



Г.Г. Гриник¹, Т. Ошако², М. Ткачик²

¹ Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна

² Науково-дослідний інститут лісового господарства, Сенкоцин Стари, Польща

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФОСФІТІВ ЯК СТИМУЛЯТОРІВ ВІДПІРНОСТІ ДЕРЕВ ДУБА ЗВИЧАЙНОГО (*QUERCUS ROBUR* L.) ДО ЗБУДНИКІВ З РОДУ *PHYTOPHTHORA* НА ТЕРИТОРІЇ КРОТОШИНСЬКЕ ПЛАТО (ПОЛЬЩА)

Досліджено перспективи використання фосфітів як стимуляторів відпирності дерев дуба звичайного до патогенів з роду *Phytophthora*. Для цього на території надлісництва "Кротошин" Регіональної дирекції державних лісів у Познані (Польща) закладено пробні площі, на яких з літака оброблено дубові деревостани препаратами Kalex та Actifos. Для порівняльного аналізу вибрано 30 оброблених препаратами дерев та 30 контрольних. Усі вкриті лісом ділянки характеризуються типом лісорослинних умов свіжий сугруд (C₂) та типом лісу – свіжа грабова судіброва. Встановлено статистично обґрунтовану відмінність у середніх значеннях досліджуваних ознак коріння для оброблених фосфітами та контрольних дерев. Встановлено, що сукупний вплив біотичних та абіотичних чинників на ріст дерев та формування їхніх кореневих систем у досліджуваних деревостанах є подібним. Зважаючи на наявність у ґрунті патогенів з роду *Phytophthora*, дерева, оброблені фосфітами, мають кращі значення стану крони, що було використано як індикатор загального санітарного стану досліджуваних дерев. Здійснений аналіз зміни середніх значень ознак коренів показав відмінність у формуванні власне цих ознак у здорових, пошкоджених та замираючих оброблених фосфітами та контрольних дерев. Зважаючи на певні особливості, формалізовано залежність ступеня дефоліації та синтетичного індексу *Sul* від відповідних морфолого-таксаційних ознак дерев та ознак коріння. Отримані регресійні рівняння дають змогу пояснити тенденції та здійснити наближений прогноз модельованих залежностей для оброблених фосфітами та контрольних дерев.

Ключові слова: ознаки коріння; морфолого-таксаційні показники дерев; патогени; дефоліація.

Вступ. Кротошинське плато – місцевість, розташована у західній частині Каліської височини (південь регіону Велькопольска, Польща). Для цієї території характерне залягання на поверхні важких геологічних утворень та переважання дубових лісів, в яких домінує дуб звичайний (*Quercus robur*). Територія здебільшого є плоскою частиною нижнього моренного плато, складеного переважно валуновими глинами потужністю до 22 м. Підстильні скельні материнські породи в цих районах демонструють значну щільність, що спричиняє тривалу затримку дощової води в місцевих западинах (NATURA 2000).

Територія Кротошинського плато – один з найбільших компактних дубових комплексів у Польщі (NATURA 2000). Цей район характеризується значним біорізноманіттям, і негативні явища, які відбуваються впро-

довж тривалого часу та пов'язані з ослабленням дубових деревостанів, можуть призвести до їхньої загибелі на цій території (Stocka, 1997; Kowalski, 1996; Kowalski 1999; Mańka, 1998; Przybył, 1999; Grzywacz, 1999). За останніми даними Генеральної дирекції державних лісів Польщі дуб звичайний – вид, стан якого є найгірший серед усіх листяних видів. У 2015 р. симптоми ослаблення або відмирання дерев цього виду було зафіксовано на понад 35% площі дубових деревостанів. У літературі описано багато чинників, які можуть прямо чи опосередковано сприяти цьому явищу (Oszako, 2007; Marçais & Desprez-Loustau, 2014). Останнім часом одним з таких чинників дедалі частіше називають активність збудників роду *Phytophthora* (Jung et al., 1996; 1999; 2000; Jung & Blaschke, 2004; Jung & Nechwatal

Інформація про авторів:

Гриник Георгій Георгійович, д-р с.-г. наук, доцент, ст. наук. співробітник, кафедра лісової таксації та лісовпорядкування.

Email: h.hrynyk@nltu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0001-7417-5047>, Scopus ID: 57190167130, ResearcherID: Q-8126-2017

Ошако Томаш, д-р габілітований лісових наук, професор надзвичайний, Відділ захисту лісу. Email: T.Oszako@ibles.waw.pl;

<https://orcid.org/0000-0003-4688-2582>, Scopus ID: 12786749500, ResearcherID: P-3955-2016

Ткачик Мілош, д-р лісових наук, ад'юнкт, Відділ захисту лісу. Email: M.Tkaczyk@ibles.waw.pl; <http://orcid.org/0000-0001-6031-996X>, Scopus ID: 56205971700, ResearcherID: R-4949-2018

Цитування за ДСТУ: Гриник Г.Г., Ошако Т., Ткачик М. Дослідження впливу фосфітів як стимуляторів відпирності дерев дуба звичайного (*Quercus robur* L.) до збудників з роду *Phytophthora* на території Кротошинське плато (Польща). Науковий вісник НЛТУ України. 2019, т. 29, № 8. С. 09–24.

Citation APA: Hrynyk, H. H., Oszako, T. M., & Tkaczyk, M. (2019). The investigation of the influence of phosphites as stimulants of resistance of common oak trees (*Quercus robur* L.) to pathogens of the Genus *Phytophthora* in the Krotoszyn plateau (Poland). *Scientific Bulletin of UNFU*, 29(8), 09–24. <https://doi.org/10.36930/40290801>

2008; Jankowiak et al., 2014). Ці збудники спричиняють пошкодження коріння, стовбурів, пагонів та плодів багатьох видів рослин, як лісових, так і сільськогосподарських (Erwin & Ribeiro, 1996).

Під час дослідження явища відмирання дубів, проведеного на Кротошинському плато, виявлено різні симптоми, які можуть свідчити про наявність збудників роду *Phytophthora*, зокрема дефоліація, знебарвлення листя, відмирання молодих пагонів та верхівок крони дерев, виражений некроз на коренях та їхні дефекти. Окрім цього, на деяких деревах чітко спостерігалися темні дерева на відземковій частині стовбура, що є типовою ознакою активності збудника. З другої половини ХХ ст. і до сьогодні відмирання дубових насаджень у великих масштабах відбувається по всій Європі. Особливо це стосується дерев, що мають близько 100 років. Повідомлялося про це явище як в Європі, так і у Північній Америці. Явище відмирання дуба – це багатофакторний процес, що виникає внаслідок зв'язків як біотичних, так і абіотичних чинників (Houston, 1967). У польських лісах дубові насадження найчастіше заражаються *P. cinnamomi*, *P. cambivora*, *P. cactorum*, *P. gallica*, *P. gonapodyides*, *P. lacustris*, *P. plurivora*, *P. quercina*, *P. taxon oaksoil* (Oszako & Orlikowski, 2005; Stepniewska et al., 2008). Зважаючи на досвід застосування фосфітів для протидії збудникам з роду *Phytophthora* у деревостанах Австрії, США та Німеччині (Fenn & Coffey, 1984, 1985; Grant et al., 1990; Jung 2008), на території дослідження також було застосовано фосфіти. Фосфор у фосфітній формі є доступнішим для рослин, а у поєднанні з набором мікроелементів має фунгіцидний ефект. Завдяки своїй активуючій дії фосфор відіграє вирішальну роль у фотосинтезі, передачі енергії та водню (диханні), передачі спадкових властивостей, формуванні клітинних мембран, прищ-

видшує перехід рослин до репродуктивної фази розвитку. Власне швидке відновлення клітинних мембран завдяки фосфору у фосфітній формі може запобігати проникненню патогенам з роду *Phytophthora* передусім до коріння дерев дуба, що позитивно впливатиме на загальний санітарний стан цих дерев.

Об'єкт дослідження – відпірність дерев дуба звичайного (*Quercus robur* L.) до збудників з роду *Phytophthora*.

Предмет дослідження – морфолого-таксаційні ознаки дерев і коріння та параметри санітарного стану крон дуба звичайного, що зростають у дубових деревостанах на території Кротошинського плато (Польща).

Мета дослідження – оцінити активність фосфітів як стимуляторів стійкості дуба звичайного (*Quercus robur*) до збудника роду *Phytophthora* та можливість підвищення їхньої життєздатності та загального санітарного стану на території Кротошинського плато (Польща).

Завдання дослідження – встановити зв'язок між пошкодженням кореневої системи, здоров'ям крони (дефоліацією та життєвістю пагонів), наявністю збудників фітофтори у ґрунті та аналізом взаємозв'язку між морфолого-таксаційними ознаками дерев дуба звичайного, ознаками дрібного та материнського коріння та санітарним станом дерев.

Матеріали та методи дослідження. Для проведення аналізів на початку дослідження було відібрано 60 дерев дуба звичайного, які розташовані на експериментальних ділянках на території надлісництва "Кротошин", який належить до Регіональної дирекції державних лісів у Познані. Перший відбір зразків було зроблено у 2013 р. та здійснювали щорічно по 2017 р. включно. У 2017 р. також здійснено дендрометричні вимірювання досліджуваних дерев та їхніх крон.

Табл. 1. Лісівничо-таксаційна характеристика деревостанів, в яких закладено пробні площі

Квартал, виділ	Площа, га	Індекс ТЛУ	Склад деревостану	Вік, років	Середні		Клас бонітету	Відносна повнота	Запас, м ³ /га
					діаметр, см	висота, м			
181f	12,93	C ₂	10Дз+Сз од. Бк, Грз	123	41	30	II	0,7	398
182B	11,57	C ₂	10Дз од. Гз, Мдє, Лпд, Гз	133	42	29	II	0,7	390
183d	14,00	C ₂	10Дз од. Гз	127	45	30	II	0,6	343

Дерева для аналізу відібрали довільно. Лісівничо-таксаційна характеристика деревостанів, з яких відібрали дерева для аналізу, наведено у табл. 1. Усі вкриті лісом ділянки розташовані в урочищі Душна Гурка лісництва Сльонек уздовж виділів 181f, 182b та 183d у типі лісорослинних умов (ТЛУ) свіжий сугруд (C₂), у типі лісу – свіжа грабова судіброва. Усі деревостани належать до категорії "О" – захисні ліси.

Завдяки топографії місцевості встановлено дві паралельні трансекти. Їх ширина становила близько 80 м. На кожному з них відібрали 30 дерев для систематичного тестування. Дерева, що ростуть з обох боків осі трансекти, вибирали по черзі, намагаючись забезпечити, щоб відстань між ними була не менша, ніж подвійна ширина крони. Ця процедура усуває дерева, що ростуть у безпосередній близькості, забезпечуючи при цьому репрезентативність для всієї досліджуваної території. Довжина кожної трансекти була обмежена отриманням необхідної кількості з 30 дерев. Обидві трансекти мали довжину 970 м та ширину – 40 м. Схему розподілу поверхонь, показана на рис. 1.

Для аналізу наявності оомицетів з роду *Phytophthora* та корневих систем, зразки проб ґрунту відібрали з усіх вибраних для оцінювання дерев.



Рис. 1. Пробні площі в надлісстві Кротошин, лісництво Сльонек, урочище Душна Гурка

Зразки розміром 20×20×20 см відібрали після видалення органічного шару ґрунту з північної та південної сторони дерева з урахуванням потенційних відмінностей у вологості та освітленості. Зразки ґрунту збирали якомога ближче до основи стовбурів дерева, на відстані не більше 150 см. Після змішування відібраних зразків було створено колективний зразок для кожного дерева. Зразки ґрунту транспортували до лабораторії Науково-дослідного інституту лісового господарства (Варшава, Польща), де коріння акуратно відокремлювали на ситі, щоб не пошкодити їх. Решту ґрунту розділили на дві партії, одну з яких використали для аналізу на наявність збудників роду фітофтори, а другу – передали до Окружної рільничо-хімічної станції (Варшава, Польща), де було проведено аналіз багатства макроелементів, зокрема, на вміст фосфору (P₂O₅), калію (K₂O) та магнію (Mg), а також рН ґрунту. Окрім цього, вміст кальцію (Ca) оцінювали за допомогою комплексного методу (Fotyma & Mercik, 1991; Ostrowska et al., 1991), а також загального вмісту азоту (N) методом Кельдаля (Bobrzański, 1979) та вуглецю (C) спектрофотометричним методом (Ostrowska et al., 1991).

До візуальної оцінки пошкодження крон дубів, яка передовсім характеризує санітарний стан, застосовано три методи, що ґрунтуються на різних показниках: дефоліації, життєвості і синтетичному показнику пошкодження (Dmyterko, 1998; Dmyterko & Bruchwald, 2000; Dmyterko et al., 2003). Дефоліацію оцінено на цілій довжині корони, використовуючи атлас оцінки асиміляційного апарату дерев (Müller & Stierlin, 1990). Натомість життєвість визначено у верхній частині крони, застосовуючи класифікацію Ролоффа (Roloff, 2001). Дефоліація – окомірний метод оцінювання пошкоджень або зменшення асиміляційного апарату. Градація цього показника така: дефоліації 0–10 % відповідає значення показника ступеня пошкодження 0 (відсутність проявів пошкодження); 11–25 % – слабе пошкодження; 26–60 % – середній ступінь пошкодження; понад 60 % – сильне пошкодження. Оцінку життєвості проведено, спираючись на методіку, згідно з якою життєвість визначають як потенціал зростання дерева та його можливості регенерації пошкоджень корони. Підставою до оцінки життєвості є архітектура пагонів крони, що виробляються у верхній частині. Усі дерева класифіковано до однієї з чотирьох груп: ступінь 0 – фаза експлорації, неушкоджені дерева, життєві; ступінь 1 – фаза дегенерації, дерева ослаблені; ступінь 2 – фаза стагнації, дерева пошкоджені; ступінь 3 – фаза відмови, дерева сильно пошкоджені, вмираючі. Синтетичний показник пошкоджен-

ня (*Syn*) є середньою величиною з дефоліації і життєвості і визначають його за формулою (Dmyterko, 1998):

$$Syn = (0,03Def + Wit) / 2, \quad (1)$$

де: *Def* – дефоліація дерева; *Wit* – життєвість дерева. Коефіцієнт 0,03 у чисельнику пристосовує значення показника дефоліації, який визначають у відсотках, до єдиної градації у межах 0–3 за аналогією до значення життєвості. Відповідно до значення *Syn* дерева поділено на: здорові – від 0 до 0,90; пошкоджені – від 0,91 до 1,80 та замираючі – від 1,81 до 3,00.

Виділення збудників з роду *Phytophthora* здійснювали методом "пастки". Зразки ґрунту (близько 0,5 кг) поміщали у стерилізовану місткість і заливали дистильованою водою до висоти 2 см на рівень ґрунту. Семиденне листя дуба звичайного (*Quercus robur*) та бука (*Fagus sylvatica*) було викладено на водній поверхні згідно з методикою, запропонованою Т. Юнгом (Jung, 1998; Jung et al., 1996). Листя тримали на водній поверхні доти, поки на їх поверхні не з'явилися чорні, некротичні плями (від 3 до 7 днів). Після завершення цього часу фрагменти листя з некрозом розрізали на невеликі фрагменти (5×5 мм) і вистелили селективними середовищами PARPNH-agar. Це середовище типу V8 (очищений багатоваріантний сік 200 мл/л, 3 г/л CaCO₃, 20 г/л агару) з додаванням антибіотиків: 10 μg·mL⁻¹ пімаридин, 200 μg·mL⁻¹ ампіцилін, 10 μg·mL⁻¹ рифампіцин, 25 μg·mL⁻¹ пентахлоронітробензолу (PCNB), 50 μg·mL⁻¹ ністатину і 50 μg·mL⁻¹ гімеказолу. Фрагменти листя інкубували впродовж 24–48 год у темряві за 20 °С. Після завершення цього часу гіфи міцелію перенесли на живильне середовище типу V8.

Ідентифікацію збудників було проведено, серед інших на основі морфологічного аналізу, заснованого на спостереженні за статевими структурами оогонія та антеридія, а також безстатевими структурами – спорагем, відповідно здійсненим дослідженням (Jung & Burgess, 2009; Erwin & Ribeiro, 1996).

Культури ооїцитів пересадити на живильне середовище типу V8, де вони виростили в темряві впродовж 7 днів за 23 °С. Після завершення цього часу під мікроскопом спостерігали отримані структури патогенів і вимірювали їх товщину та довжину (Jung & Burgess, 2009). Підготовка кореневих систем до аналізу вибраних особливостей морфологічних параметрів містила їх вилучення із ґрунтових зразків та ретельне промивання з подальшим скануванням за допомогою фотосканера EPSON Perfection V700 (див. рис. 2,а).

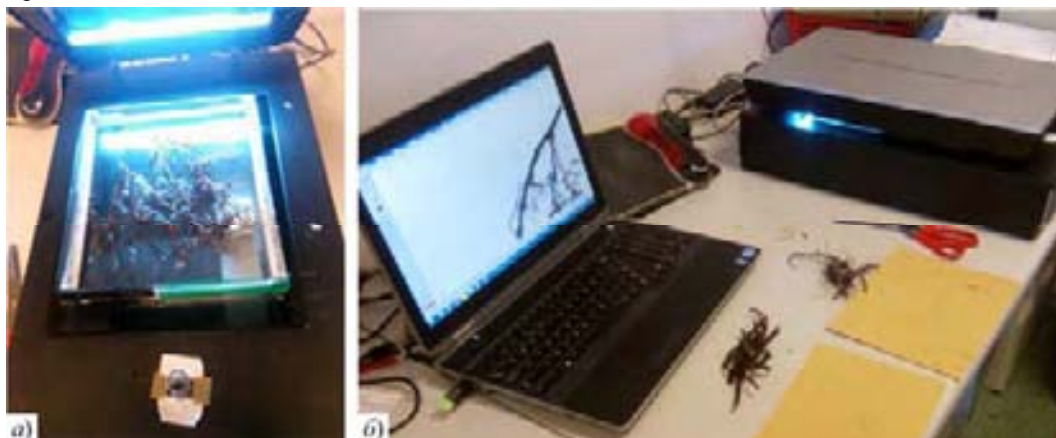


Рис. 2. Підготовка до сканування коріння водним сканером EPSON Perfection V700 Photo Scanner

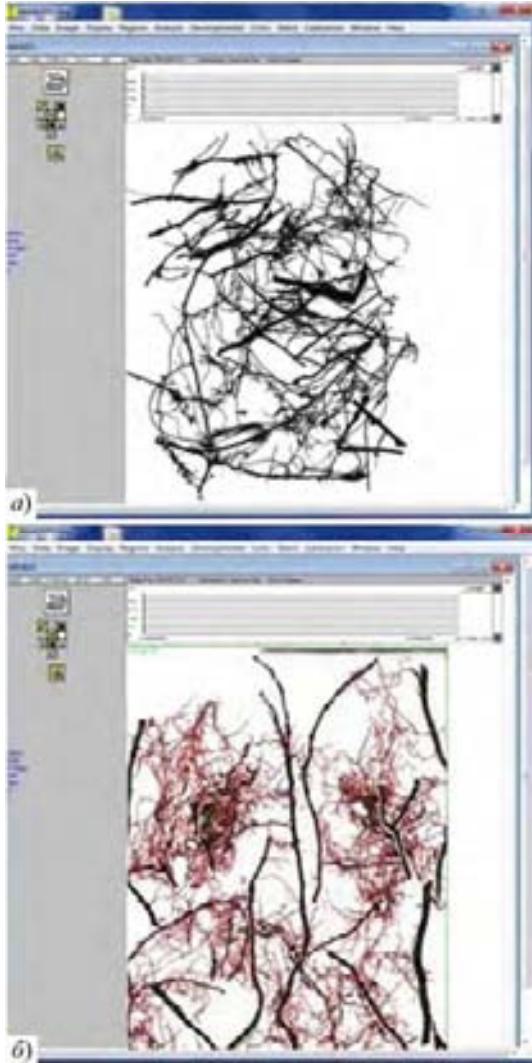


Рис. 3. Скановане зображення коріння (а) та програмний поділ на дрібне та материнське коріння (б) за допомогою програми WinRhizo®

Зображення, отримане таким способом, було проаналізовано за допомогою програмного забезпечення WinRhizo® (Regent Instruments, Канада) (див. рис. 3), яке дозволило розділити коріння на дві групи: тонкі корені завтовшки від 0 до 2 мм та материнські коріння (2–5 мм) (див. рис. 2,б).

За допомогою програми WinRhizo® визначено багато морфологічних ознак, серед яких: загальна довжина кореня та в обох перерахованих вище класах товщини, кількість кінців коренів, кількість роздвоєнь коренів тощо. Наступним етапом роботи було відокремлення дрібних коренів від материнських коренів та сушіння їх за температури 65 °С у сушильній шафі, до отримання сталої ваги. Ці заходи сприяли отриманню низки параметрів, які використовували для оцінювання шкоди, спричиненої збудниками роду *Phytophthora*.

Параметри, які використовуємо в цій роботі:

1. Кількість живих коренів – визначаємо як кількість дрібних коренів, які на момент вимірювання виростили з материнських коренів (англ. *Number of living roots, NoLR*).
2. Кількість кінців усіх коренів (англ. *Total Root Tips, TRT*).
3. Кількість кінців дрібних коренів (англ. *Fine Root Tips, FRT*).
4. Довжина всіх коренів, см (англ. *Total Root Length, TRL*).
5. Довжина дрібних коренів, см (англ. *Fine Root Length, FRL*).

6. Довжина материнського коріння, см (англ. *Mother Root Length, MRL*).
7. Співвідношення кількості життєздатних коренів до довжини материнського коріння, шт./см (англ. *Number of Living Roots / Mother Root Length, NoLR/MRL*).
8. Питома довжина дрібних коренів – визначаємо як відношення довжини дрібних коренів до сухої ваги дрібних коренів, см/г (англ. *Specific Fine Root Length, SFRL*).
9. Питома щільність кінців дрібних коренів – параметр, визначений як відношення кількості кінців дрібних коренів до сухої маси дрібних коренів, шт./г (англ. *Specific Root Tip Density, SRTD*).
10. Співвідношення довжини дрібних коренів до довжини материнських коренів (англ. *Fine Root Length / Mother Root Length, FRL/MRL*).
11. Відношення кількості кінців дрібних коренів до довжини материнських коренів, шт./см (англ. *Fine Root Tips / Mother Root Length, FRT/MRL*).
12. Співвідношення дрібних коренів до сухої маси материнських коренів, г/см (англ. *Fine Root Length / Dry Weight of Mother Roots, FRL/DWMR*).
13. Поверхня дрібних коренів, см² (англ. *Fine Root Surface Area, FRSA*).
14. Суха маса дрібних коренів, г (англ. *Dry Weight of Fine Roots, DWFR*).
15. Суха маса материнських коренів, г (англ. *Dry Weight of Mother Roots, DWMR*).

Проведена хімічна обробка була спрямована на вивчення покращення санітарного стану дубових деревостанів на Кротошинському плато, заражених інвазивними збудниками роду *Phytophthora*. Це зроблено шляхом застосування з повітря фосфітів (форма калію – Kalex, Albamilagro) на дубові деревостани у лісових виділах надлісництва "Кротошин".

Застосовано фосфітні препарати Kalex та Actifos. Попередні обприскування здійснили препаратом FO-RAY 76B SC (06.05.2013 р.), який містить *Bacillus thuringiensis* var. *Kurstaki*, щоб запобігти пошкодженню дерев комахами-фітофагами. Обприскування препаратом Kalex (калійна форма) було виконано 12.09.2013 р., 30.05 і 1.09.2014 р., 26.06 і 27.08.2015 р. Заходи здійснили з використанням літака "Dromader", облетівши над ділянками на смугах завширшки близько 20 м так, щоб смуги мали перекриття для обприскування усіх вибраних дерев. Робоча суміш, використана для обприскування, відповідала таким параметрам: на 1 га використано 22,5 л препарату Kalex, змішаних з 22,5 л води, що сумарно становило 45 л/га. Окрім препарату Kalex, також використали препарат Actifos, який містить фосфорин в амонієвій формі, що у комплексному використанні з калійною формою мало б запобігти явищу фітотоксичності дерев. Препарат Actifos додавали з урахуванням рекомендацій продуцента. Дози та розміри крапель препарату узгоджували із фахівцями в цій галузі – проф. Т. Юнгом (Німеччина).

Результати дослідження та їх обговорення. Потрібно зауважити, що кількість контрольних дерев упродовж 2013–2017 рр. зменшилася на два, порівняно із початковою кількістю – ці дерева усунули із складу деревостану через їх всихання. Встановлено, що у 2017 р. істотно покращився показник санітарного стану в оброблених деревах, що характеризуються ступенем дефоліації, життєвістю та, відповідно, синтетичним індексом *Syn*, порівняно із контрольними деревами. У ґрунті під

практично усіма досліджуваними деревами виявлено патогени з роду *Phytophthora*: *Ph. cactorum*, *Ph. euro-paraea*, *Ph. ma Ph. quercina* (Tkaczyk et al., 2017).

Для оцінювання впливу використання фосфінів на показники коріння здійснено статистичне опрацювання результатів вимірювання морфолого-таксаційних показників дерев та досліджуваних показників коріння як в оброблених розчином дерев, так і у контрольних впродовж 2013–2017 рр. Результати статистичного опрацювання результатів дослідження опрацьовано для досліджуваних ознак впродовж 2013–2017 рр., але для дотримання вимог стосовно максимального обсягу матеріалу статті наводимо результати вимірювання тільки за 2017 р. (табл. 2). Встановлено, що середні значення діаметра стовбура дерева, загальної висоти та морфолого-таксаційних ознак крон є дещо вищими в оброблених деревах, але це зумовлене певною різницею у віці досліджуваних деревостанів (Lakin, 1980). Разом з тим, значення ознак коріння, за винятком сухої маси дрібних коренів, вищими є у контрольних деревах. Нижчі значення ступеня дефоліації та життєвості притаманні обробленим деревам, що свідчить про їх кращий санітарний стан, порівняно із контрольними деревами.

Аналізуючи значення коефіцієнтів варіації морфолого-таксаційних ознак стовбурів дерев, то варто зазначити, що найменші значення цього показника притаманні діаметру та висоті стовбура (14,2–18,4 та 12,3–15,3 % відповідно). Значно варіабельнішими є морфологічні ознаки крони: висота початку крони та радіуси крони за напрямками сторін світу (37,5–43,9 та 33,9–41,8 %). Встановлено, що вище значення коефіцієнтів варіації для висоти стовбура, висоти початку крони та висоти найширшого місця крони є у контрольних деревах, порівняно із обробленими фосфітами. Водночас, для радіусів крони за напрямками світу вищі значення коефіцієнтів варіації характерні для оброблених дерев. Аналізуючи значення асиметрії та ексцесу для морфолого-таксаційних показників можна дійти висновку, що розподіл часток дерев відповідних груп не тяжіє до класичного нормального розподілу та має швидше випадковий характер, що є нормальним, зважаючи на біологічні особливості дерев дуба звичайного

Серед ознак коренів розраховано такі коефіцієнти варіації (перше значення – для оброблених дерев, друге – для контрольних): *FRT* (59,0–69,4 %), *TRL* (35,2–56,9 %), *FRL* (37,4–59,3 %), *MRL* (49,1–43,5 %), *TRT* (58,9–69,3 %), *SFRL* (65,2–79,3 %), *SRTD* (86,2–94,0 %), *FRL/MRL* (113,6–68,6 %), *FRT/MRL* (106,48–83,8 %), *FRL/DWMMR* (126,9–151,41 %), *FRSA* (28,6–45,3 %), *DWFR* (48,3–53,7 %), *DWMMR* (63,9–88,8 %). Потрібно відзначити, що для більшості ознак коріння вищі значення коефіцієнта варіації притаманні контрольним деревам, за винятком показника *MRL* – довжина материнського коріння та показників, пов'язаних з ним: *FRL/MRL* – співвідношення довжини дрібних коренів до довжини материнського коріння та *FRT/MRL* – відношення кількості дрібних коренів до довжини материнських коренів. Це може свідчити про істотні відмінності у формуванні власне довжини материнського коріння та співвідношенні до нього довжини та кількості дрібних коренів оброблених та контрольних дерев. Також необхідно відзначити, що для більшості ознак характерна додатна асиметрія, за винятком власне довжини материнського коріння як для оброблених дерев (-

0,21), так і для контрольних (-0,07). Власне особливості розподілів більшості значень впливо від центрального ступеня цього показника, тобто у бік нижчих значень, порівняно із середнім, і підвищує значення коефіцієнта варіації для цієї та пов'язаної з нею ознаками. Те, що значення асиметрії вище для оброблених дерев і призводить до підвищення значення коефіцієнта варіації для оброблених дерев. Значення ексцесу також дозволяє пояснити вищі значення варіації для оброблених дерев, яке становить -0,81, а для контрольних дерев – 0,24. Отже, крива розподілу значень довжини материнського коріння для оброблених дерев також є більш плосковершинною, порівняно із розподілом контрольних дерев, що також впливає на підвищення значення коефіцієнта варіації. Таким способом можемо дійти висновку, що на формування материнського коріння для оброблених дерев існують додаткові чинники. Середнє значення довжини материнського коріння є вищим власне для оброблених дерев.

Для характеристик крони визначено такі коефіцієнти варіації: ступінь дефоліації (47,2–30,1 %), життєвість (46,0–15,0 %) синтетичного індексу *Syn* (45,0–18,2 %). Для ступеня дефоліації оброблених дерев характерною є додатна асиметрія (0,28), тоді як для контрольних дерев простежується від'ємна (-0,49). Асиметрія для життєвості для оброблених (-0,10) та для контрольних дерев (-0,19) є від'ємною, але вище значення притаманне все ж контрольним деревам. Значення асиметрії синтетичного індексу *Syn* є однаковим (-0,05) та також від'ємним. Значення ексцесу для усіх показників санітарного стану крони є від'ємними, що свідчать про їхню плосковершинність.

Значення статистичних показників для більшості ознак коренів істотно відрізняється від статистичних показників морфолого-таксаційних ознак дерев. Властивими для ознак коріння є нижчі значення показників точності досліду, що свідчать про доцільність збільшення кількості досліджуваних дерев та, відповідно, вищі значення коефіцієнтів варіації. Отже, оцінити вплив фосфітів як стимуляторів відірності дерев дуба до збудників з роду *Phytophthora* з урахуванням значень показників точності досліду можна тільки на 10 % рівні значимості, що істотно ускладнить процес створення регресійних моделей залежності показників санітарного стану від досліджуваних морфолого-таксаційних ознак дерев та коріння. Разом з тим, для окреслення загальних тенденцій цей рівень значимості може виявитися достатнім.

Першим етапом перевірки впливу використання фосфітів є перевірка різниці між середніми значеннями вибірок для дерев із застосуванням препарату та для контрольної групи (Lakin, 1980). Ми використали *t*-критерій Ст'юдента, який порівняли із відповідними табличними значеннями показника на *p*-рівні з відповідною значущістю та відповідною кількістю ступенів свободи.

При нерівновеликих вибірках, якщо $n_1 \neq n_2$ (n – кількість дослідів або варіант) помилку різниці між вибірковими середніми (s_d) визначаємо за формулою

$$s_d = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x}_1)^2 + \sum(x_i - \bar{x}_2)^2}{n_1 + n_2 - 2} \cdot \left(\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2}\right)}, \quad (2)$$

приймавши, що $s_1^2 = \sum(x_i - \bar{x}_1)^2$ та $s_2^2 = \sum(x_i - \bar{x}_2)^2$, отримаємо:

Таблиця 2. Основні статистичні показники значень ознак оброблених та контрольних дерев дуба звичайного на пробних площах

Показник	Ознака																							
	DBH	TH	BCr	BC _{min}	RC _{TH}	RC _{TE}	RC _{TS}	RC _{TH}	FRT	TRL	FRL	MRL	TRT	SFRL	SRTD	FRL/MRL	FRT/MRL	FRL/DWMR	FRSA	DWFR	DWMR	Def	Wit	Sym
Оброблені дерева																								
AM	49,6	31,5	7,6	24,4	5,3	5,6	6,1	5,4	6572,2	957,2	894,3	57,8	6582,1	1160,2	8854,1	26,0	182,3	540,9	105,2	0,9	1,2	33,5	1,33	1,17
s	9,1	3,9	2,9	3,7	2,2	2,3	2,2	2,2	3880,4	337,0	334,3	28,4	3882,3	756,3	7635,4	29,5	194,1	686,5	30,1	0,5	0,8	15,8	0,6	0,5
CV	18,3	12,3	37,5	15,3	41,0	41,8	35,8	41,0	59,0	35,2	37,4	49,1	59,0	65,2	86,2	113,6	106,5	126,9	28,6	48,3	63,9	47,2	46,0	45,0
min	33,9	21,2	2,0	14,6	1,7	1,8	2,1	1,7	1273,0	360,2	357,0	2,5	1277,0	367,0	1480,2	6,3	24,3	80,4	47,8	0,3	0,0	10,0	0,0	0,2
max	67,0	38,8	13,6	33,0	10,5	9,3	11,5	9,2	15499,0	1730,4	1696,1	107,9	15511,0	3513,8	28496,9	145,3	728,9	3124,4	183,7	2,5	3,0	60,0	2,5	2,0
A	0,01	-0,56	0,34	-0,11	0,61	0,01	0,66	0,08	0,53	0,53	0,69	-0,21	0,53	1,72	1,48	2,71	1,67	2,49	0,51	1,40	0,40	0,28	-0,10	-0,05
E	-0,88	0,69	-0,53	0,87	0,06	-1,07	0,64	-0,93	-0,61	0,27	0,46	-0,81	-0,61	3,05	1,60	8,66	1,89	6,62	0,51	3,08	-0,04	-1,02	-0,84	-1,05
SE	1,66	0,71	0,52	0,68	0,39	0,42	0,40	0,40	708,46	61,53	61,03	5,19	708,80	138,09	1394,03	5,38	35,43	125,34	5,49	0,08	0,14	2,89	0,11	0,10
ME	3,35	2,25	6,85	2,80	7,49	7,64	6,53	7,49	10,78	6,43	6,82	8,97	10,77	11,90	15,74	20,73	19,44	23,17	5,22	8,82	11,67	8,62	8,39	8,21
N	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Контрольні дерева																								
AM	48,3	29,1	6,0	21,9	4,0	4,7	5,4	4,4	8395,0	1097,6	1033,3	56,6	8406,4	1510,8	12229,9	21,1	164,2	390,1	104,8	0,8	1,7	43,4	2,11	1,70
s	6,9	4,4	2,6	3,5	1,5	1,6	1,9	1,6	5823,5	625,2	612,5	24,6	5827,2	1197,6	11500,7	14,5	137,6	590,7	47,5	0,4	1,5	13,1	0,3	0,3
CV	14,2	15,3	43,9	16,0	37,3	33,9	35,4	35,1	69,4	57,0	59,3	43,5	69,3	79,3	94,0	68,6	83,8	151,4	45,3	53,7	88,8	30,1	15,0	18,2
min	34,5	19,4	2,2	13,6	1,6	1,6	2,1	1,9	592,0	183,5	175,6	7,4	592,0	319,1	2442,7	3,3	23,0	1,0	28,5	0,2	0,0	20,0	1,5	1,2
max	60,0	38,8	11,6	27,2	7,3	7,1	9,1	7,8	21669,0	2458,6	2398,4	112,7	21669,0	4918,6	45613,5	73,1	699,5	3314,2	198,4	2,1	7,8	60,0	2,5	2,2
A	-0,25	0,13	0,53	-0,55	0,24	-0,17	0,06	0,35	0,62	0,69	0,70	-0,07	0,62	1,88	1,86	1,95	2,49	4,80	0,26	0,97	2,74	-0,49	-0,19	-0,05
E	-0,73	0,20	-0,72	-0,11	-0,68	-0,97	-0,70	-0,46	-0,42	-0,07	-0,06	0,24	-0,42	3,20	3,06	5,38	8,18	24,44	-0,52	0,88	10,35	-0,89	-0,43	-1,20
SE	1,29	0,84	0,50	0,66	0,28	0,30	0,36	0,29	1100,53	118,14	115,74	4,65	1101,24	226,33	2173,44	2,74	26,01	111,63	8,97	0,08	0,28	2,47	0,06	0,06
ME	2,68	2,88	8,30	3,02	7,05	6,41	6,69	6,64	13,11	10,76	11,20	8,21	13,10	14,98	17,77	12,96	15,84	28,61	8,56	10,14	16,78	5,69	2,82	3,44
N	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
t	8,88	24,27	19,48	26,75	19,02	12,39	8,75	13,78	526,99	128,92	128,69	4,82	527,26	225,84	694,97	20,84	28,25	120,17	1,35	3,79	8,41	52,43	22,88	16,67
t*	0,03	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,01	0,03	0,04	0,06	0,06	0,01	0,04	0,04	0,04	0,06	0,03	0,01	0,04	0,00	0,06	0,02	0,06	0,05
F	1,3	0,9	1,1	1,1	1,4	1,5	1,1	1,4	0,7	0,5	0,5	1,2	0,7	0,6	0,7	2,0	1,4	1,2	0,6	1,0	0,5	1,2	1,9	1,7

Примітка: AM – середнє значення ознаки; s – дисперсія; CV – коефіцієнт варіації; min – мінімальне значення ознаки; max – максимальне значення ознаки; A – асиметрія; E – ексцес; SE – помилка середнього значення; ME – показник точності досліду; N – кількість дерев, шт.; t – значення розрахованого показника t-критерію Стюдента для встановлення різниці середніх значень вибірок; t* – значення розрахованого показника t-критерію Стюдента для встановлення різниці показників варіації вибірок; F – F-критерій Фішера; DBH – середній діаметр стовбура, см; TH – загальна висота стовбура, м; BCr – висота початку крони, м; BCr_{min} – висота найширшого місця крони, м; RC_{TH} – радіус крони у північному напрямку, м; RC_{TE} – радіус крони у східному напрямку, м; RC_{TS} – радіус крони у південному напрямку, м; RC_{TH} – радіус крони у західному напрямку, м.

$$s_d = \sqrt{\frac{s_1^2 + s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \cdot \left(\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2}\right)}, \quad (3)$$

а значення t -критерію для такого випадку визначаємо за формулою:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s_d} = \frac{d}{s_d}. \quad (4)$$

Нульова гіпотеза спростовується, якщо $t_{\text{ф}} \geq t_{st}$.

Здійснивши порівняння таким способом середніх значень вибірок впродовж 2013–2017 рр. встановлено, що значення t фактично для усіх порівнюваних ознак є вищі за табличні значення, прийняті для відповідних рівнів значимості (для 5 % – 2,00, для 1 % – 2,66 та для 0,1 % – 3,46) та прийнятих кількості ступенів свободи ($n=56$). Тобто різниця середніх значень вибірок морфолого-таксаційних ознак та коріння дерев після використання фосфітів та контрольної вибірки є достовірною (Lakin, 1980). Винятком є тільки відсутність статистично значимої різниці між ознаками *FRSA* у 2017 р. (1,35), ступенем дефоліації (0,27) та життєвістю (0,78) у 2013 р.

Окрім порівняння середніх значень відповідних показників у визначений період часу, потрібно також встановити, чи динамічні процеси для дерев, які взято з вибірок із застосуванням препаратів та контрольних вибірок, відбуваються подібним чином чи відрізняються між собою. Таким способом можна отримати статистично обґрунтовані результати порівняння дерев із різних вибірок, які підтверджують вплив використаних фосфоринів на формування коренів дерев дуба звичайного. Для цього під час порівняння показників варіації ми використали t -критерій Ст'юдента* та F -критерій Фішера.

Як відомо, нульова гіпотеза ґрунтується на припущенні щодо рівності параметрів μ_1 і μ_2 та їх стандартних відхилень σ_1 і σ_2 генеральних сукупностей, з яких узяті вибірки, які порівнюють. Отже, разом з перевіркою нульової гіпотези про рівність генеральних середніх потрібно перевіряти і гіпотезу про рівність генеральних показників варіації. Це важливо, оскільки за однакових або близьких середніх \bar{x}_1 та \bar{x}_2 показники варіації вибірок можуть відрізнятися, і у цьому випадку потрібно знати, випадкові ці відмінності чи ні. Гіпотезу про рівність показників варіації сукупностей можна перевірити з допомогою t -критерію Ст'юдента*, який визначає відношення різниці цих показників до їх середньої статистичної помилки (Lakin, 1980). Отже, різницю між середньоквадратичними відхиленнями двох вибірок t -критерій Ст'юдента* визначають відношенням:

$$t^* = \frac{s_1 - s_2}{s_{ds}}, \quad (5)$$

де s_{ds} – помилка різниці між цими показниками, яку обчислюють за формулою

$$s_{ds} = \sqrt{\frac{s_1^2}{2n_1} + \frac{s_2^2}{2n_2}}. \quad (6)$$

Нульова гіпотеза заперечується, коли $t^*_{\text{ф}} \geq t_{st}$ для кількості ступенів свободи $k=n_1+n_2-2$ та прийнятому рівні значимості (α).

За порівнянням фактичних і табличних значень t -критерію Ст'юдента*, табличні порогові значення якого наведено вище, встановлено, що фактичні значення порівняння ознак не перевищує 0,01–0,06, що є істотно нижчим, від порогових значень для 0,1 % рівня значи-

мости. Отже, нульову гіпотезу про рівність генеральних показників варіації підтверджено.

Для перевірки гіпотези про рівність генеральних дисперсій t -критерій деколи виявляється недостатньо точним, особливо при малочисленних вибірках. У пошуках кращого критерію Р. Е. Фішер виявив, що замість різниці s_1-s_2 краще брати різницю натуральних логарифмів цих величин, тобто $(\ln s_1 - \ln s_2) = z$, де $s_1 \geq s_2$. Ця величина (z) розподіляється нормально не тільки за наявності великих, але і за середнього обсягу сукупностей (Lakin, 1980). Д. Снедекор запропонував замість логарифму відношення використовувати відношення вибіркової дисперсії F (F -критерій називають також критерієм Фішера-Снедекора):

$$F = s_1^2 / s_2^2. \quad (7)$$

При цьому завжди береться відношення більшої дисперсії до меншої, тому $F \geq 1$, а якщо обидві дисперсії рівні $F=1$. Чим істотнішим буде розходження між дисперсіями вибірок, тим більшим буде значення F -критерію, і, навпаки, чим менша різниця між дисперсіями s_1^2 і s_2^2 , тим меншою виявиться величина F . F -критерій має неперервну функцію розподілу і залежить тільки від кількості ступенів свободи $k_1=n_1-1$ і $k_2=n_2-1$. Він повністю визначається дисперсіями вибірок і не залежить від генеральних параметрів, оскільки припускається, що порівнювані вибірки характеризуються дисперсіями s_1^2 і s_2^2 , взятими з однієї і тієї ж генеральної сукупності. Графічне зображення функції розподілу можливих значень F за невеликої n має асиметричну форму, яка у міру збільшення кількості дослідів або варіант ($n \rightarrow \infty$) наближається до нормальної кривої. Критичні значення для F -критерію становлять 1,8 та 2,4 для рівнів значимості $\alpha=5\%$ та $\alpha=1\%$ відповідно.

За порівнянням фактичних і критичних значень F -критерію встановлено, що фактичні значення порівняння більшості ознак не перевищує 0,04–1,77, що є нижчим від порогових значень як для 1 %, так і для 5 % рівнів значимості. Винятком є тільки відсутність різниці на 1 % рівні *FRT* 2014 р. (1,9), *TRT* 2016 р. (2,1) та *FRL/MRL* 2017 р. (2,0), та на рівні 5 % – *FRLS* 2015 р. (2,4) та 2016 р. Таким способом нульову гіпотезу про рівність генеральних показників варіації підтверджено з використанням також і цього критерію.

Тобто, процес зміни ознак коріння відбувається подібно, але нижчі значення ступеня дефоліації, життєвості та синтетичного індексу *Syn* виявлені у дерев після використання фосфітів. Фосфіти в цьому випадку позитивно впливають на показники санітарного стану дерев, перешкоджаючи негативному впливу ооміцетів.

За результатами оцінки санітарного стану дерев у 2017 р. здійснено поділ оброблених та контрольних дерев на три групи за значенням індексу *Syn*: здорові – від 0,0 до 0,90; пошкоджені – від 0,91 до 1,80 та замираючі – від 1,81 до 3,00. Встановлено, що на відміну від оброблених фосфітами дерев, в яких присутні всі три групи дерев, у контрольних дерев наявні тільки пошкоджені та замираючі дерева. Порівняння середніх значень ознак оброблених та контрольних дерев або в окремо взяті роки, або впродовж усього терміну дослідження, не завжди будуть характеризувати вплив фосфітів на санітарний стан дерев. Окрім цього, достеменно не відомо, як довго патогени знаходяться в ґрунті та наскільки і як вони впливають на дерева дуба звичайного.

З отриманих дослідних даних ми не можемо однозначно стверджувати, що попередній санітарний стан оброблених та контрольних дерев були на однаковому або, хоча б, на близьких рівнях. Більше того, беручи до уваги значення ознак оброблених дерев, не можна виключати того, що власне їх санітарний стан був гірший. Тому для унаочнення впливу фосфітів на санітарний стан здійснено аналіз зміни значень досліджуваних ознак коріння кожного наступного року до значення попереднього року. Результати досліджень наведено на рис. 4–7. Для зручності порівняння на діаграмах наведено усередненні значення відповідних змін ознаки до попереднього року для вибраних за синтетичним індексом наявних груп дерев.

Аналізуючи зміну *FRT* встановлено, що для оброблених дерев, за винятком здорових дерев у 2015 р., впродовж 2013–2016 рр. спостерігається зменшення кількості верхівок дрібних коренів (див. рис. 4,1). Для контрольних дерев зменшення кількості дрібних коренів спостерігається впродовж 2014–2016 рр. Чіткої залежності у розмірі зміни цієї ознаки для груп оброблених та контрольних дерев не виявлено. Але у 2017 р. відзначено істотне зростання значення різниці цієї ознаки як для оброблених, так і для контрольних дерев, причому вищі значення збільшення ознаки відзначено для пошкоджених та замираючих контрольних дерев, порівняно із аналогічними групами оброблених дерев.

Зміна загальної довжини всіх коренів (*TRL*) для оброблених дерев демонструє тенденцію до зростання: тобто починаючи від 2013–2014 рр. відзначено затухаюче зменшення для усіх груп дерев із доволі істотним зростанням значень ознаки у 2017 р. (див. рис. 4,2). Для дерев контролю відзначено зростання значення ознаки у 2014 р., після чого – істотне зменшення приросту у 2015 р., з незначним наступним зростанням у 2016 та 2017 рр. Також потрібно відзначити, що вищі значення за відповідними групами дерев притаманні обробленим деревам у 2017 р., порівняно із контрольними деревами.

Тенденція зміни довжини дрібних коренів (*FRL*) загалом повторює тенденцію зміни *TRL*, тільки значення впродовж аналогічних відрізків часу є нижчими (див. рис. 4,3).

На противагу *TRL* та *FRL* зміна довжини материнського коріння *MRL* для оброблених дерев демонструє зменшення впродовж 2014–2015 рр., та зростання для пошкоджених та замираючих дерев впродовж 2016–2017 рр. (див. рис. 4,4). Для групи здорових дерев відзначено хоч і незначне, але зменшення ознаки впродовж усього періоду дослідження. Для замираючих контрольних дерев простежується зростання ознаки впродовж 2014–2016 рр., а для пошкоджених – стрибкоподібність зміни ознаки. У 2017 р. обидві групи контрольних дерев демонструють істотне зменшення *MRL*, порівняно із 2016 р.

Зміна кількості верхівок усіх коренів *TRT* повторює особливості *FRT*, за винятком дещо нижчих значень ознаки, що свідчить про збільшення у 2017 р. *TRT* за рахунок збільшення *FRT* (див. рис. 5,1).

Зміна специфічної довжини дрібних коренів *SFRL* як для оброблених, так і для контрольних дерев мають певні як спільні, так і відмінні ознаки – у 2014 р. для усіх санітарних груп простежується зменшення значення різниці цієї ознаки, а у 2017 р. – збільшення (див. рис. 5,2). Вищі значення різниці притаманні контрольним дере-

вам. Водночас, для здорових оброблених дерев впродовж 2015–2016 рр. відбувається зменшення різниці між значеннями поточного і попереднього років, для пошкоджених – відбувається істотне збільшення різниці значення ознаки, а для замираючих – навпаки, впродовж цього ж часу спостерігається зменшення зміни значень цієї ознаки. У той самий відрізок часу для контрольних дерев зміна *SFRL* для пошкоджених дерев є незначною, а для замираючих – простежується тенденція до збільшення додатних значень різниці цієї ознаки.

Зміна специфічного згущування верхівок дрібних коренів, яку розраховують як відношення кількості завершень дрібних коренів до їхньої сухої маси (*SRTD*) впродовж 2015–2017 рр., повторює тенденцію *SFRL* (див. рис. 5,3). На відміну від попереднього показника у 2014 р. *SRTD* для усіх санітарних груп оброблених дерев зростає, порівняно із 2013 р., а також відбувається зростання *SRTD* для замираючих дерев.

Для усіх груп оброблених та контрольних дерев зміна відношення довжини дрібних коренів до довжини материнських коренів *FRL/MRL* характерна спільна тенденція: у 2014 р. та у період 2016–2017 рр. простежується збільшення значень різниці цієї ознаки, а у 2015 р. – зменшення (див. рис. 5,4). Така динаміка може свідчити про подібність сукупного впливу комплексу біотичних та абіотичних чинників на розвиток кореневих систем дерев дуба звичайного. Також потрібно відзначити, що чіткої залежності чи закономірності у величині значень зміни *FRL/MRL* аналогічних санітарних груп оброблених та контрольних дерев не виявлено.

Зміна відношення кількості верхівок дрібних коренів до довжини материнських коренів *FRT/MRL* також має спільні тенденції для груп оброблених та контрольних дерев: впродовж 2014–2015 рр. та у 2017 р. відбувається збільшення цієї ознаки, а у 2016 р. – зменшення (див. рис. 6,1). Тут потрібно відзначити, що більшою є різниця у зміні *FRT/MRL* для груп оброблених дерев.

Певні відмінності у зміні відношення довжини дрібних коренів до сухої маси материнських коренів *FRL/DWMR* виявлено для груп оброблених та контрольних дерев (див. рис. 6,2). Для оброблених дерев притаманне збільшення зміни ознаки у 2014 та 2017 рр. та зменшення впродовж 2015–2016 рр. Для контрольних дерев збільшення ознаки відзначено у 2014 р., а впродовж 2015–2017 рр. для пошкоджених, та 2015–2016 рр. для замираючих дерев відзначено від'ємні значення зміни цієї ознаки. У 2017 р. відзначено незначне збільшення значення *FRL/DWMR* до значення попереднього року для замираючих дерев.

Зміна поверхні дрібних коренів *FRSA* також має відмінні ознаки для груп оброблених та контрольних дерев (див. рис. 6,3). Для усіх груп оброблених дерев відбувається поступове зменшення від'ємних значень різниці ознаки впродовж 2014–2016 рр., а у 2017 р. – істотне збільшення *FRSA*. Потрібно також відзначити, що найвище додатне значення зміни *FRSA* відзначено для пошкоджених дерев.

Для обох груп контрольних дерев відзначена певна стрибкоподібність у зміні *FRSA*. Для групи пошкоджених дерев відзначено почергове зростання та спадання впродовж 2014–2017 рр. Для замираючих дерев у 2014 р. та у період 2016–2017 рр. відбувалося збільшення різниці досліджуваної ознаки, а у 2015 р. – зменшення.

Зміна сухої ваги дрібних коренів *DWFR* також істотно відрізняється для груп оброблених та контрольних дерев (див. рис. 6,4).

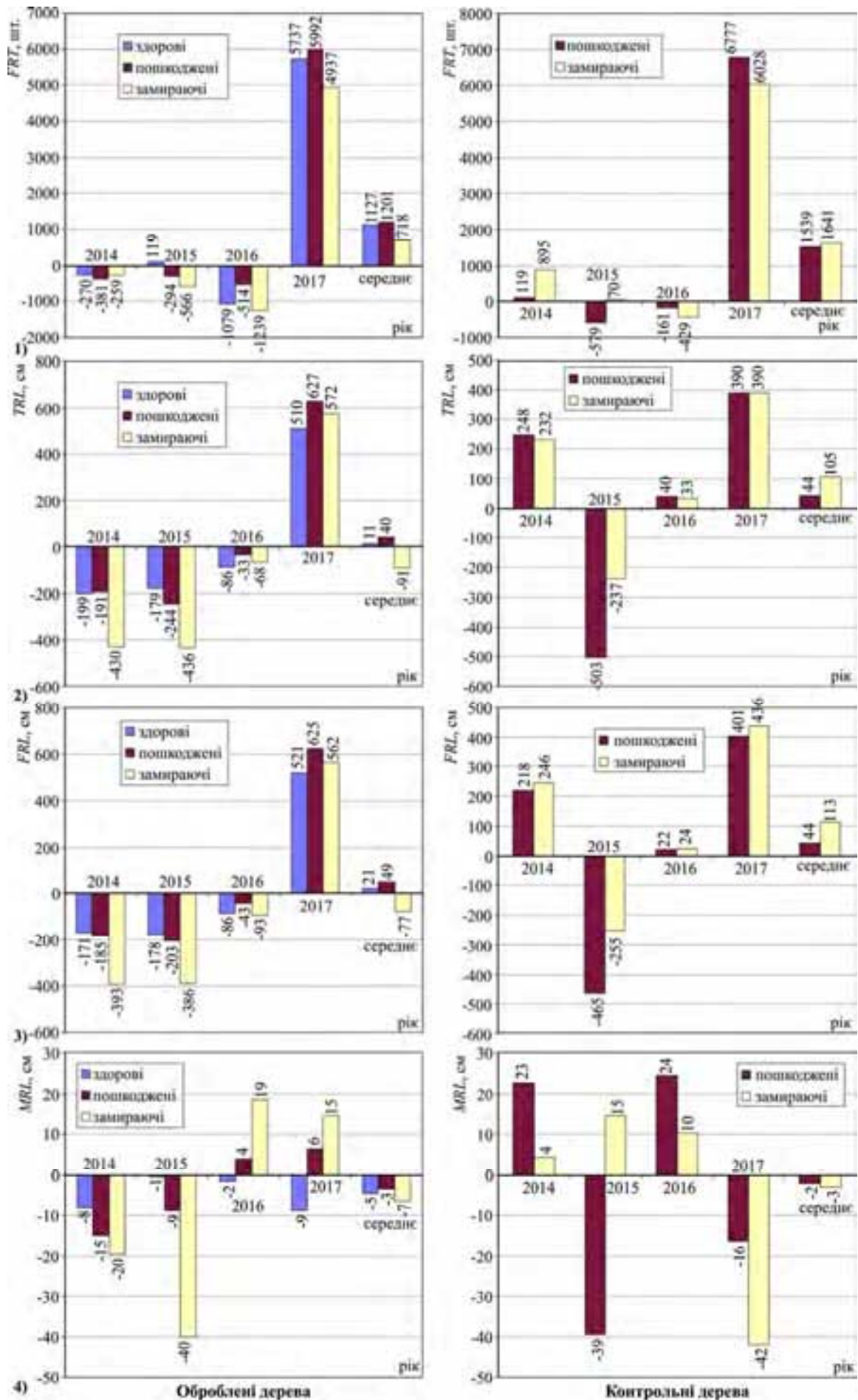


Рис. 4. Зміна: 1) кількості верхівок дрібних коренів; 2) загальної довжини всіх коренів; 3) довжини дрібних коренів; 4) довжини материнських коренів

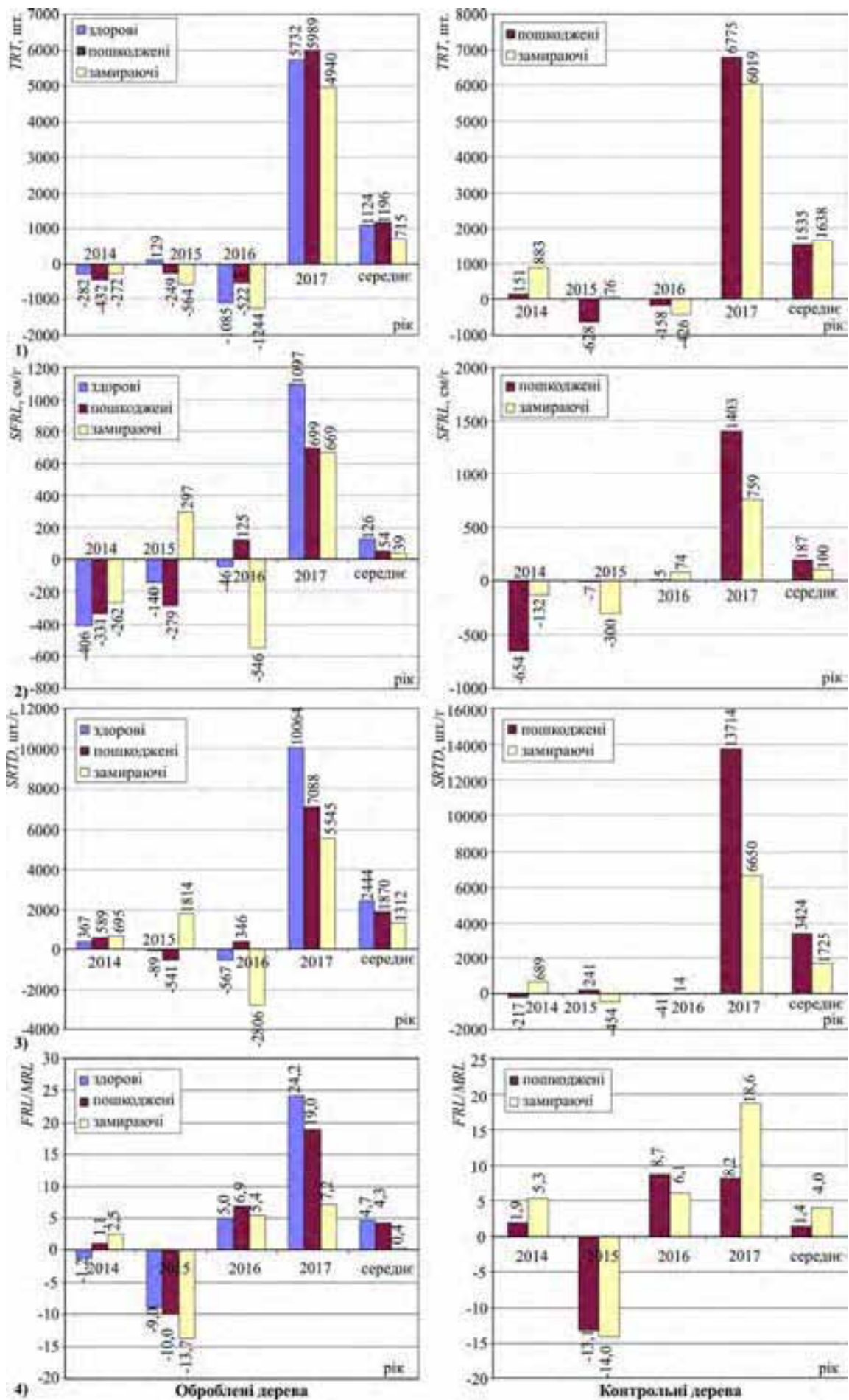


Рис. 5. Зміна: 1) кількості верхівок усіх коренів; 2) специфічної довжини дрібних коренів; 3) специфічного згущування верхівок дрібних коренів; 4) відношення довжини дрібних коренів до довжини материнських коренів

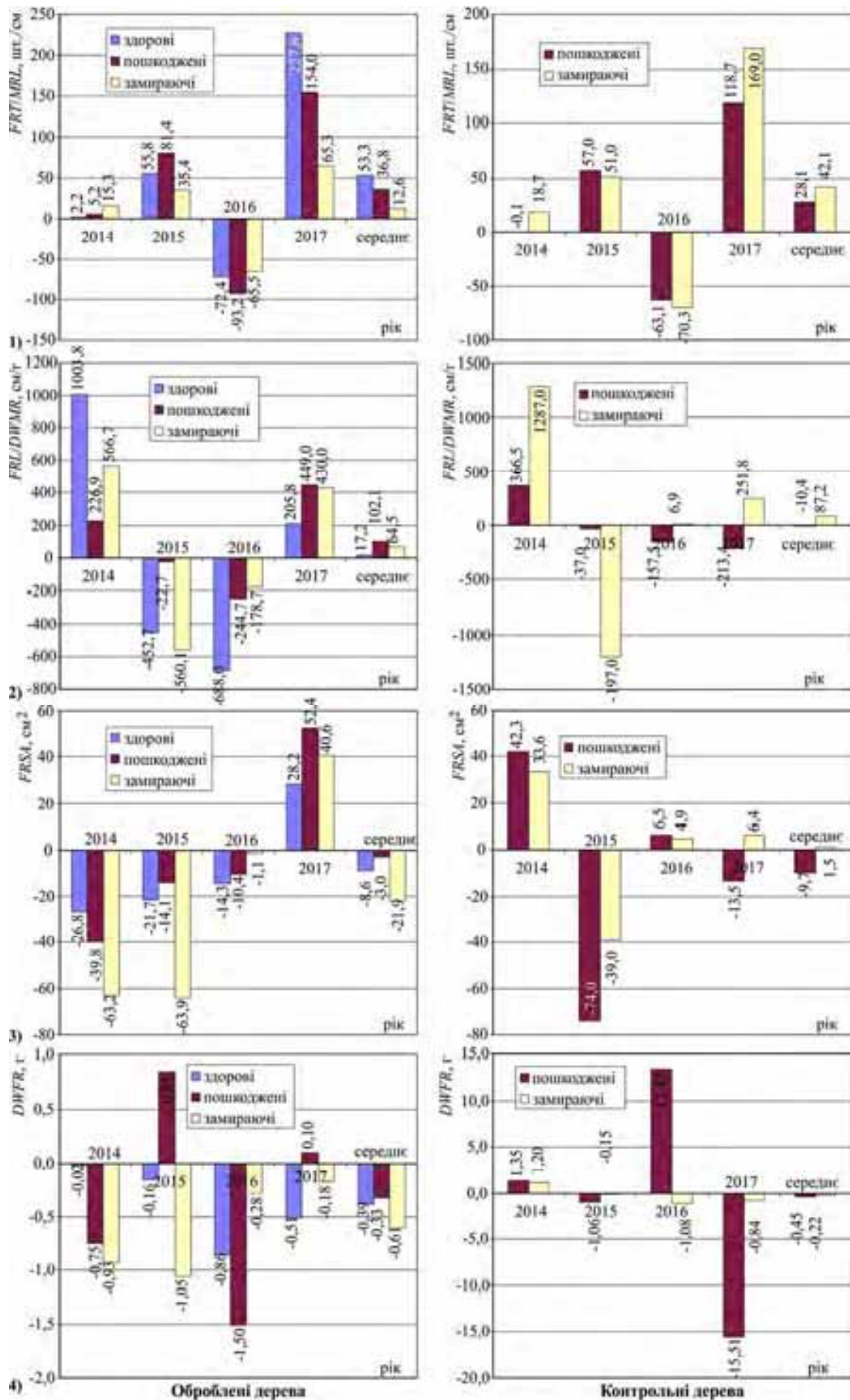


Рис. 6. Зміна: 1) відношення кількості верхівок дрібних коренів до довжини материнських коренів; 2) відношення довжини дрібних коренів до сухої маси материнських коренів; 3) поверхні дрібних коренів; 4) сухої ваги дрібних коренів

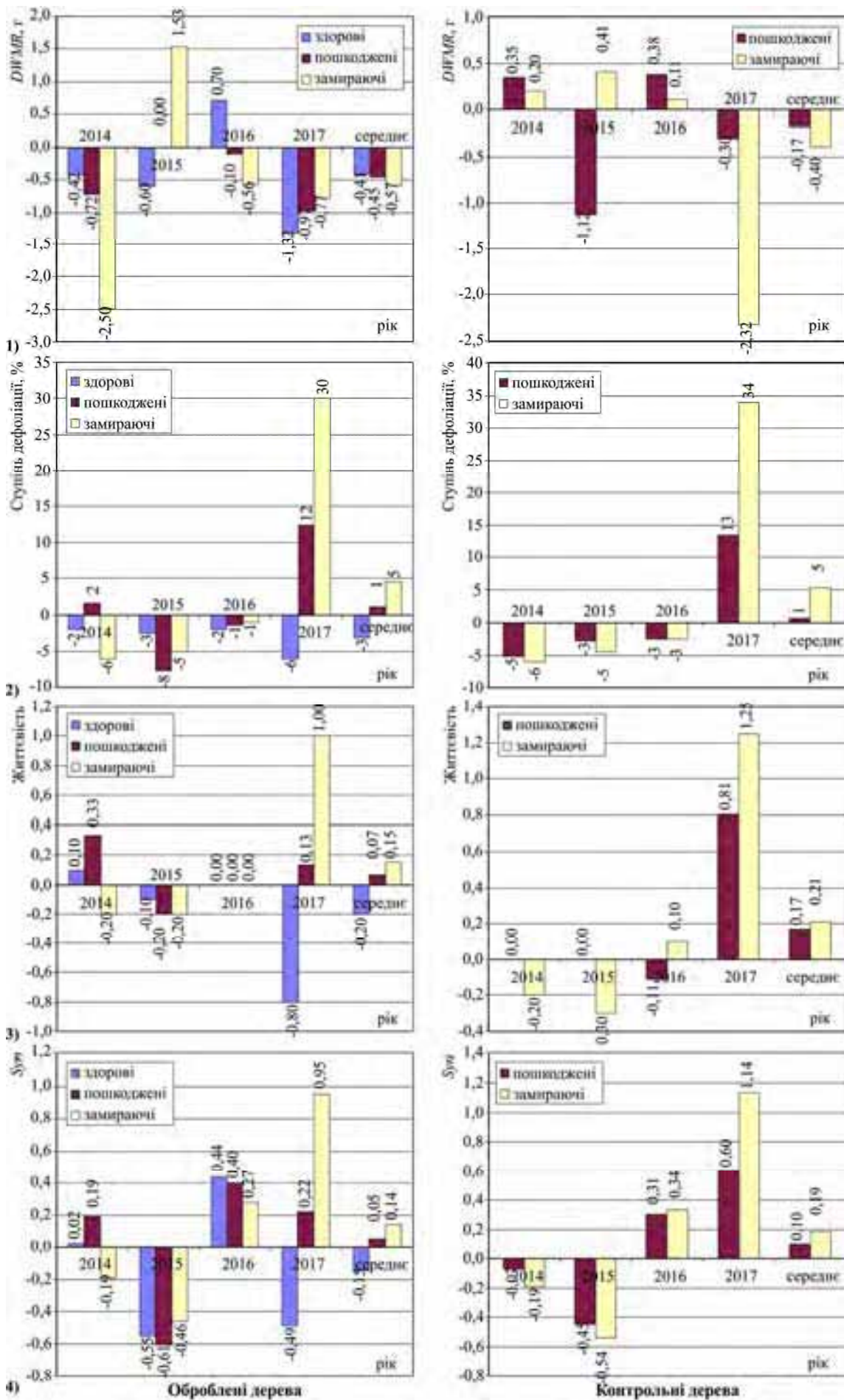


Рис. 7. Зміна: 1) сухої ваги материнських коренів; 2) значення ступеня дефоліації; 3) значення життєвості; 4) значення синтетичного індексу *Syn*

Табл. 3. Значення коефіцієнтів кореляції між досліджуваними показниками для оброблених дерев дуба звичайного на пробних площах

zab	DBH	TH	BCr	BCrmm	RCrN	RCrE	RCrS	RCrW	FRT	TRL	FRL	MRL	TRT	SFRL	SRTD	FRL/MRL	FRT/DWFR	FRSA	DWFR	DWFR	Def	Wti	Syn
DBH	1,00																						
TH	0,57	1,00																					
BCr	0,37	0,46	1,00																				
BCrmm	-0,03	0,52	0,22	1,00																			
RCrN	0,81	0,40	0,43	-0,06	1,00																		
RCrE	0,76	0,51	0,18	0,79	1,00																		
RCrS	0,72	0,56	0,39	0,29	0,75	0,71	1,00																
RCrW	0,65	0,35	0,11	-0,09	0,41	0,30	0,45	1,00															
FRT	-0,06	0,16	0,08	0,06	-0,03	-0,02	-0,03	-0,10	1,00														
TRL	0,08	0,16	0,16	-0,14	0,10	0,06	0,01	-0,05	0,89	1,00													
FRL	0,06	0,15	0,16	-0,12	0,08	0,05	-0,01	-0,07	0,90	1,00													
MRL	0,26	0,11	0,01	-0,17	0,15	0,11	0,22	0,20	-0,02	0,08	-0,01	1,00											
TRT	-0,06	0,16	0,08	0,06	-0,03	-0,02	-0,03	-0,10	1,00	0,89	0,90	-0,02	1,00										
SFRL	-0,25	0,02	-0,16	-0,01	-0,14	-0,06	-0,17	-0,22	0,63	0,54	0,38	-0,40	0,63	1,00									
SRTD	-0,27	0,03	-0,16	0,06	-0,20	-0,10	-0,19	-0,22	0,75	0,57	0,60	-0,33	0,75	0,96	1,00								
FRL/MRL	0,02	0,24	0,18	0,30	0,12	0,08	0,10	0,02	0,14	0,05	0,12	-0,75	0,13	0,38	0,30	1,00							
FRT/DWFR	-0,11	0,20	0,12	0,28	-0,02	-0,02	-0,05	-0,08	0,41	0,29	0,36	-0,74	0,41	0,59	0,55	0,93	1,00						
FRSA	0,31	0,22	0,35	-0,26	0,22	0,14	0,04	0,13	0,50	0,80	0,78	0,25	0,50	0,13	0,09	-0,11	0,02	-0,30	1,00				
DWFR	0,32	0,05	0,34	-0,08	0,11	0,06	0,02	0,22	-0,09	0,08	0,04	0,45	-0,09	-0,61	-0,54	-0,39	-0,43	0,45	1,00				
DWFR	0,02	-0,20	-0,22	-0,14	-0,07	-0,01	0,04	0,15	-0,13	-0,11	-0,18	0,78	-0,13	-0,33	-0,25	-0,66	-0,67	-0,51	-0,08	0,22	1,00		
Def	0,56	0,41	0,28	0,17	0,30	0,45	0,41	0,37	-0,20	0,01	-0,02	0,29	-0,20	-0,31	-0,35	0,02	-0,16	0,17	0,27	0,41	0,18	1,00	
Wti	0,13	0,10	0,11	0,15	-0,01	0,20	0,11	-0,04	0,11	0,20	0,18	0,24	0,11	-0,08	-0,05	-0,08	-0,13	-0,05	0,21	0,28	0,26	0,71	1,00
Syn	0,33	0,25	0,19	0,17	0,13	0,33	0,25	0,14	-0,02	0,13	0,11	0,28	-0,02	-0,19	-0,19	-0,04	-0,16	0,04	0,25	0,36	0,24	0,90	1,00

Табл. 4. Значення коефіцієнтів кореляції між досліджуваними показниками для контрольних дерев дуба звичайного на пробних площах

KON	DBH	TH	BCr	BCrmm	RCrN	RCrE	RCrS	RCrW	FRT	TRL	FRL	MRL	TRT	SFRL	SRTD	FRL/MRL	FRT/DWFR	FRSA	DWFR	DWFR	Def	Wti	Syn
DBH	1,00																						
TH	0,29	1,00																					
BCr	0,20	0,02	1,00																				
BCrmm	0,28	0,55	0,24	1,00																			
RCrN	0,21	-0,26	-0,01	-0,16	1,00																		
RCrE	0,53	-0,06	-0,02	0,07	0,44	1,00																	
RCrS	0,63	0,38	0,02	0,08	0,03	0,44	1,00																
RCrW	0,46	0,18	0,14	0,03	0,05	0,11	0,29	1,00															
FRT	-0,05	-0,13	0,03	0,13	-0,01	-0,13	0,00	-0,14	1,00														
TRL	-0,03	-0,09	0,03	0,19	-0,04	-0,16	-0,03	-0,18	0,97	1,00													
FRL	-0,04	-0,10	0,03	0,19	-0,04	-0,16	-0,03	-0,20	0,97	1,00													
MRL	0,22	0,12	-0,03	0,23	0,05	-0,16	0,00	0,27	0,38	0,42	0,38	1,00											
TRT	-0,05	-0,13	0,03	0,13	-0,01	-0,13	0,00	-0,14	1,00	0,97	0,97	0,38	1,00										
SFRL	0,17	-0,05	0,03	0,19	-0,06	0,21	0,30	-0,03	0,76	0,73	0,74	0,08	0,76	1,00									
SRTD	0,12	-0,06	0,01	0,13	-0,06	0,21	0,28	0,01	0,82	0,76	0,76	0,16	0,82	0,98	1,00								
FRL/MRL	-0,30	-0,36	-0,06	-0,14	-0,18	-0,08	-0,14	-0,24	0,61	0,55	0,57	-0,28	0,61	0,50	0,53	0,94	1,00						
FRSA	-0,09	-0,05	0,00	0,20	-0,05	-0,23	-0,10	-0,26	0,87	0,94	0,94	0,41	0,87	0,57	0,58	0,41	0,46	0,09	1,00				
DWFR	-0,44	-0,18	-0,29	-0,22	-0,08	-0,59	-0,44	-0,24	0,14	0,22	0,21	0,43	0,14	-0,34	-0,34	-0,08	-0,03	0,00	0,38	1,00			
DWFR	0,35	0,18	-0,16	-0,06	0,23	0,16	0,21	0,16	0,01	-0,01	-0,04	0,51	0,01	-0,11	-0,04	-0,42	-0,29	-0,28	-0,08	0,11	1,00		
Def	-0,15	-0,07	0,25	-0,10	0,19	-0,08	-0,16	0,02	-0,08	-0,06	-0,05	-0,27	-0,08	-0,20	-0,21	0,17	0,12	0,25	0,04	0,20	-0,39	1,00	
Wti	-0,30	-0,19	0,07	-0,32	0,02	-0,28	-0,32	-0,18	-0,20	-0,14	-0,12	-0,41	-0,20	-0,29	-0,34	0,18	0,07	0,24	-0,01	0,22	-0,33	0,54	1,00
Syn	-0,24	-0,14	0,19	-0,23	0,13	-0,19	-0,27	-0,08	-0,15	-0,11	-0,09	-0,38	-0,15	-0,28	-0,31	0,20	0,11	0,28	0,02	0,24	-0,42	0,90	1,00

Упродовж 2014–2017 рр. простежується зменшення значень цієї ознаки для усіх санітарних груп оброблених дерев, за винятком 2016 р., в якому відбулося збільшення значення різниці для пошкоджених дерев. Для контрольних дерев також не простежується спільна тенденція у зміні цієї ознаки для пошкоджених та замираючих дерев: для пошкоджених відбувається стрибкоподібне чергування додатних та від'ємних значень зміни *DWFR* впродовж 2014–2017 рр., а для замираючих дерев у 2014 р. відзначено незначне зростання значень зміни ознаки з наступним поступовим набуттям від'ємних значень впродовж 2015–2017 рр.

Зміна сухої ваги материнських коренів *DWMR* для груп оброблених та контрольних дерев також має цілу низку особливостей (див. рис. 7,1). Для здорових оброблених дерев зменшення значення цієї ознаки порівняно із попереднім роком відзначено у 2014, 2015 та 2017 рр., а збільшення – тільки у 2016 р. Для пошкоджених дерев у 2014, 2016 та 2017 рр. відзначено від'ємні значення зміни *DWMR*, а у 2015 р. – середнє значення зміни цієї ознаки не змінилося, тобто було аналогічне до значення 2014 р. Для *DWMR* замираючих оброблених дерев характерними є від'ємні значення зміни ознаки у 2014, 2016 та 2017 рр., а у 2015р. – додатними. Зміна значень *DWMR* для груп контрольних дерев має також низку відмінностей: для пошкоджених дерев середнє значення зміни ознаки зростає та набуває додатних значень у 2014 та 2016 рр., а у 2015 та 2017 рр. – навпаки: зменшується та, відповідно, набуває від'ємних значень. Замираючі дерева характеризуються додатними значеннями зміни ознаки впродовж 2014–2016 рр., а у 2017 р. – відзначено істотне зменшення цієї ознаки та, відповідно, набуття від'ємних значень зміни *DWMR*.

Зміна значення ступеня дефоліації для більшості груп оброблених та контрольних дерев мають спільні ознаки впродовж періоду дослідження: простежуються від'ємні значення зміни ступеня дефоліації впродовж 2014–2016 рр., але у 2017 р. відзначено збільшення цього показника та набуття додатних значень усіма групами, окрім групи здорових оброблених дерев у 2017 р. (див. рис. 7,2). Окрім цього, також відзначено додатні значення цього показника для пошкоджених оброблених дерев у 2014 р. Загалом ці дані свідчать про покращення загального санітарного стану оброблених та контрольних дерев впродовж 2014–2016 рр. У 2017 р. зменшення ступеня дефоліації, тобто покращення санітарного стану, відзначено тільки у здорових оброблених дерев.

Побідною до тенденції середнього значення зміни дефоліації для груп оброблених дерев є тенденція зміни життєвості (див. рис. 7,3). Винятком є тільки здорові оброблені дерева у 2014 р., зміна життєвості яких погіршилася, тобто зросла та набула додатних значень зміна цього показника. Також відзначено відсутність зміни у середніх значеннях цього показника для оброблених дерев у 2016 р. Середнє значення життєвості пошкоджених контрольних дерев впродовж 2014–2015 рр. не зазнало змін, порівняно із попереднім роком, у 2016 р. – зменшилося, а у 2017 р. істотно збільшилося. Для замираючих контрольних дерев впродовж 2014–2015 рр. характерними є від'ємні значення зміни цього показника, а впродовж 2016–2017 рр. – додатні, що свідчить про ослаблення можливостей регенерації крони, що також трактують як прояви погіршення загального санітарного стану дерев.

Результати зміни значення синтетичного індексу *Syn* для оброблених та контрольних дерев наведено на рис. 7.4. Тенденція зміни значень цього показника є відображенням формальної залежності від ступеня дефоліації крони та життєвості, тому тут простежується подібність як до тенденції зміни значень ступеня дефоліації, так і зміни значень життєвості. Істотно нижчі значення зміни *Syn* у 2017 р. для груп пошкоджених та замираючих оброблених дерев, порівняно із аналогічними значеннями груп контрольних дерев, також свідчать на позитивний вплив використання фосфітів для покращення як окремих показників крони (ступінь дефоліація та життєвість), так і загалом санітарного стану дерев. Цілком можливо, що наявність додаткової кількості фосфору у фосфітній формі дає змогу "легше" отримувати необхідну кількість елементу без "розбудови" розгалуженої системи дрібного та материнського коріння. Наслідком цього є нижчі середні значення більшості ознак коріння в оброблених дерев, порівняно із контрольними деревами. Очевидним також є те, що достатня кількість фосфору позитивно впливає на відпірність до патогенів з роду *Phytophthora*, наявність яких визначено у ґрунті.

Зважаючи на певні відмінності у процесах формування кореневих систем, які репрезентуються досліджуваними ознаками дрібного та материнського коріння дерев дуба звичайного, було здійснено кореляційний аналіз взаємозв'язків цих ознак з морфологічно-таксаційними ознаками стовбурів дерев та показниками, які характеризують стан крон цих дерев – ступенем дефоліації, життєвістю та синтетичним індексом *Syn*, для оброблених фосфітними дерев (табл. 3) та для контрольних дерев (табл. 4).

Аналізуючи коефіцієнти кореляції між відповідними ознаками для оброблених (див. табл. 3) та контрольних дерев (див. табл. 4), встановлено, що є певні відмінності у залежності ознак коріння, морфолого-таксаційних ознак та показників крони для досліджуваних вибірок дерев. Для оброблених дерев характерними є вищі значення коефіцієнтів кореляції між морфолого-таксаційними ознаками стовбурів дерев: між *DBH* та *TH* – 0,57; *RCr_N* – 0,81; *RCr_E* – 0,76; *RCr_S* – 0,72; *RCr_W* – 0,65; між *TH* та *BCr* – 0,46; *BCr_{nm}* – 0,52; *RCr_N* – 0,40; *RCr_E* – 0,51; *RCr_S* – 0,56, у той час як для контрольних: між *DBH* та *TH* – 0,29; *RCr_N* – 0,21; *RCr_E* – 0,53; *RCr_S* – 0,63; *RCr_W* – 0,46; між *TH* та *BCr* – 0,02; *BCr_{nm}* – 0,55; *RCr_N* – -0,26; *RCr_E* – -0,06; *RCr_S* – 0,38.

Значно вищі коефіцієнти кореляції між ознаками коріння, у тому числі для оброблених дерев: між *FRT* та *TRL* – 0,89; *FRL* – 0,90; *TRT* – 1,0; *SRTD* – 0,75; між *TRL* та *FRL* – 1,0; *TRT* – 0,89; між *SFRL* та *SRTD* – 0,96; між *FRL/MRL* та *FRT/MRL* – 0,93; *FRL/DWMR* – 0,91; та для модельованих дерев: між *FRT* та *TRL* – 0,97; *FRL* – 0,97; *TRT* – 1,0; *SRTD* – 0,82; *FRSA* – 0,87; між *TRL* та *FRL* – 1,0; *TRT* – 0,97; *FRSA* – 0,94; між *TRT* та *SFRL* – 0,82; *FRSA* – 0,87; між *SFRL* та *SRTD* – 0,96; між *FRL/MRL* та *FRT/MRL* – 0,94; *FRL/DWMR* – 0,91; між *FRT/MRL* та *FRL/DWMR* – 0,83. Отже, можна дійти висновку, що попри подібність та близькість зв'язків між значною кількістю ознак коріння існує різниця у таких зв'язках між обробленими та модельними деревами. Також потрібно відзначити, що для модельних дерев характерні вищі значення кореляції між ознаками коріння, порівняно із обробленими деревами.

За результатами кореляційного аналізу також було вибрано морфолого-таксаційні ознаки дерев та ознаки коріння, які використано для регресійних рівнянь залежності ступеня дефоліації та синтетичного індексу

Суп від цих ознак. Зважаючи на статистичні показники точності дослідів, для більшості ознак коріння можливо тільки наближено встановити коефіцієнти таких рівнянь, для опису тенденцій залежності показників санітарного стану від досліджуваних ознак. Моделювання залежності життєвості взагалі не здійснювали, оскільки практично відсутня хоча б слабка залежність цього показника від досліджуваних ознак.

За результатами дослідження отримано такі рівняння:

- залежність ступеня дефоліації (*Def*):

$$Def = -27,48 + 2,90DBH^{0,72} + 3,97TH^{0,59} + 0,01RCr_E^{7,37} - 13,99RCr_S^{0,29} + 1,84DWR^{1,80}, R^2 = 0,61; \quad (8)$$

- для оброблених дерев:

$$Def = 509,65 + 0,01BCr^{3,82} + 41,76\left(\frac{FRL}{DWMR}\right)^{-11,63} + 3,55DWR^{2,80} - 473,14DWMR^{-0,01}, R^2 = 0,58; \quad (9)$$

- залежність синтетичного індексу (*Syn*):

- для оброблених дерев:

$$Syn = 2,67 - 28,41DBH^{-114,88} - 17,52TH^{-63,25} + 18,79RCr_E^{-6,29} - 2,92RCr_S^{-0,29} - 63,02FRSA^{-302,52} + 0,14DWR^{2,35} + 0,01DWMR^{5,01}, R^2 = 0,64; \quad (10)$$

- для контрольних дерев:

$$Syn = -13,44 - 3,21DBH^{12,19} + 22,28RCr_E^{6,15} + 3,53MRL^{0,05} + 0,20\left(\frac{FRL}{DWMR}\right)^{1,29} + 12,11DWR^{0,01} - 492,03DWMR^{-5021,87}, R^2 = 0,60. \quad (11)$$

Для опису залежності ступеня дефоліації від морфолого-таксаційних ознак дерев та ознак коріння для оброблених дерев вибрано значення діаметра стовбура, висоти стовбура, радіусів крони у східному і південному напрямках та суха маса дрібного коріння, а для контрольних дерев – висота початку крони, співвідношення дрібних коренів до сухої маси материнських коренів, сухої маси дрібних коренів та сухої маси материнських коренів. Значення коефіцієнтів детермінації є невисокі, але зважаючи на значення показника точності дослідів та поставленої мети – вони є повністю достатні. Також необхідно відзначити, що вищі значення коефіцієнта детермінації характерні для оброблених дерев. Водночас, для опису залежності індексу *Syn* для оброблених дерев використано значення діаметра та висоти стовбура, радіусів крони у східному та південному напрямках, поверхні дрібних коренів, сухої маси дрібних коренів та сухої маси материнських коренів. Для опису цієї ж залежності для модельних дерев використано значення діаметра стовбура, радіуса крони у східному напрямку, довжини материнського коріння, відношення довжини дрібного коріння до сухої маси материнського коріння, а також сухої маси дрібного коріння та сухої маси материнського коріння.

Висновки. Загалом, на підставі статистичного опрацювання результатів дослідження встановлено статистично обґрунтовану відмінність у середніх значеннях досліджуваних ознак коріння для оброблених фосфітами та контрольних дерев. Аналогічно за результатами статистичного аналізу коефіцієнтів варіації вибірок можна стверджувати, що сукупний вплив біотичних та абіотичних чинників на ріст дерев та формування їхніх кореневих систем у досліджуваних деревостанах є подібним. Отже, можна стверджувати, що зважаючи на наявність в ґрунті патогенів з роду *Phytophthora* на те-

риторії Кротошинського плато (Польща), дерева, оброблені фосфітами, мають кращі показники стану крони, які було використано як індикатор загального санітарного стану досліджуваних дерев.

Здійснений аналіз зміни середніх значень ознак коренів показав відмінність у формуванні власне цих ознак у здорових, пошкоджених та замираючих оброблених та необроблених дерев. Ці групи характеризують за величиною значення синтетичного індексу *Syn*. Потрібно відзначити, що здорових серед контрольних дерев взагалі нема.

За результатами кореляційного аналізу встановлено певні відмінності у взаємозв'язках між ознаками коріння для оброблених та контрольних дерев, що також свідчить про вплив фосфітів на формування кореневої системи досліджуваних дерев дуба звичайного.

Зважаючи на певні особливості формалізації рівнянь регресії для встановлення залежності ступеня дефоліації та синтетичного індексу *Syn*, відібрано відповідні морфолого-таксаційні ознаки дерев та ознаки коріння. Отримані рівняння дають змогу простежити тенденції залежності ступені дефоліації та індексу та їхнього прогнозу *Syn* від вибраних ознак як для оброблених фосфітами дерев, так і для контрольних дерев.

Подяка

Дослідження здійснено в межах реалізації наукового стажування "Фосфіти як захист дрібного коріння від *Phytophthora*" (01.08.2017-31.10.2017), яке було профінансоване Стипендіальним фондом Науково-дослідного інституту лісового господарства (Секоцін Стари, Польща), відповідно до рішення Керівника Інституту від 5 травня 2017 р. (на підставі Угоди, укладеної 5 травня 2017 р.).

Acknowledgement

This paper was developed under a granted Scholarship "Phosphites as fine root protection against *Phytophthora*" (01.08.2017-31.10.2017), within Scholarship Fund of the Forest Research Institute, pursuant to the decision of the Head of the Institute dated 5th May, 2017 (based on an Agreement concluded on 5th May, 2017).

Перелік використаних джерел

- Bobrzański, B. (1979). *Analiza ilościowa związków organicznych*, PWN, Warszawa.
- Dmyterko, E. (1998). Metody określenia uszkodzeń drzewostanów dębowych. *Sylwan* 10, 29–38.
- Dmyterko, E., & Bruchwald, A. (2000). Metody określenia stopnia uszkodzenia drzewostanów bukowych i ich weryfikacja. *Sylwan*, 5, 49–58.
- Dmyterko, E., Wojtan, R., & Bruchwald, A. (2003). Stan zdrowotny drzewostanów jesionowych (*Fraxinus excelsior* L.) Nadleśnictwa Mirze. *Sylwan*, 12, 9–18.
- Erwin, D. C., & Ribeiro O. K. (1996). *Phytophthora* diseases worldwide. APS Press St. Paul, Minnesota, 562 pp.
- Fenn, M. E., & Coffey, M. D. (1984). Studies on the *in vitro* and *in vivo* antifungal activity of fosetyl-Al and phosphorous acid. *Phytopathology*, 74, 606–611.
- Fenn, M. E., & Coffey, M. D. (1985). Further evidence for the direct mode of action of fosetyl-Al and phosphorous acid. *Phytopathology*, 75, 1064–1068.
- Fotyma, M., & Mercik, S. (1995). *Chemia rolna*. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.
- Grant, D. M., Mörike, K., Eichelbaum, M., & Meyer, U. A. (1990). Acetylation pharmacogenetics: the slow acetylator phenotype is cau-

- sed by decreased or absent arylamine N-acetyl transferase in human liver. *The Journal of Clinical Investigation*, 85, 968–972.
- Grzywacz, A. (1990). Zgorzel siewek drzew leśnych. *Choroby drzew leśnych*, 3, 1–8 PWRiL, Poznań.
- Houston, D. R. (1967). The dieback and decline of northeastern hardwoods. *Trees*, 28, 12–14.
- Jankowiak, R., Stepniewska, H., Białński, P., & Koläik, M. (2014). Occurrence of *Phytophthora plurivora* and other *Phytophthora* species in oak forests of southern Poland and their association with site conditions and the health status of trees. *Folia microbiologica*, 59, 531–542.
- Jung, T. (2008). Widespread *Phytophthora* infestations of nursery stock in Central Europe as major pathway of *Phytophthora* diseases of forests and seminatural ecosystems. 3rd *International Workshop Phytophthora / Pythium and related genera. 9th Congress of Plant Pathology*, Turin, Italy, August 24–29 2008.
- Jung, T. 1998. Die *Phytophthora* – Erkrankung der europäischen Eichenarten – wurzelzerstörende Pilze als Ursache des Eichensterbens (The *Phytophthora* disease of European oak species – root destroying fungi as cause of oak decline). Lincom Europe, Munich, 143 p.
- Jung, T., & Blaschke, M. (2004). *Phytophthora* root and collar rot of alders in Bavaria: distribution, modes of spread and possible management strategies. *Plant Pathology*, 53, 197–208.
- Jung, T., & Burgess, H. (2009). Re-evaluation of *Phytophthora citricola* isolates from multiple woody hosts in Europe and North America reveals a new species, *Phytophthora plurivora* sp. nov. *Personia*, 22, 95–110.
- Jung, T., & Nechwatal, J. (2008). *Phytophthora gallica* sp. nov., a new species from rhizosphere soil of declining oak and reed stands in France and Germany. *Mycological Research*, 112, 1195–1205.
- Jung, T., Blaschke, H., & Neumann, P. (1996). Isolation, identification and pathogenicity of *Phytophthora* species from declining oak stands. *European Journal of Forest Pathology*, 26, 253–272.
- Jung, T., Blaschke, H., & Oßwald, W. 2000. Involvement of soilborne *Phytophthora* species in Central European oak decline and the effect of site factors on the disease. *Plant Pathology*, 49, 706–718.
- Jung, T., Cooke, D. E. L., Blaschke, H., Duncan, J. M., & Oßwald, W. (1999). *Phytophthora quercina* sp. nov., causing root rot of European oaks. *Mycological Research*, 103, 785–798.
- Kowalski, T. (1996). Oak decline II. Fungi associated with various disease symptoms on over ground portions of middle-age and old oak (*Quercus robur* L.) *European Journal of Plant Pathology*, 3, 136–152.
- Kowalski, T. (1999). *Ciboria batschiana* jako sprawca mumifikacji żołądki. *Sylwan*, 8, 57–69.
- Lakin, H. F. (1980). *Biometry*. Moskwa: High schoole. (in Russian).
- Mańka, K. (1998). *Fitopatologia leśna*. PWRiL Warszawa.
- Marçais, B., & Bréda, N. (2006). Role of an opportunistic pathogen in the decline of stressed oak trees. *Journal of Ecology*, 94, 1214–1223.
- Müller, E., & Stierlin, H. R. (1990). *Sansilva Kronenbilder mit Nadel- und Blattverlustprozenten*. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf.
- NATURA 2000. (2013). Standardowy formularz danych. Obszar PLH300002 Uroczyska Płyty Krotoszyńskiej, data opracowania 2002.
- Ostrowska, A., Gawliński, S., & Szczubiałka, Z. (1991). *Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin*. Instytut Ochrony Środowiska. Warszawa.
- Oszako, T. (2007). Przyczyny masowego zamierania drzewostanów dębowych. *Sylwan*, 6, 62–72.
- Oszako, T., & Orlikowski, L. B. (2005). Pierwsze dane o występowaniu *Phytophthora cinnamomi* na dębie szypułkowym w Polsce. *Sylwan*, 20, 1–7.
- Przybył, K. (1999). Diseased changes in root systems of *Quercus robur* L. and *Betula pendula* ROTH trees and fungi identified in roots dead showing decay. *Zeszyt Naukowy AR im. H. Kollątaja w Krakowie*, 348, 143–152.
- Roloff, A. (2001). Baumkronen. Verständnis und praktische Bedeutung eines komplexen Naturphänomens. Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co, Stuttgart.
- Stepniewska, H., & Dłuszyński, J. (2010). Incidence of *Phytophthora cambivora* in bleeding lesions on beech stems in selected forest stands in south-eastern Poland. *Phytopathologia*, 56, 39–51.
- Stepniewska, H., Jankowiak, R., & Koläik, M. (2008). First report on *Phytophthora cambivora* from an oak stand in Poland. *Phytopathol. Pol.* 50, 85–86.
- Stocka, T. (1997). Atlas chorób żołądki. Fundacja Rozwój SGGW, Warszawa.
- Tkaczyk M., Milenković I., Nowakowska J. A., Borys M., Kałuski T., Gawlak M., Czyż M., & Oszako T. (2017). Morphological and molecular identification of *Phytophthora* species isolated from the rhizosphere of declining oak trees in Krotoszyn Plateau. *Genetika*, 49(1), 203–215. <https://doi.org/10.2298/GENSR1701203T>

Heorhiy H. Hrynyk¹, Tomasz M. Oszako², Miłosz Tkaczyk²

¹ Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine

² Forest Research Institute, Sekocin Stary, Poland

THE INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF PHOSPHITES AS STIMULANTS OF RESISTANCE OF COMMON OAK TREES (*QUERCUS ROBUR* L.) TO PATHOGENS OF THE GENUS *PHYTOPHTHORA* IN THE KROTOSZYN PLATEAU (POLAND)

The territory of the Krotoszyn Plateau is one of the largest compact oak complexes in Poland. The area is characterized by significant biodiversity, and negative phenomena that have been occurring over a long period of time and are associated with the weakening of oak stands can lead to their death in the area. One of these factors is increasingly called the activity of pathogens of the genus *Phytophthora*. The object of our study is phosphite-treated and control oak trees growing in oak forest stands in the Krotoszyn Plateau (Poland). The purpose of the study is to evaluate the activity of phosphites as stimulants of the resistance of common oak (*Quercus robur*) to the pathogen of the genus *Phytophthora* and the possibility of increasing their viability and general sanitary status in the territory of the Krotoszyn Plateau. The aim of the study is to establish a link between root system damage, crown health (defoliation and vitality of sprout), the presence of pathogens in soil, and analysis of the relationship between morphological and assessments features of common oak trees, signs of fine and mother root of trees. For this purpose, trial areas were installed on the territory of the Krotoszyn Forestry Area of the Regional Directorate of State Forests in Poznan (Poland), where oak stands were treated with Kalex and Actifos preparations. Thirty treated trees and 30 control trees were selected for comparative analysis. A statistically substantiated difference in the mean values of the studied root traits for the treated phosphites and control trees was established. The combined influence of biotic and abiotic factors on the growth of trees and the formation of their root systems in the investigated stands is found to be similar. Due to the presence of pathogens of the genus *Phytophthora* in the soil, trees treated with phosphites have the best values of the state of the crown, which was used as an indicator of the general health status of the trees under study. The analysis of changes in mean values of root traits showed a difference in the formation of these traits in healthy, damaged and fading phosphites-treated and control trees. Due to certain features, the dependence of the degree of defoliation and the synthetic index *Syn* on the corresponding morphological and assessments features of the trees and root features is formalized. The obtained regression equations allow explaining the trends and making an approximate forecast of modeled dependencies for the phosphites-treated and control trees.

Keywords: root traits; morphological and assessments features of trees; defoliation; vitality.