

УДК 602.6:582.711.713:575.16

Детермінанти розмноження *Prunus dulcis* (Mill.) D.A.Webb. біотехнологічними методами**Шита О.П.** Білоцерківський національний аграрний університет
oksanashita@ukr.net

Шита О.П. Детермінанти розмноження *Prunus dulcis* (Mill.) D.A.Webb. біотехнологічними методами. Збірник наукових праць «Агробіологія», 2022, № 2. С. 137–152.

Shyta O. Determinants of the reproduction of *Prunus dulcis* (Mill.) D.A.Webb. biotechnological methods. «Agrobiology», 2022, no. 2, pp. 137–152.

Рукопис отримано: 14.11.2022 р.
Прийнято: 28.11.2022 р.
Затверджено до друку: 27.12.2022 р.

doi: 10.33245/2310-9270-2022-174-2-137-152

Метою статті є встановлення трофічних та гормональних детермінантів онтогенезу регенерантів *Prunus dulcis in vitro*. Однією з актуальних проблем в Україні є зміна клімату, яка зменшує рівень в досягненні сталого розвитку та ставить під загрозу як агроекологічну так і продовольчу безпеку людства. Такі зміни призводять до диверсифікації традиційного землеробства. В Україні цінною, перспективною горіхоплідною культурою, завдяки якій можливо диферсифікувати кліматичні ризики, є мигдаль. Для нашої зони не підходять сорти іноземної селекції з тривалим вегетаційним періодом та низькою зимостійкістю. В дослідженні залучено рослини чотирьох вітчизняних сортів мигдалю: Е5 Борозан, М41 Алекс, Джорджия, Луїза (занесені до реєстру в 2020 р.). Одним із надійних методів для отримання якісного садивного матеріалу, оздоровленого від хвороб, та швидких темпів розмноження є мікроклональне розмноження. Тому сучасні розсадники переходять на виробництво садивного матеріалу біотехнологічними методами. Підготовчі заходи маточних рослин донорів експлантів та деконтамінація підвищують ефективність робіт на першому етапі мікроклонального розмноження. Висаджують первинні експланти на середовища із зменшеним вдвічі умістом елементів живлення та високим умістом цитокінінів і гіберелінів. Від підбору компонентів також залежить його успішність, рН живильного середовища (трофічні детермінанти), та взаємодія екзогенних та ендогенних гормонів (гормональна детермінація.) Основними серед трофічних детермінантів є синтетичні вуглеводи та мінеральні компоненти, що додають у штучні живильні середовища. Згідно з правилом Скуга-Міллера, на етапі мультиплікації цитокініни за умістом в живильному середовищі переважають, а для коренеутворення їх уміст зменшують та водночас зменшують уміст ауксинів. За стимулювання калосоутворення у високих концентраціях додають як ауксини так і цитокініни. Системне дослідження особливостей детермінантів мікроклонального розмноження мигдалю є актуальним для створення технологій мікроклонального розмноження. Нестача чи недостатність одного з елементів впливає на рослинний об'єкт.

Ключові слова: мікроклональне розмноження, мигдаль *in vitro*, елементи живлення, синтетичні фітогормони.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Мигдаль – одна із перспективних промислових горіхоплідних культур, завдяки якій можливо диферсифікувати кліматичні ризики, збільшити рентабельність сільськогосподарського виробництва, особливо в умовах Півдня України [1, 3]. Це цінна горіхоплідна культура, яку вирощують у багатьох країнах світу для отримання мигдальних горіхів. Україна кожен рік закупає приблизно 2,5 тис. тонн горіхів мигдалю [3, 4]. Сорти іноземної се-

лекції мають низьку зимостійкість та тривалий вегетаційний період. Водночас створено та пройшли випробування українські сорти мигдалю, які потребують швидкого розмноження. Зокрема 4 інтенсивні нові вітчизняні сорти мигдалю селекції ФГ ім. академіка Унанова (селекціонер В.М. Бабанський), занесено до Державного Реєстру сортів рослин, дозволених для вирощування в Україні [5]. До 2020 року у розділі «Мигдаль» вітчизняних сортів не було [4].

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

Показник	М 41Алекс	Е5 Борозан	Джорджия	Луїза
Напрямок використання	Універсального призначення			
Група стиглості	середньостиглий	середньостиглий	середньостиглий	середньостиглий
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 [5].

Сортовий мигдаль задля збереження генетичної константності розмножують вегетативними способами: відсадками, щепленням та порослю [6]. Найпоширенішим розмноженням є щеплення на мигдаль гіркий. Для формування саджанця необхідно 1–2 роки на вирощування підщепи і таку ж кількість часу на ріст прищепи [7]. За вирощування в польових умовах в мигдалю поширені захворювання, які зумовлюють мікроорганізми, тобто грибові, вірусні, бактеріальні захворювання [9, 10, 45]. Тому сучасні розсадники переходять на виробництво садивного матеріалу біотехнологічними методами.

Розмноження мигдалю *in vitro* має ряд переваг [7]:

- починаючи з другого року запуску технології швидкі темпи розмноження;
- тестований матеріал розмножують в ізолюваних умовах, що запобігає повторному інфікуванню рослин;
- відсутність засмічення насаджень гірким мигдалем;
- відсутність проблем в ділянці переходу «підщепа – прищепи».

На регенерантах мигдалю після 6 років культивування *in vitro* було встановлено на рівні ДНК, що за дотримання умов культивування

відсутня соматоклональна варіація, тобто збереглася генетична константність [59].

Мета дослідження – встановлення трофічних та гормональних детермінантів онтогенезу регенерантів *Prunus dulcis in vitro*.

Методика досліджень – аналітичний аналіз вітчизняних та закордонних досліджень вчених з питань технологічних детермінантів мікроклонального розмноження *Prunus Dulcis* (Mill.) D.A.Webb.

Мікроклональне розмноження (МКР) може відбуватися прямим морфогенезом через бруньки і непрямим морфогенезом через культури калюсів, клітинних суспензій, ембріонів та штучного насіння. Технологічно найбільш поширеним є мікроклональне розмноження прямим морфогенезом [11–13]. Цей процес більшість дослідників поділяють на чотири етапи:

- I введення в асептичні умови та культивування первинних експлантів;
- II мультиплікація (живцювання);
- III індукція коренеутворення;
- IV адаптація рослин *in vitro* до асептичних умов.

Деякі дослідники в окремий етап (0 етап) виділяють заходи підготовки маточних рослин донорів експлантів [13]. Ці рослини вирощують в спеціальних умовах закритого

грунту: регульоване освітлення; ізоляція від переносників патогенів; обробка пестицидами для захисту від контамінування грибами, бактеріями, вірусами та іншими мікроорганізмами і їх переносниками (попелиці, кліщі); обрізка пагонів, яка стимулює пробудження бруньок тощо [11, 13, 14].

Результати дослідження та обговорення. Підготовчі заходи на “0 етапі” підвищують ефективність робіт на I етапі МКР, а саме: зниження самоінтоксикації первинних експлантів продуктами окиснення фенолоподібних речовин; зменшення відсотка ендogenous контамінування. Перший етап передбачає це пристосування на етапі *in vivo – in vitro*. Його успішність також залежить від підбору компонентів, рН живильного середовища (трофічні детермінанти), та взаємодії ендogenous і екзогенних гормонів (гормональна детермінація).

Деконтамінацію проводять контактними антисептиками або їх комбінацією із антибіотиками і/або фунгіцидами, біоцидами [15]. Як контактні, для звільнення від екзогенного мікробіологічного забруднення використовують ртуть та хлорумісні препарати [11]. Серед останніх, це гіпохлорити кальцію або натрію [18–20]. Більш ефективною є деконтамінація вітчизняним препаратом Бланідас 300 (натрієва сіль дихлорізоціанурової кислоти – 80,52 %). Порівняно із гіпохлоритами окрім збільшення відсотка вільних від контамінантів первинних експлантів збільшується кількість експлантів, які не загинули від опіків стерилізуючою речовиною [13, 14, 16, 17, 18].

На першому етапі склад живильних середовищ змінюють. Спочатку здебільшого первинні експланти висаджують на середовища із зменшеним умістом елементів живлення (наприклад, вдвічі) та високим умістом цитокінінів і гіберелінів. Враховуючи перебудову метаболізму та ефект накопичення гормонів в тканинах «про запас», склади середовищ корегують [13, 19, 20, 21]. Для контролювання самоінтоксикації продуктами окиснення фенолів додають найчастіше антиоксиданти та створюють умови щоб донори експлантів менше синтезували фенолоподібних сполук, наприклад вирощування материнських рос-

лин в умовах розсіяного освітлення та низького азотного живлення [14, 22, 23].

II етап МКР передбачає мультиплікацію вихідного матеріалу з максимально можливим коефіцієнтом розмноження без втрати здатності рослинних об’єктів до проліферації, регенерації. Коефіцієнт розмноження насамперед залежить від кількості експлантів з одного донора, періоду росту регенеранта із експланта та браку [11, 13]. Для збільшення кількості експлантів стимулюють активність бруньок, знімаючи у більшості випадків апікальне домінування цитокінінами [11, 24, 25].

III третій етап передбачає як пересадку рослини-регенеранта на середовище, що індукує коренеутворення, або живцювання маточних рослин і висадку експлантів із збільшеним умістом ауксинів.

Додавання гормонів класів цитокінінів та ауксинів на II та III етапах відбувається згідно з правилом Скуга-Міллера [11, 26]. На етапі мультиплікації за умістом в живильному середовищі переважають цитокініни, а для коренеутворення їх уміст зменшують та водночас зменшують уміст ауксинів [14].

IV етап називають постасептична адаптація, аклімація, реадaptaція [15, 27]. На цьому етапі відбуваються морфолого-анатомічні пристосувальні зміни задля виживання рослин *ex vitro*.

Для розмноження непрямим морфогенезом отримують калюсні культури, з яких індукують утворення бруньок або ембріодів [26]. Можливість успішного культивування калюсних культур мигдалю відома більше як понад пів століття. Наприклад, А. Mehra із співавт. [56] на базальному середовищі Мурасіге й Скуга з додаванням допоміжних речовин досягли дедиференціації та стабільної калюсної культури. Дедиференціації піддавали майже усі частини рослини мигдалю: верхівка пагона, стебло, лист, корінь, гіпокотиль, сім’ядолі. Для цього дослідники в середовище додавали: нафталіноцтову кислоту (5 ppm) + кокосову воду (10%); або нафталіноцтову кислоту (5 ppm) + гідролізат казеїну (1 г/літр); кінетин чи інші цитокініни. Серед калюсних клітин спостерігалися варіанти з різною плоідністю:

диплоїди (основна кількість); триплоїди; тетраплоїди; та анеуплоїди.

P.J. Ainsley і колеги [57] розробили спосіб індукування морфогенезу калюсних тканин *Prunus dulcis* Mill, отриманих із листових експлантів рослин *in vitro*. Культивування об'єктів проводили на середовищі за протоколом Almehdi і Parfitt [58] із додаванням різних комбінацій одного з трьох ауксинів (2,4-дихлорфеноксіоцтова кислота, α -нафталінооцтова кислота, індол-3-масляна кислота) у поєднанні з двома цитокинінами (бензиламінопурином і тидіазуроном), та різних концентрацій гідролізату казеїну. Встановлено сортову реакцію утворенням пагонів на ауксини: нафтилоцтова та індолілмасляна кислоти були ефективними для сорту *Ne Plus Ultra*. Для сорту *Nonpareil* лише індолілмасляна кислота була ефективною. Стосовно цитокинінів: для сорту *Ne Plus Ultra* пагоноутворення спостерігалось за наявності або БАП, або тидіазурону, тимчасом для *Nonpareil* лише тидіазурон був ефективним. Додавання 0,1 % гідролізату казеїну покращило морфологію калюсу та збільшило частоту регенерації для обох сортів.

M. Antonelli отримав із калюсної тканини мигдалю ембріони [61]. Цей напрям окрім селекційних цілей є перспективним для отримання штучного насіння [26].

Детермінація і вибіркова експресія генів. Біотехнологія, зокрема і мікроклональне розмноження, є технологічними процесами з біологічними об'єктами різних рівнів саморозвитку, самоорганізації та саморегуляції [26, 28]. Вибіркова реалізація спадкової інформації є основним регуляторним механізмом онтогенезу як у звичайних умовах, так і специфічних біотехнологічних умовах *in vitro* [29].

Кожен етап онтогенезу регулюється вибірковою активацією окремих груп чи окремих генів [30]. Реалізація програми відбувається ступінчасто і експресуються ті напрями, для яких є сприятливі умови [31]. Детермінація експресії генів об'єктів *in vitro* визначає цитогенез, органогенез та морфогенез [12]. Наприклад, з первинного експланта регулюючи умови можливо отримати: калюс і його похідні (клітинна суспензія, ембріоїди, штучне насіння); конгломерат

пагонів, укорінений регенерант [26]. Технологічно створюється система детермінант для набуття біологічним об'єктом готовності до росту й розвитку по одному із можливих в межах генетичної програми способів [13, 14]. Детермінант (*determinants, determinatio*) біології – це процес визначення подальшого напрямку розвитку [32, 33].

In vitro детермінанти за МКР регулюють диференціацію, дедиференціацію насамперед меристематичних тканин. Під час досліджень онтогенезу експлантів мигдалю встановлено активацію в одних умовах генів раннього розвитку та генів пізньої стадії. «Ранні» гени кодують метаболізм вуглецю, азоту, синтез і процесінг білків. Гени зрілого стану рослини кодували системи адаптації до несприятливих умов [34].

Трофічну детермінацію компонентами живильного середовища можна поділити на дві взаємопов'язані групи: мінеральні компоненти; органічні речовини – первинні метаболіти або їх синтетичні аналоги. Детермінація першої групи аналогічно природним умовам підпорядковується законам живлення [26, 29].

In vitro за наявності в середовищі первинних метаболітів рослинним об'єктам властивий міксотрофний спосіб живлення, тобто залежно від умов відбувається як гетеротрофний так і автотрофний способи життя живих об'єктів [11–13]. Для життєдіяльності, а саме перетворення речовин, енергії, побудови тіла організму, як джерело енергії метаболізуються як додані людиною первинні метаболіти (гетеротрофне живлення) так і мінеральні елементи та енергія світла (автотрофне живлення).

Кількість, співвідношення і доступність елементів мінерального живлення детермінує як якісні так і кількісні зміни, тобто ріст і розвиток [14, 26]. Дослідження трофічної детермінації має певні складнощі, оскільки елементи надходять до рослинних об'єктів і діють не кожен окремо в синергізмі, антагонізмі чи інших асоціаціях з іншими. Саме завдяки ізольованим умовам *in vitro* легше виокремити ефект окремого елемента та побудувати модель детермінації онтогенезу [38].

Закон повернення поживних речовин варто трактувати так: уміст мінеральних

компонентів живильного середовища має бути максимально подібним умісту їх в біологічних об'єктах. Згідно з цим турецькі учені [35] запропонували новий підхід у створенні живильних середовищ на основі аналізу запасних поживних речовин насіння. Зокрема, створено середовище NAM (Nas almond medium) для мигдалю [35] та NRM (Nas i Read medium) для фундука [36, 37, 39].

Нестача чи недоступність окремого елемента як в польових умовах так і ізольованих умовах культуральної ємності впливає на рослинний об'єкт згідно із законом мінімуму [26].

Як нестача так і надлишок одних елементів мінерального живлення ускладнює засвоєння інших. Вказане є основою "зако-ну оптимуму". Зокрема, для ожини, малини *in vitro* за нестачі Fe або складності його засвоєння (наприклад зависоке рН) спостерігаються хлорози. Дефіцит заліза через низьку його реутилізацію проявляється на верхівках [40]. Такі хлорози однаково проявляються як в польових умовах так і *in vitro* [13]. У випадку надмірного умісту заліза спостерігається вітрифікація [13, 22, 40]. Посилюється це явище підкисленням середовища та збільшенням умісту цитокінінів [14, 41]. За умови надлишку феруму пригнічується засвоєння кальцію [22, 26]. В найбільш поширеному живильному середовищі Мурасіге і Скуга та багатьох інших ферум додають у вигляді хелату сульфату заліза: $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ – 27,80 мг/л (0,1 М) з хелатуючим агентом (37,30 мг/л) Na_2EDTA . Проте культурам властиві різні вимоги до умісту цього компонента в живильному середовищі [11, 13, 14].

У дослідженнях з культурою мигдалю встановлено, що за зменшення умісту заліза в середовищі в 2 і 4 рази хлорозність зростала на фоні додавання KHCO_3 [46]. Збільшення умісту Fe призвело до значного зниження більшості параметрів росту (довжина мікропагонів, проліферація та суха маса). Порівняно з контролем, засвоєння заліза, марганцю мікропагонами збільшувалося зі збільшенням концентрації Fe у всіх обробках. Водночас за високих концентрацій заліза знизилося засвоєння споживання Cu і Zn [47].

Створюючи пропис живильного середовища варто враховувати еволюційне пристосування біологічних видів рослин до умісту кальцію, його доступності в ґрунті. Виділяють три групи: кальцефіли, кальцефоби і нейтральні види. Дводольні види порівняно з однодольними більше споживають кальцію [11, 13, 26].

Мигдаль, і меншою мірою горіх волоський та фундук є кальцефільними культурами, однак додавання цього елемента в живильні середовища у вигляді $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ або CaCl_2 у підвищених кількостях проявляється візуально в ускладненні засвоєння таких елементів як нітроген, залізо, фосфор, бор, марганець, мідь, цинк, калій, магній, натрій [11, 13, 26, 29, 42, 43]. Тому для такої культури є складним створити середовище, яке одночасно мало підвищений уміст кальцію і цей елемент не блокував доступність вказаних елементів. Діагностику дефіциту/надлишку можливо достовірно ідентифікувати та встановити лише в четвертому та наступних пасажах [13, 22], що призводить до затрат окрім ресурсів і часу.

Серед мінеральних макроелементів, який має вагомий синергічний та антогенічний особливості взаємодії є нітроген [26]. Зокрема, надлишок N пригнічує засвоєння Ca, спричинює гіпергідратацію [13]. Регенерантам на середовищах з високим умістом притаманні також надмірно потовщені пагони, короткі міжвузля, пригнічення ризогенезу [22, 26]. Особливо чутливі до надлишку нітрогену культури, які еволюційно походять з регіонів з низьким умістом в ґрунті цього елемента, наприклад ківі [29, 44]. Також для *Eucalyptus marginata* встановлено більші прирости пагона і кореня на збідненому на амонійний азот [50].

Вплив нітрогену залежить і від форми, в якій він знаходиться в живильному середовищі. Азот у формі NH_4 в надлишкових кількостях за швидкого зв'язування в склад амінокислот є одним із основних чинників гіпергідратації [11, 13, 14].

Наявність у культуральних середовищах MS та QL під час культивування експлантів гібрида мигдалю і персика великої кількості NH_4NO_3 та цитокініну, особливо синтетичної форми БАП, зумовлювало інгібую-

чий ефект на ріст погонів. Встановлено суттєву кореляція між рівнем азоту, гормону і висотою рослини та сформованою вагою калюсу [51]. В польових умовах встановлено більшу токсичність амонію для рослин мигдалю за зростання температур вище 25 °C [52].

М. Caboche встановив стимулювання морфогенезу нітратною формою у меншій концентрації порівняно з амонійною. За надлишку амонійної форми інгібується фермент з ланцюга перетворення нітратів – нітратредуктаза [48]. Збільшення NO_3 посилює синтез цитокінів в ризосфері, а потім в усій рослині [49]. Тимчасом цитокініни індують синтез нітратредуктази [21].

Залучення в обмін речовин (NO_3^-) потребує порівняно із амонійною формою більших затрат енергії та часу. Загалом ці перетворення мають таку послідовність: мінеральні нітрати солей середовища (NO_3^-) – ензим нітратредуктаза NO_2^- -ензим нітритредуктаза – NH_4^+ – перетворення в органічний азот органічних сполук [26]. Пріоритетність метаболізації (NO_3^-) або NH_4^+ детермінується кислотністю середовища [11].

Наприклад, співвідношення NH_4NO_3 та $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ у живильних середовищах впливає на довжину пагона та кількість міжвузлів у фундука. Тривале культивування на середовищах з надлишком N і S зумовлює гіпергідратацію та проблеми із засвоєнням Ca, що візуально проявляється в склоподібності, вкороченні пагона та відмиранні верхівкових бруньок [20]. В регенерантів полуниці, авокадо, дуба встановлено більше співвідношення карбон/нітроген ніж в рослин, які вирости *in vivo* [54].

Для картоплі встановлено, що середовище MS за вмістом нітрогену, хлору MS не було оптимальним. Модифікація вказаного середовища в напрямку зменшення N забезпечувало кращі результати з розвитку пагона: збільшувалася кількість та довжина міжвузлів, водночас збільшувалися вміст хлорофілу та розміри листків. За обмеженої кількості загального азоту, його амонійна форма мало впливала на мікрোকлональне розмноження [14].

Тривале культивування на середовищі з надмірною кількістю амонійного азоту є причиною зростання чутливості регенеран-

тів до етилену, який накопичується під час культивування в закритих ємностях. Через уповільнення розвитку, пригнічення ризогенезу на третьому етапі МКР вміст N зменшують, натомість збільшують вміст в середовищі P, K, Ca [35, 36].

Нітроген і фосфор серед мінеральних елементів є найбільш дієвими детермінантами, особливо це проявляється в ізольованих умовах культуральних ємностей [13, 14]. Якщо нітроген стимулює ростові процеси, накопичення маси, збільшення об'єму але якісні зміни (розвиток) затримуються, то фосфор детермінує прискорення розвитку [26]. Фосфор насамперед бере участь в таких процесах як трансфер енергії та генетичної інформації [13, 14, 28]. Високоенергетичний пірофосфатний зв'язок фосфору у випадку зв'язування з іншим атомом P, як у АТФ, дуже важливий переносник енергії для метаболізму клітини [26, 57]. Тому за його дефіциту або складності засвоєння, наприклад, за кислого середовища затримується розвиток загалом і зокрема такі процеси як фоліогенез, ризогенез [26]. На середовищах з низьким вмістом P зменшується синтез ендогенних цитокінінів [60].

У більшості прописів, зокрема Мурасіге і Скуга, фосфор додають у вигляді однозаміщеного калій фосфату (170 г/л) [11]. Проте є прописи, зокрема для кісточкових, горіхоплідних культур із значно вищим вмістом фосфоровмісної солі. Наприклад, в середовищі Куаріна Лепувра – 270 мг/л [62]; в середовищі для горіхоплідних DKW (Driver and Kuniyuki Walnut) – 250 мг/л [63]; NRM (Nas Read Medium) – 1300 мг/л [36, 37]; NAM (Nas Almond Medium) – 1550 мг/л [35].

Серед мінеральних елементів у найвищих концентраціях (в цитоплазмі між 100 і 200 мМ і хлоропласті від 20 до 200 мМ) знаходиться іон калію. Цей одновалентний іон швидко і на великі відстані транспортується як по ксилемі так і флоємі [63]. Калієвмісні солі беруть участь в осмотичній регуляції, зокрема регулюванні осмотичного тиску, тургору, поглинання і транспорту води [11, 26]. Детермінуюча функція калію також полягає в регулюванні активності понад 60 ферментів. К активізує транспорт вуглеводів, фосфору. За нестачі

калію зменшується апікальне домінування саме через уповільнення відтоку вуглеводів. Однією з причин розетковості регенерантів може бути дефіцит калію [13, 26].

Магній через вплив на низку ферментів детермінує ряд метаболітичних процесів. Магній порфіринового ядра хлорофілу бере участь у фіксації світлової енергії й передачі її макроергічним сполукам [28]. Магній бере участь у регуляції внутрішньоклітинного рН та катіон-аніонного балансу. Магній є центральним атомом у молекулах хлорофілу фотосистеми. У синтезі білка Mg^{2+} бере участь на різних рівнях. Магній утворює зв'язок між обома субодинамиціями рибосом. За дефіциту магнію, субодинамиці будуть дисоціювати, а синтез білка зупиняється. Магній необхідний для активності РНК-полімераза, залучених ферментів у синтезі РНК. Дефіцит Mg^{2+} блокує синтез РНК [26, 57].

За збільшення умісту магнію, цинку та бору в середовищі МС експланти гібридів мигдалю і персика значно збільшили сиру масу та вміст води в регенерантах [53].

Із мікроелементів у живленні мигдалю особливе значення має мідь і цинк. У клітині мідь здебільшого входить до складу ферментних комплексів і є важливою в окисно-відновних реакціях, що виконують ці ферменти. Дефіцит міді відразу призводить до зниження активності багатьох мідьмісних ферментів. Мідь бере участь в мітохондріальному електронотранспортному ланцюгу.

Дефіцит міді призводить до зниження інтенсивності фотосинтезу, тургору.

Мідь захищає клітини від активного радикала – вільного кисню [26, 28, 57, 58, 61, 63].

Цинк є металом коферментом. Він входить в структуру одних ферментів, а активність інших регулює. Цинк впливає на синтез білка, дефіцит його призводить до уповільнення синтезу білка. Внаслідок зумовленої дефіцитом цинку дезінтеграції рибосом в клітинах накопичуються не залучені в метаболізм амінокислоти та аміді [57].

Цинк впливає на активність РНК-полімерази та ферментів перетворення триптофану в індолілоцтову кислоту [26].

Кратне зменшення елементів мінерального живлення (наприклад, $MS_{1/2}$, $MS_{1/4}$) індукує коренеутворення, але регенеранти повільніше ростуть [11, 14]. За вирощування материнських рослин донорів на такому середовищі їхнє потомство повільніше розвивається [13].

Мінеральні елементи в сухій речовині становлять близько 5 % [28]. Решту сухої речовини становлять органігенні елементи: С, Н, N, О. Нітроген окрім того що він є компонент органічних сполук, водночас впливає на надходження, транспорт, засвоєння інших елементів. Концентрація іонів гідрогену в середовищі (розчині), що виражається величиною рН, впливає на низку процесів життєдіяльності. Від рН залежить біологічна активність, поведіння клітин.

Наприклад, для павловнії як *in vivo* так і *in vitro* за підвищення кислотності ґрунту або ж живильного розчину (рН 4,0–5,5) до токсичного рівня ускладнюються надходження й доступність у рослинних об'єктах Р, К, S, Са та Mg [13, 65]. Навіть за оптимального умісту елементів живлення на рослинах візуально проявляються ознаки їх дефіциту, пригнічуються ростові процеси, листові пластинки набувають комплексних ознак нестачі макроелементів – надмірна обводненість, темне забарвлення з синьо-фіолетовим відтінком та надмірним блиском [26, 65].

Підвищення рН до нейтрального і вище ускладнює надходження і метаболізацію N, Fe [14].

Доступність елементів живлення пов'язана із концентрацією H^+ і корелює із їх детермінуючим впливом і складовою гормонально-трофічної детермінації онтогенезу [11, 13].

В природних умовах більшості агрофітоценозів рослини живляться як автотрофи. Тобто із неорганічної речовини синтезують органічну, залучаючи для цього енергію Сонця. Кількість органічних речовин які надходять в рослину настільки незначна, що можна її не враховувати (наприклад, амінокислоти, аміді, які є в ґрунті внаслідок розкладання органічних решток).

Натомість *in vitro* рослинні об'єкти поглинають із живильного середовища групи органічних речовин: вуглеводи; амінокислоти і їх похідні; вітаміни; гормони. Також в окремих прописях додають органічні добавки не зовсім визначеного складу: гідролізат казеїну; кокосове молоко; гомогенат м'якоти банана і тому подібне [11, 13, 26, 66]. Усі вказані речовини органічної природи є первинними або вторинними метаболітами. Перші виконують дві функції: джерело енергії і/або будівельний матеріал для синтезу нових речовин чи анатомічних компонентів [28]. Вторинні виконують ряд регуляторних захисних та інших функцій, які не притаманні первинним метаболітам [26].

За кількісним умістом в більшості середовищ на першому місці знаходяться вуглеводи. Вони є і будівельним матеріалом і джерелом енергії в онтогенезі рослинних об'єктів. Серед цих речовин найбільш поширений дисахарид сахароза ($C_{12}H_{22}O_{11}$), рідше моносахариди (наприклад, глюкоза в прописі DKW) та інколи полісахариди (кукурудзяний чи картопляний крохмаль) [11, 13, 14, 67].

Первинні метаболіти, зокрема і сахароза мають рістрегулювальну детермінацію. Наприклад, уміст сахарози впливає на розвиток вегетативних органів (листок, корінь) [13] і особливо запасуючих [38]. Більшість прописів живильних середовищ має уміст сахарози в кількості 3% від загальної маси, тобто 30 г/л [11, 63]. Проте, Gürel Songül, Gülşen Yücel [68] встановили, що в рослині мигдалю (*Amygdalus communis* L.) на середовищах із 5 та 6 % сахарози краще відбувалася проліферація пагонів і був інтенсивніший ріст.

Гормони як вторинні метаболіти містяться в порівнянні із мінеральними чи іншими органічними речовинами в досить малих кількостях. До прикладу, 30 грам сахарози і декілька міліграм гормону. Різниця співвідношення в тисячах, навіть десятках тисяч. Гормони не можуть бути як джерело енергії чи будівельний матеріал. Проте ці речовини є своєрідними «провайдерами» запуску необхідної частини генетичної програми в необхідний час, а у випадку біотехнологій –

згідно з технологічними вимогами [11, 26, 30].

In vitro необхідно індукувати ті процеси, які потрібні згідно з технологічними вимогами. Наявності лише ендогенних гормонів недостатньо у культивованих тканинах рослин для більшості технологій культивування [13, 66]. Тобто застосовують гормональну та інші детермінації розвитку рослинних об'єктів. Серед детермінант, яким властива фітогормональна активність найчастіше завдяки своїй доступності, і порівняно із природними є штучно синтезовані аналоги гормонів.

В мікроклональному розмноженні здебільшого застосовують синтетичні гормони двох груп: ауксини і цитокініни. В окремих випадках застосовують гібереліни [11, 14, 66]. Відкриття цитокінінів стало поштовхом для розвитку мікроклонального розмноження [11, 25].

Цитокініни індукують ділення клітин, синтез РНК, збільшення кількості рибосом [21]. За наявності цитокінінів зростає проліферація бічних та адвентивних бруньок, знімають апікальне домінування [11, 26]. Синтетичним аналогом, подібним за структурою, властива нерівнозначна детермінуюча дія. Вважають, що це зумовлено відмінностями бічного ланцюга їх молекул [25].

У випадках більшої кількості цитокінінів порівняно з ауксинами на заміну 1–2 домінуючих пагонів утворюється конгломерат менших за розмірами пагонів. Це пов'язано зі зміною донороакцепторних відносин [11, 13, 14, 21, 26, 69]. Із спрямування більшості асимілятів на погони менш розвинутою або взагалі відсутньою стає коренева система [13]. Також цитокініни в надлишкових кількостях пригнічують транспорт ауксинів до базальних частин експлантів [70].

Поряд із автотрофним живленням цитокініни є важливим детермінантом ювенілізації [13]. Використання синтетичних цитокінінів має обмеження в концентраціях їх в живильних середовищах, оскільки надлишок цих гормонів має фітотоксичний ефект і може накопичуватися за вегетативного розмноження з покоління в покоління [13, 14, 21, 26, 69].

Найбільші концентрації цитокинів *in vitro* застосовують в МКР на етапі мультиплікації та для отримання калюсів [19].

Серед синтетичних цитокинінів в МКР найчастіше застосовують 6-бензиламінопурин (БАП), що ВАР має важливе значення для розвитку пагонів протягом останніх двох стадій, але високі рівні (2,0 або 3, Eddo Rugini, Devi Verma) на етапі мультиплікації успішно використовували 0,7 мг/л БАП і 0,01 мг/л α -нафталіноцтової кислоти [71]. Isikalan Cigdem і колеги для отримання конгломерату пагонів застосовували 0,5 і 1,0 мг/л БАП [72]. Aabood Sajida встановив, що БА за 1,0 мг/л і ІВА за 0,1 мг/л були найефективнішими для проліферації пагонів і подовження з експлантів стебла мигдалю, оскільки ці пагони розвивалися за більш високих концентрацій (0,5 мг/л ІВА і 2 мг/л ВА), показали невелику кількість мертвих калюсів біля основи пагонів [73].

Найбільш поширеною формою природного ауксину є індоліл3-оцтова кислота (ІОК), одним із її способів синтезу є перетворення амінокислоти триптофану [21]. В МКР застосовують синтетичний аналог ІОК або подібні за складом сполуки, які в рослинному об'єкті перетворюються в природний ауксин. Наприклад, нафтилоцтова та індолілмасляна кислоти. Остання є більш термо- та світлостабільною, що робить її більш технологічною [11, 63].

Згідно з правилом Скуга-Мілера, за переважання в живильному середовищі ауксинів над цитокинінами індукується апікальне домінування та коренеутворення. Тому ауксини в збільшених кількостях додають у третьому етапі МКР (індукція ризогенезу). У випадку стимулювання калюсоутворення додають у високих концентраціях як ауксини так і цитокиніни [26].

Для отримання кореневої системи в регенерантів мигдалю E. Rugini, D.C. Verma застосовували наступний комплекс заходів: в середовищі вдвічі зменшували кількість мінеральних елементів, уміст агару із 0,7 збільшували до 0,9 %, додавали 1 мг/л нафтилоцтової кислоти або 1 мг/л γ - (індол-3)-масляної кислоти. Після індукції ризогенезу регенеранти висаджували на вермикуліт [74].

C. Isikalan і колеги для *Amygdalus communis* L. cv. Nonpareil щоб стимулювати коренеутворення в середовище додавали 8,0 мг/л індолоцтової кислоти та зменшували удвічі мінеральну частину [75]. K. Kamali для посилення ефекту ІОК витримував експланти 7 днів в темряві [76]. Ймовірно, темрява стимулювала синтез або активацію ендогенних гіберелінів. Зокрема, C. Tsipouridis, T. Thomidis додаючи екзогенний гіберелін ГКЗ в середовище для гібрида персика і мигдалю (GF677) позбулися розетковості та покращили ризогенез [55].

Пристосування до нових умов життєдіяльності на етапах МКР називають інколи різними термінами: аклімація, акліматизація, реадаптація [15] та постасептична адаптація [13]. Рослинні організми за розмноження *in vitro* зазнають переформатування детермінант під час переходу від одного до іншого етапу МКР.

Зокрема, навіть на підготовчому (нульовому) етапі маточні рослини поміщають в умови закритого ґрунту із розсіяним світлом, проводять декапітацію та стимулюючу обрізку, інколи обробляють гормонами, наприклад гіберелінами [11, 13, 14, 79].

Є більш різкі зміни за переходів *in vivo* \rightleftharpoons *in vitro*. Насамперед – це пристосування на *in vivo* – *in vitro*. Тобто перехід з природніх чи польових умов із автотрофним живленням в мікротрофні умови з переважанням гетеротрофного живлення із гормональними екзогенними детермінантами. На завершальному четвертому етапі, тобто реадаптації до умов відкритого ґрунту (*ex vitro*) відбувається зворотне переформатування систем управління онтогенезом.

Також змінюється система детермінант і за переходу рослинних об'єктів на етапах МКР, які проходять виключно *in vitro*. Між часом введення первинних експлантів і отриманням стабільної культури відбувається координація ендогенних екзогенних детермінант. Підбір їх комбінацій визначає подальше культивування *in vitro*. Успіх можливо побачити після 4–6 живцевого покоління на живильному середовищі. Переформатування спостерігається і за переходу від мультиплікації (II другий етап МКР) до індукції коренеутворення. Тривале культиву-

вання на середовищах з високим умістом цитокинінів може призводити до гальмування процесів ризогенезу на III етапі МКР [14]. Також надмірна ювенілізація, зумовлена гетеротрофним живленням, цитокинінами, ускладнює адаптацію рослин на завершальному етапі МКР [13, 15].

Висновки. Детермінація онтогенезу рослинних, зокрема і експлантів, регенерантів мигдалю є основою керування їх онтогенезом згідно з технологічними потребами. Для створення технологій мікроклонального розмноження мигдалю актуальним є системне дослідження особливостей детермінант мікроклонального розмноження мигдалю.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України: монографія / С.М. Степаненко та ін. Одеса: Вид. «ТЕС», 2015. 520 с.
2. Агрокліматичні зони України суттєво змістились на північ. URL: <http://agro-yug.com.ua/archives/21968>.
3. На півдні України з'являються сади мигдалю української селекції. URL: <https://kurkul.com/news/22365-na-pivdni-ukrayini-zyavlyatsya-sadi-migdalyu-ukrayinskoji-seleksiiji>.
4. Науково-практичний семінар «Коли цвітуть мигдалеві сади. Реалії та перспективи розвитку промислових мигдалевих садів в Україні». URL: <https://osau.edu.ua/naukovo-praktychnyj-seminar-koly-tsvitutmigdalevi-sady-realiyi-ta-perspektivy-rozvytku-promyslovyh-mygdalevyh-sadiv-v-ukrayini/>.
5. Охорона прав на сорти рослин. Бюлетень. Український інститут експертизи сортів. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2020. Вип. 5. 395 с.
6. Мигдаль: посадка і догляд, види і сорти. URL: <https://ua.supermg.com/sadovi-roslini/6835-migdal%D1%8C-posadka-i-dogljad-vidi-i-sorti.html>.
7. Філіпова Л.М., Мацкевич В.В., Мацкевич О.В. Перспективи розмноження мигдалю *in vitro*. Аграрна освіта та наука: досягнення, роль, фактори росту «Інноваційні технології в агрономії, землеустрої, лісовому та садово-парковому господарстві»: матеріали міжнародної науково-практичної конференції. БНАУ. 2020. С. 26–28.
8. Дубецька М. Мигдаль: відновлення потужних коренів. Садівництво. Виноградарство. № 3. 2020. С. 90–92.
9. Пінчук Н.В., Коваленко Т.М., Вергелес П.М. Садово-паркова фітопатологія: навч. посіб. Вінниця: ВНАУ, 2020. 380 с.
10. 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.
11. Кушнір Г.П., Сарнацька В.В. Мікроклональне розмноження рослин. Теорія та практика. Київ: Наук. думка, 2005. 270 с.
12. Біотехнологія лікарських рослин. Генетичні та фізіолого-біохімічні основи: моногр. / за ред. В.А. Кунах; НАН України. Ін-т молекуляр. біології та генетики. 730 с.
13. Мацкевич В.В. Мікроклональне розмноження видів рослин *in vitro* та їх постасептична адаптація. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису: дис. д-ра с.-г. наук: 06.01.05. Суми, 2020. 478 с.
14. Подгаєцький А.А., Мацкевич В.В., Подгаєцький А.А. Особливості мікроклонального розмноження видів рослин: монографія. Біла Церква: Білоцерківський національний аграрний університет, 2018. 209 с.
15. Мацкевич В.В., Філіпова Л.М., Кравченко Н.В., Подгаєцький А.А. Проблеми постасептичної адаптації рослин. “Dynamics of the development of world science”: abstracts of the 7th International scientific and practical conference (March 18–20, 2020). Perfect Publishing, Vancouver, Canada. 2020. P. 662–674.
16. Подгаєцький А.А., Мацкевич В.В., Врублевський О.Т. Використання біоциду PPM 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.
17. Filipova L., Matskevych V. Improvement of the elements of technology of micropropagation *Cornus mas* L. Агробіологія: збірник наук. праць. Біла Церква: БНАУ, 2017. № 2(135). С. 11–16.
18. Мацкевич О.В., Лісовий М.М. Біотехнологія: звершення та надії: матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 120-річчю НУБіП України (НУБіП України, 14–16 листопада 2017 р.). Київ: «КОМПРИНТ». 316 с.
19. Мацкевич О.В., Кімейчук І.В., Мацкевич В.В., Павліченко А.А. Трофічні та фітогормональні детермінанти онтогенезу *in vitro*. Вісник Сумського національного аграрного університету. «Агрономія і біологія». Вип. 2 (48). 2022. С. 111–123.
20. Мацкевич О.В., Кімейчук І.В., Мацкевич В.В., Карпук Л.М. Мікроклональне розмноження фундука. Вісник Уманського національного університету садівництва «Садівництво і виноградарство». № 1. 2022. С. 106–115.
21. Терек О.І., Пацула О.І. Ріст і розвиток рослин: навч. посібник. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2011. 328 с.
22. Трофічні та гормональні детермінанти онтогенезу *Actinidia chinensis* var. *deliciosa* (a.Chev.) *in vitro* на етапі мультиплікації / А.А. Подгаєцький та ін. East European Scientific Journal. Vol. 10(62). 2020. Part 1. С. 17–24.
23. Скрипченко Н.В., Мацкевич В.В., Філіпова Л.М., Кибенко І.І. Особливості мікроклонального

розмноження представників роду *Actinidia*. Інтродукція рослин. Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришка. Київ, 2017. № 1. С. 88–96.

24. Стадник А.П., Філіпова Л.М., Мацкевич В.В. Екологічні особливості трофічної та гормональної детермінації ризогенезу *in vitro* регенерантів хости. Агроекологічний журнал: науково-теоретичний журнал, Ін-т агроекології та біотехнології, Ін-т сіл. госп. мікробіології. Київ, 2014. № 3. С. 75–80.

25. Веденичова Н.П., Косаківська І.В. Цитокиніни як регулятори онтогенезу рослин за різних умов зростання. Київ: Наш формат, 2017. 200 с.

26. Мацкевич В.В., Філіпова Л.М., Олешко О.Г. Фізіологія і біотехнологія рослин. БНАУ, 2022. 602 с.

27. Fallahpour M., Mehdi S., Bouzari M.N. *In vitro* propagation of Gisela 5' rootstocks affected by the mineral composition of media and plant growth regulators. Journal of Horticultural Research. 2015. No 23. P. 57–64.

28. Власенко М.Ю., Вельямінова-Зернова Л.Д., Мацкевич В.В. Фізіологія рослин з основами біотехнології. Біла Церква, 2006. 504 с.

29. Кієнко З.Б., Кімейчук І.В., Мацкевич В.В. Мікроклональне розмноження рослин роду *Actinidia* Lindl. Plant varieties studying and protection. С. 220–229. DOI: 10.21498/2518-1017.18.3.2022.269022.

30. Геноміка: навч. посіб. / В.М. Попов та ін. Харків: ХНАУ, 2020. 104 с.

31. Мацкевич Н.О., Пустовіт О.С., Власенко М.Ю., Мацкевич В.В. Особливості індивідуального розвитку картоплі при клональному мікророзмноженні. Вісник Білоцерківського державного аграрного університету. 2007. Вип. 46. С. 27–31.

32. Maduro M.F. Cell fate specification in the *C. Elegans* embryo. Developmental Dynamics. 239 (5). 2010. P. 1315–1329. DOI: 10.1002/dvdy.22233.

33. Fazi F., Nervi C. MicroRNA: basic mechanisms and transcriptional regulatory networks for cell fate determination. Cardiovascular research 2008. No 79 (4). 2008. P. 553–561. DOI: 10.1093/cvr/cvn151.

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

35. 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. No 37(6). P. 1134–1144.

36. Nas M.N., Read P.E. Micropropagation of hybrid hazelnut: medium composition, physical state and iron source affect shoot morphogenesis, multiplication and explant vitality. Acta Hort. 556. 2001. P. 251–258.

37. 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. No 101. P. 189–200. DOI: 10.1016/j.scienta.2003.10.004.

38. Мацкевич В.В. Удосконалені методи оздоровлення картоплі від вірусів та використання отри-

маного матеріалу в первинному насінництві: дис... канд. с.-г. наук: 06.01.14. Київ, 2004. 153 с.

39. Bacchetta L., Aramini M., Bernardini C., Rugini E. In Vitro Propagation of Traditional Italian Hazelnut Cultivars as a Tool for the Valorization and Conservation of Local Genetic Resources. 2008. Vol. 43, Issue 2. P. 562–566. DOI: 10.21273/HORTSCI.43.2.562.

40. Мацкевич В.В., Підгаєцький О.О. Особливості використання форми та кількості залізу за вирощування *in vitro* ожини і малини. Вісник Сумського національного аграрного університету. Науковий журнал. Агрономія і біологія. Суми: СНАУ, 2015. Вип. 9 (30). С. 46–51.

41. Мацкевич В.В., Філіпова Л.М. Гіпергідратація *in vitro* та її чинники. Наукові пошуки молоді в третьому тисячолітті: тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів і докторантів БНАУ. Біла Церква, 19–20 травня 2016 р. 31 с.

42. Теслюк Н.І., Барабаш В.Б., Клячун А.А. Використання культури *in vitro* у виноградарстві. Виноградарство і виноробство. 2016. Вип. 53. С. 209–217.

43. Антагонізм та синергізм: взаємодія елементів живлення у рослині. URL: <https://dobrodiy.in.ua/statti/antagonizm-ta-synergizm-vzayemodiya-elementiv-zhyvlennya-u-roslyn/>.

44. Скрипченко Н.В. Актинідія в Україні. Житомир: ПП «Рута», 2017. 88 с.

45. Sedgley M., Collins G. Almond improvement in Australia. Fruits. 2002. 57.2. P. 129–134.

46. Caboni E., Lauri P. Micropropagation as a tool to evaluate response to limiting conditions in almond genotypes. In: III International Symposium on Pistachios and Almonds. 591. 2001. P. 341–344.

47. Shibli R.A., Mohammad M.J., Ajlouni Z.I. Growth and micronutrient acquisition of *in vitro* grown bitter almond and sour orange in response to iron concentration from different iron chelates. J Plant Nutr. 25. 2002. P. 1599–1606.

48. Caboche M. Nitrogen, carbohydrate and zinc requirements for the efficient induction of shoot morphogenesis from protoplast-derived colonies of *Nicotiana glauca*. Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 1987. Vol. 8. P. 197–206.

49. Веденичова Н.П., Косаківська І.В. Цитокиніни як регулятори онтогенезу рослин за різних умов зростання. Київ: Наш формат, 2017. 200 с.

50. Woodward A.J. The optimisation of nitrogen content for micropropagation of *eucalyptus marginata*. URL: https://ro.ecu.edu.au/theses_hons/286.

51. Effects of nutrient media, different cytokinin types and their concentrations on *in vitro* multiplication of G× N15 (hybrid of almond× peach) vegetative rootstock / M.M. Arab et al. Journal of genetic engineering and biotechnology. 12(2). 2014. P. 81–87.

52. 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.

53. Tsipouridis C., Thomidis T. Methods to improve the *in vitro* culture of GF677 (peach × almond) peach rootstock. 2003. P. 361–364.

54. Premkumar A., Mercado J.A., Quesada, M.A. Effects of *in vitro* tissue culture conditions and acclimatization on the contents of Rubisco, leaf soluble proteins, photosynthetic pigments, and C/N ratio. *Journal of Plant Physiology*. 2001. 158. 7. P. 835–840. DOI: 10.1078/0176-1617-00214

55. Hazelnut (*Corylus avellana* L.) genetic resources and nursery industry improvement by biotechnological approaches / C. Silvestri et al. 2015. P. 35–40.

56. Mehra A., Mehra P.N. Organogenesis and plantlet formation *in vitro* in almond. *Botanical Gazette*. 1974. 135(1). P. 61–73.

57. Ainsley P.J., Collins G.G., Sedgley M. Adventitious shoot regeneration from leaf explants of almond (*Prunus dulcis* Mill.). *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*. 2000. 36(6). P. 470–474.

58. Parfitt D.E., Almehdi A.A. *In vitro* propagation of peach: II. A medium for *in vitro* multiplication of 56 peach cultivars. *Fruit Var J*. 40(2). 1986. P. 46–47.

59. Martins M., Sarmiento D., Oliveira M.M. Genetic stability of micropropagated almond plantlets, as assessed by RAPD and ISSR markers. *Plant cell reports*. 2004. 23.7. P. 492–496.

60. Lan P., Li W., Fischer R. Arabidopsis thaliana wild type, phol, and pho2 mutant plants different responses to exogenous cytokinins. *Plant Physiol. Biochem*. 2006. No (44). P. 343–350.

61. Antonelli M. Regeneration from almond cotyledons: induction of proembryonal masses. *in vitro*. *Culture*, XXIII IHC 300. 1990. P. 255–260.

62. Quoirin M. Lepoivre P. *Acta Hort*. 1977. No.(78). 437 p.

63. Driver J.A., Kuniyuki A.H. *In Vitro* Propagation of Paradox walnut Rootstock, *Hort. Science*, 19(4). August 1984. No (19). P. 507–509.

64. Peculiarities of determining the morphogenesis of plants *Corylus avellana* L. and *Prunus dulcis* (Mill.) D.A.Webb. *in vitro* culture / V. Matskevych et al. *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*. 2023. Vol. 65(1). P. 1–14.

65. Філіпова Л.М., Мацкевич В.В., Карпук Л.М., Павліченко А.А. Особливості засвоєння макроелементів на кислому ґрунті. «Інноваційні технології в агрономії, землеустрої, електроенергетиці, лісовому та садово-парковому господарстві»: матеріали міжнародної науково-практичної конференції, 21 жовтня 2021 року. Білоцерківський НАУ. С. 16–18.

66. Мацкевич В.В., Роговський С.В., Власенко М.Ю., Черняк В.М. Основи біотехнології рослин: навчальний посібник. Біла Церква: БНАУ, 2010. 135 с.

67. Білінська О.В., Дульнев П.Г. Морфогенетичний ефект і трофічні властивості хімічно модифікованого крохмалю Д-5 аМ у культурі *in vitro* пиляків та ізольованих зародків ячменю ярого (*Hordeum vulgare* L.). Фактори експериментальної еволюції організмів. 2015. 17. С. 107–111.

68. Gürel S., Gülşen Yü. The effects of different sucrose, agar and pH levels on *in vitro* shoot production

of almond (*Amygdalus communis* L.). *Turkish Journal of Botany*. 1998. 22.6. P. 363–374.

69. Мацкевич О.В., Андрієвський В.В., Філіпова Л.М. Вплив 6-бензиламінопурину на гіпергідратацію регенерантів *Rubus fruticosus* L. та *Rubus idaeus* L. «Біотехнологія: звернення та надії»: тези доповідей IV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, 21–22 травня 2015. Київ, 2015. С. 143–144.

70. Cytokinin induces cell division in the quiescent center of the Arabidopsis root apical meristem / W. Zhang et al. *Curr. Biol*. 2013. 23. P. 1977–1989.

71. Rugini E., Verma D.C. Micropropagation of difficult-to-propagate almond (*Prunus amygdalus*, Batsch) cultivar. *Plant science letters*. 1983. No 28.3. P. 273–281.

72. *In vitro* micropropagation of almond (*Amygdalus communis* L. cv. Non-pareil) / Isikalan Cigdem et al. *African Journal of Biotechnology*. 2008. P. 7–12.

73. Aabood Sajida Propagation of Almond (*Amygdalus communis* L.) Plant by Tissue Culture. *Rafidain Journal of Science*. 2005. 16.14. P. 100–112.

74. Rugini E., Verma D.C. Micropropagation of difficult-to-propagate almond (*Prunus amygdalus*, Batsch) cultivar. *Plant science letters*. 28(3). 1983. P. 273–281.

75. *In vitro* micropropagation of almond (*Amygdalus communis* L. cv. Nonpareil) / C. Isikalan et al. *African Journal of Biotechnology*. No 12. 2008.

76. Kamali K. Determination of the most suitable culture medium and growth conditions for micropropagation of Gf677 (hybrid of almond × peach) root-stocks. M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University. 1995. 101 p.

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]. Publishing House "TES", 520 p.

2. Ahroklimatychni zony Ukrainy suttievo zmistyly na pivnich [The agroclimatic zones of Ukraine have shifted significantly to the north]. Available at: <http://agro-yug.com.ua/archives/21968>.

3. Na pivdni Ukrainy zivliatsia sady myhdaliu ukrainskoi selektsii [The agroclimatic zones of Ukraine have shifted significantly to the north]. Available at: <https://kurkul.com/news/22365-na-pivdni-ukrayini-zyavlyatsya-sadi-migdalyu-ukrayinskoyi-selektsiyi>.

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

5. Okhorona prav na sorty roslyn. Biuletyn. Ukrainskyi instytut ekspertyzy sortiv. [Bulletin. Ukrainian Institute of Variety Examination]. Vinnytsia, "Tvory" LLC, 2020, Issue 5, 395 p.

6. Myhdal: posadka i dohliad, vydy i sorty [Almonds: planting and care, types and varieties]. Avail-

lable at: <https://ua.supermg.com/sadovi-roslini/6835-mi-gdal%D1%8C-posadka-i-dogljad-vidi-i-sorti.html>.

7. Filipova, L.M., Matskevych, V.V., Matskevych, O.V. (2020). Perspektivy rozmnozhennia myhdaliu *in vitro* [Prospects of almond reproduction *in vitro*]. Ahrarna osvita ta nauka: dosiahnennia, rol, faktory rostu «Innovatsiini tekhnologii v ahronomii, zemleustroi, lisovomu ta sadovo-parkovomu hospodarstvi»: materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii [Materials of the international scientific and practical conference Agrarian education and science: achievements, role, growth factors "Innovative technologies in agronomy, land management, forestry and horticulture"]. BNAU, pp. 26–28.

8. Dubetska, M. (2020). Myhdal: vidnovlennia potuzhnykh koreniv [Almonds: restoring powerful roots]. Sadivnytstvo. Vynohradarstvo [Gardening. Viticulture], no. 3, pp. 90–92.

9. Pinchuk, N.V., Kovalenko, T.M., Verheles, P.M. (2020). Sadovo-parkova fitopatolohiia: navch. posib. [Garden and park phytopathology]. Vinnytsia, VNAU, 380 p.

10. Matskevich, V., Kimeichuk, I., Matskevich, O., Shita, O. (2022). Svitovyy dosvid, perspektyvy v Ukraini rozmnozhennya funduka ta myhdalyu [World experience, prospects of hazelnut and almond breeding in Ukraine]. Ahrobiolohiia [Agrobiology], no. 1, pp. 179–191.

11. Kushnir, H.P., Sarnatska, V.V. (2005). Mikroklonalne rozmnozhennia roslyn [Microclonal propagation of plants]. Teoriia ta praktyka [Theory and practice]. Kyiv, Scientific thought, 270 p.

12. Biotekhnolohiia likarskykh roslyn [Biotechnology of medicinal plants]. Henetychni ta fiziolo-hiobiohimichni osnovy [Genetic and physiological and biochemical foundations]. Molecular Institute biology and genetics, 730 p.

13. Matskevych, V.V. (2020). Mikroklonalne rozmnozhennia vydiv roslyn *in vitro* ta yikh postaseptychna adaptatsiia [Microclonal propagation of plant species *in vitro* and their postaseptic adaptation]. Kvalifikatsiina naukova pratsia na pravakh rukopysu: dys. d-ra s.-h. nauk: 06.01.05 [Qualifying scientific work on manuscript rights: diss. dr. Agricultural Sciences: 06.01.05]. Sumy, 478 p.

14. Podhaietskyi, A.A., Matskevych, V.V., Podhaietskyi, A.A. (2018). Osoblyvosti mikroklonalnoho rozmnozhennia vydiv roslyn [Peculiarities of microclonal reproduction of plant species]. Bila Tserkva National Agrarian University, 209 p.

15. Matskevych, V.V., Filipova, L.M., Kravchenko, N.V., Podhaietskyi, A.A. (2020). Problemy postaseptychnoi adaptatsii roslyn [Problems of postaseptic adaptation of plants]. Abstracts of the 7th International scientific and practical conference "Dynamics of the development of world science" (March 18–20, 2020). Perfect Publishing, Vancouver. Canada, pp. 662–674.

16. Podhaietskyi, A.A., Matskevych, V.V., Vrublevskiy, 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.

17. Filipova, L., Matskevych, V. (2017). Improvement of the elements of technology of micropropagation *Cornus mas* L. Ahrobiolohiia. zb-k nauk. prats [Agrobiology. College of Sciences works]. Bila Tserkva, no. 2(135), pp. 11–16.

18. Matskevych, O.V., Lisovyi, M.M. (2017). Biotekhnolohiia: zvershennia ta nadii»: materialy VI Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, prysviachenoi 120-richchu NUBiP Ukrainy [Biotechnology: Achievements and Hopes": materials of the VI International Scientific and Practical Conference, devoted to the 120th anniversary of NUBiP of Ukraine]. Kyiv, Comprint, 316 p.

19. Matskevych, O.V., Kimeichuk, I.V., Matskevych, V.V., Pavlichenko A.A. (2022). Trofichni ta fitohormonalni determinanty ontogenezu *in vitro* [Trophic and phytohormonal determinants of ontogenesis *in vitro*]. Visnyk Sums'koho natsional'noho ahrarnoho universytetu. «Ahronomiya i biolohiia» [Bulletin of the Sumy National Agrarian University ["Agronomy and Biology"]. Vol. 2 (48), pp. 111–123.

20. Matskevych, O.V., Kimeichuk, I.V., Matskevych, V.V., Karpuk, L.M. (2022). Mikroklonalne rozmnozhennia funduka [Microclonal propagation of hazelnuts]. Visnyk Umans'koho natsional'noho universytetu sadivnytstva «Sadivnytstvo i vynohradarstvo» [Bulletin of the Uman National University of Horticulture], no. 1, pp. 106–115.

21. Terek, O.I., Patsula, O.I. (2011). Rist i rozvytok roslyn: navch. posibnyk [Growth and development of plants]. Lviv, LNU, 328 p.

22. Podhaietskyi, A.A., Matskevych, V.V., Filipova, L.M., Skrypchenko, N.V., Kravchenko, N.V. (2020). Trofichni ta hormonal'ni determinanty ontogenezu *Actinidia chinensis* var, *deliciosa* (a.Chev.) *in vitro* na etapi mul'typlikatsiyi [Trophic and hormonal determinants of the ontogenesis of *Actinidia chinensis* var, *deliciosa* (a.Chev.) *in vitro* at the stage of multiplication]. East European Scientific Journal. Vol. 10(62), Part 1, pp 17–24.

23. Skrypchenko, N.V., Matskevych, V.V., Filipova, L.M., Kybenko, I.I. (2017). Osoblyvosti mikroklonalnoho rozmnozhennia predstavnykiv rodu *Actinidia*. Introduktsiia roslyn [Peculiarities of microclonal reproduction of representatives of the genus *Actinidia*. Introduction of plants]. Kyiv, National Botanical Garden named after M.M. Grishka, no. 1, pp. 88–96.

24. Stadnyk, A.P., Filipova, L.M., Matskevych, V.V. (2014). Ekolohichni osoblyvosti trofichnoi ta hormonalnoi determinatsii ryzohenezu *in vitro* rehenerantiv khosty [Ecological features of trophic and hormonal determination of rhizogenesis *in vitro* rehenerantiv khosty]. Ahroekolohichni zhurnal: naukovo-teoretychnyi zhurnal [Agroecological journal: scientific and theoretical journal]. Kyiv, Institute of Agroecology and Bio-

technology, Institute of Villages household Microbiology, no. 3, pp. 75–80.

25. Vedenychova, N.P., Kosakivska, I.V. (2017). Tsytokininy yak rehulatory ontogenezu roslin za ryznykh umov zrostantia [Cytokinins as regulators of plant ontogenesis under different growth conditions]. Kyiv, Our format, 200 p.

26. Matskevych, V.V., Filipova, L.M., Oleshko, O.H. (2022). Fiziologhiia i biotekhnologhiia roslin [Physiology and biotechnology of plants]. BNAU, 602 p.

27. Fallahpour, M., Mehdi S., Bouzari, M.N. (2015). *In vitro* propagation of Gisela 5' rootstocks affected by the mineral composition of media and plant growth regulators. Journal of Horticultural Research. no. 23, pp. 57–64.

28. Vlasenko, M.Yu., Veliaminova-Zernova, L.D., Matskevych, V.V. (2006). Fiziologhiia roslin z osnovamy biotekhnologii [Physiology of plants with the basics of biotechnology]. Bila Tserkva, 504 p.

29. Kyienko, Z.B., Kimeichuk, I.V., Matskevych, V.V. (2022). Mikroklonal'ne rozmnozheniia roslin rodu *Actinidia* Lindl. [Micropropagation of plants of the genus *Actinidia* Lindl]. Plant varieties studying and protection. pp. 220–229. DOI: 10.21498/25181017.18.3.2022.269022.

30. Popov, V.M., Dolhova, T.A., Lymanska, S.V. (2020). Henomika: navch. posib. [Genomics]. Kharkiv, KhNAU, 104 p.

31. Matskevych, N.O., Pustovit, O.S., Vlasenko, M.Yu., Matskevych, V.V. (2007). Osoblyvosti indyvidualnoho rozvytku kartopli pry klonalnomu mikrozmnozheni [Peculiarities of individual potato development during clonal micropropagation]. Visnyk Bilotserkivskoho derzhavnoho ahrarnoho universytetu [Bulletin of Bila Tserkva State Agrarian University]. Vol. 46, pp. 27–31.

32. Maduro, M.F. (2010). Cell fate specification in the *C. Elegans* embryo. Developmental Dynamics. 239 (5), pp. 1315–1329. DOI: 10.1002/dvdy.22233.

33. Fazi, F., Nervi, C. (2008). MicroRNA: basic mechanisms and transcriptional regulatory networks for cell fate determination. Cardiovascular research. 79 (4), pp. 553–561. DOI: 10.1093/cvr/cvn151.

34. Santos, A.M., 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.

35. 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. Issue 37(6), pp. 1134–1144.

36. Nas, M.N., Read, P.E. (2001). Micropropagation of hybrid hazelnut: medium composition, physical state and iron source affect shoot morphogenesis, multiplication and explant vitality. Acta Hort. 556. pp. 251–258.

37. 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.

38. Matskevych, V.V. (2004). Udoskonaleni metody ozdorovlenniia kartopli vid virusiv ta vykorystannia otrymanoho materialu v pervynnomu nasinnystvi: dis... kand. s.-g. nauk [Improved methods of curing potatoes from viruses and using the obtained material in primary seeding: thesis of the candidate of agricultural sciences]. Kyiv, 153 p.

39. Bacchetta L., Aramini M., Bernardini C., Rugini E. (2008). *In Vitro* Propagation of Traditional Italian Hazelnut Cultivars as a Tool for the Valorization and Conservation of Local Genetic Resources. Vol. 43, Issue 2, pp. 562–566. DOI: 10.21273/HORTSCI.43.2.562.

40. Matskevych, V.V., Pidhaietskyi, O.O. (2015). Osoblyvosti vykorystannia formy ta kilkosti zalizu za vyroshchuvannia *in vitro* ozhyny i malyny [Peculiarities of using the form and amount of iron for *in vitro* cultivation of blackberries and raspberries]. Visnyk Sums'koho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Naukovyi zhurnal. Ahronomiia i biologiia [Bulletin of the Sumy National Agrarian University. Scientific journal. Agronomy and biology]. Sumy, SNAU, Vol. 9 (30), pp. 46–51.

41. Matskevych, V.V., Filipova, L.M. (2016) Hiperhidratsiia *in vitro* ta yii chynnyky [Hyperhydration *in vitro* and its factors]. Naukovi poshuky molodi v tretomu tysiacholitti: tezy dopovidei Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii molodykh vchenykh, aspirantiv i doktorantiv BNAU [Scientific research of young people in the third millennium: abstracts of the reports of the International scientific and practical conference of young scientists, post-graduate students and doctoral students of the BSAS]. Bila Tserkva, 31 p.

42. Tesliuk, N.I., Barabash, V.B., Klachun, A.A. (2016). Vykorystannia kultury *in vitro* u vynohradarstvi [Use of *in vitro* culture in viticulture]. Vynohradarstvo i vynorobstvo [Viticulture and winemaking]. Vol. 53, pp. 209–217.

43. Antagonizm ta synerhizm: vzaiemodiia elementiv zhyvlennia u roslini [Antagonism and synergism: the interaction of nutrients in a plant]. Available at: <https://dobrodiy.in.ua/statti/antagonizm-ta-synergizm-vz-ayemodiya-elementiv-zhyvlennia-u-roslini/>.

44. Skrypchenko, N.V. (2017). *Aktynidiia* v Ukraini [Actinidia in Ukraine]. Zhytomyr, PE «Ruta», 88 p.

45. Sedgley, M., Collins, G. (2002). Almond improvement in Australia. Fruits. 57.2, pp. 129–134.

46. Caboni, E., Lauri, P. (2001). Micropropagation as a tool to evaluate response to limiting conditions in almond genotypes. In: III International Symposium on Pistachios and Almonds. 591, pp. 341–344.

47. Shibli, R.A., Mohammad, M.J., Ajlouni, Z.I. (2002). Growth and micronutrient acquisition of *in vitro* grown bitter almond and sour orange in response to iron concentration from different iron chelates. J Plant Nutr. 25, pp. 1599–1606.

48. Caboche, M. (1987). Nitrogen, carbohydrate and zinc requirements for the efficient induction of shoot morphogenesis from protoplast-derived colonies

of *Nicotiana glauca* L. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. Vol. 8, pp. 197–206.

49. Vedenychova, N.P., Kosakivska, I.V. (2017). Tsytokininy yak rehulatory ontogenezu roslyn za riznykh umov zrostannia [Cytokinins as regulators of plant ontogenesis under different growth conditions]. Kyiv, Our format, 200 p.

50. Woodward, A.J. The optimisation of nitrogen content for micropropagation of *eucalyptus marginata*. Available at: https://ro.ecu.edu.au/theses_hons/286.

51. Arab, M.M., Yadollahi, A., Shojaeiyan, A., Shokri, S., Ghogh, S. M. (2014). Effects of nutrient media, different cytokinin types and their concentrations on in vitro multiplication of G× N15 (hybrid of almond× peach) vegetative rootstock. *Journal of genetic engineering and biotechnology*. 12(2), pp. 81–87.

52. 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.1977.78.10.

53. Tsiouridis, C., Thomidis T. (2003). Methods to improve the *in vitro* culture of GF677 (peach× almond) peach rootstock. pp. 361–364.

54. Premkumar, A., Mercado, J.A., Quesada, M.A. (2001). Effects of *in vitro* tissue culture conditions and acclimatization on the contents of Rubisco, leaf soluble proteins, photosynthetic pigments, and C/N ratio. *Journal of Plant Physiology*. 158, 7, pp. 835–840. DOI: 10.1078/0176-1617-00214.

55. Silvestri, C. (2015). Hazelnut (*Corylus avellana* L.) genetic resources and nursery industry improvement by biotechnological approaches. pp. 35–40.

56. Mehra, A., Mehra, P.N. (1974). Organogenesis and plantlet formation *in vitro* in almond. *Botanical Gazette*. 135(1), pp. 61–73.

57. Ainsley, P.J., Collins, G.G., Sedgley, M. (2000). Adventitious shoot regeneration from leaf explants of almond (*Prunus dulcis* Mill.). *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*. 36(6), pp. 470–474.

58. Parfitt, D.E., Almehdi, A.A. (1986). *In vitro* propagation of peach: II. A medium for in vitro multiplication of 56 peach cultivars. *Fruit Var J*. 40(2), pp. 46–47.

59. Martins, M., Sarmiento, D., Oliveira, M.M. (2004). Genetic stability of micropropagated almond plantlets, as assessed by RAPD and ISSR markers. *Plant cell reports*. Vol. 23(7), pp. 492–496.

60. Lan, P., Li, W., Fischer, R. (2006). Arabidopsis thaliana wild type, pho1, and pho2 mutant plants different responses to exogenous cytokinins. *Plant Physiol. Biochem.* no. (44), pp. 343–350.

61. Antonelli, M. (1990). Regeneration from almond cotyledons: induction of proembryonal masses. *in vitro Culture*, XXIII IHC. 300, pp. 255–260.

62. Quoirin, M., Lepoivre, P. (1977). *Acta Hort.* no. 78, 437 p.

63. Driver, J.A., Kuniyuki, A.H. (1984). In Vitro Propagation of Paradox walnut Rootstock, *Hort. Science*. 19(4), pp. 507–509.

64. Matskevych, V., Yukhnovskyi, V., Kimeichuk, I., Matskevych, O., Shyta, O. (2023). Peculiarities of determining the morphogenesis of plants *Corylus avellana* L.

and *Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb. *in vitro* culture. *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*. Vol. 65(1), pp. 1–14.

65. Filipova, L.M., Matskevych, V.V., Karpuk, L.M., Pavlichenko, A.A. (2021). Osoblyvosti zasvoiennia makroelementiv na kyslomu grunti [Peculiarities of assimilation of macroelements on acidic soil]. *Innovatsiini tekhnologii v ahronomii, zemleustroi, elektroenerhetytsi, lisovomu ta sadovo-parkovomu hospodarstvi: materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii* ["Innovative technologies in agronomy, land management, electric power, forestry and horticulture": materials of the international scientific and practical conference]. Bila Tserkva NAU, pp. 16–18.

66. Matskevych, V.V., Rohovskyi, S.V., Vlasenko, M.Yu., Cherniak, V.M. (2010). *Osnovy biotekhnologii roslyn: navchalnyi posibnyk* [Fundamentals of plant biotechnology]. Bila Tserkva, Bila Tserkva National Agrarian University, 135 p.

67. Bilynska, O.V., Dulniev, P.H. (2015). Morfohenetychnyi efekt i trofichni vlastyivosti khimichno modyfikovanoho krokhmalu D-5 aM u kulturi in vitro pyliakiv ta izolovanykh zarodkiv yachmeniu yarohe (*Hordeum vulgare* L.) [Morphogenetic effect and trophic properties of chemically modified starch D-5 aM in the in vitro culture of anthers and isolated germs of spring barley (*Hordeum vulgare* L.)]. *Fakty eksperymental'noyi evolyutsiyi orhanizmiv* [Factors of experimental evolution of organisms]. Vol. 17, pp. 107–111.

68. Gürel, S., Gülşen, Yü. (1998). The effects of different sucrose, agar and pH levels on *in vitro* shoot production of almond (*Amygdalus communis* L.). *Turkish Journal of Botany*. Vol. 22(6), pp. 363–374.

69. Matskevych, O.V., Andriievskyi, V.V., Filipova, L.M. (2015). Vplyv 6-benzylaminopuryno na hiperhidratsiiu rehenerantiv *Rubus fruticosus* L. ta *Rubus idaeus* L. [Effect of 6-benzylaminopurine on hyperhydration of regenerants of *Rubus fruticosus* L. and *Rubus idaeus* L.]. «Biotekhnolohiia: zvershennia ta nadii»: tezy dopovidei IV Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh ["Biotechnology: achievements and hopes": abstracts of reports of the 4th All-Ukrainian scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists]. Kyiv, pp. 143–144.

70. Zhang, W., Swarup, R., Bennet, M., Schaller, G.E., Kieber, J.J. (2013). Cytokinin induces cell division in the quiescent center of the Arabidopsis root apical meristem. *Curr. Biol*. 23, pp. 1977–1989.

71. Rugini, E., Verma, D.C. (1983). Micropropagation of difficult-to-propagate almond (*Prunus amygdalus*, Batsch) cultivar. *Plant science letters*. no. 28.3, pp. 273–281.

72. Cigdem, I. (2008). *In vitro* micropropagation of almond (*Amygdalus communis* L. cv. Nonpareil). *African Journal of Biotechnology*. Vol. 7(12), pp. 56–63.

73. Aabood, S. (2005). Propagation of Almond (*Amygdalus communis* L.) Plant by Tissue Culture. *Rafidain Journal of Science*. Vol. 16(14), pp. 100–112.

74. Rugini, E., Verma, D.C. (1983). Micropropagation of difficult-to-propagate almond (*Prunus amygdalus*, Batsch) cultivar. *Plant science letters*. no. 28.3, pp. 273–281.

dalus, Batsch) cultivar. Plant science letters. Vol. 28(3), pp. 273–281.

75. Isikalan, C., Akbas, F.A., Namli, S., Tilkat, E., Basaran, D. (2008). In vitro micropropagation of almond (*Amygdalus communis* L. cv. Nonpareil). African Journal of Biotechnology. no. 12, pp. 68–75.

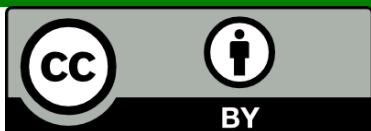
76. Kamali, K. (1995). Determination of the most suitable culture medium and growth conditions for micropropagation of Gf677 (hybrid of almond × peach) rootstocks. M.Sc. Thesis. Tarbiat Modares University, 101 p.

Determinants of the reproduction of *Prunus dulcis* (Mill.) D.A.Webb. biotechnological methods
Shyta O.

The purpose of the presented article is to establish the trophic and hormonal determinants of the ontogenesis of *Prunus dulcis* regenerants *in vitro*. One of the urgent problems in Ukraine is climate change, which reduces the level of achieving sustainable development and hinders humanity from both agro-ecological and food security. Such changes lead to the diversification of traditional agriculture. In Ukraine, almonds are a valuable, promising nut crop, thanks to which it is possible to diversify climate risks. Varieties of foreign selection with a long growing season and low winter hardiness are not suitable for our zone. Plants of four domestic varieties of almonds E5 Borozan, M41 Alex, Georgia, Louise (entered into the register in 2020) were involved

in the study. One of the reliable methods for obtaining high-quality planting material, healthy from diseases, fast reproduction rates is microclonal reproduction. Therefore, modern nurseries switch to the production of planting material using biotechnological methods. Preparatory measures of mother plants of explant donors and decontamination increase the efficiency of work at the first stage of microclonal propagation. Primary explants are planted on media with a twice-reduced content of nutrients and a high content of cytokinins and gibberellins. Its success also depends on the selection of components, the pH of the nutrient medium (trophic determinants), and the interaction of exogenous and endogenous hormones (hormonal determination.) The main trophic determinants are synthetic carbohydrates and mineral components added to artificial nutrient media. According to the Skoog-Miller rule, at the stage of multiplication, cytokinins predominate in the nutrient medium, and for root formation, their content decreases and the content of auxins decreases. Both auxins and cytokinins are added in high concentrations to stimulate callus formation. A systematic study of the features of the determinants of microclonal reproduction of almonds is relevant for the creation of MCR technologies. The lack or unavailability of one of the elements affects the plant object.

Key words: microclonal reproduction, almonds *in vitro*, power elements, synthetic phytohormones.



Copyright: Шыта О.П. © 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:

Шыта О.П. <https://orcid.org/0000-0002-6470-2744>