

УДК 634.54/.55-027.543(477)

Світовий досвід, перспективи в Україні розмноження фундука та мигдалю

Мацкевич В.В.¹, Кімейчук І.В.¹ , Мацкевич О.В.², Шита О.П.¹¹ Білоцерківський національний аграрний університет² Національний університет біоресурсів і природокористування України

Мацкевич В.В., Кімейчук І.В., Мацкевич О.В., Шита О.П. Світовий досвід, перспективи в Україні розмноження фундука та мигдалю. «Агробіологія», 2022. № 1. С. 179–191.

Matskevich V., Kimeichuk I., Matskevich O., Shita O. World experience, prospects of hazelnut and almond breeding in Ukraine. «Agrobiology», 2022. no. 1, pp. 179–191.

Рукопис отримано: 08.05.2022 р.

Прийнято: 23.05.2022 р.

Затверджено до друку: 24.06.2022 р.

doi: 10.33245/2310-9270-2022-171-1-179-191

Фундук і мигдаль є перспективними промисловими культурами завдяки яким можна диферсифікувати ризики, викликані кліматичними змінами. В Україні створено вітчизняні адаптовані до місцевих умов сорти мигдалю, які потребують швидкого розмноження. Створення високопродуктивних та стійких до нових хвороб сортів фундука також потребує розмноження цієї культури в значних обсягах.

Серед усіх методів вегетативного розмноження мікроклональне є найбільш перспективним. Перед введенням в асептичну культуру материнські рослини вирощують в умовах, які мінімізують ендогенне накопичення в тканинах контамінантів та фенолоподібних речовин. Для деконтамінації експлантів застосовують хіпхлорит натрію та препарат Бланідакс 300. Перспективним покращенням стерилізації експлантів фундука є введення в живильне середовище за первинного культивування біоциду РРМ. Зменшення контамінування експлантів мигдалю зменшується за збільшення концентрації іонів Cu, Ag в середовищі.

Основними детермінантами онтогенезу *in vitro* є елементи мінерального живлення та фітогормони. Поряд з класичними середовищами (DKW, QL, MS, WPM) для фундука перспективним є середовище NRM, а для мигдалю NAM. Надлишок в середовищі одних елементів знижує засвоєння інших, що проявляється візуально. Так, надлишок азоту викликає симптоми недостатнього засвоєння кальцію, міді. Посилюється цей процес за зростання температури. Також пагони регенерантів вкорочені, потовщені та мають надмірну гідратацію тканин.

Турецькими вченими запропоновано оригінальну методику створення прописів середовищ для мигдалю та фундука за кількісним вмістом елементів в насінні цих рослин.

Найбільш поширеними фітогормонами на етапі мультиплікації є цитокініни. Для обох культур більшість дослідників віддає перевагу бензиламінопурину. Для індукції ризогенезу найчастіше застосовують індолілмасляну кислоту.

Для адаптації регенерантів ефективним є субстрат на основі перліту. Як вид адаптації пропонують щепити регенеранти на проростки гіркого мигдалю.

В Україні розроблена методика фотоавтотрофного мікроклонального розмноження. Ці технологічні прийоми поряд із вегетативним розмноженням дозволяють проводити адаптацію регенерантів в короткі терміни. Вказана ефективність досягається активізацією процесів фотосинтезу, збільшенням вмісту вуглекислого газу та інтенсивності освітлення.

Ключові слова: фундук, мигдаль, зміна клімату, мікроклональне розмноження, детермінанти, живильні середовища, фітогормони.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. В Україні, як і в інших країнах світу відбувається зростання цін та ріст чисельності населення на планеті. Проблема глобальної зміни клімату є результатом дії цілої низки природних чинників. Це і діяльність людини, і недосконалі практики ведення землеробства, рубки лісів, забруднення водойм та ін.

Нерівномірний розподіл опадів та підвищення температури повітря є сприятливими умовами для зміни співвідношення площ під традиційні та нетипові види флори і фауни, що в кінцевому випадку може призвести до істотної зміни переважної частини природних та кліматичних зон, як у світі, так і в Україні [1].

Зміни кліматичних умов обумовлюються диверсифікацією традиційного землеробства, розширенням та застосуванням інноваційних органічних біотехнологій, інтродукцією нових груп плодових культур.

Ці проблеми загрожують людству як продовольчою, так і агроекологічною безпекою. Тому однозначно необхідним є збільшення виробництва продуктів харчування і, зокрема, продукції горіхоплідних культур. На сьогоднішній день в Україні відбувається розширення промислового складу плодових деревних видів, саме за рахунок горіхоплідних культур. Ця група включає малопоширені види помірної та субтропічної зон з різних родин, які формують тверді плоди – горіхи та сухі кістянки (фундук, горіх волоський, мигдаль, кедр сибірський, бук, фісташка, каштан солодкий). Цінністю таких плодів є насіння, яке називається ядром. Ядра за поживними характеристиками переважають більшість видів рослин, які вирощує людина.

На думку авторів [2, 3, 4, 5, 6, 7] перспективними для різних регіонів України горіхоплідними культурами є фундук (*Corylus avellana*) та мигдаль (*Prunus dulcis*). З них фундук є більш зимостійкою культурою, однак потерпає від високих температур та посух. Тому його доцільно вирощувати в центрі, на заході та півночі країни. В той же час мигдаль успішно росте на півдні, південному сході. Ці культури сприяють належному використанню та відновленню маргінальних земель.

Мигдаль – цінна горіхоплідна культура, що вирощується у багатьох країнах світу для отримання мигдальних горіхів. Україна кожен рік закуповує приблизно 2,5 тис. тон горіхів мигдалю [8]. Тому в умовах глобального потепління та кліматичних змін важливо, щоб цю культуру вирощували в Україні у промислових масштабах. Створення мигдальних садів – один з реальних способів диверсифікації сільського ви-

робництва в умовах мінливого клімату. Сухе, жарке та безводне літо є передумовою для розвитку садів з мигдалю, а в аграріїв є можливість диверсифікувати традиційний аграрний бізнес.

Сорти фундука походять від ліщини звичайної (*Corylus avellana*, *Corylus maxima*). Завдяки праці селекціонерів створені сорти, форми, які перевершують дикий тип за багатьма показниками. Зокрема, створені сорти та технології, за яких збирають 8–10 т горіхів з гектара [4]. Ядро фундука має високі смакові якості, придатність до бланшування та інші властивості, які цінуються в кондитерській промисловості. Також фундук є цінною декоративною культурою. Вітчизняна селекція не стоїть на місці оскільки змінюються вимоги до сортів у зв'язку зі зміною клімату, появою нових рас, штамів патогенів. Зокрема, у комерційних насадженнях, сформованих зі старих сортів фундука, в загрозливих масштабах спостерігається захворювання – східний опік горіхоплідних культур *Corylus* spp, викликана фітопатогенним грибом *Anisogramma anomala* [9, 10].

Із захворювань мигдалю поширені ті, що викликаються мікроорганізмами, тобто грибові, вірусні, бактеріальні захворювання (моніліоз або сіра гниль, клястероспоріоз, парша, іржа) та фізіологічні захворювання [11].

Сортові фундук і мигдаль розмножуються вегетативними способами: відсадками, щепленням та порослю [5, 12], а видові – ще й насінням. Тобто використовують вирощені підщепи, на які щеплять сортові живці. В якості підщепи для мигдалю солодкого служить мигдаль гіркий, алича, черемха, терен, слива тощо. Фундук здебільшого щеплять на ліщину звичайну, у випадку створення штамбових садів – на ліщину ведмежу (*Corylus colurna* L.).

Мета дослідження – оцінити сучасний стан, досвід та перспективи розмноження фундука та мигдалю в Україні та світі.

Матеріали і методи дослідження. У роботі використані загальнонаукові методи пізнання: аналіз, синтез та порівняння. Крім загальнонаукових методів використано аналіз картотеки Державного Реєстру сортів рослин, дозволених для вирощування в Україні, бази Scopus та Wos, на основі яких було систематизовано інформацію щодо мікронального розмноження фундука та мигдалю вітчизняними та закордонними вченими. На основі цих узагальнень було рекомендовано стійкі до змін клімату сорти фундука та мигдалю.

З метою пошуку оптимальних складових для вирощування садивного матеріа-

лу фундука, який звільнений від патогенів і розмножений *in vitro*, на основі закордонних публікацій виокремлено перспективні сорти, наприклад, як дослідження іранських вчених, які розробили системний підхід у деконтамінації рослинного матеріалу. Крім цього було визначено шляхи покращення вітчизняних сортів мигдалю – М 41Алекс, Е5 Борозан, Джорджия, Луїза на основі відбору найбільш ефективних для мікроклонального розмноження, а найкращими середовищами для їх культивування є середовище NRM, а для фундука NAM.

Тому актуалізувавши наявні дані щодо мікроклонального розмноження мигдалю і фундуку в Україні на основі закордонного досвіду, виокремлено оптимальні технології їх мікроклонального розмноження поширеними гормональними детермінантами в умовах *in vitro* такі, як синтетичний цитокинін бензиламінопурин для стимуляції пробудження, росту бруньок та синтетичний ауксин індолілмасляна кислота для стимулювання ризогенезу.

Результати дослідження та обговорення.

В Україні закінчилися польові випробування і кваліфікаційні процедури 4-х нових інтенсивних українських сортів мигдалю селекції ФГ ім. Унанова (селекціонер В.М. Бабанський), які були занесені до Державного Реєстру сортів рослин, дозволених для вирощування в Україні [13]. До 2020 року у розділі «Мигдаль» вітчизняних сортів не було. Їх характеристика представлена в таблиці 1.

Для розмноження відводками гнучкі стебла мигдалю пригинають до поверхні ґрунту, щоб зафіксувати, а потім присипати ґрунтом. Для такого виду розмноження варто забезпечити своєчасний полив, розпушування та прополювання ґрунту. За 1–2 роки формується коренева система з відводків, які відокремлюють та пересаджують на постійне місце.

За вирощування мигдалю, фундука з насіння висівають як в восени, так і ранньою весною. Перед цим насіння обов'язково стратифікують. За такого способу вирощування біологічні і товарні характеристики мигдалевого горіха можуть бути втрачені.

Розмноження мигдалю, фундука *in vitro* має суттєві переваги перед вище перерахованими способами розмноження. Так як процес проходить в ізолюваному середовищі рослини не інфікуються, не втрачаються біологічні характеристики, відсутня проблема відстрілу пагонів підщепи та фізіологічного переходу від підщепи до прищепи. До переваг також відносяться швидкі темпи розмноження та отримання доброякісного садивного матеріалу.

Для швидкого розширення площ під мигдалевими та фундуковими садами не вистачає високоякісних вільних від збудників хвороб саджанців вітчизняних та нових закордонних придатних до сучасних умов сортів. Для вирішення цієї проблеми актуальним є дослідження і впровадження у виробництво технологій оздоровлення і мікроклонального розмноження з оптимальними детермінантами на усіх етапах цього технологічного процесу.

Таблиця 1 – Біолого-господарська характеристика сортів мигдалю, залучених в дослідження

Показник	М 41Алекс	Е5 Борозан	Джорджия	Луїза
Напрямок використання	Універсального призначення			
Група стиглості	середньо стиглий	середньо стиглий	середньо стиглий	середньо стиглий
Урожайність	2,55 т/га	2,75 т/га	2,5 т/га	2,3 т/га
Зимостійкість, бал (1-9)	9	9	8	7
Стійкість до посухи	8	8	8	8
Сила росту	7-сильна	7-сильна	7-сильна	5-середня
Ступінь самоплідності, %	48,0	48,0	50,5	53,0
Середня маса плоду, г	4,5	6,5	4,1	3,8
Вміст у плодах: білка, %	23,5	20,5	35,0	32,5
жирної олії, %	56,7	58,7	58,0	56,8
Легкість видалення ядра, бал	8	8	8	8
Дегустаційна оцінка, бал (1-9)	8	8	9	8

Примітка: Сформовано на основі даних джерела [13].

В основі мікроклонального розмноження рослин є методи біотехнології рослин, що використовуються для оздоровлення і прискорення розмноження не тільки цінних сортів сільськогосподарських культур, а й розмноження рідкісних та зникаючих рослин.

Мікроклональне розмноження рослин – це вегетативне безстатеве розмноження в асептичній культурі, за якого отримують рослини генетично ідентичні батьківській формі.

Мікроклональне розмноження є більш ефективним та має переваги над традиційними методами:

- 1) можливість отримувати у великих кількостях садивний матеріал у рослин, що мають низький коефіцієнт розмноження;
- 2) отримання генетично константного матеріалу;
- 3) отримання безвірусного матеріалу;
- 4) можливість відбору *in vitro* рослинного біоматеріалу який цікавить дослідників та його збереження;
- 5) економія площі;
- 6) усунення сезонності виробництва завдяки відсутності впливу погодних умов на виробничий процес. Розмноження рослин триває протягом цілого року;
- 7) зменшення затрат людської праці.

Садивний матеріал, звільнений від патогенів і розмножений *in vitro*, використовують як для створення маточних насаджень, так і для беспереднього вирощування саджанців, якими формують виробничі насадження.

Технологічний процес вирощування садивного матеріалу фундука, мигдалю як і більшої частини рослин складається з чотирьох етапів:

- 1 – підготовка материнських рослин донорів первинних експлантів, введення та первинне культивування цих експлантів, тобто отримання стерильної культури;
- 2 – мультиплікація, тобто субкультивування із високими коефіцієнтами розмноження;
- 3 – індукція коренеутворення;
- 4 – постасептична адаптація.

Початок першого етапу та весь четвертий етап відбуваються в спеціальних спорудах закритого ґрунту.

Введення в асептичні умови, мультиплікація та ризогенез *in vitro* відбувається в асептичних умовах біотехнологічних лабораторій.

На першому етапі для уникнення таких явищ як самоінтоксикація первинних експлантів продуктами окиснення фенолоподібних речовин та ендогенної контамінації проводять заходи підготовки маточних рослин донорів первинних експлантів [14]. Все це роблять для отримання стерильної і морфогенної культури

in vitro. Експлантом може бути вихідний матеріал, який беруть з верхівки пагонів, з бокової бруньки, рідше частинки кореня, листка, суцвіття, черешок листка, гіпокотіль пророслого насіння та інших частин рослини.

Другим етапом є процес мікророзмноження, який відбувається в розсадництві прямим морфогенезом через активацію існуючих бруньок. На цьому етапі важливу роль можуть відігравати чинники: вид і сорт, фізіологічний стан донора експлантів, будова, походження і розмір експлантата, склад живильного середовища і фізичні умови культивування. Взаємодія цих факторів може впливати на рослинний матеріал як синергічно, так і антагоністично [15].

Вибір експлантата має суттєве значення для регенерації рослин та успішного проведення робіт. За можливості використовують матеріал, вицлений із сильних та здорових рослин. Вибір залежить від стану, виду, рослинно-донора (фази її розвитку), сезону року, та навіть положення експлантата на рослині. Апікальні частини пагонів, взяті з верхніх гілок дерева, мають вищу здатність до проліферації, ніж верхівки з базальних [3].

Індукція коренеутворення у пагонів є третім етапом мікроклонування. Він досягається додаванням у живильне середовище ауксинів.

Четвертий останній етап – це процес адаптації мікроклонально розмножених рослин з асептичних до нестерильних умов. Він є найбільш відповідальним. Недооцінка його може загубити всю проведену роботу. Розроблена ціла система адаптацій пробірочних рослин до звичайних умов. Щоб ефективність мікроклонального розмноження була високою, необхідно на всіх етапах цього процесу підтримувати оптимальні умови [15].

Культивування мигдалю, фундука як і інших видів рослин починається з етапу деконтамінації та первинного культивування експлантів *ex vivo*. Технологічні вимоги наступні: деконтамінація як від екзогенного, так і від ендогенного мікробіологічного забруднення; адаптація рослинних об'єктів на рівні трофічних та гормональних детермінант (а саме підбір гормонів, кількісного і якісного складу середовища за умістом мінеральних і органічних речовин); усунення загроз самоінтоксикації продуктами окиснення фенолоподібних речовин.

Для звільнення від контамінантів на поверхні експлантів *Prunus dulcis* Mill. частіше всього застосовують гіпохлорити кальцію [16, 17] або натрію [18, 19, 20]. Гіпохлорит кальцію використовують у вигляді 0,05 % розчину. Тривалість обробки цим розчином становить 20–30 хвилин. Для кращого проникнення антисеп-

тика в поверхневій тканині в розчин додають емульгатори, наприклад Твін 20 [16].

Частіше застосовують деконтамінацію в розчині гіполориту натрію. Перед обробкою видаляють криючі листки, промивають проточною водою, занурюють на 30 хв в 0,05 % (об.) NaOCl. Ця концентрація не впливає на регенерацію експлантів. За зниження концентрації збільшувалась кількість експлантів з поверхневою контамінацією. Більше забруднення встановлено за використання старих донорних рослин, віком 50 років, порівняно з ювенільними (трирічні щеплені саджанці) [19]. В окремих дослідженнях ще застосовують хлорид ртуті як антисептик контактної дії [20]. У якості додаткового поверхневого деконтамінанту застосовують етиловий спирт. Він покращує очищення як від мікрофлори, так і від бруду та води [15, 21]. Також зменшується кількість контамінантів за обробки первинних експлантів.

Ендогенне забруднення первинних експлантів складніше виявляється, з ним важче боротися. Це пов'язано з тим, що бактерії, гриби можуть проникати в тканини, які не досяжні для поверхневих деконтамінантів. Мікробіологічне забруднення може бути в провідних тканинах, паренхімі. У культурі рослинної тканини забруднення (бактеріальне та грибокве) серйозна проблема як для комерційних, так і для дослідницьких лабораторій. Візуально здорові рослини можуть містити як патогенні, так і сапрофітні мікроорганізми. Навіть мікроорганізми, які в звичайних умовах не наносять шкоди, змінюють склад живильного середовища, зокрема знижують його доступність та появу токсичних речовин (наприклад, продукти бродіння) [2, 18].

A. Shekafandeh, M. Ghasem встановили [22], що ці мікроорганізми в експлантів мигдалю на пряму або через зміну середовища гальмують ріст, знижують проліферацію пагонів і за тривалого впливу викликають загибель тканин. Використання різних комбінацій стерилізуючих засобів такі як етанол, гіпохлорити, хлорид ртуті, бенонат і фунгіциди не ліквідували ендогенні забруднювачі. Вчені встановили, що витримання рослинного матеріалу за температури 40 до 52,5 °C бактеріальне забруднення знизилось.

Іранські вчені розробили системний підхід в деконтамінації рослинного матеріалу *Prunus dulcis* Mill. [23]:

- маточні рослини вирощуються в ізольованій теплиці;
- після ізоляції матеріал перед введенням *in vitro* промивають, обробляють 0,2 розчином беномілом;
- занурення матеріалу у 70 % розчин етанолу;

- занурення експлантів на 4 хвилини в 0,01 % розчин хлориду ртуті.

Для підщепи GF677 також перед обробкою основним деконтамінантом використовували розчин (3000 мг/л) контактного фунгіциду Каптан (1,2,5,6-тетрагідро-N-тріхлорметилті-офталаїмід) [24].

Ендогенного бактеріального забруднення позбуваються підбором антибіотиків або застосуванням біоцидів, наприклад препарат PPM (Plant Preservative Mixture™ діючі речовини 5-Chloro-2-methyl-3(2H) isothiazolone 0,1350 % і 2-methyl-3(2H)-isothiazolone 0,0412 %) [14]. Подібні до PPM бактерицидні властивості мають іони деяких важких металів, наприклад Ag, Cu. Додавання AgNO₃ в кількості 3–5 мг на літр живильного середовища зменшувало кількість первинних експлантів з бактеріальним контамінуванням [15]. Nas M.N., Yüksel B., Sevgin N. [34] створили пропис живильного середовища з високим вмістом міді. Кількість CuSO₄×5H₂O становить 3,2 мг/л, тоді як в середовищі за Мурасіге і Скугом – 0,025 мг/л. За їхніми спостереженнями протягом 4–5 субкультивувань верхівок регенерантів *Prunus dulcis* Mill. вдалось уникнути наявності бактерій в культурі.

За нашими спостереженнями у фундука фенолоутворення та самоінтоксикація продуктами їх окиснення у первинних експлантів більш виражені порівняно з експлантами мигдалю. Для уникнення проблем із контамінуванням та окисненням фенолів під час первинного культивування експлантів фундука запропоновано систему підготовчих заходів [14]:

- маточні рослини донори експлантів вирощують ізольовано в умовах закритого ґрунту і штучним освітленням 1,5–2,5 kLux;
- для пробудження бічних пагонів проводять декапітацію пагонів;
- для зменшення рівня ендогенного контамінування маточні рослини обробляють контактними і системними засобами захисту від грибів та бактерій;
- у фазі зеленого конусу брунькові експланти ізолюють з п'ятками.

Ефективним заходом в цій системі зменшення фенолоутворення та зменшення відсотку контамінованих первинних експлантів є застосування як основного деконтамінанту препарату Бланідак 300 (замочування експлантів) в поєднанні з додаванням в живильне середовище 2,5–3,0 мг/л біоцида PPM. Застосування цих двох препаратів порівняно з використанням класичного протруйника гіпохлориту натрію також зменшувало відсоток первинних експлантів з опіками та збільшувало їх приживлюваність [14, 25]. Порівняно менші опіки в

експлантів фундука відмічено у випадку заміни Na-гіпохлориту на Na-мергіолат. Він виявився більш ефективним, оскільки здатний проникати в клітини, не викликаючи некрозу [7].

Основою успішного культивування мигдалю та фундука є оптимально підібрані трофічні та гормональні детермінанти. Зокрема, це кількість елементів мінерального живлення, біологічно активних речовин, їх синергічна або антогоністична взаємодія та фактори, які посилюють або вповільнюють детермінантний ефект [14]. Фундук і мигдаль історично мають схожі ареали походження, а отже еволюційно в них сформувалися відповідні пристосування до умов навколишнього природного середовища. Це такі фактори, які варто враховувати за створення прописів штучних живильних середовищ для мікроклонального розмноження: нейтральне рН ґрунту, високий уміст кальцію, та ін.

Основою розмноження біологічних об'єктів є тотипотентність. Вплив детермінантів, які сприймає рослина, настільки сильні, що можуть спонукати зрілу клітину диференціюватися, знову вступити в клітинний цикл і виявити свою тотипотентність, що призводить до регенерації нової цілої рослини. Для експлантів мигдалю було встановлено, що [26]: гени, що кодують білки, пов'язані з синтезом і процесингом білка, а також з метаболізмом азоту і вуглецю, були диференційовано експресовані на ранній стадії, тоді як гени, які кодують білки, що беруть участь у порятунку і захисті рослинних клітин, а також взаємодії з навколишнім природним середовищем, були в основному знайдені на пізній стадії.

Mazari A., Camm [27] встановили, що під час переходу від диференційованого в недиференційований і проліферуючий стан на ранніх стадіях індукції пагонів, хлоропласти зазнають кардинальних змін, які в кінцевому підсумку призводять до зниження фотосинтезу в клітинах, з яких виникають нові пагони (компетентні клітини) [27]. Однією з найбільш очевидних змін у структурі хлоропластів, які відбуваються в компетентних клітинах під час індукції пагонів, є перетворення хлоропластидів на пропластиди, коли клітини піддаються дедиференціації.

Під час утворення придаткових пагонів *in vitro* пріоритетом є потреба в поживних речовинах через процеси дидиференціювання та поділу клітин [30]. Тобто відбувається трофічна детермінація, зокрема і стосовно запуску «раніх» чи пізніх генів розвитку.

Для культивування мигдалю, фундука застосовують декілька прописів культурального середовища. Вплив середовища є одним з найважливіших чинників, що діють на морфо-

генні реакції експланта і успіх як досліджень *in vitro*, так і комерційного мікроклонального розмноження. Це, зокрема такі середовища: Мурасіге і Скуга (MS), Куаріна Лепувра (QL), Лойда-МакКоуна (WPM); Драйвера Канюки (DKW) і Nas Almond Medium (NAM), Nas і Read (NRM) [13, 21, 28, 29, 30]. Відмінність цих середовищ за мінеральними елементами представлена в таблиці 2.

Ці прописи середовищ, суттєво відрізняються в першу чергу за вмістом макроелементів. Зокрема, MS і DKW містять 1650 і 1416 мг/л нітрату амонію тоді як WPM – лише 400. QL містять 400 мг/л нітрату амонію, однак вміст нітрогену у нітратній формі в складі нітрату калію є у найбільшій кількості серед порівнюваних прописів – 1800 мг/л.

Нітроген в помірних кількостях є синергістом кальцію, однак за надлишкових кількостей він є однією з причин прояву ознак кальцієвого живлення. Так, зокрема В.В. Мацкевичом [4] встановлено, що на кві «Зниження висоти рослин супроводжувалося ознаками, які властиві рослинам за надлишку макроелементів, зокрема нітрогену. Це надмірно інтенсивне зелене забарвлення листків, потовщені листові пластинки із ознаками гіпергідратації. Пагін товстий вкорочений. В багатьох рослин верхівка пагона відмирає, що є наслідком блокування азотом доступу кальцію» [14, 30].

Kester, D.E., Tabachnik, L., Negueroles, J. [32] встановили, що токсичність надлишку нітрогену для регенерантів мигдалю особливо зростає за підвищення температури вище 25 °С. За їхніми дослідженнями фітотоксичність проявляється у формі неінфекційного ураження бруньок мигдалю *in vitro*.

Нами в умовах лабораторій біотехнологій рослин Білоцерківського НАУ та ФГ «Беррі Фарм Юкрейн» активно проводиться дослідження впливу на регенеранти українських сортів мигдалю та однієї форми гіркокого мигдалю трофічної детермінації за використання різних за вмістом мінеральних елементів складів штучних живильних середовищ: Куріна Лепувра (QL), Мурасіге і Скуга (MS) [18], Мацкевича і Кибенка (МК) [14] та двох нових (М1 та Мв), які є модифікаціями QL і МК. Порівнюючи регенерацію 4 сортів рослин *P. dulcis* на вказаних середовищах, встановили ознаки надлишку азоту: пагін насичено темно-зеленого кольору, занадто товсте і вкорочене стебло, водянистість та крихкість тканин стебла, вповільнене зростання. Також характерною ознакою було відмирання верхівки пагона, що на нашу думку є блокуванням поглинання кальцію надлишком нітрогену [6].

Таблиця 2 – Порівняння вмісту мінеральних елементів в найбільш поширених середовищ при мікроклональному розмноженні мигдалю, фундука (за [3, 34])

Компонент	MS	QL	WPM	DKW	NAM	NRM
Макросолі мг/л						
NH ₄ NO ₃	1650	400,0	400,0	1416	900	530
KNO ₃	1900	1800	-	-	250	550
KH ₂ PO ₄	170	270	171	265	1550	1300
MgSO ₄ ·x7H ₂ O	370	383	370	740	2050	1650
K ₂ SO ₄	-	-	990,0	1599,0	-	-
Кальцій						
Ca (NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	-	833,8	471,26	1664,4	1050	700
CaCl ₂ ·2H ₂ O	440	-	72,50	112,50	45	90
Хелат заліза						
FeSO ₄ ·7H ₂ O	27,8	27,8	27,8	33,4	-	-
Na ₂ EDTA	37,3	37,3	37,3	44,7	-	-
Sequestrene 138 Fe/or Sequestrene 330 Fe	-	-	-	-	100 50	100
Мікросолі						
H ₃ BO ₃	6,2	6,2	6,2	4,8	11,0	6,5
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0,025	0,025	0,25	0,25	3,2	2,5
MnSO ₄ ·xH ₂ O	22,3	0,75	22,3	33,5	6,0	20,00
NaMoO ₄ ·2H ₂ O	0,25	0,25	0,25	0,39	0,1	0,2,5
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	8,6	8,6	8,6	-	11,0	8,6
Zn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	-	-	-	17	-	-
KI	0,83	0,08			-	-
CoCl ₂ ·6H ₂ O	0,025	0,025			-	-

Для фундука найчастіше застосовують середовище Драйвера і Канюки DKW (Driver and Kuniyuki Walnut) [18]. Однак, тривале культивування рослин на цьому середовищі обумовлює появу ознак надмірної обводненості тканин, проблем із доступністю іонів кальцію. Ці симптоми є ознакою надлишку нітрогену, сульфуру, що раніше відмічалось у випадку мікроклонального розмноження кві [6, 14]. У надлишкових кількостях ці елементи блокують надходження інших іонів (наприклад купруму). Як і в мигдалю, регенерантам властиві вкорочені пагони, надлишкова гіпегідратація тканин з частими некрозами верхівок. За використання модифікованого середовища NRM в якому порівняно із DKW зменшено уміст N, S, та збільшено уміст Cu, Zn, Ca.

Надлишкові кількості елементів концентрації або не збалансоване співвідношення пояснюють кращий розвиток регенерантів на половинних концентраціях MS і навіть зменшеній до 1/5 [29]. За менших концентрацій за неоптимального співвідношення менше проявляється закон надлишку елементів живлення [31]. У цілому в умовах *in vitro* актуальні більшість фізіологічних законів живлення рослин. В тому числі і природний закон мінімуму, відкритий вченим Юстусом Фон Лібіхом ще в позаминулому столітті – надлишок чи нестача якого-небудь елемента блокує надходження.

Середовища з оптимальним умістом компонентів, перш за все мінеральних компонентів та гормонів, не існує. Оригінальний підхід представили турецькі вчені Nas M.N., Yüksel B.

and Sevgin N. [30]. Вони запропонували гіпотезу розробки прописів штучних живильних середовищ замість трудомістких та затратних емпіричних методів. Відповідно до цієї гіпотези склад живильного середовища для певного виду повинен нагадувати склад насіння. Зокрема, за таким принципом для мигдалю було розроблено культуральне середовище мигдалю (Nas Almond Medium (NAM)) на основі вмісту елементів живлення в ядрі мигдалю [29, 30].

Подібний підхід за кількісним вмістом в насінні запропоновано у розробці середовища для фундука яке отримало назву NRM [29]. Дослідники виявили відмінності за вмістом В, Ва, Mn, Cu, Si та Sr. Концентрації цих елементів були вищими в насінні фундука порівняно з насінням мигдалю. Водночас у насінні фундука була менша концентрації Fe та Zn. Концентрація Ca та Mg була нижчою у фундука порівняно з мигдалем [7, 29].

Поряд з трофічними домінуючими детермінантами є фітогормони. Серед прописів середовищ МКР мигдалю, фундуку переважаючими є два класи цих біологічно активних речовин: цитокиніни та ауксини. Лише в окремих випадках (індукція морфогенезу в калюсній культурі та на етапі введення в асептичні умови) застосовують гібереліни.

Для обох культур серед цитокинінів найчастіше синтезується синтетичний гормон бензиламінопурин (0,25–2,0 мг/л), рідше інші, наприклад тидіазурон [6, 17, 22, 23, 24, 28, 30, 33] з різною концентрацією БАП. Кількість пагонів детермінується концентраціями БАП. За високих концентрацій (від 2 до 4 мг/л) зменшується кількість мікропагонів, зростає їх гіпергідратація.

За МКР гібриду персика і мигдалю звичайного (підщепи «Garnet») встановлено, що БАП перевершує тидіазурон у сприянні проліферації пагонів. Найвищі відсотки проліферації були отримані за концентрацій 1,25 мкМ і 10 мкМ БАП, 70,0 і 68,1 % відповідно. Оптимальна концентрація була в межах 5-мкМ, що забезпечувало формування 2,14–2,77 мікропагонів. Однак у міру збільшення концентрації БАП велика частина пагонів була вітрифікована, і в результаті їх необхідно було викинути [34].

Використання БАП у МКР представників роду Слива у низьких рівнях, індукує пагоноутворення з більшими значеннями довжини, кількості листків та додаткових бруньок порівняно з більш високими його концентраціями [20, 35].

Для ботанічно близької до мигдалю підщепи GF677 встановлено, що на середовищі QL з вмістом 32 мкМ TDZ, витримування

сім'ядолей у темряві на початку культивування збільшувало відсоток сім'ядолей, які утворюють придаткові пагони (62,5 %) порівняно з тими, які утримуються в умовах освітлення (15 %). Комбінація 0,72 мкМ гіберелової кислоти та обробки темним кольором призвела до утворення подовжених пагонів щонайменше в 2,7 рази, ніж у необроблених [36].

Для підщепи HS314 (*Prunus amygdalus* × *P. persica*) на модифікованому середовищі DKW, що містить 3 % сахарози, 100 мг/л флороглюцинолу, для проліферації пагонів оптимальним було 2,0 мг/л БАП, а для коренеутворення середовище, що містить 2 мг/л ІВА. Вкорінення збільшилось з 66 до 85 % за рахунок зниження концентрації солей DKW в двічі [37].

Doriana (Bode) Xhulaj, Efigjeni Kongjika, Skerdilaid Xhulaj [20] також встановили, що зниження мінеральної концентрації живильної речовини MS середовища вдвічі від їх нормальних значень, а також наявність β-індол-масляної кислоти (1 мг/л) у високих рівнях можуть впливати на стимуляцію та утворення нових коренів. Застосування режиму темряви під час фази вкорінення дало позитивний ефект у процесі ризогенезу видів *Prunus*. Використовуючи техніку повільного росту (низькі температури), вони могли зберігати регенеранти кісточкових культур *Prunus* від 3,5 місяців до 7,5 місяців.

Для індукції коренеутворення на третьому етапі мікроклонального розмноження застосовують ауксини. Переважно це синтетичний ауксин індолілмасляна кислота, рідше або як додаткові ауксини застосовують індоліл оцтову [38, 39] та нафтилоцтову кислоти [40].

Для постасептичної акліматизації мигдалю рекомендують [21, 41] укорінені регенеранти *in vitro* перед висадкою в тепличний субстрат відмити від агару проточною водою. Субстрат: суміш 1:1:1 з перліту, піску та землі. Рослини, висаджують в умови вологості камери з відносною вологістю 90 ± 5 %. Протягом 4 тижнів акліматизації вологість знижують до 60 ± 5 %.

Досить оригінальним методом постасептичної адаптації є мікротрансплантація шляхом щеплення регенерантів сортового мигдалю на проросле *in vitro* насіння мигдалю гіркого. Щеплення *in vitro* проводили в стерильних умовах. Мікроприщеплені сіянці культивували на MS середовищі, що містило 1,0 мг/л ВАР і ІВА [21].

Попри те, що звичайне зелене живцювання фундука складне і мало результативне, для цієї культури розроблено метод фотоавтрофного мікроклонального розмноження (ФМКР). Він поєднує одночасно етапи розмноження і постасептичної адаптації. Цим методом успішно

живцюються як рослини, взяті з польових умов [14], так і рослини отримані *in vitro* та рослини *ex vitro* [3]. ФАМКР порівняно із традиційними методами мікроклонального розмноження має наступні переваги: відсутні затрати на дорогі складники середовищ, зокрема гормони, синтез яких є вартісним, агар, сахароза та інші органічні компоненти; усуваються фізіологічні проблеми у рослинних об'єктів, пов'язані із адаптацією на етапах переходів *in situ* – *in vitro* – *ex vitro* – *in situ*; скорочується до двох тижнів час на утворення повноцінної кореневої системи та діючих фотоасимілюючих органів [14].

Встановлено різноякісність живців ізольованих різних частин рослини донора. Найбільші за розмірами регенеранти отримано з живців апікального походження. У них були більшими як пагін, так і коренева система. Окрім регенерації із стеблових живців новоутворення рослин відбувалося за зрізання пагонів на живцювання і регенерацію із прикореневої ділянки [3].

Комерційно цей метод розпочали використовувати в розсаднику ФГ «Беррі Фарм Юкрейн» (Волинська обл., Україна). В умовах лабораторії господарства розроблено модулі ФАМКР з системами збагачення і підтримання на технологічному рівні необхідного умісту CO₂ та інтенсивним штучним освітленням за раніше встановленими показниками [4, 5]. За два–три тижні у вказаних модулях із живців виростили рослини із кореневою системою, придатні для висаджування у відкритий ґрунт або подальшого зеленого живцювання ФАМКР.

Висновки. В умовах глобальних змін клімату, які впливають на деревну рослинність, впливу воєнного стану в країні, що позначилось на харчовій та економічній стабільності держави, непересічне значення має вітчизняне вирощування мигдалю та фундука як перспективних горіхоплідних, що дозволить диверсифікувати сільське господарство країни. Варто зазначити, що підвищення сухості повітря, розтягнутого терміну безводного літа, аномально жарких літніх днів є передумовою для формування мережі садів з мигдалю та фундука, які добре себе почувають в цих умовах, що дозволить диверсифікувати традиційний аграрний бізнес. В Україні створено вітчизняні сорти мигдалю і розпочато розробку технологій їх мікроклонального розмноження у промислових масштабах. Тому, на нашу думку, для збільшення площ фундукових садів та сортозаміни актуальним є удосконалення технологій мікроклонального розмноження цих культурних горіхоплідних деревних видів.

Ефективними для мікроклонального розмноження в Україні є сорти мигдалю – М 41Алекс, Е5 Борозан, Джорджия та Луїза, а найкращими середовищами для їх культивування є середовище NRM, а для фундука NAM.

В технологіях мікроклонального розмноження фундука, мигдалю поширеними гормональними детермінантами в умовах *in vitro* є синтетичний цитокінін бензиламінопурін для стимуляції пробудження, росту бруньок та синтетичний ауксин індолілмасляна кислота для стимулювання ризогенезу.

Ефективним методом постасептичної адаптації фундука є фотоавтотрофний метод.

Отже, накопичений досвід мікроклонального розмноження фундука та мигдалю у світі дозволить активізувати мікроклональне розмноження цих культур в Україні та розширити використання цінних сортів, що покращить продовольчу ситуацію в державі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України: монографія / Степаненко С.М. та ін. Одеса: Вид. «ТЕС», 2015. 520 с.
2. Проблеми мікроклонального розмноження фундука / Андрієвський В.В. та ін. Агробіологія: зб. наук. праць. №1. Біла Церква: БНАУ, 2019. С. 74–84.
3. Особливості мінерального та повітряного живлення фундука. Аграрна освіта та наука: досягнення і перспективи розвитку: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (Біла Церква, 30–31 березня 2022 р.) / Мацкевич О.В. та ін. Біла Церква: БНАУ. 2022. С. 65–67.
4. Моуліс В., Бабанський В., Мацкевич В. Хорватська інтенсивна технологія вирощування фундука. Сучасні виклики і актуальні проблеми лісівничої освіти, науки та виробництва: матеріали I Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (Біла Церква, 15 квітня 2021 р.). Біла Церква: БНАУ. 2021. С. 113–116.
5. Оцінка перспективності сортів та збагачення генофонду фундука в дендропарку ХНАУ / Полів'яний А.М. та ін. Вісник ХНАУ № 1, 2013. Лісове господарство. С. 199–202.
6. Філіпова Л.М., Мацкевич В.В., Шита О.П. Трофічні детермінанти онтогенезу регенерантів мигдалю *in vitro*. Генетика і селекція в сучасному агрокомплексі: VI Всеукраїнська науково-практична конференція. Умань. 2021. С. 202–204.
7. In Vitro Propagation of Traditional Italian Hazelnut Cultivars as a Tool for the Valorization and Conservation of Local Genetic Resources / Bacchetta L. et al. 2008. HortScience horts. 2022. 43(2). P. 562–566. URL: <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/43/2/article-p562.xml>.
8. Коли цвітуть мигдалеві сади. Реалії та перспективи розвитку промислових мигдалевих садів в Україні: науково-практичний семінар. URL: <https://osau.edu.ua/naukovo-praktychnyj-seminar>

koly-tsvitut-mygdalevi-sady-realiyi-ta-perspektyvy-rozvytku-promyslovyh-mygdalevyh-sadiv-v-ukrayini/.

9. Choosing Plants for a Hazelnut Orchard in New Jersey / Muehlbauer M. et al. URL: <https://njaes.rutgers.edu/e368/>.

10. Survey of *Corylus* Resistance to *Anisogramma anomala* from Different Geographic Locations / Thomas J. Molnar et al. HORTSCIENCE. 45(5). 2010. P. 832–836.

11. Пінчук Н.В., Коваленко Т.М., Вергелес П.М. Садово-паркова фітопатологія: навч. посіб. / за ред. Н.В. Пінчук. Вінниця: ВНАУ. 2020. 380 с.

12. Мигдаль: посадка і догляд, види і сорти. URL: <https://ua.supermg.com/sadovi-rosolini/6835-migdal%D1%8C-posadka-i-dogljad-vidi-i-sorti.html>.

13. Охорона прав на сорти рослин: бюлетень. Український інститут експертизи сортів. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2020. Вип. 5. 395 с.

14. Мацкевич В.В. Мікроклональне розмноження видів рослин *in vitro* та їх постсептична адаптація. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису: дис. ... д-ра с.-г. наук: 06.01.05. Суми, 2020. 478 с.

15. Подгаєцький А.А., Мацкевич В.В., Подгаєцький А.А. Особливості мікроклонального розмноження видів рослин: монографія. Біла Церква: Білоцерківський національний аграрний університет, 2018. 209 с.

16. In vitro rooting of almond (*Prunus Dulcis* Mill.). In vitro cellular & developmental biology / Phillip J. Ainsley et al. Plant. Society for In Vitro Biology. 2001. Vol. 37. No. 6. P. 778–85. URL: <http://www.jstor.org/stable/4293547>.

17. Michelle W., Margaret S. The australian almond breeding program AL99008. The University of Adelaide Final Report 1 June 2007.

18. Кушнір Г.П., Сарнацька В.В. Мікроклональне розмноження рослин. К., Наук. думка, 2005. 271 с.

19. Effect of Culture Media and Plant Growth Regulators on Shoot Proliferation and Rooting of Internode Explants from Moroccan Native Almond (*Prunus dulcis* Mill.) Genotypes / Kodad S. et al. International Journal of Agronomy. 2021. DOI: 10.1155/2021/9931574.

20. Xhulaj D., Kongjika E., Skerdilaid X. In vitro micropropagation and conservation of *Prunus* native stone fruit trees. 2015. 44. P. 2278–3229.

21. Micrografting of almond (*Amygdalus communis*) cultivar 'Nonpareil' / Çiğdem I. et al. Australian Journal of Science AJCS. 2011. 5(1). P. 61–65.

22. Shekafandeh A., Ghasem M. Effect of hot-water and cold treatments on reducing contamination in almond tissue culture Journal of Applied Horticulture. 2009. 11(2). P. 143–145.

23. Mathematical Modeling and Optimizing of in Vitro Hormonal Combination for G × N15 Vegetative Rootstock Proliferation Using Artificial Neural Network-Genetic Algorithm (ANN-GA) / Arab M.M. et al. Front Plant Sci. 2017. Nov 1;8:1853. DOI: 10.3389/fpls.2017.01853.

24. Karimi S., Yadollahi A. Using putrescine to increase the rooting ability of hardwood cuttings of the peach × almond hybrid GF677 J Agrobiol. 2012. 29(2). P. 63–69. DOI: 10.2478/v10146-012-0010-6.

25. Подгаєцький А.А., Мацкевич В.В., Врублевський О.Т. Використання біоциду РРМ як додаткового деконтамінанта в процесі мікроклонального розмноження рослинних об'єктів. Вісник Сумського національного аграрного університету: науковий журнал. Агрономія і біологія. Суми: СНАУ, 2016. Вип. 9 (32). С. 159–163.

26. An integrated strategy to identify key genes in almond adventitious shoot regeneration / Margarida A.S. et al. Journal of Experimental Botany. 2009. Vol. 60. Issue 14. P. 4159–4173. DOI: 10.1093/jxb/erp250.

27. Mazari A, Camm E.L. Effect of cytokinins on plastid development and photosynthetic polypeptides during organogenesis of *Pinus pondero* Dougl. cotyledons cultured *in vitro*. Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 2005. Vol. 33. P. 81–89.

28. An efficient regeneration and rapid micropropagation protocol for Almond using dormant axillary buds as explants / Choudhary R. et al. Indian J Exp Biol. 2015. P. 462–467.

29. Nas M., Read P. A hypothesis for the development of a defined tissue culture medium of higher plants and micropropagation of hazelnuts. Scientia Horticulturae. 2004. 101. P. 189–200. DOI: 10.1016/j.scienta.2003.10.004.

30. Nas M.N., Yüksel B., Sevgin N. Shortcut to long-distance developing of a tissue culture medium: micropropagation of mature almond cultivars as a case study. Turkish Journal of Botany. 2013. 37(6). P. 1134–1144.

31. Трофічні та гормональні детермінанти онтогенезу *Actinidia chinensis* var. *deliciosa* (a.Chev.) *in vitro* на етапі мультиплікації / Подгаєцький А.А. та ін. East European Scientific Journal. 2020. №10(62). Part 1. P. 17–24.

32. Kester D.E., Tabachnik L., Negueroles J. Use of micropropagation and tissue culture to investigate genetic disorders in almond cultivars. Acta Hort. 1977. 78. P. 95–102. DOI: 10.17660/ActaHortic.1977.78.10.

33. Micropropagation of the hazelnut / Bassil N. et al. *Corylus avellana*. Acta Hort. 1992. 300. P. 137–140. DOI: 10.17660/ActaHortic.

34. Kose Sevde, Canli, Fatih. In vitro Propagation of 'Garnem' (*P. persica* x *P. dulcis*) Rootstock. Plant Molecular Biology & Biotechnology. 2015. 5. P. 25–30.

35. Channuntapipat Chockpisit, Sedgley Margaret, Collins Graham. Micropropagation of almond cultivars Nonpareil and Ne Plus Ultra and the hybrid rootstock Titan×Nemaguard. Scientia Horticulturae. 2003. 98. P. 473–484. DOI: 10.1016/S0304-4238(03)00067-0.

36. Arab M.R., Shekafandeh A. In vitro propagation of GF677 hybrid rootstock (*Prunus persica* × *Prunus amygdalus*) from mature cotyledons. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology. 2016. 91(3). P. 236–242. DOI: 10.1080/14620316.2016.1148368.

37. In Vitro Propagation of HS314 Rootstock *Prunus amygdalus* X *P. Persica* / Dejangpou J. et al.

HortScience. 2011. 46. P. 928–931. DOI: 10.21273/HORTSCI.46.6.928.

38. Ghaem Maghami S., Ebrahimzadeh H., Shetab Boshehri S.M. Effects of some growth regulators on hazelnut (*Corylus Avellana* L.) micropropagation. Iranian journal of horticultural science and technology. 2010. 11(3). P. 187–196. URL: <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=496929>.

39. Conversion of indole-3-butyric acid to indole-3-acetic acid in shoot tissue of hazelnut (*Corylus*) and elm (*Ulmus*) / Kreiser M. et al. J Plant growth regul. 2016. 35. P. 710–721. DOI: 10.1007/s00344-016-9574-5.

40. Ainsley P.J., Collins G.G., Sedgley M. In vitro rooting of almond (*Prunus dulcis* Mill.). 2001. In Vitro Cell.D ev.Biol.-Plant 37. P. 778–785. DOI: 10.1007/s11627-001-0129-4.

41. In vitro micropropagation of almond (*Amygdalus communis* L. cv. Nonpareil) / Ikalán Ç. et al. African Journal of Biotechnology. 2008. Vol. 7 (12). P. 1875–1880.

REFERENCES

1. Stepanenko, S.M. (2015). Klimatychni zminy ta yikh vplyv na sfery ekonomiky Ukrainy [Climate change and its impact on the economy of Ukraine]. Odesa, TPP Publishing House, 520 p.

2. Andriievskiy, V.V., Vrublevskiy, A.T., Filipova, L.M., Matskevych, V.V., Matskevych O.V. (2019). Problemy mikroklonalnoho rozmnozhenia funduka [Problems of microclonal propagation of hazelnuts]. Ahrobiologiya: zb. nauk. pr. [Agrobiology]. Bila Tserkva, no. 1, pp. 74–84.

3. Matskevych, O.V., Prykhoda, N.Iu., Mykhailuk, N.Iu., Matskevych, V.V. (2022). Osoblyvosti mineralnoho ta povitrianoho zhyvlennia funduka [Features of mineral and air nutrition of hazelnuts]. Ahrarna osvita ta nauka: dosiahnennia i perspektyvy rozvytku: materialy III Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii [Agricultural education and science: achievements and prospects of development: materials of the III International scientific-practical conference]. Bila Tserkva, BNAU, pp. 65–67.

4. Moulis, V., Babanskyi, V., Matskevych, V. (2021). Khorvatska intensyva tekhnologiya vyroshchuvannia funduka [Croatian intensive technology of hazelnut cultivation]. Suchasni vyklyky i aktualni problemy lisivnychoi osvity, nauky ta vyrobnytstva: materialy I Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii [Modern challenges and current problems of forestry education, science and production: materials of the First International Scientific and Practical Internet Conference]. Bila Tserkva, BNAU, pp. 113–116.

5. Polyvianyi, A.M., Sytnik, I.I., Sliusarchuk, V.Ie., Onyshchenko, A.S., Moisa, Ye.M. (2013). Otsinka perspektyvnosti sortiv ta zbahachennia henofondu funduka v dendroparku KhNAU [Assessment of the prospects of varieties and enrichment of the hazelnut gene pool in the arboretum of KhNAU]. Bulletin of KhNAU, Forestry, no. 1, pp. 199–202.

6. Filipova, L.M., Matskevych, V.V., Shyta, O.P. (2021). Trofichni determinanty ontogenezu rehenerativ myhdaliu in vitro [Trophic determinants of ontogenesis of almond regenerants in vitro].

Henetyka i selektsiya v suchasnomu ahrokompleksi: VI Vseukrayins'ka naukovo-praktychna konferentsiya [Genetics and selection in the modern agricultural complex: VI All-Ukrainian scientific-practical conference]. Uman, pp. 202–204.

7. Bacchetta, L., Aramini, M., Bernardini, C., Rugini, E. (2022). In Vitro Propagation of Traditional Italian Hazelnut Cultivars as a Tool for the Valorization and Conservation of Local Genetic Resources. HortScience horts. 43(2), pp. 562–566. Available at: <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/43/2/article-p562.xml>.

8. Koly tsvitut' myhdalevi sady [When almond orchards bloom]. Realiyi ta perspektyvy rozvytku promyslovykh myhdalevykh sadiv v Ukraini: naukovo-praktychnyy seminar [Realities and prospects of development of industrial almond orchards in Ukraine Scientific-practical seminar]. Available at: <https://osau.edu.ua/naukovo-praktychnyj-seminar-koly-tsvitut-mygdalevi-sady-realiyi-ta-perspektyvy-rozvytku-promyslovykh-mygdalevykh-sadiv-v-ukrayini/>.

9. Muehlbauer, M., Capik, J., Thomas, J. Molnar. (2021). Choosing Plants for a Hazelnut Orchard in New Jersey. Available at: <https://njaes.rutgers.edu/e368/>.

10. Thomas, J. Molnar, Joseph, C. Goffreda, Reed, Funk C. (2010). Survey of Corylus Resistance to Anisogramma anomala from Different Geographic Locations. Hortscience. 45(5), pp. 832–836.

11. Pinchuk, N.V., Kovalenko, T.M., Verheles, P.M. (2020). Sadovo-parkova fitopatologiya [Garden and park phytopathology]. Vinnytsia, VNAU, 380 p.

12. Myhdal': posadka i dohlyad, vydy i sorty [Almonds: planting and care, species and varieties]. Available at: <https://ua.supermg.com/sadovi-roslini/6835-migdal%D1%8C-posadka-i-dogljad-vidi-i-sorti.html>.

13. Okhorona prav na sorty roslyn [Protection of plant variety rights]. Ukrainyskyi instytut ekspertyzy sortiv: biuleten [Ukrainian Institute of Variety Examination]. Vinnytsia, 2020, LLC "WORKS", Vol. 5, 395 p.

14. Matskevych, V.V. (2020). Mikroklonalne rozmnozhenia vydiv roslyn in vitro ta yikh postaseptychna adaptatsiia [Microclonal propagation of plant species in vitro and their post-septic adaptation]. Kvalifikatsiina naukova pratsia na pravakh rukopysu: dys. ... d-ra s.-g.: 06.01.05 [Qualifying scientific work on the rights of the manuscript: the dissertation of the doctor of agricultural sciences on a specialty: 06.01.05]. Sumy, 478 p.

15. Podhaietskyi, A.A., Matskevych, V.V., Podhaietskyi, A.A. (2018). Osoblyvosti mikroklonalnoho rozmnozhenia vydiv roslyn: monohrafiia [Features of microclonal reproduction of plant species]. Bila Tserkva, Bila Tserkva National Agrarian University, 209 p.

16. Phillip, J. Ainsley (2001). In vitro rooting of almond (*Prunus Dulcis* Mill.). In vitro cellular & developmental biology. Plant. Society for In Vitro Biology. Vol. 37, no. 6, pp. 778–785. Available at: <http://www.jstor.org/stable/4293547>.

17. Michelle, W., Margaret, S. (2007). The australian almond breeding program. The University of Adelaide Final Report. no. 1, 78 p.

18. Kushnir, H.P., Sarnatska, V.V. (2005). Mikroklonalne rozmnozhennia roslyn [Microclonal propagation of plants]. Kyiv, Scientific thought, 271 p.
19. Kodad, S., Melhaoui, R., Hano, C., Addi, M., Sahib, N., Elamrani, A., Abid, M., Mihamou, A. (2021). Effect of Culture Media and Plant Growth Regulators on Shoot Proliferation and Rooting of Internode Explants from Moroccan Native Almond (*Prunus dulcis* Mill.) Genotypes". International Journal of Agronomy. Vol. 2. DOI: 10.1155/2021/9931574.
20. Xhulaj, D., Kongjika, E., Skerdilaid, X. (2015). In vitro micropropagation and conservation of *Prunus native* stone fruit trees. 44, pp. 2278–3229.
21. Çiğdem, Işıkalan, Süreyya, Namlı, Filiz, Akbas. (2011). Bekir Erol Ak Micrografting of almond (*Amygdalus communis*) cultivar 'Nonpareil'. Australian Journal of Science AJCS. 5(1), pp. 61–65.
22. Shekafandeh, A., Ghasem, M. (2009). Effect of hot-water and cold treatments on reducing contamination in almond tissue culture Journal of Applied Horticulture. 11(2), pp. 143–145.
23. Arab, M.M., Yadollahi, Ahmadi A., Eftekhari, H., Maleki, M. (2017). Mathematical Modeling and Optimizing of in Vitro Hormonal Combination for G × N15 Vegetative Rootstock Proliferation Using Artificial Neural Network-Genetic Algorithm (ANN-GA). Front Plant Sci. Nov 1;8:1853. DOI: 10.3389/fpls.2017.01853.
24. Karimi, S., Yadollahi, A. (2012). Using putrescine to increase the rooting ability of hardwood cuttings of the peach × almond hybrid GF677 J Agrobiol. 29(2), pp. 63–69. DOI: 10.2478/v10146-012-0010-6.
25. Podhaietskyi, A.A., Matskevych, V.V., Vrublevskyi, O.T. (2016). Vykorystannia biotsydu RRM yak dodatkovoho dekontaminanta v protsesi mikroklonalnoho rozmnozhennia roslynnykh ob'ektiv [The use of PPM biocide as an additional decontaminant in the process of microclonal propagation of plant objects]. Visnyk Sums'koho natsionalnoho ahrarnoho universytetu: naukovyi zhurnal. Ahronomiia i biolohiia [Bulletin of Sumy National Agrarian University: scientific journal. Agronomy and biology]. Sumy, SNAU, Vol. 9 (32), pp. 159–163.
26. Margarida, A.S., Oliver, M.J., Sánchez, A.M., Payton, P.R., Gomes, J.P., Miguel, C., Oliveira, M.M. (2009). An integrated strategy to identify key genes in almond adventitious shoot regeneration. Journal of Experimental Botany. Vol. 60, Issue 14, pp. 4159–4173. DOI: 10.1093/jxb/erp250.
27. Mazari, A., Camm, E.L. (2005). Effect of cytokinins on plastid development and photosynthetic polypeptides during organogenesis of *Pinus pondero* Dougl. cotyledons cultured *in vitro*. Plant Cell. Tissue and Organ Culture. Vol. 33, pp. 81–89.
28. Choudhary, R., Chaudhury, R., Malik, S.K., Sharma, K.C. (2015). An efficient regeneration and rapid micropropagation protocol for Almond using dormant axillary buds as explants. Indian J Exp Biol. 53(7), pp. 462–467.
29. Nas, M., Read, P. (2004). A hypothesis for the development of a defined tissue culture medium of higher plants and micropropagation of hazelnuts. Scientia Horticulturae. 101, pp. 189–200. DOI: 10.1016/j.scienta.2003.10.004.
30. Nas, M.N., Yüksel, B., Sevgin, N. (2013). Shortcut to long-distance developing of a tissue culture medium: micropropagation of mature almond cultivars as a case study. Turkish Journal of Botany. 37(6), pp. 1134–1144.
31. Podhaietskyi, A.A., Matskevych, V.V., Filipova, L.M., Skrypchenko, N.V., Kravchenko, N.V. (2020). Trofichni ta hormonalni determinanty ontogenezu Actinidia chinensis var. deliciosa (a.Chev.) *in vitro* na etapi multiplykatsii [Trophic and hormonal determinants of ontogeny Actinidia chinensis var. deliciosa (a.Chev.) *In vitro* at the stage of multiplication]. East European Scientific Journal. 10(62), part 1, pp. 17–24.
32. Kester, D.E., Tabachnik, L., Negueroles, J. (1977). Use of micropropagation and tissue culture to investigate genetic disorders in almond cultivars. Acta Hort. 78, pp. 95–102. DOI: 10.17660/ActaHortic.
33. Bassil, N., Mok, D.W.S., Mok, M.C., Rebhuhn, B.J. (1992). Micropropagation of the hazelnut, *Corylus avellana*. Acta Hort. 300, pp. 137–140. DOI: 10.17660/ActaHortic.1992.300.17
34. Kose, Sevde, Canli, Fatih. (2015). In vitro Propagation of 'Garnem' (*P. persica* × *P. dulcis*) Rootstock. Plant Molecular Biology. Biotechnology. 5, pp. 25–30.
35. Channuntapipat, Chockpisit Sedgley, Margaret Collins, Graham. (2003). Micropropagation of almond cultivars Nonpareil and Ne Plus Ultra and the hybrid rootstock Titan×Nemaguard. Scientia Horticulturae. 98, pp. 473–484. DOI: 10.1016/S0304-4238(03)00067-0.
36. Arab, M.R., Shekafandeh, A. (2016). In vitro propagation of GF677 hybrid rootstock (*Prunus persica* × *Prunus amygdalus*) from mature cotyledons, The Journal of Horticultural Science and Biotechnology. 91:3, pp. 236–242. DOI: 10.1080/14620316.2016.1148368.
37. Dejampour, Jalil, Majidi, Islam, Khosravi, Solmaz, Farhadi, Sevil, Shadmehr. (2011). In Vitro Propagation of HS314 Rootstock *Prunus amygdalus* X *P. persica*). HortScience. 46, pp. 928–931. DOI: 10.21273/HORTSCI.46.6.928.
38. Ghaem, Maghami, S., Ebrahimzadeh, H., Shetab, Boshchri, S.M. (2010). Effects of some growth regulators on hazelnut (*Corylus Avellana* L.) micropropagation. Iranian journal of horticultural science and technology. 11(3), pp. 187–196. Available at: <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=496929>.
39. Kreiser, M., Giblin, C., Murphy, R. (2016). Conversion of indole-3-butyric acid to indole-3-acetic acid in shoot tissue of hazelnut (*Corylus*) and elm (*Ulmus*). J Plant growth regul. 35, pp. 710–721. DOI: 10.1007/s00344-016-9574-5.
40. Ainsley, P.J., Collins, G.G., Sedgley, M. (2001). In vitro rooting of almond (*Prunus dulcis* Mill.). In Vitro Cell.Dev.Biol.-Plant. 37, pp. 778–785. DOI: 10.1007/s11627-001-0129-4.
41. İkalın, Ç., Akba, F.A., Namlı, S., Tilkat, E., Baaran, D. (2008). In vitro micropropagation of almond (*Amygdalus communis* L. cv. Nonpareil) African Journal of Biotechnology. Vol. 7 (12), pp. 1875–1880. Available at: <http://www.academicjournals.org/AJB> ISSN 1684–5315.

World experience and prospects of hazelnut and almond breeding in Ukraine

Matskevich V., Kimeichuk I., Matskevich O., Shita O.

Hazelnuts and almonds are promising industrial crops that can differentiate the risks posed by climate change. Domestic almond varieties adapted to local conditions have been created in Ukraine, which require rapid propagation. Creating highly productive and disease-resistant varieties of hazelnuts also requires the reproduction of this crop in significant quantities.

Of all the methods of vegetative propagation microclonal is the most promising one. Prior to introduction into aseptic culture, mother plants are grown in conditions that minimize endogenous accumulation in tissues of contaminants and phenolic substances. Sodium hypochlorite and Blanidas 300 are used for decontamination of explants. The addition of PPM biocide to the nutrient medium is promising to improve the sterilization of hazelnut explants. The decrease in contamination of almond explants decreases with increasing concentration of Cu, Ag ions in the environment.

Mineral nutrients and phytohormones are the main determinants of *in vitro* ontogeny. Along with the classic media (DKW, QL, MS, WPM) NRM environment is promising for hazelnuts, and NAM environment – for almonds. Excess in the environment of some elements

reduces the assimilation of others, which is manifested visually. Thus, an excess of nitrogen causes symptoms of insufficient absorption of calcium, copper. This process is intensified as the temperature increases. In addition, regenerating shoots are shortened, thickened and have excessive tissue hydration.

Turkish scientists have proposed an original method of creating recipes for almonds and hazelnuts on the quantitative content of elements in the seeds of these plants.

Cytokine are the most common phytohormones at the multiplication stage. For both cultures, most researchers prefer benzylaminopurine. Indolylbutyric acid is most often used to induce rhizogenesis.

A perlite-based substrate is effective for the regenerants adaptation. It is suggested to inoculate regenerants on bitter almond seedlings as a type of adaptation.

A method of photoautotrophic microclonal propagation has been developed in Ukraine. These technological methods, which, along with vegetative propagation, allow the adaptation of regenerants in a short time. The efficiency is achieved by activating the processes of photosynthesis due to increased carbon dioxide content and light intensity.

Key words: hazelnuts, almonds, climate change, microclonal reproduction, determinants, nutrient media, phytohormones.



Copyright: Мацкевич В.В. та ін. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:
Кімейчук І.В.

<https://orcid.org/0000-0002-9100-1206>