

<https://doi.org/10.15407/frg2025.02.137>

УДК 581.142:631.811

НАУКОВІ РОЗРОБКИ ТА ДОСЯГНЕННЯ ВЧЕНИХ СЕКЦІЙ «РІСТ І РОЗВИТОК РОСЛИН, ФІЗІОЛОГІЧНО АКТИВНІ РЕЧОВИНИ» УКРАЇНСЬКОГО ТОВАРИСТВА ФІЗІОЛОГІВ РОСЛИН (2020—2024)

І.В. КОСАКІВСЬКА, О.К. ЗОЛОТАРЬОВА, Л.В. ВОЙТЕНКО

Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного Національної академії наук України
01004 Київ, вул. Терещенківська, 2
e-mail: lesyavoytenko@gmail.com

Секція «Ріст і розвиток рослин, фізіологічно активні речовини» УТФР нараховує 19 членів, які працюють у відділі фітогормонології та відділі мембранології і фітохімії Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України. У звітний період дослідженнями фітофізіологів встановлено, що динамічні зміни в накопиченні, локалізації і балансі фітогормонів в органах культурних злаків є складовими багатокомпонентної відповіді на дію абіотичних стресорів. Розроблено наукові засади прикладної фітогормонології для ранньої діагностики стійких сортів зернових культур, створено оригінальну модель участі фітогормонів у формуванні стресостійкості пшениці, спельти та жита. Визначені стреспротекторні ефекти праймування та фоліарної обробки екзогенними фітогормонами є підґрунтям для створення екологічно безпечного способу індукування стійкості злаків. Встановлено фіторемедіаційну здатність водних макрофітів роду *Salvinia* до біологічної адсорбції важких металів із забрудненого водного середовища та створено передумови для розробки рекомендацій по використанню екзогенних фітогормонів з метою контролю їх росту й розвитку. В роботах фітохіміків проаналізовано альтернативні шляхи транспорту електронів, які запобігають перевідновленню електрон-транспортного ланцюга і надмірному утворенню активних форм кисню. Доведено, що одним із перспективних підходів до зменшення надмірної кількості вуглекислого газу в повітрі є біологічна фіксація CO₂ за допомогою рослин та мікроорганізмів, здатних перетворювати вуглець у мінеральні карбонати. Встановлено, що за використання рослинних ферментів цей процес значно прискорюється. Отримано результати, які розширили уявлення про механізм уловлювання і фіксації CO₂ в рослинах із різним типом фотосинтезу та забезпечення координації фотосинтезу й дихання в рослинних клітинах. Сформульовано наукове підґрунтя для розробки методу дистанційного моніторингу хімічного забруднення відкритих водойм за спектральними характеристиками води та макрофітів. Також отримано нові дані щодо співвідношення температур листової поверхні та навколишнього середовища, рівня і динаміки генерування теплової енергії у різні фази розвитку *Galanthus nivalis* L.

Ключові слова: фітогормонологія, фітохімія і мембранологія, біотехнологія, злаки, фотосинтез, важкі метали, стресостійкість.

Цитування: Косаківська І.В., Золотарьова О.К., Войтенко Л.В. Наукові розробки та досягнення вчених секції «Ріст і розвиток рослин, фізіологічно активні речовини» Українського товариства фізіологів рослин (2020—2024). *Фізіологія рослин і генетика*. 2025. 57, № 2. С. 137—151. <https://doi.org/10.15407/frg2025.02.137>

Секція «Ріст і розвиток рослин, фізіологічно активні речовини» УТФР нараховує 19 членів, які працюють у відділі фітогормонології та відділі мембранології і фітохімії Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України. Серед них 4 доктори, 12 кандидатів біологічних наук і 3 провідні інженери. Відділ фітогормонології, заснований у 1934 р., є головним науковим осередком в Україні, який здійснює фундаментальні розробки, спрямовані на вивчення фітогормонів в онтогенезі рослин різних систематичних груп і грибів, з'ясування сигнальної та адаптивної ролі фітогормонів, їхнього впливу на процеси росту, розвитку, формування і проростання насіння, вивчення клітинних механізмів адаптації основних сільськогосподарських культур із залученням молекулярних підходів й ультраструктурного аналізу. У відділі є унікальне обладнання (хромато-мас-спектрометр Agilent 1200 LC/MS, США) для ідентифікації та кількісного аналізу сумішей органічних сполук, що обслуговується висококваліфікованими фахівцями. Наукову школу фітогормонології, засновану в 1927 р. академіком М.Г. Холодним, нині очолює професор І.В. Косаківська.

Основними напрямками наукової роботи відділу мембранології та фітохімії є вивчення молекулярних механізмів процесів перетворення і накопичення енергії світла, структури й функцій мембран і надмолекулярних комплексів, які беруть участь у біологічній трансформації енергії, розробка теоретичних основ і прикладних підходів використання фотосинтезуючих організмів у біотехнологіях та альтернативній енергетиці.

У 2022 р. науковцями відділу фітогормонології було завершено виконання п'ятирічної відомчої НДР «Фітогормональна система нових генотипів *Triticum aestivum* L. та її диких попередників за дії екстремальних кліматичних чинників». Отримані результати продемонстрували, що динамічні зміни в накопиченні, локалізації і балансі ендогенних фітогормонів абсцизової (АБК), індоліл-3-оцтової (ІОК), гіберелової (ГК₃), саліцилової (СК) кислот і цитокінінів в органах озимої пшениці сорту Подолянка та пшениці спельти сорту Франкенкорн є складовими багатокomпонентної відповіді на дію абіотичних стресорів [16, 19, 62]. На основі отриманих результатів створено оригінальну модель участі фітогормонів у формуванні стресостійкості пшениці та спельти й розроблено наукові засади ранньої діагностики стійких генотипів зернових культур. Зміни в характері накопичення, локалізації та співвідношенні між фітогормонами окремих класів в органах досліджених злаків за дії модельованої помірної ґрунтової посухи та короткотривалої високої температури належать до головних, які активують стрес-протекторну систему та формують стратегію адаптації [33, 34].

У 2023 р. завершено виконання п'ятирічної відомчої НДР «Гормональна регуляція росту і розвитку злакових рослин за дії негативних кліматичних чинників». В результаті проведених досліджень за основними фенотиповими ознаками метаболічних процесів визначена адаптаційна здатність озимої пшениці сорту Подолянка, пшениці спельти сорту Франкенкорн та жита сорту Богуславка до дії високої температури, охолодження та помірної ґрунтової посухи [21, 70, 71]. Доведено, що праймування зернівок 10^{-6} М розчином АБК індукує

стійкість озимої пшениці й спелити до високої температури та помірної ґрунтової посухи і прискорює післястресове відновлення [17, 18, 27, 29, 31].

Показано, що праймування зернівок жита 10^{-6} М розчином зетатину підтримує ріст рослин і пом'якшує негативний вплив високої температури й охолодження на гомеостаз ендогенних цитокінінів [61, 65, 66–68]. Отримані результати є підґрунтям для створення екологічно безпечного способу індукування стійкості злаків [24, 36].

Визначено видові та стрес-індуковані особливості накопичення вільних амінокислот, фенолів і флавоноїдів, вмісту й співвідношення фотосинтетичних пігментів, активності ліпоксигенази, ультраструктурної будови клітин мезофілу листків культурних злаків [4, 5, 51]. Показано, що універсальною реакцією на всі абіотичні стресори є накопичення проліну, а найстійкішим до високої температури й помірної ґрунтової посухи є пігментний комплекс озимої пшениці [49, 50]. Визначено фенотипові ознаки епідерми листової пластинки жита, які розглядаються як можливі біомаркери при проведенні селекційних робіт за різних умов зростання [1]. За результатами досліджень видано друком і в електронному вигляді колективну монографію «Гормональна система рослин за дії важких металів» [20] та два розділи у колективній монографії «Regulation of adaptive responses in plants», яка вийшла друком та в електронному вигляді в США [15, 64].

У рамках виконання завдань цільової програми наукових досліджень НАН України «Геномні, молекулярні та клітинні основи розвитку інноваційних біотехнологій» проєкт «Розроблення інноваційної біотехнології підвищення стійкості та врожайності злаків на основі комплексу сигнальних молекул рослинного і бактерійного походження для захисту навколишнього природного середовища і його відновлення» (2020–2021 рр.) здійснено хімічний синтез N-гексаноїл-L-гомосеринлактону (L-C₆-ГГЛ) та перевірено його біологічну активність. Вперше досліджено вплив праймування зернівок розчинами L-C₆-ГГЛ на вміст і розподіл п'яти класів ендогенних фітогормонів у рослинах озимої пшениці впродовж вегетації. Встановлено, що праймування L-C₆-ГГЛ індукувало зміни у фітогормональному балансі, які залежали від фази вегетації та органу рослини [2, 3, 14].

Результати наукових розробок були представлені у вигляді п'яти пленарних доповідей на міжнародних наукових конференціях «Актуальні проблеми фізіології рослин і генетики», присвяченій 75-річчю Інституту фізіології рослин і генетики НАН України (Київ, 2021 р.), «Стрес і адаптація рослин» (Харків, 2021 і 2023 рр.), XV З'їзді Українського ботанічного товариства (Івано-Франківськ, 2024 р.).

У 2024 р. розпочато виконання відомчої НДР «Природні регулятори росту в індукції стійкості злакових рослин до дії важких металів». Важкі метали (ВМ) належать до агресивних чинників забруднення біосфери, спричиняють мутагенні, генотоксичні й цитотоксичні ефекти у тварин, людей і рослин [13]. Високі концентрації ВМ негативно впливають на морфологічну будову, накопичення біомаси, фотосинтез, транспорт органічних речовин і мінеральне живлення, водний обмін та урожайність рослин. У відповідь на дію ВМ

у рослинному організмі формуються відповіді, дослідження яких має вирішальне значення для пошуку шляхів підвищення стресостійкості, збільшення продуктивності рослин, очищення забруднених ґрунтів і водойм.

Гормональна система відіграє важливу роль у реалізації конститутивної і набутої стійкості рослин до дії негативних екологічних чинників. Перспективним екологічно безпечним інноваційним підходом підвищення стійкості та врожайності є використання регуляторів росту рослинного (фітогормони) і бактеріального (сигнальні молекули класу ацилгомосеринлактонів (АГЛ)) походження. Зараз роль екзогенних фітогормонів та АГЛ і механізм їхньої дії при регуляції росту й розвитку та формуванні стресостійкості злакових рослин залишаються малодослідженими.

Вивчення фізіолого-біохімічних механізмів індукції екзогенними фітогормонами та регуляторами росту бактеріального походження стійкості злакових рослин до дії екстремальних екологічних чинників належить до фундаментальних наукових проблем, вирішення яких сприятиме розробці біотехнології підвищення стресостійкості та врожайності у нетоксичний та екологічно безпечний спосіб. У 2024 р. канд. біол. наук Л.М. Бабенко проходила стажування на факультеті хімії в університеті імені Марії Кюрі-Склодовської (м. Люблін, Польща). Стажування проходило за темою «Дослідження вмісту важких металів у ґрунті та рослинах на землях України, які постраждали від військових дій». Були одержані відомості щодо впливу бомбардувань на механічну текстуру, рН та елементний склад ґрунту. Показано, що детонація вибухових речовин призводить до ущільнення ґрунту і зниження рН. Зафіксовано зростання вмісту хрому, марганцю, свинцю, цинку.

У межах завдань п'ятирічної відомчої НДР «Екзогенні фітогормони в регуляції росту і розвитку водних макрофітів роду *Salvinia* — перспективних для фітоіндикації і фіторемедіації забруднених водойм» встановлено фіторемедіаційну здатність спорофіта *Salvinia natans* L. до біологічної адсорбції іонів цинку із забрудненого водного середовища та визначено ефекти екзогенної обробки фітогормонами цитокінінової та гіберелінової природи на морфологічні характеристики водяної папороті [25, 23, 26, 32].

У процесі виконання завдань проєкту «Визначення структурно-функціональних та молекулярних ознак стійкості дубу звичайного (*Quercus robur* L.) до аридизації клімату України» (КПКВК 6541230 «Підтримка розвитку пріоритетних напрямів наукових досліджень» 2022—2023 рр.) досліджено вплив природних регуляторів росту рослинного і бактерійного походження на проростання жолудів та морфометричні характеристики проростків/сіянців дубу звичайного (*Quercus robur*) і дубу червоного (*Quercus rubra*). Встановлено, що екзогенні гіберелова кислота (ГК₃) і сигнальна молекула класу ацилгомосеринлактонів С₆-ГГЛ виявились ефективними фітостимуляторами, здатними оптимізувати процес проростання жолудів й активувати подальший ріст сіянців [22, 28, 30, 69].

У 2020—2023 рр. професор І.В. Косаківська очолювала виконання двох спільних конкурсних проєктів науковців КНУ ім. Тараса

Шевченка та НАН України. Під час виконання проєкту «Дослідження протипухлинних властивостей біологічно-активних речовин цитокінінової природи з міцеліальної біомаси лікарських базидієвих грибів» виявлено, що неочищені екстракти грибів *Trametes versicolor*, *Pleurotus ostreatus* і *Morchella esculenta* мали вираженіший пригнічувальний цитотоксичний/цитостатичний ефект, ніж очищені цитокінінові фракції. Водночас рівень поглинання глюкози клітинами HepG2 за дії цитокінінових фракцій зменшувався, що вказує на нормалізацію біохімічної анаплазії, властивої пухлинним клітинам. Встановлено, що фітогормони цитокінінової природи є складовою комплексу біологічно активних речовин лікарських грибів, а найвищий цитотоксичний ефект на клітини цервікального раку людини лінії HeLa проявляють цитокінінові фракції з міцелію *Hericium erinaceus* [9, 44, 60, 63].

При відділі фітогормонології функціонує загальноакадемічний Центр колективного користування хромато-мас-спектрометром та загальноінститутська лабораторія культури тканин. На експериментальній науково-дослідній базі у Феофанії проводяться польові дослідження, спрямовані на пошук екологічних фітомодуляторів і фітостимуляторів для використання в агарному виробництві (рис. 1).

Співробітником відділу канд. біол. наук М.М. Щербатюком розроблено і налагоджено нові ізократичні й градієнтні хроматографічні методи для кількісного визначення фітогормонів ІОК, АБК, гіберелінів та одночасного визначення п'яти форм цитокінінів — зеатин-*O*-глюкозиду, зеатину, зеатинрибозиду, ізопентеніладеніну й ізопентеніладенозину. Підібрано умови іонізації речовин-аналітів у мас-детекторі для підтвердження наявності даних речовин у пробах. Розроблено і випробувано ізократичний та градієнтний методи для кількісного визначення саліцилової кислоти [35] та п'яти форм цитокінінів, гіберелінів, індоліл-3-оцтової й абсцизової кислот [52, 53].

Отже, проведені науковцями відділу фітогормонології пріоритетні фундаментальні дослідження гормонального статусу рослин та

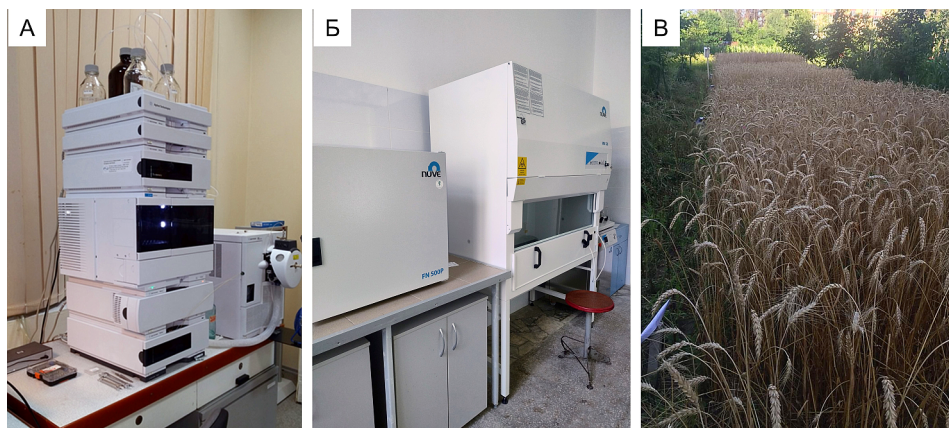


Рис. 1. Центр колективного користування хромато-мас-спектрометрії НАН України (А), лабораторія культури тканин (Б) та експериментальна науково-дослідна база у Феофанії (В)

фізіології стресів були спрямовані на вирішення як наукових, так й економічно значимих проблем сучасного аграрного сектора, а саме — на розкриття клітинних механізмів адаптації провідних сільськогосподарських культур (із залученням молекулярних підходів і ультраструктурного аналізу), виявлення молекулярних біомаркерів, перспективних у біотехнологічних розробках із підвищення стресостійкості культурних рослин, синтез нових екологічно безпечних речовин (ацилгомосеринів) та оцінку їх потенціалу як стреспротекторів і стимуляторів урожайності.

Науковці відділу мембранології та фітохімії у звітний період виконували завдання проєкту НДР «Координація біоенергетичних процесів у рослин за умов зростання вмісту атмосферного CO_2 ». Проаналізовано альтернативні шляхи транспорту електронів, які запобігають перевідновленню електронтранспортного ланцюга (ЕТЛ) і надмірному утворенню активних форм кисню, включно ФС I-опосередкований циклічний транспорт електронів, хлордихання і псевдоциклічний транспорт електронів. Показано, що кожен із цих альтернативних шляхів ЕТЛ є незамінним та сприяє підтримці функції ФС I навіть за умов відсутності стресу [73]. Досліджено особливості функціонування та будови фотосинтетичного апарату рослин за кореневої посухи [59], підтоплення [11] та за різних умов освітлення [58]. Проаналізовано роль карбоангідраз у механізмах концентрування карбону у водних фотоавтотрофів [46], визначено зміни в експресії та активності карбоангідраз за стресових умов [45].

Встановлено залежність світлоіндукованого синтезу АТФ у хлоропластах шпинату від рівня неорганічного вуглецю у середовищі та визначена інтенсивність утворення АТФ у темряві внаслідок штучно створеного градієнта рН. Показано, що інгібітори карбоангідрази після нетривалої інкубації з хлоропластами усували стимулювальний вплив бікарбонату на синтез АТФ, що свідчить про регуляторний зв'язок між рівнем неорганічного вуглецю у стромі й активністю АТФ-синтази хлоропластів [72]. Методом двовимірного електрофорезу досліджено білкові асоціати стромальної фракції хлоропластів з карбоангідразною активністю та проведено інгібіторний аналіз їх активності [57].

Встановлено, що зменшення швидкості фотохімічних реакцій за зниження температури довкілля може бути спричинене фазовим переходом мембранних ліпідів хлоропластів та уповільненням дифузійних процесів [48]. Отримані нові дані щодо співвідношення температур листової поверхні та повітряного середовища, рівня і динаміки генерування теплової енергії у різні фази розвитку *Galanthus nivalis* L. Встановлено, що збільшення ємності альтернативного дихання за низьких температур пов'язане з необхідністю енергетичного та пластичного забезпечення мінімального рівня метаболізму. Показано, що підвищена холодостійкість рослин *G. nivalis* зумовлена накопиченням цукрів у листках, здатних адаптуватися до контрастних температурних умов; виявлено збільшення максимальної продигової провідності (g_{max}) при підвищенні температури та встановлено пряму кореляцію між g_{max} і щільністю жилок (Dv), що розглядається як складова стра-

тегії адаптації холодостійких рослин до впливу ранньовесняних температур [6, 8].

Під час виконання завдань п'ятирічної відомчої НДР «Поліферментні комплекси і метаболони в забезпеченні фотосинтетичної асиміляції неорганічного вуглецю в хлоропластах» (2022—2026 рр.) у рослин із різними типами фотосинтезу досліджено особливості асиміляції неорганічного вуглецю і визначено роль мультиферментних комплексів у цьому процесі. Встановлено, що види з факультативним фотосинтетичним метаболізмом САМ здатні перемикатися з C_3 (або C_4) метаболізму, який притаманний цим видам в оптимальних умовах, на САМ-фотосинтез за стресових умов. Як потенційно факультативний вид (C_3 -САМ) визначено *Tetragonia tetragonoides*, що містить специфічний комплекс біологічно активних сполук і може бути перспективною сировиною для отримання ефективних препаратів для лікування та профілактики різноманітних хронічних захворювань і порушень обміну речовин [43, 75].

Доведено, що одним із перспективних підходів очищення повітря від надмірної кількості вуглекислого газу є біологічна фіксація CO_2 за допомогою рослин та мікроорганізмів, здатних перетворювати вуглець у мінеральні карбонати. Встановлено, що за використання рослинних ферментів цей процес значно прискорюється [46]. Проаналізовано здатність карбоангідраз (КА), ізольованих зі звичайного шпинату, лободи та новозеландського шпинату, пришвидшувати осадження $CaCO_3$ з розчину, насиченого CO_2 за додавання іонів Ca^{2+} . Показано, що додавання КА значно пришвидшило осадження $CaCO_3$. Мікроскопічний аналіз не виявив критичних відмінностей у морфології та складі отриманого $CaCO_3$. Найактивнішою виявилася КА, ізольована з *T. tetragonoides*. Отримані результати відкривають шлях для створення «зелених» технологій декарбонізації. Вперше виявлено множинність форм КА у рослинах лободи, розподіл і активність яких залежала від температури. Отримані результати розширили уявлення про механізм уловлювання і фіксації CO_2 в рослинах з різним типом фотосинтезу та забезпеченні координації фотосинтезу та дихання в рослинних клітинах [74].

В процесі виконання прикладної НДР «Розробка теоретично-методичних основ і полігонна перевірка впливу забруднення довкілля нафтопродуктами й важкими металами шляхом прецизійних гіперспектральних та газометричних наземних і супутникових досліджень ветландів на території України» проаналізовано стан водних фітоценозів та підготовлено рекомендації з обробки даних аерозйомки для ідентифікації негативних наслідків техногенного впливу. Визначено інформаційні технології моніторингу екологічного стану ветландів у режимі реального часу з урахуванням забруднення середовища важкими металами і нафтопродуктами. Змонтовано камеру для вимірювання екосистемних потоків CO_2 й для визначення дихання екосистеми [10, 37].

Проведено спектрометрування магістрального каналу Бортницької станції аерації (БСА) і визначено спектральні індекси, які корелюють із вмістом NH_4^+ , PO_4^{3-} , хлорофілу *a* і солоністю води. Створено базу даних, яка об'єднує дані Державного агентства водних

ресурсів України щодо забруднення поверхневих вод за 16 параметрами і спектральні смуги В2, В3, В4 й В8 супутника Sentinel-2a за відповідні дати та за відповідними координатами, для 400 постів спостереження на території України для подальшого математичного аналізу з метою пошуку інформаційних ознак забруднення водотоків за супутниковими знімками. За параметрами ОЛР-флуоресценції визначено стан фотосинтетичного апарату очерету й рогозу та встановлено кореляцію максимального квантового виходу з окремими показниками хімічного забруднення води вздовж магістрального каналу БСА. Визначено довжини хвиль спектра відбиття води, за якими можна здійснювати моніторинг концентрації хлорофілу та фізіологічного стану рослин. Сформульовано наукове підґрунтя для розробки методу дистанційного моніторингу хімічного забруднення відкритих водойм за спектральними характеристиками води та макрофітів [7, 42, 47].

У співпраці з науковцями відділу клітинної біології та анатомії виконувались завдання п'ятирічної відомчої НДР «Структурні та метаболічні реакції рослин на глобальні зміни клімату». Дослідження пігментної системи листків водяної рослини жабурник звичайний *Hydrocharis morsus-ranae* показало, що плаваючі листки відзначаються лабільністю у накопиченні антоціанів, які сприяють захисту фотосинтетичного апарату за різних умов освітлення листків, розташованих на межі водного та повітряного середовищ [12].

Встановлено, що додавання метанолу в середовище культивування одноклітинної зеленої водорості *Chlamydomonas reinhardtii* пришвидшувало продукування H_2 через зменшення тривалості аеробної фази [55]. Показано, що за додавання метанолу відбувалась експресія *SAT1* гена, зростала активність мітохондріальної каталази та спостерігались зміни ультраструктурної будови мітохондрій *C. reinhardtii* [56].

Одноклітинні мікроводорості *Euglena gracilis* накопичують парамілон у вигляді гранул та фібрилярних структур, який належить до фібрилярних нерозгалужених β -(1,3)-глюканів, має протипухлинну та радіопротекторну активність, стимулює імунну систему, захищає від вірусних та бактеріальних інфекцій [40]. Відпрацьовано тристадійний протокол вирощування мікроводорості за додавання етанолу для отримання збагаченої парамілоном біомаси та розроблено рекомендації щодо режиму культивування *Euglena gracilis* з метою накопичення α -токоферолу та β -каротину [38, 39]. Показано, що непротеїнові амінокислоти γ -аміномасляна (GABA) і DL- β -аміномасляна (BABA) стимулюють ріст і захищають від фотопошкодження клітини *E. gracilis*. Результати, отримані при вивченні біотехнологічного потенціалу мікроводоростей, узагальнені в монографії [54].

У 2022 р. співробітники відділу виконували завдання НДР «Визначення структурно-функціональних та молекулярних ознак стійкості дуба звичайного (*Quercus robur* L.)» (КПКВК 6541230 «Підтримка розвитку пріоритетних напрямів наукових досліджень» 2022—2023 рр.). Для дистанційного вимірювання спектрів відбиття листків *Q. robur* безпосередньо на дослідних ділянках був створений вимірювальний комплекс для RGN-, RGB- та тепловізійної зйомки крон де-

рев (рис. 2). Він використовувався для тепловізійної зйомки і вимірювання спектрів відбиття крон під час комплексного дослідження фізіологічного стану дуба звичайного, включно вимірюванням флуоресценції хлорофілу (JIP-тест та РАМ-флуорометрія), CO_2 -газообміну, вмісту фотосинтетичних пігментів, спектрів відбиття на рівні листової пластинки та мікрокліматичних параметрів.

Листковий CO_2 -газообмін досліджували за допомогою спеціально створеного польового газометричного апаратного комплексу (рис. 3). Виявлено, що фізіологічний стан рослин здебільшого залежав від щільності деревостою, ніж від висоти зростання дерева над рівнем моря, при цьому спостерігалась відносно висока стійкість до таких



Рис. 2. Загальний вигляд дистанційного багатофункціонального вимірювального комплексу на основі БПЛА



Рис. 3. Загальний вигляд польового газометричного апаратного комплексу та листової камери для вимірювання листового CO_2 -газообміну

абіотичних чинників як температура, вологість та інтенсивність світла [47]. Встановлено, що характерною ознакою ультраструктурної будови хлоропластів дуба звичайного, поширеного у степовій зоні, є добре розвинена гранальна система та відсутність помітних крохмальних зерен, що вказує на низький вміст крохмалю та підвищену концентрацію глюкози і сахарози. Спираючись на оптичні характеристики епідермісу, які визначають рівень захисту листків дуба звичайного від ультрафіолетового випромінювання, зроблено висновок, що екранування листків послаблювалось з часом, і його ступінь мало залежав від умов зростання дерев [41].

REFERENCES

1. Babenko, L.M., Futorna, O.A., Akimov, Y.A., Romanenko, R.O., Kosakivska, I.V., Skwarek, E. & Wiśniewska, M. (2024). How short-term temperature stresses affect leaf micromorphology and ultrastructure of mesophyll cells in winter rye *Secale cereale* L. *Acta Physiol. Plantarum*, 46, 111. <https://doi.org/10.1007/s11738-024-03743-8>
2. Babenko, L.M., Futorna, O.A., Romanenko, K.O., Smirnov, O.E., Rogalsky, S.P., Kosakivska, I.V., Skwarek, E. & Wiśniewska, M. (2024). Exogenous N-hexanoyl-L-homoserine lactone mitigates acid rain stress effects through modulation of structural and functional changes in *Triticum aestivum* leaf. *App. Soil Ecol.*, 193(3), 105151. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.105151>
3. Babenko, L.M., Kosakivska, I.V. & Romanenko, K.O. (2022). Molecular mechanisms of N-acyl homoserine lactone signals perception by plants. *Cell Biol. Int.*, 46(4), pp. 523-534. <https://doi.org/10.1002/cbin.11749>
4. Babenko, L.M., Romanenko, K.O. & Kosakivska, I.V. (2020). Stress temperature and soil drought effects on amino acid composition in winter wheat. *Dopov. Nac. Akad. Nauk Ukr.*, No. 2, pp. 87-92. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2020.02.087>
5. Babenko, L.M., Romanenko, K.O. & Kosakivska, I.V. (2021). Differential impact of the temperature stress and soil drought on lipoxygenase activity in winter rye plants. *Ukr. Bio. J.*, 93(6), pp. 130-138. <https://doi.org/10.15407/ubj93.06.130>
6. Belyavskaya, N.A., Fediuk, O.M. & Zolotareva, E.K. (2020). Soluble carbohydrates and plant cold acclimation. *Visn. Hark. Nac. Agrar. Univ., Ser. Biol.*, 2(50), pp. 6-34 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.35550/vbio2020.02.006>
7. Bilous, O., Afanasyev, S., Lietytska, O., Manturova, O., Polishchuk, O., Nezbyrsky, I., Pohorielova, M. & Barinova, S. (2021). Preliminary assessment of ecological status of the Siverskyi Donets river basin (Ukraine) based on phytoplankton parameters and its verification by other biological data. *Water*, 13(23), pp. 33-68. <https://doi.org/10.3390/w13233368>
8. Bilyavska, N.A., Fediuk, O.M. & Zolotareva, E.K. (2021). Morpho-anatomical features of cryophyte leaves during cold adaptation. *Visn. Hark. Nac. Agrar. Univ., Ser. Biol.*, 1(52), pp. 6-31 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.35550/vbio2021.01.006>
9. Garmanchuk, L.V., Vedenicheva, N.P., Al-Maali, G.A., Ostapchenko, D.I., Tseyslyer, Yu.V., Liashenko, V.A., Bisko, N.A., Kosakivska, I.V. & Ostapchenko, L.I. (2022). Antiproliferative activities of extracts from mycelial biomass of some medicinal basidiomycetes in human colon cancer cells Colo 205. *Exp. Oncol.*, 44(3), pp. 213-216. <https://doi.org/10.32471/exp-oncology.2312-8852vol-44-no-3.1>
10. Khalaim, O., Zabarna, O., Kazantsev, T., Panas, I. & Polishchuk, O. (2021). Urban green infrastructure inventory as a key prerequisite to sustainable cities in Ukraine under extreme heat events. *Sustainability*, 13(5), 2470. <https://doi.org/10.3390/su13052470>
11. Kordyum, E., Akimov, Y., Polishchuk, O., Panas, I., Stepanov, S. & Kozeko, L. (2024). Psammophytes *Alyssum desertorum* Stapf and *Secale sylvestre* Host are sensitive to soil flooding. *Plants*, 13(3), 413. <https://doi.org/10.3390/plants13030413>
12. Kordyum, E., Polishchuk, O., Akimov, Y. & Brykov, V. (2022). Photosynthetic apparatus of *hydrocharis morsus-ranae* in different solar lighting. *Plants*, 11(19), 2658. <https://doi.org/10.3390/plants11192658>

13. Kosakivska, I.V., Babenko, L.M., Romanenko, K.O., Korotka, I.Y. & Potters, G. (2021). Molecular mechanisms of plant adaptive responses to heavy metals stress. *Cell Biol. Int.*, 45(2), pp. 258-272. <https://doi.org/10.1002/cbin.11503>
14. Kosakivska, I.V., Babenko, L.M., Romanenko, K.O. & Futorna, O.A. (2020). Effects of exogenous bacterial quorum sensing signal molecule (messenger) N-hexanoyl-L-homoserine lactone (C6-HSL) on morphological and physiological responses of winter wheat under simulated acid rain. *Dopov. Nac. Akad. Nauk Ukr.*, No. 8, pp. 92-100. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2020.07.092>
15. Kosakivska, I.V., Babenko, L.M., Vasyuk, V.A., Voytenko, L.V. & Shcherbatiuk M.M. (2024). Chapter 2. Natural growth regulators as inducers of resistance in cereal plants against extreme environmental factors. In book: *Regulation of adaptive responses in plants*. Ed: Yastreb T.O., Kolupaev Y.E., Yemets A.I., Blume Y.B. Nova Science Publication, Inc. New York, pp. 33-82. <https://doi.org/10.52305/TXQB2084>
16. Kosakivska, I.V. & Vasyuk, V.A. (2021). Gibberellins in regulation of plant growth and development under abiotic stresses. *Biotechnol. Acta*, 14(2), pp. 5-18. <https://doi.org/10.15407/biotech14.02.005>
17. Kosakivska, I.V., Vasyuk, V.A. & Voytenko, L.V. (2020). Effect of priming with abscisic acid on the growth and post-stress rehabilitation of the wheat and spelt under conditions of a simulated moderate soil drought. *Fiziol. rast. genet.*, 52(1), pp. 74-83 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2020.01.074>
18. Kosakivska, I.V., Vasyuk, V.A., Voytenko, L.V. & Shcherbatiuk, M.M. (2021). Regulation of hormonal balance of wheat by exogenous abscisic acid under heat stress. *Visn. Hark. Nac. Agrar. Univ., Ser. Biol.*, 1 (52), pp. 52-66, 1(52), pp. 52-66 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.35550/vbio2021.01.052>
19. Kosakivska, I.V., Vasyuk, V.A., Voytenko, L.V. & Shcherbatiuk, M.M. (2022). Changes in hormonal status of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and spelt wheat (*Triticum spelta* L.) after heat stress and in recovery period. *Cereal Res. Comm.*, 50(4), pp. 821-830. <https://doi.org/10.1007/s42976-021-00206-5>
20. Kosakivska, I.V., Vasyuk, V.A., Voytenko, L.V. & Shcherbatiuk, M.M. (2022). Plant hormonal system under heavy metal stress. Kyiv: M.G. Kholodny Institute of Botany [in Ukrainian]. https://www.botany.kiev.ua/doc/hormonal_monograph_2022.pdf
21. Kosakivska, I.V., Vasyuk, V.A., Voytenko, L.V. & Shcherbatiuk, M.M. (2023). The effects of moderate soil drought on phytohormonal balance of *Triticum aestivum* L. and *Triticum spelta* L. *Cereal Res. Comm.*, 51, pp. 627-638. <https://doi.org/10.1007/s42976-022-00332-8>
22. Kosakivska I.V., Vasyuk, V.A., Voytenko, L.V., Shcherbatiuk, M.M., Babenko, L.M. & Romanenko, K.O. (2022). Effects of exogenous bacterial quorum-sensing signal molecule/messenger N-hexanoyl-L-homoserine lactone (C-HSL) on acorn germination and plant growth of *Quercus robur* and *Q. rubra* (Fagaceae). *Ukr. Bot. J.*, 79(5), pp. 329-338 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj79.05.329>
23. Kosakivska, I.V., Vasyuk, V.A., Shcherbatiuk, M.M., Voytenko, L.V. & Romanenko, K.O. (2024). Impact of exogenous zeatin on the growth, pigment complex and capacity of sporophytes of *Salvinia natans* (Salviniaceae) for biological extraction of zinc from the water. *Ukr. Bot. J.*, 81(6), pp. 406-416. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj81.06.443>
24. Kosakivska, I.V., Vedenicheva, N.P., Babenko, L.M., Voytenko, L.V., Romanenko, K.O. & Vasyuk, V.A. (2022). Exogenous phytohormones in the regulation of growth and development of cereals under abiotic stresses. *Mol. Biol. Reports*, 49(1), pp. 617-628. <https://doi.org/10.1007/s11033-021-06802-2>
25. Kosakivska, I.V., Vedenicheva, N.P., Shcherbatiuk, M.M., Voytenko, L.V. & Vasyuk, V.A. (2022). Water ferns in phytoremediation and phytoindication: current state and suitability for use. *Biotechnol. Acta*, 15(3), pp. 5-23. <https://doi.org/10.15407/biotech15.05.005>
26. Kosakivska, I.V., Vedenicheva, N.P., Shcherbatiuk, M.M., Voytenko, L.V. & Vasyuk, V.A. (2023). Phytohormones in the regulation of growth and development of water ferns of *Salviniaceae* family: mini review. *Studio Biol.*, 17(3), pp. 189-210. <https://doi.org/10.30970/sbi.1703.721>
27. Kosakivska, I.V., Voytenko, L.V., Vasyuk, V.A. & Shcherbatiuk, M.M. (2022). Effect of pre-sowing priming of seeds with exogenous abscisic acid on endogenous hormonal balance of spelt wheat under heat stress. *Zemdirbyste-Agricult.*, 109(1), pp. 21-26. <https://doi.org/10.13080/z-a.2022.109.003>

28. Kosakivska, I.V., Voytenko, L.V., Vasyuk, V.A. & Shcherbatiuk, M.M. (2022). Effect of priming with gibberellic acid on acorn germination and growth of plants of *Quercus robur* and *Q. rubra* (Fagaceae). *Ukr. Bot. J.*, 79(4), pp. 254-266 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj79.04.254>
29. Kosakivska, I.V., Voytenko, L.V., Vasyuk, V.A. & Shcherbatiuk, M.M. (2023). Absciscic acid-induced response of *Triticum aestivum* and *T. spelta* phytohormonal system to moderate soil drought. *Zemdirbyste-Agricult.*, 110(2), pp. 111-120. <https://doi.org/10.1007/s42976-022-00332-8>
30. Kosakivska, I.V., Voytenko, L.V., Vasyuk, V.A. & Shcherbatiuk, M.M. (2023). Morphological, physiological, and molecular components of the adaptive response to drought in the genus *Quercus* (Fagaceae). *Ukr. Bot. J.*, 80(3), pp. 251-266 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj80.03.251>
31. Kosakivska, I.V., Voytenko, L.V., Vasyuk, V.A. & Shcherbatiuk, M.M. (2024). ABA-induced alterations in cytokinin homeostasis of *Triticum aestivum* and *Triticum spelta* under heat stress. *Plant Stress*, 11, 100353. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100353>
32. Kosakivska, I.V., Voytenko, L.V., Vedenicheva, N.P., Vasyuk, V.A., Shcherbatiuk, M.M. & Romanenko, K.O. (2024). The influence of exogenous phytohormones and zinc sulfate on the morphophysiological characteristics of *Salvinia natans* (Salvinaceae). *Ukr. Bot. J.*, 81(2), pp. 167-180. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj81.02.167>
33. Kosakivska, I.V., Voytenko, L.V., Shcherbatiuk, M.M. & Vasyuk, V.A. (2020). Absciscic and indol-3-acetic acids in *Triticum spelta* L. after heat stress and during recovery period. *Visn. Hark. nac. agrar. univ., Ser. Biol.*, 2(50), pp. 83-92 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.35550/vbio2020.02.083>
34. Kosakivska, I.V., Voytenko, L.V., Shcherbatiuk, M.M. & Vasyuk, V.A. (2020). Dynamics and distribution of abscisic and indol-3-acetic acids in *Triticum aestivum* organs after short-term hyperthermia and during restoration. *Visn. Hark. nac. agrar. univ., Ser. Biol.*, 1(49), pp. 62-71 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.35550/vbio2020.01.062>
35. Kosakivska, I.V., Shcherbatiuk, M.M. & Voytenko, L.V. (2020). Profiling of hormones in plant tissues: history, modern approaches, use in biotechnology. *Biotechnol. Acta*, 13(4), pp. 14-25. <https://doi.org/10.15407/biotech13.04.014>
36. Kosakivska, I.V., Shcherbatiuk, M.M., Vasyuk, V.A. & Voytenko, L.V. (2024). Phytohormones in growth regulation and the formation of stress resistance in cultivated cereals. *Fiziol. rast. genet.*, 56(2), pp. 130-150 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2024.02.130>
37. Lialko, V.I., Zholobak, H.M., Duhin, S.S., Sybirtseva, O.M., Holubov, S.I., Dorofei, Ye.M. & Polishchuk, O.V. (2020). Experimental research of the carbon circle features in «atmosphere — vegetation» system over the wetland area within the forest — steep zone in Ukraine using remote spectro- and gasometry under the global climate changes. *Ukr. J. Rem. Sensin.*, 24, pp. 15-23 [in Ukrainian]. <http://jnas.nbuv.gov.ua/article/UJRN-0001108456>
38. Mokrosnop, V.M. & Zolotareva, E.K. (2021). Accumulation of α -tocopherol in microalgae cells. *Microbiol. Biotechnol.*, 2, pp. 6-26 [in Ukrainian]. [https://doi.org/10.18524/2307-4663.2021.2\(52\).223991](https://doi.org/10.18524/2307-4663.2021.2(52).223991)
39. Mokrosnop, V.M. & Zolotareva, E.K. (2021). Strategies for increasing alphanatocopherol content in plants. *Fiziol. rast. genet.*, 53(6), pp. 484-500 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2021.06.484>
40. Mokrosnop, V.M. & Zolotariova, Y.K. (2020). Polysaccharides of seaweeds' cell walls: structure and features (a review). *Hydrobiol. J.*, 56(5), pp. 41-50. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v56.i5.50>
41. Nedukha, O., Zolotareva, O. & Netsvetov, M. (2023). Phenotypic variability of epidermis structure and silicon inclusions in the leaves of *Quercus robur* in the Feofaniya Park. *Plant Introduct.*, 97/98, pp. 18-32. <https://doi.org/10.46341/PI2023001>
42. Nezbyrta, I., Bilous, O., Sereda, T., Ivanova, N., Pohorielova, M., Shevchenko, T., Dubniak, S., Lietytska, O., Zhezherya, V., Polishchuk, O., Kazantsev, T., Prychepa, M., Kovalenko, Y. & Afanasyev, S. (2024). Effects of war-related human activities on microalgae and macrophytes in freshwater ecosystems: a case study of the Irpin river basin, Ukraine. *Water*, 16(24), 3604. <https://doi.org/10.3390/w16243604>

43. Onoiko, O.B. & Zolotareva, O.K. (2024). Bioactive compounds and pharmacognostic potential of *Tetragonia tetragonioides*. *Biotechnol. Acta*, 17(1), pp. 29-42. <https://doi.org/10.15407/biotech17.01.029>
44. Ostapchenko, D., Vedenicheva, N. & Garmanchuk, L. (2022). Cytokinin fraction of the *Hericium coralloides* increases oxidative metabolism of murine peritoneal macrophages. *Biotechnol. Acta*, 15(4), pp. 27-29. <https://doi.org/10.15407/biotech15.04.027>
45. Polishchuk, O.V. (2021). Stress-related changes in the expression and activity of plant carbonic anhydrases. *Planta*, 253(2), 58. <https://doi.org/10.1007/s00425-020-03553-5>
46. Polishchuk, O.V. (2021). The roles of carbonic anhydrases in carbon concentrating mechanisms of aquatic photoautotrophs. *Algology*, 31(4), pp. 337-352 [in Ukrainian]. <http://jnas.nbu.gov.ua/article/UJRN-0001296427>
47. Polishchuk, O., Kazantsev, T., Bilous, O., Nezbryska, I., Burova, O., Stepanov, S. & Zolotareva, O. (2024). Application of satellite remote sensing for surface water quality assessment in Ukraine; integrating supervised learning and a spectro-temporal convolutional neural network. In: *Space research in Ukraine. 2022–2024*. O. Fedorov. (Ed.). Kyiv: Akademperiodyka, pp. 107-114. <https://doi.org/10.15407/akademperiodyka.507.172>
48. Polishchuk, A.V., Podorvanov, V.V. & Zolotareva, E.K. (2020). Electron and proton transport in chloroplasts of pea plants after night exposures to chilling temperatures. *Fiziol. rast. genet.*, 52(4), pp. 295-305. <https://doi.org/10.15407/frg2020.04.295>
49. Romanenko, K.O., Babenko, L.M. & Kosakivska, I.V. (2024). Amino acids in regulation of abiotic stress tolerance in cereal crops: a review. *Cereal Res. Comm.*, 52, pp. 333-356. <https://doi.org/10.1007/s42976-023-00418-x>
50. Romanenko, K.O., Babenko, L.M. & Kosakivska, I.V. (2022). The role of amino acids in the regulation of stress resistance of the cereal crops. *Fiziol. rast. genet.*, 54(3), pp. 251-269 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2022.03.251>
51. Romanenko, K., Babenko, L., Smirnov, O. & Kosakivska, I. (2022). Antioxidant protection system and photosynthetic pigment composition in *Secale cereale* subjected to short-term temperature stresses. *Open Agricult. J.*, 16 (Suppl-1, M3), e187433152206273. <https://doi.org/10.2174/18743315-v16-e2206273>
52. Shcherbatiuk, M.M., Voytenko, L.V., Kharkhota, M.A. & Kosakivska, I.V. (2021). Profiling of cytokinins in plant tissues: sampling, qualitative and quantitative analysis. *Fiziol. rast. genet.*, 53(4), pp. 346-368 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2021.04.346>
53. Shcherbatiuk, M.M., Voytenko, L.V., Vasyuk, V.A. & Kosakivska, I.V. (2020). Method for quantitative determination of phytohormones in plant tissues. *Studia Biologica*, 14 (2), pp. 117-136 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.30970/sbi.1402.624>
54. Stepanov, S.S. & Mokrosnop, V.M. (2021). *Metabolic processes and valuable substances of algae C.C. Scientific book (young scientists)*. Kyiv: Naukova dumka [in Ukrainian]. https://botany.kiev.ua/doc/stepanov_2021.pdf
55. Stepanov, S.S., Polishchuk, O.V. & Zolotareva, E.K. (2021). Using of preservatives (methanol, isoascorbate) in order to increase the photoproduction of H₂ by *Chlamydomonas reinhardtii*. *Visn. Hark. nac. agrar. univ., Ser. Biol.*, 3(54), pp. 49-55 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.35550/vbio2021.03.049>
56. Stepanov, S.S., Zolotareva, E.K. & Belyavskaya, N.A. (2020). The role of catalase in assimilation of exogenous methanol by *Chlamydomonas reinhardtii* cells. *J. Appl. Phycol.*, 32, pp. 1053-1062. <https://doi.org/10.1007/s10811-019-01962-y>
57. Topchiy, N.M., Dadyka, V.V., Chornoshtan, O.A. & Sytnik, S.K. (2021). Biochemical mechanisms and physiological consequences of the toxic effect of silver and mercury ions on higher plants. *Visn. Hark. nac. agrar. univ., Ser. Biol.*, 3(54), pp. 21-36 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.35550/vbio2021.03.021>
58. Topchiy, N.M., Mykhaylenko, N.F., Onoiko, O.B. & Syvash, O.O. (2020). The features of forest plant photosynthetic apparatus functioning under the different light supply. *Ukr. Bot. J.*, 77(4), pp. 314-323 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj77.04.314>
59. Topchiy, N.M., Dadyka, V.V. & Zolotareva, O.K. (2023). The influence of root hypoxia on the photosynthetic apparatus of spinach during hydroponic cultivation. *Fiziol. rast. genet.*, 55 (2), pp. 150-162 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2023.02.150>
60. Vedenicheva, N.P., Al-Maali, G.A., Bisko, N.A., Kosakivska, I.V., Ostrovska, G.V., Khranovska, N.M., Horbach, O.I., Garmanchuk, L.V. & Ostapchenko, L.I. (2021). Effect of cytokinin-containing extracts from some medicinal mushrooms mycelia on

- HepG2 cells in vitro. *Int. J. Med. Mushr.*, 23(3), pp. 15-28. <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushrooms.2021037656>
61. Vedenicheva, N., Futorna, O., Shcherbatyuk, M. & Kosakivska, I. (2022). Effect of seed priming with zeatin on *Secale cereale* L. growth and cytokinins homeostasis under hyperthermia. *J. Crop Improvem.*, 36(5), pp. 656-674. <https://doi.org/10.1080/15427528.2021.2000909>
 62. Vedenicheva, N.P. & Kosakivska, I.V. (2020). Cytokinins in cereals ontogenesis and adaptation. *Fiziol. rast. genet.*, 52(1), pp. 3-30 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2020.01.003>
 63. Vedenicheva, N. & Kosakivska, I. (2023). In search of the phytohormone functions in Fungi: Cytokinins. *Fungal Biol. Rev.*, 45, 100309. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2023.100309>
 64. Vedenicheva, N. & Kosakivska, I. (2024). Chapter 3 The regulatory role of cytokinins in adaptive responses of cereal plants. In book: Regulation of adaptive responses in plants. Yastreb T.O., Kolupaev Y.E., Yemets A.I., Blume Y.B. (Eds.). Nova Science Publication, Inc. New York, pp. 83-110. <https://doi.org/10.52305/TXQB2084>
 65. Vedenicheva, N.P., Shcherbatyuk, M.M. & Kosakivska, I.V. (2021). Endogenous cytokinins of *Secale cereale* L. under high temperature impact: dynamics and localization in the alarm, acclimation and recovery phase. *Fiziol. rast. genet.*, 53(4), pp. 292-306 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2021.04.292>
 66. Vedenicheva, N., Shcherbatyuk, M. & Kosakivska, I. (2022). Effect of low-temperature stress on the growth of plants of *Secale cereale* (Poaceae) and endogenous cytokinin content in roots and shoots. *Ukr. Bot. J.*, 79(3), pp. 184-192. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj79.03.184>
 67. Vedenicheva, N., Shcherbatyuk, M. & Kosakivska, I. (2023). Cytokinin localization and dynamics in rye plants under chilling and kernel priming with zeatin. *Fiziol. rast. genet.*, 55(1), pp. 74-89 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2023.01.074>
 68. Vedenicheva, N., Shcherbatyuk, M. & Kosakivska, I. (2024). Endogenous cytokinins in plants of *Secale cereale* (Poaceae) under the effects of soil drought. *Ukr. Bot. J.*, 81 (3), pp. 242-250 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj81.03.242>
 69. Voytenko, L., Vasyuk, V., Babenko, L., Shcherbatiuk, M., Romanenko, K. & Kosakivska, I. (2024). Pre-sowing treatment of acorns with gibberellic acid and N-hexanoyl-L-homoserine lactone induced changes in growth and hormonal balance of *Quercus robur* L. seedlings. *Forestry Studies*, 80, pp. 127-141. <https://doi.org/10.2478/fsmu-2024-0008>
 70. Voytenko, L.V., Vasyuk, V.A., Shcherbatiuk, M.M. & Kosakivska, I.V. (2024). Impact of chilling on growth and hormonal homeostasis of *Triticum aestivum* and *Triticum spelta* during initial stage of vegetation and after recovery. *Agricult. Forest.*, 70(1), pp. 239-256. <https://doi.org/10.17707/AgricultForest.70.1.17>
 71. Voytenko, L.V., Shcherbatiuk, M.M., Vasyuk, V.A. & Kosakivska, I.V. (2024). Role of cytokinins in the regulation the chilling stress response in *Triticum aestivum* and *Triticum spelta*. *Dopov. Nac. akad. nauk Ukr.*, No. 3, pp. 69-76. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2024.03.069>
 72. Zolotareva, E.K., Khomochkin, A.P. & Onoiko, O.B. (2020). Sulfonamides influence on the activity of thylakoid ATPase isolated from spinach chloroplasts. *Ukr. Biochem. J.*, 92 (4), pp. 96-102. <https://doi.org/10.15407/ubj92.04.096>
 73. Zolotareva, E.K. & Polishchuk, O.V. (2022). Chlororespiration as a protective stress-inducible electron transport pathway in chloroplasts. *Open Agricult. J.*, 16(1), e187433152208151. <https://doi.org/10.2174/18743315-v16-e2208151>
 74. Zolotareva, O.K., Topchiy, N.M. & Fediuk, O.M. (2023). Biocatalytic carbon dioxide capture promoted by carbonic anhydrase. *Biotechnol. Acta*, 16(5), pp. 5-21. <https://doi.org/10.15407/biotech16.05.005>
 75. Zolotareva, O.K., Topchiy, N.M. & Fedyuk, O.M. (2023). Biochemical and physiological features of new zeland spinach (*Tetragonia tetragonioides*) as a new crop for saline soils. *Fiziol. rast. genet.*, 55(6), pp. 506-518 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2023.06.506>

Received 20.02.2025

SCIENTIFIC DEVELOPMENTS AND ACHIEVEMENTS OF SCIENTISTS OF THE SECTION «GROWTH AND DEVELOPMENT OF PLANTS, PHYSIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES» OF THE UKRAINIAN SOCIETY OF PLANT PHYSIOLOGISTS (2020—2024)

I.V. Kosakivska, O.K. Zolotarova, L.V. Voytenko

M.G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine
2 Tereshchenkivska St., Kyiv, 01004, Ukraine
e-mail: lesyavoytenko@gmail.com

The Section «Growth and Development of Plants, Physiologically Active Substances» of the Ukrainian Society of Plant Physiologists (USPPh) consists of 19 members from the Department of Phytohormonology and the Department of Membranology and Phytochemistry of the M.G. Kholodny Institute of Botany NAS of Ukraine. During the reporting period, plant physiologists have demonstrated that dynamic changes in phytohormone accumulation, localization, and balance in cereal crop organs are integral to their multicomponent response to abiotic stressors. The scientific principles of applied phytohormonology have been developed for the early diagnosis of stress-resistant cereal crop genotypes. An original model has been created to illustrate the role of phytohormones in stress resistance formation in wheat, spelt, and rye. Studies have confirmed the stress-protective effects of priming and foliar treatment with exogenous phytohormones, laying the groundwork for an environmentally safe method to enhance cereal resistance. The phytoremediation capacity of *Salvinia* aquatic macrophytes for biologically adsorbing heavy metals from polluted water has been established. This research has set the stage for developing recommendations on using exogenous phytohormones to regulate plant growth and development. Phytochemical studies have explored alternative electron transport pathways that prevent the over-reduction of the electron transport chain and excessive reactive oxygen species formation. Research has also demonstrated that biological CO₂ fixation using plants and microorganisms capable of converting carbon into mineral carbonates is a promising approach for air purification. The process is significantly accelerated in the presence of plant enzymes. These findings enhance our understanding of CO₂ capture and fixation in plants with different photosynthetic pathways and the coordination of photosynthesis and respiration in plant cells. A scientific basis has been developed for remote monitoring of chemical pollution in open water bodies using spectral analysis of water and macrophytes.

Key words: phytohormonology, phytochemistry, membranology, biotechnology, photosynthesis, heavy metals, stress tolerance.

ORCID

I.B. КОСАКІВСЬКА — I.V. Kosakivska <https://orcid.org/0000-0002-2173-8341>

O.K. ЗОЛОТАРЬОВА — O.K. Zolotarova <https://orcid.org/0000-0001-7399-2213>

Л.В. ВОЙТЕНКО — L.V. Voytenko <https://orcid.org/0000-0003-0380-0807>