Петрі на агаризовані живильні середовища й вирощуванням в умовах термостату за 28 °С протягом 4–5 діб. Відбирали для аналізу колонії бактерій і відсівали на агаризоване живильне середовище в пробірці.

Для діагностики природи захворювання використовували метод мікроскопічного аналізу. Усі мікроскопічні дослідження виконували на свіжому рослинному матеріалі. За підозри на бактеріальну природу хвороби використовували поєднані методи діагностики, за допомогою яких встановлювали етіологію захворювання: точний аналіз симптомів; ретельне мікроскопічне дослідження уражених частин рослин; виділення та ідентифікацію збудника [5; 8–10].

Для ідентифікації фітопатогенних бактерій вивчали культуральні властивості на агаризованому живильному середовищі — КА, середовищі Омелянського з бромтимоловим блакитним водним індикатором і додаванням 0,5 % карбогідратів [5; 11].

Для перевірки патогенних властивостей бактерій використовували метод штучного зараження рослин (стовбурів та зрізаних

пагонів). Для штучного зараження брали окремі частини рослини (зокрема ізольовані від самої рослини, а саме листки і молоді пагони) та цілі окремі рослини [12–14].

Видову належність бактеріальних ізолятів встановлювали за «Визначником бактерій і актиноміцетів», «Визначником бактерій Берджі», даними вітчизняних і зарубіжних дослідників [15–18].

Розрахунки й статистичну обробку даних здійснювали за допомогою Microsoft Excel.

Результати та їх обговорення.

Бактеріальні хвороби берези повислої.

З досліджуваних ділянок зібрано 187 зразків матеріалу з уражених водянкою дерев *Betula pendula*, з яких виділено 42 ізоляти і відібрано 19 патогенних мікроорганізмів для подальших досліджень.

Найбільша кількість ізолятів нами ідентифікована як *Lelliottia nimipressuralis*. Жовтопігментні бактерії, які належать до *Xanthomonas campestris*, були ізольовані лише з двох досліджуваних зразків — з корку та на межі корку і луб'яної частини. Постійними компонентами в патології бактеріальної водянки були бактерії, які належать до *Bacillus subtilis*. Особливо це спостерігали в 2008–2014 рр. При всиханні лісових деревних рослин у патологічних процесах беруть участь представники різних систематичних і функціональних груп мікроорганізмів — від патогенів до сапротрофів. Єдиним надійним способом, який дозволяє відділити патогени від сапротрофів, є патогенність мікроорганізму, тобто здатність уражувати живі клітини.

Варто зазначити, що встановлення дійсного збудника хвороби суттєво ускладнюються широкою системною взаємодією мікроорганізмів з усіма живими компонентами біогеоценозу на фоні постійних змін умов навколишнього середовища [19; 20]. Лише дійсні патогени (з різним ступенем патогенності та вірулентності) здатні уражувати рослини. У подальшому розвитку патології беруть участь й інші складники інфекційного процесу, які оселяються вже на підготовлені тканини й активно колонізують рослину, завершуючи її відмирання [9]. За сприятливих для фітопатогенних мікроорганізмів умов у системі «деревна рослина – аутомікробіо-

та – навколишнє середовище» вони мають змогу дуже швидко заповнити екологічну нішу до порогової концентрації, спричиняючи навіть епіфітотії [20–22], що певною мірою ми можемо спостерігати в сучасному фітосанітарному стані *B. pendula*.

Бактеріальна водянка берези. З ураженої деревини виділено штами бактерій, встановлено належність частини з них до *Erwinia multivora* Scz.-Parf. (назва збудника є застарілою і не наводиться у визначниках бактерій). З іншої частини нами виділено фітопатогенні бактерії і встановлено їхню належність до *Pseudomonas syringae*, за властивостями дуже близької до *Enterobacter cancerogena* (сучасна назва збудника — *Enterobacter cancerogenus*). Обидва види бактерій були патогенними для берези, хоча за дії *P. syringae* розвивалися некрози меншого розміру. Більш чіткі некрози формувалися за одночасного використання обох зазначених вище бактерій [12; 22].

Бактерії, зокрема, *E. multivora*, проникаючи в деревину через пошкодження, зроблені дятлом, морозобоїни, механічні пошкодження, руйнують пектинові перегородки клітин, клепочний сік заповнює весь обсяг ураженої деревини. Деревина стає мокрою (рис. 1) і дуже важкою.

Нашими дослідженнями в лабораторних умовах підтверджено збудник бактеріальної водянки *L. nimipressuralis* та уточнено дані щодо розмірів клітин.

Біоенергетична верба: негативний вплив фітопатогенних бактерій.

Бактеріальне в'янення верби. Збудником хвороби є *Bacterium salicis*, рекласифікована як *Erwinia salicis* (Day) [23]. Це захворювання детально вивчали в Нідерландах, проте збудником його була названа інша бактерія — *Pseudomonas saliciperda*, патогенність якої для верби підтверджена експериментально. У процесі вивчення та таксономічних удосконалень вид з 1999 р. рекласифіковано (з виділенням нового роду *Brenneria*) як *Brenneria salicis* [6; 24–26].

Симптоми ураження верби з'являються в травні — наприкінці червня у вигляді в'янення. Зів'яле листя набуває коричневого або червоного забарвлення, проте залишається деякий час на дереві. Через почервоніння листків захворювання іноді називають



Рис. 1. Бактеріальна водянка берези [5].

«red leaf». У перший рік захворювання спостерігається передчасне масове опадання листя. Хоча пагони зовні здаються здоровими, листки іноді засихають навіть зеленими і деякий час висять на дереві (рис. 2).

Досить істотна ознака захворювання — поява нових, так званих рідких пагонів, ексудату і сильне обводнення уражених тканин. Додаткові водянисті пагони з'являються в будь-якому місці — на стовбурі, уражених і зовні здорових гілках. Вони засихають разом з ураженими гілками або гинуть у наступному сезоні. Уражені гілки, з яких попереднього літа опало листя, починають розви-

ватися нормально, але потім раптово всихають, кора опадає, стовбур дерева оголюється. На опалій корі і стовбурі часто видно міцелій гриба, який розвивається після бактеріальних збудників.

З тріщин і свіжих ран у корі, ходів комах у теплу вологу погоду, здебільшого в перший рік ураження, виділяється нелипкий рідкий ексудат, який розтікається смужками, підсихає і ніби лакує поверхню кори. Спочатку він безбарвний, потім набуває темно-коричневого або чорного кольору. Ексудат іноді не виділяється зі старих ран. Він токсичний для лубу, пагонів і навіть трави, яка

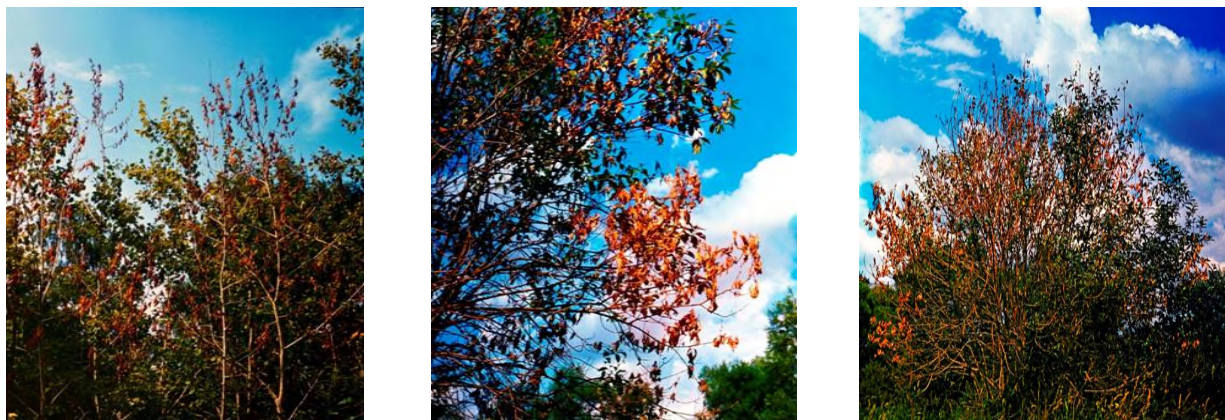


Рис. 2. Хвороба водяних знаків верби (збудник — *Brenneria salicis*) [27; 28].

засихає у разі зіткнення з ним. Через токсичність ексудату сапрофітна мікробіота в місцях ураження поселяється не відразу. Можливо, і масове передчасне опадання листя на зовні здорових гілках пояснюється токсинуванням бактерій, тим паче, що збудник не виявлено в судинах листків і черешків.

Асоційовані з бактеріозами дуба звичайного фітопатогенні бактерії. Нині фактичний стан дібров на території України такий, що варто говорити про їхню деградацію, оскільки корінні дубові деревостани суттєво ослаблені синоптичними та кліматичними аномаліями (зокрема гідротермічним стресом), інвазійними видами шкідників [29–31] та інфекційними агентами [21; 32–34].

Особливо небезпечними й водночас найменш дослідженими є патології дуба, спричинені життєдіяльністю фітопатогенних бактерій, які є невід’ємною компонентою супутньої мікробіоти рослинного організму, а також і збудниками бактеріозів, які не просто ослаблюють рослину, а часто призводять до повного її відмирання, іноді сягаючи розмірів епіфітотії.

У лісах України й Польщі вже понад 30 років реєструють типові прояви м’якої або мокрої гнилі жолудів дуба [27; 28].

Бактеріальна водянка є однією з найбільш поширених та небезпечних хвороб бактеріального походження в межах ареалу зростання дуба звичайного [33]. Вивчення морфологічних, культуральних і біохімічних властивостей збудника бактеріальної водянки дуба — *L. nimipressuralis* — підтверджується бактеріологічними дослідженнями деревини дуба з типовими ознаками ураження [33; 35]. Доступні окремі відомості щодо ідентифікації *L. nimipressuralis* на основі секвенування всього геному [37]. Також автори знайомлять з іншими фітопатогенними бактеріями — *Micrococcus dendroporthos* Ludw, *Pseudomonas syringae* von Hall, *Erwinia valachica* Georg et Bod, *Erwinia valachica* f. *onaca*, *Erwinia gueieicola* Georg et Bod. тощо — збудниками бурої слизотечі дуба, причетними до глибокої патології дуба звичайного в Україні [33].

Небезпечними бактеріозами, особливо в ослаблених дубових деревостанах, є суха гниль гілок і стовбурів дуба звичайного, збудник якого — *Erwinia rhapontici* [27; 36], та

раково-виразкові патології, які зазвичай мають комплексну інфекцію. Кількісне визначення роду *Erwinia* та споріднених родів досліджували на поверхні листя й пагонів *Quercus robur* [37; 38].

Явище гострого занепаду дуба Acute oak decline (AOD) у сучасній літературі найчастіше пов’язують із фітопатогенними бактеріями *Gibbsiella quercinecans*, *Brenneria goodwinii* та *Rahnella victoriana* [21].

Некроз тканин дуба та слизотеча стовбура викликані комбінованим впливом бактерій різних родин, проте чисельно переважають представники родини *Enterobacteriaceae*, про що свідчать ізоляційні дослідження мікробіому дуба, ураженого AOD [39].

Отже, бактеріози — це поширена і дуже небезпечна група інфекційних хвороб лісових деревних рослин, зокрема дуба звичайного, а збудники — фітопатогенні бактерії, нині потребують ґрунтовних експериментальних досліджень та спостережень, що дасть змогу з’ясування складних зв’язків представників різних систематичних і функціональних груп мікроорганізмів в інфекційній патології, а також пошуку ефективних та раціональних способів захисту лісових деревних рослин.

М’яка бактеріальна гниль жолудів дуба звичайного (збудник — *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*). Характерним симптомом захворювання є зміна нормального (типового) забарвлення сім’ядолей жолудя на коричнево-буре, коричнево-сіре або брудно-коричнево-сіре (ураження може бути суцільне або ці плями розміщуються на сім’ядолі локально). Уражені збудником м’якої гнилі сім’ядолі можуть спричинити масове ураження жолудів контактним шляхом при порушенні режимів зберігання (рис. 3).

У регіоні дослідження нами виявлені локальні осередки відмирання дуба звичайного, які в середньому охоплюють 6–10 сусідніх дерев (рис. 4 а). На деяких ділянках тріщини переходять у вдавнені (запалі) некротичні мокрі рани (рис. 4 б). Також на стовбурах є водянисті пагони — ще одне безпосереднє свідчення ураження дерев дуба бактеріозом.

Також під час зрізання модельних дерев нами зареєстровано внутрішні симптоми прояву бактеріальної водянки дуба звичайного. Зокрема, у всіх моделях відзначено



Рис. 3. Типова симптоматика м'якої бактеріальної гнилі жолудів дуба звичайного.



а



б

Рис. 4. Зовнішні симптоми прояву бактеріальної водянки дуба звичайного: а — осередок відмирання дерев; б — тріщини на стовбурі.

мокре патологічне ядро округлої чи зірчастої форми (рис. 5 а) з проникненням у пагони й виходом (по серцевинних променях) у тріщини і рани під тиском газів, які розривають тканину деревини (рис. 5 б). В уражених тканинах розвивається м'яка гниль зі слизом, некротизацією та мацерацією тканин.

Отже, виявлене нами захворювання за всіма симптоматичними ознаками є систем-

ним, судинно-паренхіматозним бактеріозом, відомим як бактеріальна водянка дуба, викликана *L. nitipressuralis*.

Суша гниль гілок і стовбурів дуба звичайного (збудник — *Erwinia rharontici*). Захворювання трапляється повсюдно, особливо на пристигаючих, стиглих і перестійних деревах. Збудник захворювання формує локальні некрози, проте за рахунок великої їх



а



б

Рис. 5. Внутрішні симптоми прояву бактеріальної водянки дуба звичайного: а — мокре патологічне ядро; б — тріщини на стовбурі.

кількості відбувається окільцювання гілки (стовбура), що призводить до швидкого їх відмирання. Уражена деревина чітко відокремлена, часто з'єднана з корою за допомогою вузької смужки через кілька річних кілець. Розмір ураження невеликий, проникає на глибину до половини гілки, проте не обмежується річними кільцями. З часом уражена деревина змінює забарвлення і стає світлішою (рис. 6).

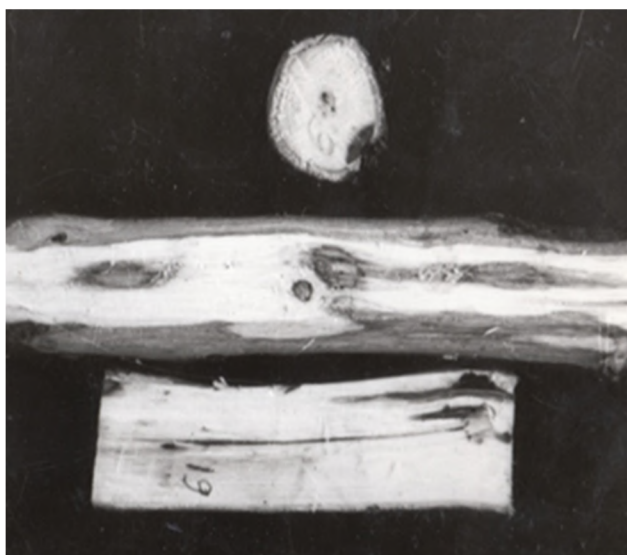


Рис. 6. Суха гниль на стовбурі дуба звичайного: поперечний, тангентальний і поздовжній розрізи (штучне зараження *E. rhapontici*).

Раково-виразкове захворювання дуба звичайного (збудник — *Pseudomonas fluorescens*). Хвороба значною мірою поширена в дубових лісах України й Польщі. Бактерії уражають переважно одно-дворічні гілки, а також стовбури з молодою (гладенькою) корою. Біля основи пагонів, розгалужень, спля-

чих бруньок, механічних пошкоджень утворюються мокнучі плями без запаху. З часом кора стає більш темною з характерним фіолетовим відтінком і у вологу погоду спостерігається виділення безбарвного ексудату. Уражений луб добре помітний, коричневий, коричнево-бурий, а в нижній частині хворої ділянки, внаслідок нагромадження відмерлих тканин, майже чорний.

Бактерії роду *Pseudomonas* виділені з раково-виразкового захворювання гілок і молодих стовбурів дуба звичайного в різні роки і в різні періоди, але найбільш високоактивні штами були ізольовані в середині травня — на початку червня.

Бактеріальні хвороби тополі.

Бактеріальна водянка тополі (збудник — *Enterobacter nimipressuralis*). Рано навесні на корі гілок і стовбурів дерев з'являються поздовжні тріщини, з яких виступає безбарвний або бурштинового кольору ексудат, який темніє на повітрі. За високої вологості рясний ексудат може появлятися протягом усього вегетаційного періоду (рис. 7).

Кора відмирає, розтріскується й звисає клаптями, що є характерною ознакою хвороби. Деревина стає червоно-бурого кольору. Уражена кора й деревина мокрі, при натисканні з них витікає рідина, іноді у великій кількості. Під впливом життєдіяльності бактерій відбувається мацерація тканин лубу й деревини, а в деревині накопичується газ [5; 9; 40].

Бактеріальний рак тополі. Серед різних захворювань тополі найпоширенішим і шкідливим є бактеріальний рак. З ураженої тополі нами виділено *P. syringae*. Штам є високо вірулентним, вражає листя, гілки та



а



б



в

Рис. 7. Бактеріальна водянка тополі: а, б — вдавнені плями внаслідок відмирання луб'яних частини кори і камбію червоно-бурого кольору; в — мацерація тканин лубу й деревини.

стовбури. За штучного зараження *P. syringae* викликала на гілках розвиток некрозів, вони збільшувалися в розмірах до повного окільцювання гілки, розвивалися локалізовані некрози-виразки, облямівки каллусів з тріщинами в корі, аналогічно природному прояву захворювання.

Серед супутньої мікробіоти збудників ракових захворювань тополі переважають бактерії роду *Pseudomonas* (зокрема *P. syringae* f. *populi*), *Erwinia*, *Bacillus*, жовтопігментні бактерії *Corynebacterium*, *Xanthomonas* і *Chromobacterium bergonzini*, гриби з родів *Fusarium*, *Nectria*, *Cytospora*, *Cladosporium* та *Penicillium* і дріжджі [2; 10]. У ранах деревини формуються асоціації *P. syringae* і деяких грибів: *Chondroplea populea*, *Cytospora chrysosperma*, *Phomopsis pulator*, а також представників родів *Fusarium* і *Hypoxylon*, які часто є причиною захворювання тополі [41; 42].

Бактеріальний некроз кори. Бактеріальний некроз кори (коричнева плямистість) тополі стає другою, як порівняти з бактеріальним раком, серйозною перешкодою при вирощуванні цієї цінної культури.

Значний інтерес для з'ясування етіології захворювання представляють роботи Урошевіч [41; 42]. Автор зробив висновок, що це захворювання викликається сумішшю *P. syringae* і бактеріями роду *Erwinia*, які за властивостями близькі до *E. cancerogena* і *E. nitipressuralis*. Урошевіч зазначав, що бактерії роду *Pseudomonas* виділяються систематично з некротичних плям як у період спокою, так і в період вегетаційного росту. На думку автора, псевдомонади беруть участь у поширенні некрозів, а бактерії роду *Erwinia* сприяють утворенню мокрих некрозів. З огляду

на те, що між представниками *Erwinia* і *Pseudomonas* не встановлено антагонізму, Урошевіч передбачає, що основну причину виникнення захворювання треба шукати в спільній дії цих бактерій. В умовах теплиці бактерії викликають некрози на однорічних тополях. У природних умовах типові некрози, іноді з ексудатом, розвиваються лише на тополях, старших від трирічного віку [41; 42].

Туберкульоз тополі. Нами встановлено, що збудником туберкульозу тополі в Україні є *Bacillus populi*. Штучним зараженням доведена здатність *B. populi* викликати утворення розростань туберкульозного характеру, хоча природні ураження були більш значними.

На гілках (частіше у віці до 7 років) з'являються здуття, які переростають у виразки і пухлини різних розмірів, іноді перевищують у 2–3 рази діаметр несучої гілки (рис. 8). Форма пухлин округла, овальна, округло-вузлувата, бородавчата. Поверхня спочатку гладенька, потім шорстка. Розташовані вони в різних частинах гілки, але частіше на місці відмерлих бічних пагонів, бруньок, листових рубців, у міжвузлях. Ураження можуть охоплювати частину гілки або всю гілку. В останньому випадку на середині здуття завжди є щілиноподібне поглиблення. У середині пухлин утворюються порожнини, заповнені рихлою сухою масою зруйнованої деревини. Вологі точкові ураження на поперечному розрізі спостерігаються тільки на камбії. У природних умовах ураження листя не встановлено. Водночас за штучного зараження листя розвиваються темно-коричневі або сіро-коричневі плями з вузькою смугою хлорозу. Уражена тканина іноді займає 1/2–3/4 листової пластинки (рис. 8, 9). Черешок, бруньки і судини не пошкоджуються.



Рис. 8. Туберкульоз тополі волосистоподібної. Природне ураження [7].

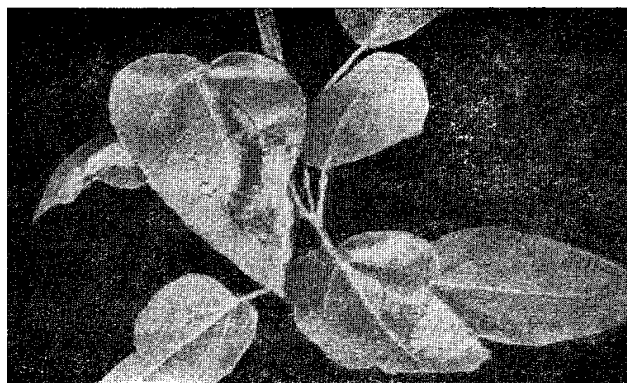


Рис. 9. Листки тополі волосистоподібної, уражені бактеріями *B. populi* 229a. Штучне зараження [7].

Біоенергетична культура ясен і патогенез туберкульозу деревини.

В Україні і Польщі склалася непроста ситуація з фітосанітарним станом ясен звичайного, яка потребує нагального розв'язання [9; 28]. Характерним у цьому випадку є послідовне географічне погіршення стану деревних насаджень, що перебувають в підпорядкуванні Державного агентства лісових ресурсів України, а також ясен в лісопарках, полезахисних смугах, в насадженнях населених пунктів. Візуальний прояв наслідків патології системно взаємопов'язаний з гідротермічними показниками року, фізіологічним станом дерев і наявністю комах-фітофагів.

Особливе занепокоєння викликає туберкульоз ясен (збудник — *P. syringae* pv. *savastanoi*), що системно уражує стовбури, пагони, суцвіття [27]. Зокрема, за дії патогену в уражених рослинах утворюються численні раковини, порожнечі, каверни, гнилі ділянки тощо, що не тільки погіршує фізіологічні процеси дерев і знецінює деревину, а й суттєво загрожує насіннєвому поновленню цієї цінної деревної рослини через ураження генеративних органів.

Туберкульоз ясен звичайного є однією з найбільш небезпечних хвороб цього виду, яка в Україні досягла епіфітотії на порослевих деревах. *P. syringae* pv. *savastanoi* спричинює типове туберкульозне захворювання — пухлини з пустотами чи іншими фаутами, часто заповненими бактеріальним слизом, особливо на початкових стадіях патології.

Бактерії проникають у молоді рослини (починаючи з 2–3 річного віку) через різні

пошкодження, зазвичай через обламані сучки. Первинні симптоми туберкульозу (так звана парша) з'являються на молодих стовбурах з гладенькою (первинною) сірувато-зеленою кіркою та характеризуються незначним локальним здуттям верхнього шару клітин, появою мікротріщин та невеликих еліпсоподібних м'яких пухлин, заповнених сірою липкою бактеріальною масою без запаху (рис. 10 а).

При «власне туберкульозі» (рис. 10 в) утворюються типові туберкульозні формування з подальшим збільшенням їхніх розмірів як уздовж, так і по периметру стовбура. Під дією патогена відбувається певна деформація стовбура. Некрози на початковій стадії хвороби, особливо на молодих деревах ясен і порослевих пагонах, дрібні, розміром від 1 до 2–3 см, але з часом розростаються, часто зливаються, утворюючи пряму або звивисту смугу відмерлої заболоні, іноді до 0,5 м і більше. Глибина розміщення різних фаутів у деревині зазвичай залежить від періоду інфікування: чим раніше інфіковане дерево, тим глибше у стовбурі утворюються фаути. У міру зростання дерева кількість фаутів збільшується пропорційно новим осередкам ураження.

У формуванні відкритих ран (виразок) зазвичай беруть участь збудники звичайного або східчастого раку, переважно *Nectria galligena* Bres. або *Endoxylina stellulata* Rom. (анаморфа — *Libertella fraxini* Ogan.). І тоді перебіг хвороби супроводжується характерними для цих збудників симптомами (утворюються виразки). Гнилі ділянки на стовбурі ясен формуються виключно за змішаної інфекції з утворенням відкритих виразок за

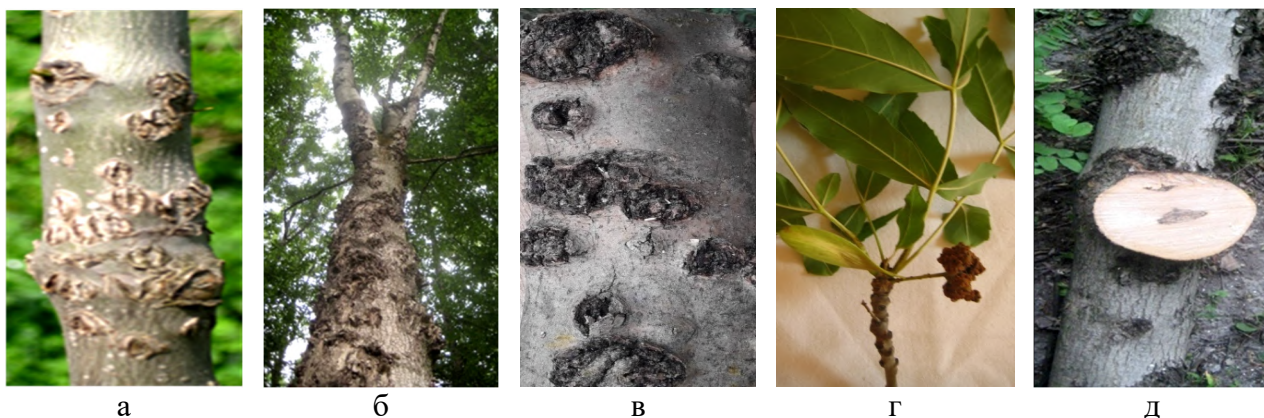


Рис. 10. Етапи туберкульозу *Fraxinus excelsior*: а — «парша», б — поширення, в — власне туберкульоз, г — деформація генеративних органів, д — вади деревини.

участю дереворуйнівних та деревозабарвлювальних грибів, зокрема з відділів *Ascomycota*, *Basidiomycota* та *Deuteromycota* (рис. 11).

Туберкульоз завдає більше економічних, ніж екологічних збитків. Уражені дерева старших вікових груп відмирають порівняно рідко, але внаслідок характерного патологічного процесу знецінюється деревина. Уражені стовбури відводяться зазвичай у дров'яну деревину.

З урахуванням патогенезу *P. syringae* pv. *savastanoi* нами виділено три категорії ураження стовбура: суцільне, локальне та поодинокі (осередкове або плямисте). Зменшення кількості уражених дерев *Fraxinus*

excelsior з віком (у 2–5(7)-річних деревостанах виявлено 80,7 % інфікованих туберкульозом рослин, у 15–20-річному віці — 67,6 %, у 30–35-річних деревостанах — 50,5 %, у 45–50-річному віці — 28,1 %, у 60–70-річному віці — у межах 20 %) ми пов'язуємо з вищезгаданими чинниками (рис. 12).

Проте йдеться не про затухання патологічного процесу з віком (адже уражена *P. syringae* pv. *savastanoi* рослина самостійно не звільняється від інфекції), а про відмирання (нехай і незначне) окремих екземплярів та про видалення хворих дерев при доглядових рубаннях. Варто зазначити, що уражені рослини у будь-якому віці мають приховані



Рис. 11. Зміна типового забарвлення та формування відкритих ран (виразок) у *Fraxinus excelsior*.

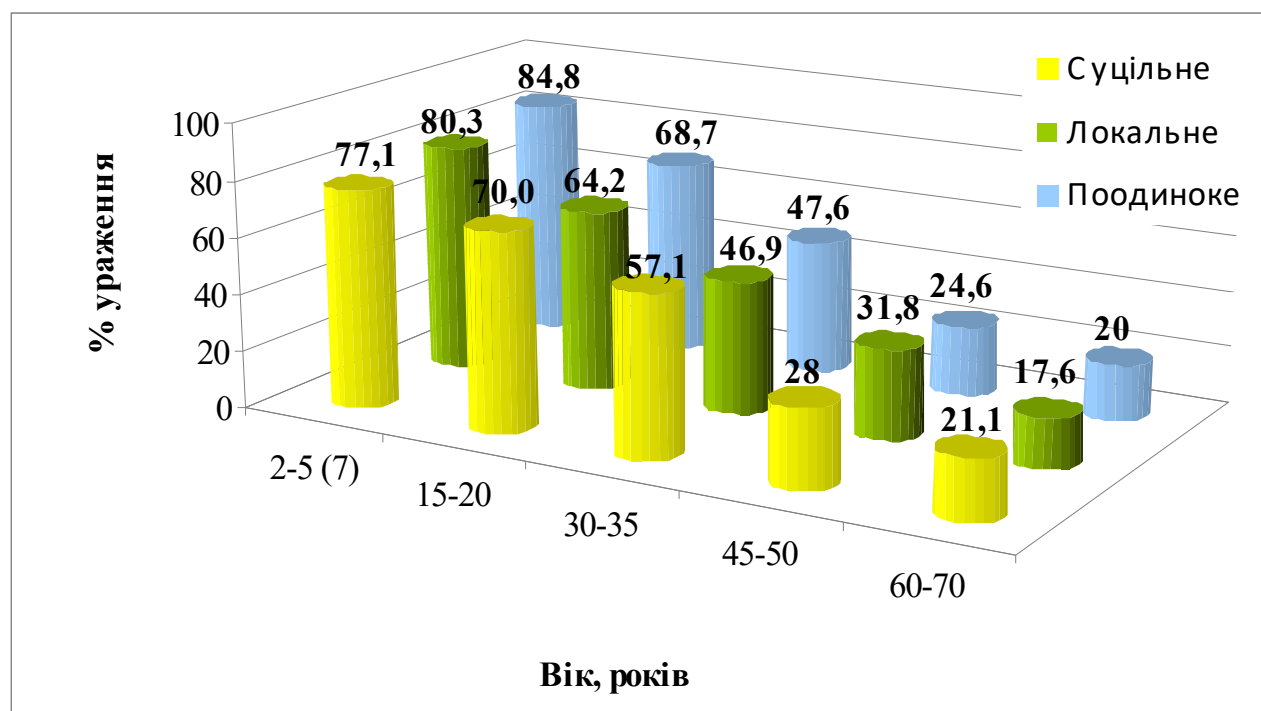


Рис. 12. Поширення туберкульозу (*Fraxinus excelsior*) у паростевих насадженнях свіжих дібров (D2).

фаути у деревині (почорніння, тріщини, гнилі ділянки зі значним поширенням вповодж стовбура), що її знецінює.

Висновки. Бактеріози — поширена і небезпечна група інфекційних хвороб лісових деревних рослин. Фітопатогенні бактерії — збудники захворювань, потребують ґрунтовних експериментальних досліджень та спостережень, що дасть змогу з'ясувати складні зв'язки представників різних систематичних і функціональних груп мікроорганізмів в інфекційній патології, а також пошуку ефективних та раціональних способів захисту деревних рослин.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Басанець О. Адаптація рослинництва та систем захисту рослин до умов клімату. <https://superagronom.com/blog/495-adaptatsiya-roslinnistva-a-ta-sistem-zahistu-roslin-do-umov-klimatu>
2. Adams P. D., Klopffer J. W. Effect of host genotype on indigenous bacterial endophytes of plants. *Plant Soil*. 2002. P. 181–189. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1015840224564>
3. Адаменко Т. Зміна клімату та сільське господарство в Україні: що варто знати фермерам? Німецько-український агрополітичний діалог. 2019. 36 с.
4. Офіційний сайт Державної служби статистики України. <https://www.ukrstat.gov.ua/>
5. Гвоздяк Р. І., Пасічник Л. А., Яковлева Л. М., Мороз С. М., Литвинчук О. О., Житкевич Н. В. ... Патица В. П. Фітопатогенні бактерії. Бактеріальні хвороби рослин: [монографія: в 3-х т.]. Т. 1. Київ : Інтерсервіс, 2011. 444 с.
6. Гордієнко М. І., Фучило Я. Д., Гойчук А. Ф. Чагарникові верби рівнинної частини України. Київ : ІАЕ УААН, 2002. 174 с.
7. Гвоздяк Р. І., Гойчук А. Ф. Методи виділення возбудителів бактериозів деревних порід. *Лесное хозяйство*. 1991. № 31. С. 55–56.
8. Иутинская Г. А., Пономаренко С. П., Андреев Е. И. Биорегуляция микробно-растительных систем: монография. Киев : Ничлава, 2010. 464 с.
9. Fuchylo Ya., Pasichnyk L., Patyka V., Kalnichenko A. Bioenergy willow: protection from the negative impact of biological factors. I. Pietkun-Greber, P. Ratuszny (Eds.). Renewable energy sources: theory and practice. Vol. 2. Opole, Kyiv, 2017. P. 144–162.
10. Гвоздяк Р. І., Яковлева Л. М. Диагностика бактериальных болезней лесных древесных пород: методические указания. Москва : ВАСХНИЛ, 1980. 22 с.
11. Черпаков В. В. Бактериальный ожог листовых пород Северо-Западного Кавказа и обоснование мер борьбы с ним: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Тбилиси, 1979. 25 с.
12. Кульбанська І. М., Гойчук А. Ф. Патогенна міко- та мікрофлора ясена звичайного на Поділлі України. *Мікробіологічний журнал*. 2015. Т. 77, № 5. С. 69–73. <https://doi.org/10.15407/microbiolj77.05.062>
13. Grosso S., Mason G., Ortalda E., Scortichini M. Brenneria salicis Associated with Watermark Disease Symptoms on Salix alba in Italy. *Plant Dis*. 2011. Vol. 95, № 6. 772. <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-10-0781>
14. Coplin D. L., Majerczak D. R., Zhang Y. Identification of Pantoea stewartii subsp. stewartii by PCR and strain differentiation by PFGE. *Plant Dis*. 2002. Vol. 86, № 3. P. 304–311. <https://doi.org/10.1094/pdis.2002.86.3.304>
15. Baldi P., La Porta N. Xylella fastidiosa: Host Range and Advance in Molecular Identification Techniques. *Front Plant Sci*. 2017. № 8. 944. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00944>
16. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology / Brenner D. J. et. al. New York : Springer Science, 2005. Vol. 2. 1108 p.
17. Патица В. П., Пасічник Л. А., Данкевич Л. А., Мороз С. М., Буценко Л. М., Житкевич Н. В. ... Алексеев О. О. Диагностика фітопатогенних бактерій: методичні рекомендації. Київ, 2014. 76 с.
18. Wang G., Xie G., Zhu B., Huang J.-S., Liu B., Kawicha P. ... Duan Y.-P. Identification and characterization of the Enterobacter complex causing mulberry wilt disease in China. *Plant Pathol*. 2010. № 126. P. 465–468. <https://doi.org/10.1007/s10658-009-9552-x>
19. Швець М. В. Бактеріальна водянка берези повислої в насадженнях Житомирського Полісся України. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2015. Т. 25, № 9. С. 89–96. <https://doi.org/10.15421/40250914>
20. Швець М. В. Асоційовані з Enterobacter nimipressuralis бактерії у патології бактеріальної водянки Betula pendula Roth. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. Т. 27, № 3. С. 66–70. <https://doi.org/10.15421/40270314>
21. Brady C., Arnold D., McDonald J., Denman S. Taxonomy and identification of bacteria associated with acute oak decline. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2017. Vol. 33, № 7. 143. <https://doi.org/10.1007/s11274-017-2296-4>
22. Choi H., Hwang M., Chatterjee P., Jinadatha C., Navarathna D. H. Rare Lelliottia nimipressuralis from a wound infection case report using whole genome sequencing-based bacterial identification. *Diagnostic Microbiology and Infectious Di-*

- sease. 2021. Vol. 101, № 4. 115538. <https://doi.org/10.1016/j.diagmicrobio.2021.115538>
23. Dye D. W. A taxonomic study of the genus *Erwinia*. I. The “amylovora” group. *N. Z. J. Sci.* 1968. Vol. 11, № 4. P. 590–607.
24. Роїк М. В., Сінченко В. М., Фучило Я. Д., Ганженко О. М., Гументик М. Я., Гнап І. В. ... Мельничук Г. А. Енергетична верба: технологія вирощування та використання. Вінниця : Нілан ЛТД, 2015. 340 с.
25. Фучило Я. Д., Сбитна М. В. Верби України (біологія, екологія, використання). Київ : Логос, 2009. 200 с.
26. Фучило Я. Д., Сбитна М. В., Фучило О. Я., Літвін В. М. Створення та вирощування енергетичних плантацій верб і тополь. Науково-методичні рекомендації. Київ : Логос, 2009. 80 с.
27. Гойчук А. Ф., Гордієнко М. І., Гордієнко Н. М. Патологія дібров: монографія. Київ : Либідь, 2004. 470 с.
28. Гвоздяк Р. І., Гойчук А. Ф., Розенфельд В. В., Пасічник Л. А. Бактеріальні хвороби сосни звичайної (*Pinus sylvestris*) та мікрофлора її насіння. Житомир : Полісся, 2011. 224 с.
29. Meshkova V., Nazarenko S., Glod O. The first data on the study of *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Heteroptera: Tingidae) in Kherson region of Ukraine. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2020. № 21. С. 30–38. <https://doi.org/10.15421/412023>
30. Moussa Z., Choueiri E., Hanna A. Research Paper (Survey: Insects) New Invasive Insects Associated with Oak Forests in Lebanon. *Arab Society for Plant Protection*. 2021. Vol. 39, № 2. P. 164–172. <http://dx.doi.org/10.22268/AJPP-039.2.164172>
31. Mukhamadiyev N. S., Mengdibayeva G. Z., Nizamdinova G. K., Shakerov A. S. Harmfulness invasive pest-oak mining sawfly (*Profenusa pygmaea*, Klug, 1814). *Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*. 2021. № 6. P. 44–49. <https://doi.org/10.32014/2021.2518-1483.109>
32. Jiang N., Fan X. L., Crous P. W., Tian C. M. Species of *Dendrostoma* (Erythrogloeaceae, Diaporthales) associated with chestnut and oak canker diseases in China. *MycKeys*. 2019. № 48. P. 67–96. <https://doi.org/10.3897/mycokeys.48.31715>
33. Kulbanska I. M., Shvets M. V., Goychuk A. F., Biliavska L. H., Patyka V. P. Lelliottia nimipressuralis (Carter 1945) Brady et al. 2013 — the Causative Agent of Bacterial Dropsy of Common Oak (*Quercus robur* L.) in Ukraine. *Мікробіологічний журнал*. 2021. Т. 83, № 5. С. 30–41. <https://doi.org/10.15407/microbiolj83.05.030>
34. Ruiz-Gómez F. J., Pérez-de-Luque A., Navarro-Cerrillo R. M. The Involvement of Phytophthora Root Rot and Drought Stress in Holm Oak Decline: from Ecophysiology to Microbiome Influence. *Curr Forestry Rep.* 2019. Vol. 5. P. 251–266. <https://doi.org/10.1007/s40725-019-00105-3>
35. Kalinichenko A., Havrysh V., Hruban V. Heat recovery systems for agricultural vehicles: utilization ways and their efficiency. *Agriculture*. 2018. Vol. 8, № 12. P. 199–217. <https://doi.org/10.3390/agriculture8120199>
36. Heuser T., Zimmer W. Genus-and isolate-specific real-time PCR quantification of *Erwinia* on leaf surfaces of English oaks (*Quercus robur* L.). *Current Microbiology*. 2003. Vol. 47, № 3. P. 214–219. <https://doi.org/10.1007/s00284-002-3902-7>
37. Kado C. I. *Erwinia* and related genera. The Prokaryotes. 2006. P. 443–450. http://dx.doi.org/10.1007/0-387-30746-X_15
38. Huang H. C., Hsieh T. F., Erickson R. S., Erickson R. S. Biology and epidemiology of *Erwinia rhapontici*, causal agent of pink seed and crown rot of plants. *Plant Pathology Bulletin*. 2003. Vol. 12, № 2. P. 69–76.
39. Denman S., Plummer S., Kirk S., Peace A., McDonald J. E. Isolation studies reveal a shift in the cultivable microbiome of oak affected with Acute Oak Decline. *Systematic and Applied Microbiology*. 2016. Vol. 39, № 7. P. 484–490. <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2016.07.002>
40. Janse J. D. The bacterial disease of ash (*Fraxinus excelsior*), caused by *Pseudomonas syringae* subsp. *savastanoi* pv. *fraxini* II. Etiology and taxonomic considerations. *European Journal of Forest Pathology*. 1981. Vol. 11, Is. 7. P. 425–438.
41. Urošević B. Puvodce bakteriální racoviny topolu a jeho vzajemny vstah k doprovodni microflora. *VULHM*. 1968. № 35. P. 189–211.
42. Urošević B. A study on bacterial diseases of poplars. Praha: Academia, 1973. 93 p.

Отримано: 06.03.2025

Прийнято до друку: 05.05.2025

Опубліковано онлайн: 17.09.2025

BACTERIAL PATHOGENS OF BIOENERGY CROPS UNDER CLIMATE CHANGE

V. P. Patyka¹, <https://orcid.org/0000-0003-1896-7116>,

A. V. Kalinichenko², <https://orcid.org/0000-0001-7342-3803>

¹Institute of microbiology and virusology named after D. K. Zabolotnyi NAS of Ukraine, Kyiv

²Faculty of Natural Sciences and Technology, Opole University

e-mail: patykavolodymyr@gmail.com

Objective. To study the role of phytopathogenic bacteria in the pathology of bioenergy crops.

Methods. Classical microbiological, phytopathological, biochemical, statistical methods were used in the study, meteorological conditions during the years of the researches were taken into account.

Results. The experimental and review article confirms the involvement of the bacteriosis pathogens *Pectobacterium carotovora* subsp. *carotovora* (causative agent of soft bacterial rot of acorns), *Lelliottia nimipressuralis* (causative agent of bacterial dropsy), *Lonsdalea quercina* (causative agent of acorn “drip disease”), *Erwinia rhapontici* (causative agent of dry rot of branches and trunks) and *Pseudomonas fluorescens* (causative agent of cancer ulcer disease) in the weakening and massive drying of common oak trees in Ukraine. The causative agent of bacteriosis of hanging birch *Betula pendula* is a phytopathogenic polybiotrophic bacterium *L. nimipressuralis*, which also causes water dropsy of coniferous and deciduous forest woody plants. A direct dependence of the spread of tuberculosis on the proportion of ash (*Fraxinus excelsior*) in the structure of plantations of different age groups was established. In the region of research, tuberculosis reaches epiphytosis on sprouting trees, especially the young ones. Outbreaks of ash tuberculosis in the study area were observed in the years when the moisture availability index was the lowest. **Conclusions.** The results of the bacterial pathology of bioenergy woody plants (birch, ash, poplar, oak, willow) study indicate an evolutionary negative process that leads to a significant reduction in harvest or death of trees.

Key words: bioenergy crops, phytopathogenic bacteria, harmfulness, aggressiveness and pathogenicity of the pathogen.

REFERENCES

1. Basanets, O. Adaptatsiia roslynnytstva ta system zakhystu roslyn do umov klimatu. [Adaptation of crop production and plant protection systems to climate conditions]. <https://superagronom.com/blog/495-adaptatsiya-roslinnitstva-ta-sistem-zahistu-roslin-do-umov-klimatu> [in Ukrainian].
2. Adams, P. D., Klopfer, J. W. (2002). Effect of host genotype on indigenous bacterial endophytes of plants. *Plant Soil*, 181–189. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1015840224564>
3. Adamenko, T. (2019). Zmina klimatu ta silske hospodarstvo v Ukraini: shcho varto znaty fermeram? Nimetsko-ukrainskyi ahropolitychnyi dialoh [Climate change and agriculture in Ukraine: what should farmers know? German-Ukrainian agropolitical dialogue] [in Ukrainian].
4. The official website of the State Statistics Service of Ukraine [in Ukrainian]. <https://www.ukrstat.gov.ua/>
5. Hvozdiak, R. I., Pasichnyk, L. A., Yakovleva, L. M., Moroz, S. M., Lytvynchuk, O. O., Zhytkevych, N. V. ... Patyka, V. P. (2011). *Fitopatohenni bakterii. Bakterialni khvoroby roslyn* [Phytopathogenic bacteria. Bacterial plant diseases]. Vol. 1. Kyiv: Interservis [in Ukrainian].
6. Hordiienko, M. I., Fuchylo, Ya. D., & Hoi-chuk, A. F. (2002). *Chaharnykovy verby rivnynnoi chastyny Ukrainy* [Shrubby willows of the plains of Ukraine]. Kyiv: IAE UAAN [in Ukrainian].
7. Gvozdyak, R. I., Goychuk, A. F. (1991). Metody vydeleniya vzbuditeley bakteriozov drevesnykh porod [Methods of isolating the causative agents of bacterial diseases in woody plants]. *Lesnoe khozyaystvo — Forestry*, 31, 55–56 [in Russian].
8. Iutinskaya, G. A., Ponomarenko, S. P., & Andreyuk, E. I. (2010). *Bioregulyatsiya mikrobnorastitel'nykh sistem* [Bioregulation of microbial-plant systems]. Kyiv: Nichlava [in Russian].

9. Fuchylo, Ya., Pasichnyk, L., Patyka, V., & Kalinichenko, A. (2017). Bioenergy willow: protection from the negative impact of biological factors. In I. Pietkun-Greber, P. Ratuszny (Eds.). *Renewable energy sources: theory and practice*, 2 (pp. 144–162). Opole, Kyiv.
10. Gvozdyak, R. I., Yakovleva, L. M. (1980). *Diagnostika bakterial'nykh bolezney lesnykh drevesnykh porod* [Diagnosis of bacterial diseases of forest tree species]. Moscow: VASKhNIL [in Russian].
11. Cherpakov, V. V. (1979). Bacterial burn of deciduous trees in the Northwest Caucasus and justification of measures to combat it (Extended abstract of Candidate thesis). Tbilisi, Georgia [in Russian].
12. Kulbanska, I. M., Hoichuk, A. F. (2015). Patohenna miko- ta mikroflora yasena zvychainoha na Podilli Ukrainy [Pathogenic myco- and microflora of common ash in the Podillia of Ukraine]. *Mikrobiologichnyi zhurnal — Microbiological journal*, 77(5), 69–73 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/microbiolj77.05.062>
13. Grosso, S., Mason, G., Ortalda, E., & Scorticini, M. (2011). *Brenneria salicis* Associated with Watermark Disease Symptoms on *Salix alba* in Italy. *Plant Dis*, 95(6), 772. <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-10-0781>.
14. Coplin, D. L., Majerczak, D. R., & Zhang, Y. (2002). Identification of *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii* by PCR and strain differentiation by PFGE. *Plant Dis*, 86(3), 304–311. <https://doi.org/10.1094/pdis.2002.86.3.304>
15. Baldi, P., La Porta, N. (2017). *Xylella fastidiosa*: Host Range and Advance in Molecular Identification Techniques. *Front Plant Sci*, 8, 944. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00944>
16. Brenner, D. J., Krieg, N. R., Staley, J. T. (Eds.). (2005). *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Vol. 2. The Proteobacteria. New York: Springer-Verlag.
17. Patyka, V. P., Pasichnyk, L. A., Dankevych, L. A., Moroz, S. M., Butsenko, L. M., Zhytkevych, N. V. ... Aleksiev, O. O. (2014). *Diahnastyka fitopatohennykh bakterii: metodychni rekomendatsii* [Diagnosis of phytopathogenic bacteria: methodological recommendations]. Kyiv [in Ukrainian].
18. Wang, G., Xie, G., Zhu, B., Huang, J.-S., Liu, B., Kawicha, P. ... Duan, Y.-P. (2010). Identification and characterization of the *Enterobacter* complex causing mulberry wilt disease in China. *Plant Pathol*, 126, 465–468. <https://doi.org/10.1007/s10658-009-9552-x>
19. Shvets, M. V. (2015). Bakterialna vodianka berezy povysloi v nasadzhenniakh Zhytomyrskoho Polissia Ukrainy [Bacterial blight of paper birch in the plantations of Zhytomyr Polissia, Ukraine]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy — Scientific Bulletin of the National Lviv Polytechnic University of Ukraine*, 25(9), 89–96 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15421/40250914>
20. Shvets, M. V. (2017). Asotsiiivani z *Enterobacter nimipressuralis* bakterii u patolohii bakterialnoi vodianyky *Betula pendula* Roth [Bacteria associated with *Enterobacter nimipressuralis* in the pathology of bacterial edema in *Betula pendula* Roth]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy — Scientific Bulletin of the National Lviv Polytechnic University of Ukraine*, 27(3), 66–70 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15421/40270314>
21. Brady, C., Arnold, D., McDonald, J., & Denman, S. (2017). Taxonomy and identification of bacteria associated with acute oak decline. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33(7), 143. <https://doi.org/10.1007/s11274-017-2296-4>
22. Choi, H., Hwang, M., Chatterjee, P., Jinadatha, C., & Navarathna, D. H. (2021). Rare *Lelliottia nimipressuralis* from a wound infection case report using whole genome sequencing-based bacterial identification. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*, 101(4), 115538. <https://doi.org/10.1016/j.diagmicrobio.2021.115538>
23. Dye, D. W. (1968). A taxonomic study of the genus *Erwinia*. I. The “amylovora” group. *N. Z. J. Sci*, 11(4), 590–607.
24. Roik, M. V., Sinchenko, V. M., Fuchylo, Ya. D., Hanzhenko, O. M., Humentyk, M. Ya., Hnap, I. V. ... Melnychuk, H. A. (2015). *Enerhetychna verba: tekhnolohiia vyroshchuvannia ta vykorystannia* [Energy willow: technology of cultivation and use]. Vinnytsia: Nilan LTD [in Ukrainian].
25. Fuchylo, Ya. D., Sbytna, M. V. (2009). *Verby Ukrainy (biolohiia, ekolohiia, vykorystannia)* [Willows of Ukraine (biology, ecology, use)]. Kyiv: Lohos [in Ukrainian].
26. Fuchylo, Ya. D., Sbytna, M. V., Fuchylo, O. Ya., & Litvin, V. M. (2009). *Stvorennia ta vyroshchuvannia enerhetychnykh plantatsii verb i topol* [Creation and cultivation of energy plantations of willows and poplars]. Kyiv: Lohos [in Ukrainian].
27. Hoichuk, A. F., Hordienko, M. I., & Hordienko, N. M. (2004). *Patolohiia dibrov: monohrafiia* [Pathology of oak forests: a monograph]. Kyiv: Lybid [in Ukrainian].
28. Hvozdiak, R. I., Hoichuk, A. F., Rozenfeld, V. V., & Pasichnyk, L. A. (2011). Bakterialni khvoroby sosny zvychainoi (*Pinus sylvestris*) ta mikroflora yii nasinnia [Bacterial diseases of Scots pine (*Pinus sylvestris*) and the microflora of its seeds]. Zhytomyr: Polissya [in Ukrainian].
29. Meshkova, V., Nazarenko, S., & Glod, O. (2020). The first data on the study of *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Heteroptera: Tingidae) in Kherston region of Ukraine. *Naukovi pratsi Lisivnychoi akademii nauk Ukrainy — Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 21, 30–38. <https://doi.org/10.15421/412023>

30. Moussa, Z., Choueiri, E., & Hanna, A. (2021). Research Paper (Survey: Insects) New Invasive Insects Associated with Oak Forests in Lebanon. *Arab Society for Plant Protection*, 39(2), 164–172. <http://dx.doi.org/10.22268/AJPP-039.2.164172>
31. Mukhamadiyev, N. S., Mengdibayeva, G. Z., Nizamdinova, G. K., & Shakerov, A. S. (2021). Harmfulness invasive pest-oak mining sawfly (*Profenusa pygmaea*, Klug, 1814). *Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*, 6, 44–49. <https://doi.org/10.32014/2021.2518-1483.109>
32. Jiang, N., Fan, X. L., Crous, P. W., & Tian, C. M. (2019). Species of *Dendrostoma* (Erythroglucaceae, Diaporthales) associated with chestnut and oak canker diseases in China. *MycKeys*, 48, 67–96. <https://doi.org/10.3897/mycokeys.48.31715>
33. Kulbanska, I. M., Shvets, M. V., Goychuk, A. F., Biliavska, L. H., & Patyka, V. P. (2021). *Lelliottia nimipressuralis* (Carter 1945) Brady et al. 2013 — the Causative Agent of Bacterial Drop of Common Oak (*Quercus robur* L.) in Ukraine. *Mikrobiolohichnyi zhurnal — Microbiological journal*, 83(5), 30–41. <https://doi.org/10.15407/microbiolj83.05.030>
34. Ruiz-Gómez, F. J., Pérez-de-Luque, A., & Navarro-Cerrillo, R. M. (2019). The Involvement of *Phytophthora* Root Rot and Drought Stress in Holm Oak Decline: from Ecophysiology to Microbiome Influence. *Curr Forestry Rep*, 5, 251–266. <https://doi.org/10.1007/s40725-019-00105-3>
35. Kalinichenko, A., Havrysh, V., & Hruban, V. (2018). Heat recovery systems for agricultural vehicles: utilization ways and thier efficiency. *Agriculture*, 8(12), 199–217. <https://doi.org/10.3390/agriculture8120199>
36. Heuser, T., Zimmer, W. (2003). Genus-and isolate-specific real-time PCR quantification of *Erwinia* on leaf surfaces of English oaks (*Quercus robur* L.). *Current Microbiology*, 47(3), 214–219. <https://doi.org/10.1007/s00284-002-3902-7>
37. Kado, C. I. (2006). *Erwinia* and related genera. *The Prokaryotes*, 443–450. http://dx.doi.org/10.1007/0-387-30746-X_15
38. Huang, H. C., Hsieh, T. F., Erickson, R. S., & Erickson, R. S. (2003). Biology and epidemiology of *Erwinia rhapontici*, causal agent of pink seed and crown rot of plants. *Plant Pathology Bulletin*, 12(2), 69–76.
39. Denman, S., Plummer, S., Kirk, S., Peace A., & McDonald, J. E. (2016). Isolation studies reveal a shift in the cultivable microbiome of oak affected with Acute Oak Decline. *Systematic and Applied Microbiology*, 39(7), 484–490. <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2016.07.002>
40. Janse, J. D. (1981). The bacterial disease of ash (*Fraxinus excelsior*), caused by *Pseudomonas syringae* subsp. *savastanoi* pv. *fraxini* II. Etiology and taxonomic considerations. *European Journal of Forest Pathology*, 11(7), 425–438.
41. Urošević, B. (1968). Puvodce bacterialni racoviny topolu a jeho vzajemny vstah k doprovodni microflore [The causative agent of bacterial poplar cancer and its mutual relationship with the accompanying microflora]. *VULHM*, 35, 189–211 [in Czech].
42. Urošević, B. (1973). A study on bacterial diseases of poplars. Praha: Academia.

Received: 06.03.2025

Accepted: 05.05.2025

Published online: 17.09.2025