

УДК 602.7:634.54

DOI: 10.31395/2310-0478-2022-1-106-115



О.В. Мацкевич,
магістрантка факультету захисту рослин, біотехнологій та екології Національного університету біоресурсів і природокористування України
м. Київ, Україна
E-mail: ok1matskevych@gmail.com



І.В. Кімейчук,
асистент кафедри лісового господарства Білоцерківського національного аграрного університету
м. Біла Церква, Україна
E-mail: i_kimeichuk@nubip.edu.ua



В.В. Мацкевич,
доктор сільськогосподарських наук, доцент кафедри лісового господарства Білоцерківського національного аграрного університету
м. Біла Церква, Україна
E-mail: vitroplant56@gmail.com



Л.М. Карпук,
доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри землеробства, агрохімії та ґрунтознавства Білоцерківського національного аграрного університету
м. Біла Церква, Україна
E-mail: lesya_karpuk@ukr.net

МІКРОКЛОНАЛЬНЕ РОЗМНОЖЕННЯ ФУНДУКА

Для швидкого впровадження масштабних кількостей високоякісного садивного матеріалу фундуку актуальним є застосування різних модифікацій мікроклонального розмноження: класичні на гелевих середовищах, біореакторах з періодичним підтопленням (TIS) та фотоавтотрофним методом. На першому етапі класичних методів основні три проблеми: фенолоутворення; ендогенне контамінування; підбір трофічних та гормональних детермінант онтогенезу *in vitro*. У випадках зараження материнських рослин вірусами, віроїдами є обов'язковим застосування меристемних експлантів розміром не більше 0,3 мм з подальшою діагностикою ефективності оздоровлення. Для запобігання самоінтоксикації продуктами окиснення фенолоподібних речовин застосовують комплекс заходів з підготовки донорів експлантів та модифікації живильних середовищ. Найбільш поширені штучні живильні середовища це за прописами Драйвера і Канюки (DKW) та Nas і Read (NRM). Фундук чутливий до надлишку нітрогену та дефіциту кальцію і міді в штучних живильних середовищах. На середовищах з високим умістом N регенеранти мають вкорочені та потовщені пагони, часто з ознаками гіпегідратації. Інгібування засвоєння кальцію нітрогеном призводить до некротизації верхівки пагонів та кінчиків коренів. Включення в метаболізм рослинного об'єкта іонів заліза залежить від їх валентності та форми хелатуючих агентів. Під час мультиплікації та індукції ризогенезу в асептичних умовах застосовують переважно синтетичні цитокінін бензиламінопурин та ауксин індолілмасляну кислоту. Ефективність гормонів зростає за використання комбінацій в межах груп, зокрема цитокініни це бензиламінопурин і кінетин. На етапі мультиплікації є переважання по вмісту цитокінінів над ауксинами, а на етапі ризогенезу кількість ауксинів в середовищі більша кількості цитокінінів. Із органічних компонентів в середовище додають глюкозу вітаміни B₁, B₆, C, PP, амінокислоти та інозитол. Акліматизацію рослин *ex vitro* проводять на торф'яно-перлітних субстратах в закритому ґрунті або модулях фотоавтотрофного мікроклонального розмноження із збільшеною інтенсивністю освітлення та підвищеним умістом вуглекислого газу. Фотоавтотрофний метод поєднує одночасно мультиплікацію, ризогенез та акліматизацію. Ефективність пристосування до факторонестатичних умов зростає за мікоризації грибами родів *Glomus*, *Trichoderma*, *Tuber* при перенесенні рослин з асептичних умов.

Ключові слова: фундук, мікроклональне розмноження, детермінанти, живильне середовище, елементи живлення, фітогормони, постасептична адаптація.

O.V. Matskevych,

Master's student of the Faculty of Plant Protection, Biotechnology and Ecology National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (Kyiv), Ukraine

I.V. Kimeichuk,

Assistant of the Department of Forestry, Bila Tserkva National Agrarian University (Bila Tserkva), Ukraine

V.V. Matskevych,

Doctor of Agricultural Sciences, docent of the Department of Forestry, Bila Tserkva National Agrarian University (Bila Tserkva), Ukraine

L.M. Karpuk,

Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Land Farming, Agrochemistry and Soil Science, Bila Tserkva National Agrarian University (Bila Tserkva), Ukraine

MICROCLONAL REPRODUCTION OF HAZELNUTS

For the rapid introduction of large quantities of high-quality hazelnut planting material, it is important to use various

modifications of microclonal propagation: classic on gel media, bioreactors with periodic flooding (TIS) and photoautotrophic methods. At the first stage of classical methods there are three main problems: phenol formation; endogenous contamination; selection of trophic and hormonal determinants of in vitro ontogenesis. In cases of infection of mother plants with viruses, viroids, it is mandatory to use meristem explants with a size of not more than 0.3 mm, followed by diagnosis of the effectiveness of recovery. To prevent self-intoxication with phenol-like oxidation products, a set of measures is used to prepare explant donors and modify nutrient media. The most common artificial nutrient media are Driver and Buzzard (DKW) and Nas and Read (NRM). Hazelnuts are sensitive to excess nitrogen and calcium and copper deficiency in artificial nutrient media. On media with a high N content, regenerants have shortened and thickened shoots, often with signs of hyperhydration. Inhibition of calcium uptake by nitrogen leads to necrotization of shoot tips and root tips. The incorporation of iron ions into the metabolism of a plant depends on their valence and the form of chelating agents. During the multiplication and induction of rhizogenesis in aseptic conditions, mainly synthetic cytokinin benzylaminopurine and auxin indolylbutyric acid are used. The effectiveness of hormones increases with the use of combinations within groups, in particular cytokinins are benzylaminopurine and kinetin. At the stage of multiplication there is a predominance of cytokinins over auxins, and at the stage of rhizogenesis the number of auxins in the environment is greater than the number of cytokinins. Of the organic components, vitamins B1, B6, C, PP, amino acids and inositol are added to the environment. Ex vitro acclimatization of plants is carried out on peat-pearlite substrates in closed soil or modules of photoautotrophic microclonal propagation with increased light intensity and high carbon dioxide content. The photoautotrophic method combines amination, rhizogenesis and acclimatization at the same time. The effectiveness of adaptation to factor-nestatic conditions increases with mycorrhizae by fungi of the genera Glomus, Trichoderma, Tubera in the transfer of plants from aseptic conditions.

Key words: hazelnuts, microclonal reproduction, determinants, nutrient medium, nutrients, phytohormones, postaseptic adaptation.

Постановка проблеми. Фундук цінна продовольча та декоративна культура. В світі спостерігається збільшення обсягів споживання фундука. З цим пов'язані розширення площ та сортозаміна фундукових насаджень. Створено сорти стійкі до нових хвороб, з кращою якістю урожаю та технології вирощування фундука із комерційним урожаєм у 8–10 тон з гектара [1, 2].

Зокрема набуває значного поширення в Україні хорватська інтенсивна технологія. Одним з ключових моментів цієї технології є вирощування на U-подібній шпалері з підвищеною щільністю розміщення дерев на одиниці площі. Кількість садивного матеріалу порівняно з традиційними технологіями зростає з 500 до 5 тис. шт. [2].

Окрім заміни старих сортів на такі що відповідають новітнім технологіям є виклики які пов'язані із появою нових небезпечних для традиційних сортів хвороб. Так, стрімкого поширення набуває грибкове захворювання EFB (Eastern Filbert Blight) – східний опік горіхоплідних культур *Corylus spp.* Дієвим шляхом зменшення шкоди від цього патогену зокрема є швидке впровадження нових сортів на основі міжвидових гібридів (*C. americana* × *C. avellana*) [3].

Також набувають поширення технології вирощування фундука в штабовій культурі на ліщині ведмежі як вегетативно не розмножується, а розмноження насінням, що є причиною неоднорідного росту таких садів [4].

Сортозаміна, перехід на нові технології та розширення площ потребують виробництва в значних масштабах вільного від збудників хвороб саджанців. За таких умов єдиним можливим способом розмноження фундука є вегетативне.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Біотехнологічним методам, зокрема мікроклональному розмноженню (далі МКР) методи вегетативного розмноження поступаються за коефіцієнтами розмноження; неможливістю дотримання умов які б унеможливили потрапляння і розповсюдження збудників хвороб, шкідників; повільними темпами ювенілізації вихідного для розмноження матеріалу. В багатьох країнах з промисловим фундуківництвом на законодавчому рівні закріплено створення передбазового матеріалу, вільного від патогенів, що розмножується для виробництва сертифікованих саджанців [5]. Водночас введення в асептичні умови, мультіплікація, ризогенез та процеси адаптації *ex vitro* потребують високоорганізованого і контрольованого виробництва. Для досягнення високих показників необхідним є чіткий контроль детермінант трофічної, гормональної природи та дотримання параметрів мікроклімату [3].

На першому етапі мікроклонального розмноження фундука найбільш гострими проблемами є наступні: самоінтоксикація продуктами окиснення фенолоподібних

речовин; ендегенне внутрітканинне контамінування; підбір оптимального співвідношення трофічних і гормональних детермінант [6, 7, 8].

У природних, польових умовах феноли вберігають рослини від стресових факторів (високі та низькі температури, дефіцит вологи), захищають від травоядних та покращують адаптацію рослин у ґрунтах, багатих на токсичні метали [9], приймають участь в лігніфікації формуванні вторинної стінки [10]. Однією із основних властивостей фенолів в рослинному організмі є протимікробна активність, особливо при травмах. Під час введення в асептичні умови і поділу на експланти в інших етапах МКР також присутні травми, що є однією з причини самоінтоксикації продуктами перетворення цих сполук [3, 11].

Феноли, це вторинні продукти обміну речовин. Накопичуються у вакуолях. Їх синтез зберігається і в умовах *in vitro*. Найчастіше про появу фенолоподібних речовин свідчать коричневий колір експлантів та коричневі плями навколо експланта в штучному живильному середовищі [12, 13]. З виходом в цитоплазму фенолів відбувається їх окиснення ферментами (зокрема поліфенолоксидазою [14]) з утворенням рістінгібуючих продуктів [15]. Синтез, перетворення фенольних сполук антагоністичного впливає на інтенсивність проліферації, інгібує коренеутворення, зменшує ефективність засвоєння азоту [16].

Мета дослідження – встановлення стану і перспективності розмноження фундука сучасними інтенсивними методами.

Результати досліджень. Для усунення самоінтоксикації цими продуктами застосовують наступні прийоми:

- вирощування донорів експлантів в умовах з розсіяним світлом, це пов'язано з тим, що збільшення синтезу фенолів в рослині відбувається як реакція фотозахисту за інтенсивного освітлення [12];
- декапітація пагонів маточних рослин для пробудження бічних бруньок тому що в них менший прояв виділення та окиснення фенолоподібних речовин;
- також одним із факторів прояву окиснення фенолів в первинних експлантах є опіки антисептика при деконтамінації. Сильні опіки відмічені в розчинах гіпохлориту натрію [11], спирту [6], тому застосовують деконтамінанти за використання яких менше руйнують тканини рослини, наприклад, препарат Бланідас 300 [11].
- підбір гормонів;
- додавання антиоксидантів;
- часте пересаджування експлантів на свіже середовище [7];
- менший прояв фенолів відбувається за вирощування в системах тимчасового занурення TIS (Temporary Immersion System). Занурення експланта відбувається в

рідке середовище через певні інтервали. Це забезпечує оксигенацію та змішування середовища, що не дозволяє накопичувати токсичні сполуки в середині та навколо експланта [17]. Таке культивування не передбачає частих пересадок.

- живцювання *in vitro* більш старших рослин, так як експлантів ізольованих з порівняно молодших донорних рослин більше проявляється реакція на травми;

- підбір складу середовищ на яких експланти менше фенолять. Наприклад, при порівнянні середовищ WPM, MS, DKW встановлено значно меншу кількість експлантів з фенолоутворенням було на середовищі DKW [6, 14, 17].

- поділ на експланти з мінімальною раненою поверхнею, наприклад, використання поділу конгломерату мікропагонів замість поділу стебловими живцями;

- підбір оптимального співвідношення світла при комбінуванні червоних і синіх спектрів монохромних фотодіодів [18].

Використання стеблових експлантів порівняно з меристемними з одної сторони має перевагу в більшій їх приживлюваності але з іншої сторони в них, зокрема в провідних тканинах містяться ендogenous мікроорганізми контамінанти. Боротися з ними з використанням лише контактних антисептиків (гіпохлорит натрію, хлорид ртуті, біоцид та ін.) не можливо. Тому залежно від природи мікрофлори (гриби, бактерії) проводять обробку донорів експлантів, самих експлантів на етапі введення в асептичні умови та додають деконтамінанти в живильне середовище [7, 19]. Біоцид PPM (Plant Preservative Mixture, діюча речовина 5-chloro-2-methyl-3(2H)-isothiazolone and 2-methyl-3(2H)-isothiazolone) ефективним є для стерилізації фундука як основний деконтамінант (замочування в ньому експлантів на 24 години) та і додатковий (додавання в живильне середовище 2,5–3,0 мл/л) [20].

Збільшує кількість деконтамінованих та покращує проліферацію первинних експлантів замочування на одну дві години перед основною їх обробкою в розчині фунгіциду Превікур Енерджи (діючі речовини: пропамокарб гідрохлорид 530 г/л, фосетил алюмінію 310 г/л) [3, 5].

На кількість контамінантів впливає пора року [13] та вік донора експлантів [11]. Рівень контамінування може бути меншим якщо донори вирощувалися в горщиках [18] або ізольовано у закритому ґрунті [3]. Забруднення бактеріальної природи може зростати в напрямку від апікальної до базальної частини пагона [19]. Hand, Charles R із співавторами встановили, що в експлантах фундука найчастіше зустрічаються бактерії *Brevundimonas* sp. і *Pseudomonas* sp. [20].

Для ювенілізації матеріалу та зменшення контамінування із зрілих дерев проводять щеплення на молоді сіянці і зберігають в теплиці [21].

Менш життєздатними експлантами фундука в наслідок більшої чутливості до опіків деконтамінантами та інтенсивнішим фенолоутворенням є верхівкові бруньки порівняно з бічними [3, 18]. В продовж року здатність до проліферації первинних експлантів різна. В дослідженнях на острові Сицилія встановлено, що найбільше регенерантів приживалося у випадку ізоляції в липні та серпні [22].

Зменшується кількість контамінованих експлантів за сумісного використання двох антисептиків [13] та обробкою антибіотиками [22]. Однак підбір антибіотиків для деконтамінації можливого широкого спектру ендogenous є досить складним із за вузької специфічності їх дії [11]. Також лише частина антибіотиків є термостабільними тобто стійкими до автоклавування.

У випадках зараження донорних материнських рослин вірусами, віроїдами, мікоплазмами садивний матеріал розмножений *in vitro* без культури меристем, термо- та хемотерапії і обов'язковим тестуванням може бути інфікованим 100 %. Так, як лінії *in vitro* є потомством одного експланта який може мультиплікуватися в значних обсягах є загроза створення плантацій в яких всі дерева міститимуть інфекцію. В полі не можливо буде

їх вилікувати. І окрім затрат на формування і доглядом комерційної плантації додадуться затрати на її утилізацію при відсутності прибутку.

Фундук, дика ліщина уражуються цілою низкою вірусів, зокрема вірус поліфаг яблучної мозаїки (ArMV), який уражує види з 19 родин зокрема 65 видів родини Rosaceae [23].

Італійським вченим [21] використовуючи меристеми в 0,2–0,3 мм і з одним або двома примордіями позитивних на ArMV рослин вдалося отримати залежно від сорту 90–100 % регенерантів. У випадку застосування меристем розміром 0,3–0,5 мм є не ефективним в боротьбі з ArMV [24]. Між розміром меристеми і ефективністю звільнення від патогенів існує обернена залежність [25].

Як за первинного культивування експлантів так і тривалого субкультивування на рослинні клітини, тканини їх взаємозв'язок впливають ряд детермінант. Це, зокрема трофічні, гормональні та фізичні.

Серед фізичних, це характер освітлення та температура. Освітлення для МКР фундука найчастіше 2,0–3,0 κLux із співвідношенням протягом доби 16 годин освітлення і 8 годин темряви. Температура 24 °C [11, 12, 26].

Серед трофічних детермінант такі групи компонентів живильного середовища: мінеральні макро- та мікроелементи; джерела вуглеводного живлення (глюкоза, сахароза та ін.); амінокислоти та інші компоненти білок подібних речовин; фітогормони і гормоноподібні речовини; вітаміни; регулятори рН; згущувачі середовища.

Кількісне і якісне поєднання складових середовища визначає обмін речовин, морфогенез і успіх мікроклонального розмноження. Нестача елементів живлення і/або їх надлишок як і в польових культур відповідає загальним фізіологічним законам живлення. Це зокрема, закон мінімуму Юстаса Лібіха і закони надлишку. Тобто як нестача так і дефіцит одного з елементів ускладнює засвоєння та включення в метаболізм інших елементів. *In vitro* є проблеми які властиві як і в умовах відкритого ґрунту: короткі, пагони, хлороз так і специфічні як то утворення калюсу чи молочно-білого ексудату [27].

Концентрація азоту в середовищі Мурасиге і Скуга на якому успішно культивують значну кількість видів рослин, дуже висока для мікроклонального розмноження фундука. Зменшуючи уміст загального азоту і особливо амонійної форми отримують кращий розвиток пагонів [6, 28]. Надлишкова кількість нітрогену пригнічує проліферацію меристем їх морфогенез [8].

Одним із давніх і поширених прописів для горіхоплідних культур і в тому числі фундука є пропис DKW розроблений і опублікований ще в 1984 році Driver J. A. і Kuniyuki. Він був розроблений для культивування апікальних та латеральних бруньок рослин підщепи волоського горіху Paradox *in vitro* [29]. Проте реакція різних сортів фундука на таке середовище не однакова. Вважають, що серед мінеральних елементів живлення в цьому середовищі корегування відносно метаболізму фундука в чергу потребують: макросолі NH_4NO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $(\text{MgSO}_4 \text{ і } \text{K}_2\text{SO}_4)$, K_2SO_4 [30].

У живильних середовищах значний вплив мають співвідношення NH_4NO_3 та $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. Вказане впливає на якість і довжину пагонів фундука [31]. Тривале субкультивування рослин на середовищі з високим умістом нітрогену, сульфору є причиною появи ознак гіпергідратації тканин, проблем із засвоєнням іонів кальцію. Подібні симптоми є проявом закону надлишку елементів живлення [6]. Надлишкові кількості цих елементів блокують надходження інших іонів (наприклад купруму). Надлишковий азот, особливо в амонійній формі індукує нетипове збільшення синтезу амінокислот, які є осмотично активними речовинами і обумовлюють надмірну обводненість тканин [8, 11]. В результаті регенеранти мають вкорочені пагони, часто зустрічається відмирання верхівок. Посиліло токсичний вплив надлишку іонів нітрогену збільшення проникності цитоплазматичних мембран за рахунок підкислення середовища,

надлишку цитокінінів та живцювання не визрівшими живцями в молоді тканинах яких легко проникають молекули води [11]. При фітоксичному надлишку нітрогену зменшується вміст як загального хлорофілу та і хлорофілу в [32]. Фотоасиміляційні тканини втрачають типовий зелений колір.

Нітратний, амонійний азот входить в склад середовищ у вигляді мінеральних солей. Джерелом азоту також є органічні речовини: аміни, аміді, амінокислоти. Амонійний азот швидко метаболізується до органічних сполук, зокрема при достатній кількості вуглеводів, органічних кислоти перетворюється до амінокислот за наступним шляхом: вуглеводи (сахароза, глюкоза) – органічні кислоти – амінокислоти. При приєднанні NH_4 до органічних кислот утворюються амінокислоти з аміногрупами NH_3 .

Метаболізація нітратів потребує значних затрат енергії і проходить значно довший шлях: мінеральні нітрати солей середовища (NO_3^-) – ензим нітратредуктаза NO_2^- – ензим нітритредуктаза – NH_4^{++} – перетворення в органічний азот органічних сполук.

Черговість шляхів метаболізації амонійної і нітратної форм детермінується рН середовища. В кислому середовищі першим шляхом метаболізації нітрогену є перетворення нітратів. У випадку підлучення середовища в обмін речовин включаються іони амонію [8].

Надлишковий вміст амонійного азоту збільшує чутливість до токсичних концентрацій етилену [38]. Надмірна кількість нітрогену вповільнює розвиток, в тому числі і ризогенез. На етапі індукції ризогенезу вміст азоту зменшують та збільшують кількість фосфору, калію, кальцію [32].

Водночас для збільшення коефіцієнта розмноження часткове зменшення вмісту $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ стимулює пробудження пазушних бруньок. Збільшення вмісту кальцію, але не до рівня фітотоксичності, збільшує довжину пагонів. Однією з причин збільшення розмірів центрального пагону є участь іонів кальцію в транспорті ауксинів, активації і як наслідок посилення апікального домінування [33].

Кальцій входить в склад пектинів клітинної оболонки, у формі пектинів приймає участь в створенні каркасу клітини. Кальцій це елемент не здатний до реутилізації тому від його нестачі в першу чергу страждають верхівкові меристеми як пагона так і кореня. Візуальною ознакою нестачі або проблем засвоєння Ca є відмирання кінчиків пагонів та коренів.

Застосовуючи для аналізу даних алгоритм інтелектуального автоматичного визначення взаємодії гіквдрату (CHAID) Akin, M. із співавторами [34] встановили, що на мікротональне розмноження фундука впливають в першу чергу такі два фактори: іони Ca^{2+} і біологічні особливості сорту закладені генетично.

Еволюційно обмін речовин пристосовується тим ґрунтово-кліматичним умовам з яких походить культура. Фундук походить з регіонів ґрунтами з рН близьким до нейтрального та високим вмістом кальцію. Середовища для цієї культури вимагають високого рівня $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. Однак слід враховувати, що фітотоксичні кількості кальцію особливо з одночасним зростанням рівня рН викликають хлорози із складності засвоєння нітрогену і феруму.

Також відомо, що збільшення вмісту Cu та міоінозиту призводить до збільшення висоти і пагонів до трьох разів та збільшення їх кількості на 93 % [32]. Також збільшення концентрацій міді і міоінозиту ($2,55 \text{ мг/л CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} + 400 \text{ мг/л міоінозиту}$) при вирощуванні фундука зменшують на 50 % кількість небажаного калюсу [34].

Вільне залізо в середовищі випадає в осад у формі фосфатів. В складі живильних середовищ поширені такі форми заліза: FeSO_4 , і у вигляді хелатів FeEDTA та FeEDDHA . Стосовно елементних станів заліза є Fe^{2+} (двовалентне залізо), його розчинність вища, але воно легко окислюється, і Fe^{3+} (тривалентне залізо), що має меншу розчинність. Нестача або проблеми із засвоєнням заліза викликає хлорози, затримки росту передчасного старіння

[13].

На доступність іонів феруму впливає і форма хелатуючих елементів з якими зв'язані іони цього металу. За дослідженнями Dalton та ін. [35], EDTA утворює комплекси з іншими дво валентними іонами в середовищі, внаслідок чого зменшується їх доступність для клітин рослини. Тому $\text{Fe}(\text{III})$ в комплексі з –хелатом етилендіаміну-N,N'-ді-(орто-гідроксифеніл) оцтової кислоти (FeEDDHA) є більш поширеним в середовищах для фундука [17]. Порівнюючи FeSO_4 і FeEDDHA Nas і Read [27] виявили, що на середовищі із FeEDDHA регенеранти мають більші пагони і типового насиченого зеленого кольору [27].

Надлишок заліза є токсичним. Наприклад, гальмується коренеутворення, зменшується стійкість до втрати вологи під час постасептичної адаптації, ускладнюється засвоєння кальцію [11, 12]. Надлишкова кількість заліза індукує в реакції з утворенням активних радикалів. Відбувається окиснювальний процес з утворенням іонів OH^- які руйнують багато органічних речовин [36, 37].

Пересадка рослин фундука на середовищами із збільшеними в 4 рази концентраціями Zn, B, і Mo збільшують кількість та довжину пагонів. Збільшення концентрації Mo покращують доступність і взаємодію із Cu та Zn [39]. Однак, варто враховувати, що може бути і фітотоксичний ефект від надлишкової кількості який проявляється для багатьох елементів живлення після третього – четвертого субкультування [11].

Елементи живлення мають не лінійний вплив. Встановлено при проведенні математичного моделювання стосовно впливу мікроелементів Mo, Mn, B, Zn, Cu. Довжина пагона визначалась генотипом і молібденом. Швидкість розмноження залежить від сорту та вмісту бору, цинку та міді. На утворення калюсу впливає бор та генотип. На фоліогенез впливають цинк, мідь та марганець. Із вмістом Cu пов'язаний колір листя [40].

Оптимальне кількісне і якісне поєднання елементів живлення є складним завданням. Новим підходом в розробці прописів живильного середовища для фундука є розроблений протокол згідно гіпотези, що оптимальний склад середовища є близьким до екстракту насіння [40]. Так в останні роки набуває поширення середовище розроблене для фундука Nas і Read (NRM) згідно цієї гіпотези [36, 41]. За його застосування усувається більшість недоліків, які є при вирощуванні на MS або DKW.

Із органічних компонентів живильних середовищ, зокрема і для культури фундука використовують такі групи речовин: джерело вуглеводного живлення (глюкоза, рідше сахароза або інші вуглеводи); вітаміни; гормони та прогормональні речовини (наприклад, аденін як попередник цитокініну або триптофан як попередник ауксину індолілоцтової кислоти; амінокислоти та інші органічні азотовмісні сполуки; гелеутворювачі (агар-агар, гуарова камедь та інші).

Вітаміни як і мікроелементи (за виключенням B) є кофакторами ферментів. Тобто, кількісний і якісний склад вітамінів в живильному середовищі впливає на обмін речовин рослинних клітин. В прописі наявні наступні вітаміни: тіаміну хлорид (B_1), піридоксин (B_6), аскорбінова кислота (C); нікотинова кислота (PP); вітаміноподібна речовина мезоінозит (інозитол, інозит). В окремих прописях присутній альфа-, токоферол або вітамін E.

З вуглеводів для фундука як і для волоського горіха переважно використовують глюкозу. В регенерантів на середовищах з цим вуглеводом порівняно з рослинами на середовищах із сахарозою формуються пагони більш і довші [42].

Вітамін C виконує функцію антиоксиданта, зв'язуючи вільні радикали вберігає феноли рослинних клітин від окиснення [11, 43]. Додавання 100–200 мкМ аскорбінової кислоти сприяє зростанню кількості відновлених пагонів. В концентраціях 25 і 50 мкМ збільшується довжина пагонів порівняно з контролем. Високі концентрації вітаміну C в рослині співпадають з інтенсивним ростом [17]. Аскорбінова кислота покращує регенерацію калюсів,

регулює клітинний цикл, активацію меристем [44].

Вітамін В₁ приймає участь в перетворенні вуглеводів як кофермент циклу Кребса і біосинтезі амінокислот. В живильні середовища додають хлоргидрат тіаміну в концентраціях 0,1–0,4 мг/л. Синтез цього вітаміну відбувається в листках, є світлозалежним і краще відбувається за наявності в середовищі цитокинінів.

Вітамін РР (нікотинова кислота, C₆H₅NO₂) приймає участь у синтезі макроергічних сполук (НАДФхН₂, НАД) [45].

Гормони основні найбільш дієві детермінанти організму. Їхній вплив проявляється через експресію чи репресію окремих генів, синтез або активацію ферментів та інші процеси, що впливають на метаболізм, морфогенез і онтогенез в цілому. Саме завдяки гормонам дотримується черговість експресії генів. В культурі *in vitro* саме завдяки гормонам (переважно групі цитокинінів) та гетеротрофному живленню можливі процеси реювенілізації первинних експлантів ізольованих із зрілих донорів [11]. Групи гормонів є «класичними» тобто такими які давно відомі і присутні в усіх родинах рослин. Серед класичних в мікроклональному розмноженні переважно використовуються групи стимулюючої дії: цитокиніни, ауксини, гібереліни. Також є нововідкриті групи гормонів (брасиностероїди, жасмонати, саліцилова кислота). Їх використання поки що не вийшло за межі досліджень і не має масового застосування в комерційних протоколах мікроклонального розмноження.

Ендогенні профілі регуляторів росту рослин різноманітні значною мірою обумовлено генетичними, фізіологічними та екологічними умовами культури і зростання пагонів, вирощених *in vitro*. Одні і ті ж гормони набувають різних форм і тому вони можуть впливати на ряд біологічних процесів по різному [46]. Кожен ендогенний фітогормон має від кількох до десятків синтетичних аналогів та речовин з прогормональною активністю. Застосування різних комбінацій аналогів одного гормону є ефективнішим застосуванням лише одного гормону. Наприклад, сумісне застосування нафтилоцтової кислоти і індолілмасляної кислоти є ефективнішим порівняно із застосуванням як лише ендогенного гормону індолілоцтової кислоти або її синтетичного аналогу індолілмасляної кислоти [11].

Завдяки відкриттю класу гормонів цитокинінів стало можливим культивування рослинних об'єктів *in vitro* [8]. А.П. Сільва із співавторами встановили, що в природі у фундука цитокиніни представлені переважно дигідрозеатином і в меншій мірі зеатином [47]. Основний технологічний ефект від застосування цитокинінів в технологіях мікроклонального розмноження це стимулювання поділу клітин, пробудження більшої кількості бруньок та ювенілізація рослинного матеріалу. Ендогенні цитокиніни фундука можуть бути іР-типу (N6-ізопентеніл аденін і N6-ізопентеніл аденозин) та Z-типу (зеатин, зеатин рибозид, дигідрозеатин, дигідрозеатин рибозид) Z-тип: дигідрозеатин, дигідрозеатин рибозид, зеатин і зеатин рибозид [48]. Грем Томсон порівняв чотири синтетичних цитокиніни в трьох концентраціях: бензиламінопурін, кінетин, зеатин, ізопентиладенін і встановили, що бензиламінопурін в кількості 22,2 мкМ (5 мг/л) був порівняно з іншими ефективнішим на середовищі «Knoxfield2» для проліферації бруньок та росту більшої кількості пагонів [49]. В дослідженнях М. Ghaem [50] також найбільше пагонів утворювалося на середовищі з концентрацією 5 мг/л, але пагони регенерантів на цьому варіанті поступалися варіантам з меншою концентрацією за довжиною. При зменшенні концентрації до 2,5 мг/л пагони мали більшу висоту та більшу кількість листків. Такі регенеранти можна було субкультивувати використовуючи одновузлові живці. Також Даміано та ін. (2005) успішно в останні десятиліття використовуює для мікроклонального розмноження ліщини бензиламінопурін [13].

Оскільки гормони діють в різних своїх формах на різні процеси [45] тому більш ефективним є додавання

в живильне середовище комбінацій з декількох гормонів в межах групи. Зокрема, ефективним для ряду культур є поєднання кінетину та бензиламінопурину [11]. Вплив таких комбінацій цитокинінів був ефективним в різних концентраціях залежно від сорту фундука. Для сорту «Gercheh» краща проліферація пагонів за додавання в середовище 0,25 мг/л кінетину разом з 0,50 мг/л бензиламінопурину а для сорту 'Gerdooyi' – 0,25 мг/л кінетину сумісно з 4,00 мг/л бензиламінопурину [51].

Є повідомлення про вищу ефективність метатополіну (ароматичний цитокинін) порівняно із бензиладеніном. Додавання метатополіну в концентрації 4,1 або 8,2 мкМ переважало за вмістом хлорофілу та кількістю мікропагонів в регенерантах. Відмічено краще коренеутворення та постасептичну адаптацію після етапу мультиплікації з використанням цього цитокиніну [52].

Цитокиніни і ауксини найчастіше додаються в середовища і вони додаються для детермінування розвитку рослинних об'єктів згідно потреб конкретного етапу біотехнологічного процесу. Залежно від етапу мікроклонального розмноження їх кількість та співвідношення різні. Для підбору концентрацій гормонів враховують правило Скуга і Мілера, згідно з яким: якщо у живильному середовищі концентрація ауксинів та цитокинінів відносно рівні або концентрація ауксинів незначно перевищує концентрацію цитокинінів, утворюється калюс; якщо концентрація ауксинів значно перевищує концентрацію цитокинінів, відбувається апікальне домінування, в регенеранта формується переважно один пагін і добре розвинуте коріння; якщо концентрація ауксинів значно менше концентрації цитокинінів, тобто утворюються бруньки, конгломерат пагонів [11, 53].

Кількість ауксинів в середовищі збільшують на етапі індукції ризогенезу щоб покращити адаптацію регенерантів в умовах *ex vitro*. В природі високий рівень природного ауксину індол-3-оцтової кислоти (ІОК), так як і цитокинінів найбільшій весною та найменшій осінню та в стані спокою [54]. В організмі цей ауксин синтезується з триптофану [8, 55]. *In vitro* ендогенна ІОК може утворюється із її екзогенних синтетичних кон'югатів та при окисненні в пероксисомах індол-3-масляної кислоти (ІМК) [56, 67], тобто додана в середовище синтетична ІМК є попередником для синтезу організмом ІОК. Тому із синтетичних ауксинів ІМК є таким який найбільш застосовується [58].

Із нововідкритих груп гормонів в окремих дослідженнях випробовували саліцилову кислоту. Вона має кілька регуляторних стадій на різних стадіях розвитку: діє як сигнальна молекула і приймає участь у експресії відповіді на біотичні та абіотичні стресори; поглинає активні форми кисню; послаблення токсичних ефектів важких металів; стримує перекисне окиснення ліпідів при охолодженні; пригнічує синтез етилену. За мікроклонального розмноження є синергістом бензиламінопурину. У випадку додавання 0,1 мкМ саліцилової кислоти зростає ефективність проліферації пагонів, збільшується висота пагонів та кількість міжвузлів [8].

Завершальним етапом мікронального розмноження є постасептична акліматизація (адаптація). Простим способом її проведення є висаджування рослин *in vitro* у зволожені торфяно-перлітові суміші [55] або торф'яні таблетки з дотриманням умов високої вологості та розсіяного освітлення. В подальшому рослини пересаджують в пластикові контейнери і підживлюють розчином мінеральної основи середовища. За вегетаційний період рослини доростають до метра [56].

Технологічно можливим є поєднання індукції ризогенезу та постасептичної адаптації шляхом занурення перед висадкою в тепличні субстрати регенерантів в розчин індолілмасляної кислоти [43].

Значно зростає утворення коренів в біореакторах на інертних субстратах із системою періодичного занурення TIS (temporary immersion system). Відбувається аерація прикореневої зони, зменшення концентрації токсинів та рівномірний розподіл елементів живлення. Ці біореактори

дозволяють отримувати добре вкорінені рослини вже на четвертий тиждень культивування [57].

Поряд з традиційними методами мікроклонального розмноження, біореакторів із періодичним зануренням рослинних об'єктів комерційно перспективними є методи фотоавтотрофного мікроклонального розмноження (далі ФАМКР) [6, 11, 58]. ФАМКР має спільне одночасно із розмноженням в культурі тканини і методами зеленого живцювання у вологій камері. Такий вид мікроклонального розмноження відрізняється наступним:

- середовище без сахарози, глюкози та інших джерел вуглеводного живлення;

- джерелом вуглеводів є перетворення фотосинтетичне перетворення CO_2 за рахунок культивування рослинних об'єктів в контрольованім газовім середовищі з підвищеним умістом вуглекислим газом;

- інтенсифікація фотосинтезу відбувається в умовах освітлення в 11 тис. Клк і більше;

- регенерантам властивий гетеротрофний фотоавтотрофний тип живлення, що є одночасно розмноженням і адаптацією. Таким чином створюються умови швидкого росту регенерантів за рахунок ендогенних вуглеводів. Саме на прикладі фундука в Україні розпочато роботи із ФАМКР [6, 7, 11]. Також українськими дослідниками апробовано ефективність цього методу і на інших культурах, зокрема ожині [59].

Переваги вказаного методу порівняно із традиційними методами мікроклонального розмноження:

- відсутність затрат на органічні компоненти живильних середовищ, в тому числі агар, гормони, вуглеводи. Натомість живці висаджують на відносно дешеві мінеральні субстрати (перліт, вермикуліт);

- відсутність багатоступеневої акліматизації в системі в *in situ* – *in vitro* – *ex vitro* – *in situ*;

- швидке формування фотоасимілюючої та коревої системи;

- за умови автоматизації процесу зменшення впливу людського фактору та зменшення затрат людської праці.

Основа методу інтенсифікація фотосинтезу, тобто утворення первинної органічної речовини (глюкози) згідно формули: $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{світлова енергія} = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$. Технологія ФАМКР передбачає культивування рослинних об'єктів в прозорих герметичних модулях в яких контролюється дотримання таких параметрів: необхідний вміст CO_2 в повітрі; інтенсивність та тривалість освітлення протягом доби; вологість; температура ($24 \pm 2^\circ\text{C}$). В дослідженнях збільшення лише умісту вуглекислого газу не забезпечувало технологічного ефекту. Також збільшення лише інтенсивності освітлення не відрізнялося від контролю (звичайне зелене живцювання). Синергізм проявлявся при одночасному збільшенні як CO_2 так і світлової енергії ($\text{CO}_2 + \text{енергія}$).

При розмноженні фундука сорту Трапезунд цим методом на 18 день із одновузлових живців отримано рослини-регенеранти з кореневою системою в 29 мм. Інтенсивність ризогенезу залежала від розміру фотоасиміляційного апарату живців [11]. Розмножуючи фундук сорт Тонда Джентіле Романа встановлено що на 15 день відбувається інтенсивний ризогенез, а на 20 рослини є придатними для пересадки. Більші регенеранти за розмірами (висота пагона, кількість міжвузль) та з кращою кореневою системою були з апікальних та медіальних живців.

У випадку застосування як маточних рослин *in vitro* ювенільний стан зберігався п'ять і більше поколінь. Це проявлялося у високих регенераційних показниках: відростання пагона з пазушних бруньок та ризогенез [6].

У зв'язку з тим, що на першому етапі обов'язково є деконтамінація первинні рослинні експланти звільняються не тільки від небажаної мікрофлори але і від тієї яка вступає в симбіотичні або інші корисні для рослини зв'язки. Так, деревні культури при введенні *in vitro* втрачають симбіотичні мікроорганізми, зокрема і мікоризу. Вона в природних умовах допомагає кореневим волоскам, а в деяких видів замінює їх. Досить мало

повідомлень про те, що сумісно за мікроклонального розмноження в асептичних умовах культивували рослини і мікроорганізми. Це є умовою за постасептичної адаптації мікоризоутворюючих видів рослин [12]. Слаборозвинута, часто без коренів другого порядку і кореневих волосків коренева система в недостатній мірі спроможна підтримувати водний баланс та забезпечувати мінеральне живлення. Тому для отримання адаптованого і розвинутого садивного матеріалу важливо щоб сформувався мутуалістичний симбіоз мікоризних грибів, відбулося заселення прикореневої зони асоційованими бактеріями конкurentами патогенних мікроорганізмів [55].

Мутуалізм фундука можливий з різними мікоризними грибами. Фундук утворює мікоризу із різними видами грибів від мікроскопічних грибів з родів *Glomus*, *Trichoderma* [60] до труфелів [69]. Крім поглинання ґрунтового розчину *Glomus* і особливо *Trichoderma* є протибактеріальними і протигрибними агентами [60]. Після утворення симбіотичних зв'язків від грибів в рослину окрім розчину мінералів надходять вітаміни, гормони та інші речовини. Вважають, що інтенсивність кореневого живлення посилюється у 15 разів [62].

Заселення рослин *ex vitro* корисними мікроорганізмами в тому числі і мікоризними є цінним технологічним прийомом покращення акліматизації. В Італії відібрано серед природніх штамів мікоризні гриби, які розмножують та комерційно обробляють посадковий матеріал [63]. У Франції розроблена, сертифікована та контролюється Адаптованим інститутом агрономічних досліджень в рамках стандарту ISO 9001 технологія мікоризації саджанців деревних культур, зокрема фундука мікоризою трюфеля [64].

В Україні при закладці фундукових плантацій є такі які мікоризовані трюфелем [65, 66], що окрім прямого покращення продуктивності фундукових дерев збільшує прибутковість площ насаджень за рахунок додаткової продукції [67–72].

Висновки. Мікроклональне розмноження фундука на сьогоднішній день є достатньо високотехнологічним процесом масштабного виробництва якісного посадкового матеріалу.

Складнощі культивування цієї культури наступні: самоінтоксикація продуктами окиснення фенолоподібних речовин; ендогенне контамінування; вузький діапазон оптимальних концентрацій елементів живлення.

Найбільш поширеними для управління розвитку фундука *in vitro* гормональними детермінантами є синтетичний цитокінінін бензиламінопурін та синтетичний ауксин індолілмасляна кислота.

На етапі постасептичної акліматизації ефективним є застосування кокосових таблеток, систем TIS або фотоавтотрофного методу. Покращує пристосованість рослин до *ex vitro* мікоризація.

Література

1. Интенсивная технология производства фундука: хорватский опыт для украинских ореховодов. URL: <https://east-fruit.com/plodoovoshchnoy-biznes/intervyu/intensivnaya-tehnologiya-proizvodstva-funduka-khorvatskiy-opyt-dlya-ukrainskikh-orekhovodov/>.
2. 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.
3. Eastern Filbert Blight – A Threat to Hazelnuts. URL: <https://www.arborday.org/programs/hazelnuts/consortium/efb.cfm>.
4. Мацкевич В. В. Мікроклональне розмноження видів рослин *in vitro* та їх постасептична адаптація. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора сільськогосподарських наук за спеціальністю 06.01.05 – «селекція і насінництво. Сумський національний аграр-

ний університет МОН України, Суми, 2020. 478 с.

5. Antonova, G., Zheleznicenko, T., Stasova, V. 2011. Changes in content and composition of phenolic acids during growth of xylem cells of Scots pine. *Russian Journal of Developmental Biology*. 42(4) P. 238–246.

6. Мацкевич О. В., Прихода Н. Ю., Михайлюк Н. Ю., Мацкевич В. В. 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.). Біла Церква: БНАУ. 2022. С. 65–67.

7. Андрієвський В. В., Врублевський А. Т., Філіпова Л. М., Мацкевич В. В., Мацкевич О. В. Проблеми мікроклонального розмноження фундука. *Агробіологія: зб. наук. пр., № 1*. Біла Церква: БНАУ, 2019. С. 74–84.

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

9. Андрієвський В. В., Врублевський А. Т. Особливості введення грецького горіха *in vitro*. *Біотехнологія: звершення та надії: збірник тез VI Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої до 120-річчя НУБіП України (14–16 листопада 2017 року, м. Київ)*. Компринт. С. 31.

10. Феноли або фенольні сполуки: властивості, типи, застосування. URL: <https://uk.warbletoncouncil.org/fenoles-6768>.

11. Полищук С. В. Біологічна активність антиоксидантів в культурі тканин томата *in vitro*: Автореф. дис... канд. біол. наук: 03.00.20. Херсон. держ. пед. ун-т. Херсон, 1998. 18 с.

12. Калинин Ф. Л., Сарнацькая В. В., Полищук В. Е. Методы культуры тканей в физиологии и биохимии растений. Киев: Наукова думка, 1980. 488 с.

13. Damiano, C., Caternaro, J., Giovinazzi, J., Fratarelli, A. and Caboni, E. 2005. Micropropagation of hazelnut (*Corylus avellana* L.). *Acta Hort.* 686(1): 221–226.

14. Ультрафіолет для рослин. URL: <https://led-svitlo.com.ua/a298911-ultrafiolet-dlya-rastenij.html>.

15. Jyoti, J. "Micropropagation of Hazelnut (*Corylus* species)." (2013). 168 p.

16. Gamborg, O. L. 2002. Plant tissue culture. biotechnology. milestones. *In vitro Cellular & Developmental Biology-Plant* 38(2): 84–92.

17. Yahyaoui E., Marinoni D. T., Botta R., Ruffa P., Germanà M. A. Is It Possible to Produce Certified Hazelnut Plant Material in Sicily? Identification and Recovery of Nebrodi Genetic Resources, *in vitro* Establishment, and Innovative Sanitation Technique From Apple Mosaic Virus/Front. *Plant Sci.*, 2021. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.778142>.

18. Gao, X., Liu, J., Ling, Q. 2008. Tissue culture and rapid propagation of hybrid hazelnut (*Corylus heterophylla* x *C. avellana*). *Acta Horticulturae* 771(2): 207–211.

19. Vacchetta, 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. *Hortscience* 43(2): 562–566.

20. Hand, Charles & Maki, Shinya & Reed, Barbara M.. (2014). Modeling optimal mineral nutrition for hazelnut micropropagation. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*. 119. 411–425. <https://doi.org/10.1007/s11240-014-0544-y>.

21. Hand, Charles R. 2013. Improving Initiation and Mineral Nutrition for Hazelnut (*Corylus Avellana*) Micropropagation. : Oregon State University.

22. Reed, B. M., Mentzer, J., Tanprasert, P., Yu, X. 1997. Internal bacterial contamination of micropropagated hazelnut: Identification and antibiotic treatment. *Developments in Plant Pathology* 12: 169–174.

23. Lakshmi, V., Hallan, V., Ram, R., Ahmed, N., Zaidi, A. A., and Varma, A. (2011). Diversity of Apple mosaic virus isolates in India based on coat protein and movement protein genes. *Indian J. Virol.* 22, 44–49. doi: 10.1007/s13337-011-0036-1.

24. Kaya, E. (2021). Comparison of three different techniques for eradication of Apple mosaic virus (ApMV)

from hazelnut (*Corylus avellana* L.). *J. Plant Prot. Res.* 61, 11–19. doi: 10.24425/jppr.2021.136275.

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

26. Yu, Xiaoling & Reed, Barbara M. (1995). A micropropagation system for hazelnuts (*Corylus* species). *HortScience*. HortScience. 30. 120–123. 10.21273/HORTSCI.30.1.120.

27. Mardani, N., Khadivi, A. & Vatanpour-Azghandi, A. Micropropagation of Three Commercial Cultivars of Hazelnut (*Corylus avellana* L.). *Gesunde Pflanzen* 72, 41–46 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10343-019-00481-7>.

28. Nas M. N., Yüksel B. and 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.

29. Driver, J. A. and Kuniyuki, A. H. (1984). *In Vitro* Propagation of Paradox Walnut Rootstock. *HortScience*, 19, 507–509. https://www.researchgate.net/publication/235909861_In_vitro_propagation_of_Paradox_Walnut_root_stock.

30. Hand, Charles R. and Barbara M. Reed. "Minor nutrients are critical for the improved growth of *Corylus avellana* shoot cultures." *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* (PCTOC) 119 (2014): 427–439.

31. Терек О. І., Пацула О. І. Ріст і розвиток рослин: навч. посібник. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2011. 328 с.

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

33. Nas, M.N. and P.E. Read. 2004. A hypothesis for the development of a defined tissue culture medium of higher plants and micropropagation of hazelnuts. *Scientia Hort.* 101: 189–200.

34. Cvitanich, C., Przybyłowicz, W. J., Urbanski, D. F., Jurkiewicz, A. M., Mesjasz Przybyłowicz, J., Blair, M. W., Astudillo, C., Jensen, E. O., Stougaard, J. 2010. Iron and ferritin accumulate in separate cellular locations in Phaseolus seeds. *BMC Plant Biology* 10(1): 26.

35. Batty, L. and Younger, P. 2003. Effects of external iron concentration upon seedling growth and uptake of Fe and phosphate by the common reed, *Phragmites australis* (cav.) trin ex. steudel. *Annals of Botany* 92(6): 801–806.

36. Dalton, C., Iqbal, K., Turner, D. 1983. Iron phosphate precipitation in Murashige and Skoog media. *Physiol. Plantarum* 57(4): 472–476.

37. Barbara Reed, Midyear report to the Oregon Department of Agriculture (ODA)/Oregon Association of Nurserymen (OAN) November, 2014.

38. Silvestri, Cristian et al. "Hazelnut (*Corylus avellana* L.) genetic resources and nursery industry improvement by biotechnological approaches." (2015).

39. Hsu, S. Y., Hsu, Y. T., Kao, C.H. (2003) Ammonium ion, ethylene, and abscisic acid in polyethylene glycol-treated rice leaves. *Biol. Plant.* 46: pp. 239–242.

40. Meneghini, R. 1997. Iron homeostasis, oxidative stress, and DNA damage. *Free Radical Biology and Medicine* 23(5): 783–792.

41. Глосарій термінів з хімії. Й. Опейда, О. Швайка. Ін-т фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л. М. Литвиценка НАН України, Донецький національний університет. Донецьк: Вебер, 2008. 758 с.

42. Yu, Xiaoling & Reed, Barbara M.. (1993). Improved shoot multiplication of mature hazelnut (*Corylus avellana* L.) *in vitro* using glucose as a carbon source. *Plant Cell Reports*. 12. 256–259. <https://doi.org/10.1007/BF00237130>.

43. Cristian Silvestri, Eddo Rugini & Valerio Cristofori The effect of CuSO₄ for establishing *in vitro* culture, and the role nitrogen and iron sources in *in vitro* multiplication of *Corylus avellana* L. cv. Tonda Gentile Romana Plant

Biosystems – An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology Official Journal of the Societa Botanica Italiana. 2019. <https://doi.org/10.1080/11263504.2018.1549610>.

44. Akin, M., Eyduran, E., Niedz, R.P. et al. Developing hazelnut tissue culture medium free of ion confounding. *Plant Cell Tiss Organ Cult* 130, 483–494 (2017). <https://doi.org/10.1007/s11240-017-1238-z>.

45. Tegg, R. S., Bhandari, S., McNeil, D. L. and Wilson, C. R. (2016). Tissue culture production of hazelnut – disinfestation and impact of agar content. *Acta Hort.* 1109, 127–132 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1109.20> <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1109.20>.

46. Hand, Charles R. et al. "Node position influences viability and contamination in hazelnut shoot explants." *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant* 52 (2016): P. 580–589.

47. Akin, Meleksen et al. "Predicting minor nutrient requirements of hazelnut shoot cultures using regression trees." *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)* 132 (2017): 545–559.

48. Nas, Mehmet Nuri, "A hypothesis for the development of a defined tissue culture medium of higher plants and in vitro micropropagation of hybrid hazelnut" (2002). ETD collection for University of Nebraska – Lincoln. AAI3055283. <https://digitalcommons.unl.edu/dissertations/AAI3055283>.

49. Rovira, Mercè. 2021. "Advances in Hazelnut (*Corylus avellana* L.) Rootstocks Worldwide" *Horticulturae* 7, no. 9: 267. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7090267>.

50. Ghaem M.S.A., Ebrahimzadeh H., Shetab Boshehri S.M. Effects of some growth regulators on hazelnut (*Corylus Avellana* L.) Micropropagation Iranian journal of horticultural science and technology fall 2010, Volume 11 , Number 3; P. 187–196.

51. Grauda, D., Mikelson, A. Rashal, A. 2009. Use of antioxidants for enhancing flax multiplication rate in tissue culture. *Proc. IIIrd IS on Acclim. and Establ. of Micropropagated Plants. Acta Hort. (ISHS)* 812: 147–152

52. Скрипченко Н. В., Мацкевич В. В., Філіпова Л. М., Кибенко І. І. Особливості мікроклонального розмноження представників роду *Actinidia*. *Інтродукція рослин: Міжнародний науковий журнал*. 2017. № 1. С. 88–96.

53. Thomson, Graeme & Deering, T. (2011). Effect of cytokinin type and concentration on in vitro shoot proliferation of hazelnut (*Corylus avellana* L.). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. 39. 209–213. [10.1080/01140671.2011.559253](https://doi.org/10.1080/01140671.2011.559253).

54. Andrés, H., Fernández, B., Rodríguez, R. et al. Phytohormone contents in *Corylus avellana* and their relationship to age and other developmental processes. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 70, 173–180 (2002). <https://doi.org/10.1023/A:1016347921550>.

55. Gentile, A., Frattarelli, A., Nota, P. et al. The aromatic cytokinin meta-topolin promotes in vitro propagation, shoot quality and micrografting in *Corylus columna* L. *Plant Cell Tiss Organ Cult* 128, 693–703 (2017). <https://doi.org/10.1007/s11240-016-1150-y>.

56. Silva, A.P., Santos, A., Rosa, E. and Rodríguez, A. (2001). Concentration of individual cytokinins in nuts of *Corylus avellana* L. and their relationship with blanks. *Acta Hort.* 556, 385–392 DOI: [10.17660/ActaHortic.2001.556.57](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2001.556.57) <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2001.556.57>.

57. Mardani, N., Khadivi, A. & Vatanpour-Azghandi, A. Micropropagation of Three Commercial Cultivars of Hazelnut (*Corylus avellana* L.). *Gesunde Pflanzen* 72, 41–46 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10343-019-00481-7>.

58. Frick E.M., Strader L.C., Roles for IBA-derived auxin in plant development, *Journal of Experimental Botany*, Volume 69, Issue 2, 5 January 2018, Pages 169–177. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx298>.

59. Korasick, David A., Tara A. Enders, and Lucia C. Strader. Auxin biosynthesis and storage forms. *Journal of*

experimental botany 64.9 (2013): 2541–2555.

60. Bartel B, LeClere S, Magidin M, Zolman B (2001) Inputs to the active indole3-acetic acid pool: de novo synthesis, conjugate hydrolysis, and indole-3- butyric acid β -oxidation. *J Plant Growth Regul* 20:198–216.

61. Read, P.E., Nas, M.N. and Miller, V.I. (2007). Acclimatization and establishment of micropropagated plants of hazelnut (*Corylus* spp.) hybrids. *Acta Hort.* 748, 199–202. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.748.25>.

62. Nicholson J., Shukla M.R., Saxena P. K. In vitro rooting of hybrid hazelnuts (*Corylus avellana* × *Corylus americana*) in a temporary immersion system. *Botany*. 2019. 98(7): 343–352. <https://doi.org/10.1139/cjb-2019-0206>.

63. Kozai T., Afreen F., Zobayed S.M.A. Photoautotrophic (sugar-free medium) Micropropagation as a New Micropropagation and Transplant Production System. 2005. 316 p.

64. Мацкевич В.В., Філіпова Л.М. Андрієвський В.В. Фотоавтотрофний метод мікроклонального розмноження ожини. Сучасні агробіотехнології та землеустрої в Україні. Тези доповідей Державної науково-практичної конференції 19 листопада 2015 р. (м. Біла Церква). С. 8–9.

65. Mirabelli, C. & Tullio, M. & Pierandrei, F. & Rea, Elvira. (2009). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on micropropagated hazelnut (*Corylus avellana* L.) plants. *Acta Horticulturae*. 812. 467–472. [10.17660/ActaHortic.2009.812.67](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.812.67).

66. Srivastava, P. & Bharti, Nisha & Pande Katara, Deepshikha & Srivastava, Sheela. (2002). Role of Mycorrhiza in In Vitro Micropropagation of Plants. *10.1007/978-94-017-3209-3_23*.

67. Мікориза МікоФренд комплексний мікоризоутворюючий біопрепарат 30г. URL: <https://promgidroponika.com.ua/ua/p1406483123-mikoriza-mikofrend-kompleksnyj.html>.

68. Чи потрібна мікоризація у плодкових рослин. URL: <https://btu-center.com/publication/2020/chi-potribna-mikorizatsiya-u-plodovikh-roslin/>.

69. Саженець трюфеля. URL: <http://truffland.com/index.php/ru/services1>.

70. «Король» грибів: чи варто фермерам вирощувати трюфель? URL: <https://kurkul.com/interview/260-korol-gribiv-chi-varto-fermeram-viroschuvati-tryufel/>.

71. Нужна ли микоризация у плодовых растений. URL: <https://propozitsiya.com/nuzhna-li-mikorizatsiya-u-plodovyh-rasteniy/>.

72. Трюфель і фундук – спільний бізнес. URL: <https://pro-orehi.ru/trufel-i-funduk-sovmestimyj-biznes/>.

References

1. Intensive Hazelnut Production Technology: Croatian Experience for Ukrainian Nut Growers. URL: <https://eastfruit.com/plodovoshchnoy-biznes/intervyu/intensivnaya-tehnologiya-proizvodstva-funduka-khorvatskiy-opyt-dlya-ukrainskikh-orekhovodov/>. (in Russian).

2. Moulis, V., Babanskyi, V., Matskevych, V. Croatian intensive technology of hazelnut cultivation. Current challenges and current issues of forestry education, science and production: materials of the First International Scientific and Practical Internet Conference (Bila Tserkva, April 15, 2021). Bila Tserkva: BNAU, 2021. С. 113–116. (in Ukrainian).

3. Eastern Filbert Blight – A Threat to Hazelnuts. URL: <https://www.arborday.org/programs/hazelnuts/consortium/efb.cfm>. (in English).

4. Matskevych, V. V. Microclonal propagation of plant species in vitro and their post-septic adaptation. Qualifying scientific work on the rights of the manuscript. The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of agricultural sciences on a specialty 06.01.05 – «selection and seed production. Sumy National Agrarian University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Sumy,

2020. 478 p. (in Ukrainian).

5. Antonova, G., Zheleznichenko, T., Stasova, V. (2011). Changes in content and composition of phenolic acids during growth of xylem cells of Scots pine. *Russian Journal of Developmental Biology*. 42(4) P. 238–246. (in English).
6. Matskevych, O. V., Prykhoda, N. Yu., Mykhailiuk, N. Yu., Matskevych, V. V. Features of mineral and air nutrition of hazelnuts. *Agricultural education and science: achievements and prospects of development: materials of the III International scientific-practical conference (Bila Tserkva, March 30–31, 2022)*. Bila Tserkva: BNAU. 2022. C. 65–67. (in Ukrainian).
7. Andriievskiy, V. V., Vrublevskiy, A. T., Filipova, L. M., Matskevych, V. V., Matskevych, O. V. (2019). Problems of microclonal propagation of hazelnuts. *Agrobiologia: Coll. Science. pr.*, № 1. Bila Tserkva : BNAU. C. 74–84. (in Ukrainian).
8. Kushnir, H. P., Sarnatska, V. V. Microclonal propagation of plants. *K., Nauk. opinion*, 2005. 271 c. (in Ukrainian).
9. Andriievskiy, V. V., Vrublevskiy, A. T. Features of introduction of a walnut in vitro. *Biotechnology: accomplishments and hopes: collection of abstracts of the VI International scientific-practical conference dedicated to the 120th anniversary of NULES of Ukraine (November 14–16, 2017, Kyiv)*. Comprint. P. 31. (in Ukrainian).
10. Phenols or phenolic compounds: properties, types, applications. URL: <https://uk.warbletoncouncil.org/fenoles-6768>. (in Ukrainian).
11. Polishchuk, S. V. (1998). Biological activity of antioxidants in tomato tissue culture in vitro: Abstract. *dis ... cand. biol. Science*: 03.00.20. Kherson. state ped. un-t. Kherson. 18 c. (in Ukrainian).
12. Kalinin, F. L., Sarnatskaya, V. V., Polishchuk, V. E. (1980). *Methods of tissue culture in plant physiology and biochemistry*. Kyiv: Naukova Dumka, 488 c. (in Russian).
13. Damiano, C., Caternaro, J., Giovinnazzi, J., Fratarelli, A. and Caboni, E. (2005). Micropropagation of hazelnut (*Corylus avellana* L.). *Acta Hort.* 686(1): 221–226. (in English).
14. Ultraviolet for plants. URL: <https://led-svitlo.com.ua/a298911-ultrafiolet-dlya-rastenij.html>. (in Ukrainian).
15. Jyoti, J. "Micropropagation of Hazelnut (*Corylus species*)."
(2013). 168 p. (in English).
16. Gamborg, O. L. (2002). Plant tissue culture. *biotechnology. milestones. In vitro Cellular & Developmental Biology-Plant* 38(2): 84–92. (in English).
17. Yahyaoui E., Marinoni D. T., Botta R., Ruffa P., Germanà M. A. (2021). Is It Possible to Produce Certified Hazelnut Plant Material in Sicily? Identification and Recovery of Nebrodi Genetic Resources, in vitro Establishment, and Innovative Sanitation Technique From Apple Mosaic Virus/ Front. *Plant Sci.*, <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.778142>. (in English).
18. Gao, X., Liu, J., Ling, Q. (2008). Tissue culture and rapid propagation of hybrid hazelnut (*Corylus heterophylla* x *C. avellana*). *Acta Horticulturae* 771(2): 207–211. (in English).
19. 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. *Hortscience* 43(2): 562–566. (in English).
20. Reed, B. M., Mentzer, J., Tanprasert, P., Yu, X. (1997). Internal bacterial contamination of micropropagated hazelnut: Identification and antibiotic treatment. *Developments in Plant Pathology* 12: 169–174. (in English).
21. Lakshmi, V., Hallan, V., Ram, R., Ahmed, N., Zaidi, A. A., and Varma, A. (2011). Diversity of Apple mosaic virus isolates in India based on coat protein and movement protein genes. *Indian J. Virol.* 22, 44–49. doi: 10.1007/s13337-011-0036-1. (in English).
22. Kaya, E. (2021). Comparison of three different techniques for eradication of Apple mosaic virus (ApMV) from hazelnut (*Corylus avellana* L.). *J. Plant Prot. Res.* 61, 11–19. doi: 10.24425/jppr.2021.136275. (in English).
23. Podhaietskyi, A. A., Matskevych, V. V., Podhaietskyi, A. An. Features of microclonal reproduction of plant species: monograph. Bila Tserkva: Bila Tserkva National Agrarian University. 2018. 209 p. (in Ukrainian).
24. Yu, Xiaoling & Reed, Barbara M. (1995). A micropropagation system for hazelnuts (*Corylus species*). *HortScience. HortScience*. 30. 120–123. 10.21273/HORTSCI.30.1.120. (in English).
25. Mardani, N., Khadivi, A. & Vatanpour-Azghandi, A. (2020). Micropropagation of Three Commercial Cultivars of Hazelnut (*Corylus avellana* L.). *Gesunde Pflanzen* 72. 41–46 <https://doi.org/10.1007/s10343-019-00481-7>. (in English).
26. Nas, M. N., Yüksel, B. and 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). P. 1134–1144. (in English).
27. Hand, Charles & Maki, Shinya & Reed, Barbara M. (2014). Modeling optimal mineral nutrition for hazelnut micropropagation. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*. 119. 411–425. <https://doi.org/10.1007/s11240-014-0544-y>. (in English).
28. Driver, J. A. and Kuniyuki, A. H. (1984). In Vitro Propagation of Paradox Walnut Rootstock. *HortScience*, 19, 507–509. https://www.researchgate.net/publication/235909861_In_vitro_propagation_of_Paradox_Walnut_root_stock. (in English).
29. Hand, Charles R. Improving Initiation and Mineral Nutrition for Hazelnut (*Corylus Avellana*) Micropropagation. Oregon State University. 2013. 123 p. (in English).
30. Terek O. I., Patsula O. I. Plant growth and development: textbook. manual. Lviv: Ivan Franko Lviv National University, 2011. 328 p. (in Ukrainian).
31. Nas, M.N. and P.E. Read. (2001). Micropropagation of hybrid hazelnut: medium composition, physical state and iron source affect shoot morphogenesis, multiplication and explant vitality. *Acta Hort.* 556: 251–258. (in English).
32. Nas, M.N. and P.E. Read. (2004). A hypothesis for the development of a defined tissue culture medium of higher plants and micropropagation of hazelnuts. *Scientia Hort.* 101: 189–200. (in English).
33. Cvitanič, C., Przybyłowicz, W. J., Urbanski, D. F., Jurkiewicz, A. M., Mesjasz Przybyłowicz, J., Blair, M. W., Astudillo, C., Jensen, E. O., Stougaard, J. (2010). Iron and ferritin accumulate in separate cellular locations in Phaseolus seeds. *BMC Plant Biology* 10(1): 26. (in English).
34. Batty, L. and Younger, P. (2003). Effects of external iron concentration upon seedling growth and uptake of Fe and phosphate by the common reed, *Phragmites australis* (cav.) trin ex. steudel. *Annals of Botany* 92(6): 801–806.
35. Dalton, C., Iqbal, K., Turner, D. (1983). Iron phosphate precipitation in Murashige and Skoog media. *Physiol. Plantarum* 57(4): 472–476. (in English).
36. Hand, Charles R. and Barbara, M. Reed. "Minor nutrients are critical for the improved growth of *Corylus avellana* shoot cultures." *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)* 119 (2014): 427–439. (in English).
37. Barbara Reed, Midyear report to the Oregon Department of Agriculture (ODA)/Oregon Association of Nurserymen (OAN) November, 2014. (in English).
38. Silvestri, Cristian et al. (2015). "Hazelnut (*Corylus avellana* L.) genetic resources and nursery industry improvement by biotechnological approaches." (in English).
39. Hsu, S. Y., Hsu, Y. T., Kao, C.H. (2003). Ammonium ion, ethylene, and abscisic acid in polyethylene glycol-treated rice leaves. *Biol. Plant.* 46: pp. 239–242.
40. Meneghini, R. (1997). Iron homeostasis, oxidative stress, and DNA damage. *Free Radical Biology and Medicine* 23(5): 783–792. (in English).
41. Glossary of terms in chemistry. J. Opeida, O. Schweik. Institute of Physical and Organic Chemistry and Coal Chemistry LM Litvinenko National Academy of Sciences of Ukraine, Donetsk National University. Donetsk: Weber,

2008. 758 p. (in Ukrainian).

42. Yu, Xiaoling & Reed, Barbara M. (1993). Improved shoot multiplication of mature hazelnut (*Corylus avellana* L.) in vitro using glucose as a carbon source. *Plant Cell Reports*. 12. 256–259. <https://doi.org/10.1007/BF00237130>. (in English).

43. Cristian Silvestri, Eddo Rugini & Valerio Cristofori. (2019). The effect of CuSO_4 for establishing in vitro culture, and the role nitrogen and iron sources in in vitro multiplication of *Corylus avellana* L. cv. Tonda Gentile Romana. *Plant Biosystems – An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology Official Journal of the Societa Botanica Italiana*. <https://doi.org/10.1080/11263504.2018.1549610>. (in English).

44. Akin, M., Eydurán, E., Niedz, R.P. et al. Developing hazelnut tissue culture medium free of ion confounding. *Plant Cell Tiss Organ Cult* 130, 483–494 (2017). <https://doi.org/10.1007/s11240-017-1238-z>. (in English).

45. Tegg, R. S., Bhandari, S., McNeil, D. L. and Wilson, C. R. (2016). Tissue culture production of hazelnut – disinfestation and impact of agar content. *Acta Hort.* 1109, 127–132 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1109.20> (in English).

46. Hand, Charles R. et al. "Node position influences viability and contamination in hazelnut shoot explants." In *Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant* 52 (2016): P. 580–589. (in English).

47. Akin, Meleksen et al. (2017). "Predicting minor nutrient requirements of hazelnut shoot cultures using regression trees. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*. 132, 545–559. (in English).

48. Nas, Mehmet Nuri. (2002). "A hypothesis for the development of a defined tissue culture medium of higher plants and in vitro micropropagation of hybrid hazelnut" ETD collection for University of Nebraska – Lincoln. AAI3055283. <https://digitalcommons.unl.edu/dissertations/AAI3055283>.

49. Rovira, Mercè. (2021). "Advances in Hazelnut (*Corylus avellana* L.) Rootstocks Worldwide" *Horticulturae* 7, no. 9: 267. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7090267>. (in English).

50. Ghaem M. S. A., Ebrahimzadeh H., Shetab Boshehri S.M. (2010). Effects of some growth regulators on hazelnut (*Corylus Avellana* L.) Micropropagation Iranian journal of horticultural science and technology fall, Vol. 11, N. 3; P. 187–196. (in English).

51. Grauda, D., Mikelson, A. Rashal, A. (2009). Use of antioxidants for enhancing flax multiplication rate in tissue culture. *Proc. IIIrd IS on Acclim. and Establ. of Micropropagated Plants. Acta Hort. (ISHS)* 812: 147–152. (in English).

52. Skrypchenko, N. V., Matskevych, V. V., Filipova, L. M., Kybenko, I. I. Features of microclonal reproduction of the genus *Actinidia*. *Introduction of plants: International scientific journal*. 2017. № 1. C. 88–96. (in Ukrainian).

53. Thomson, Graeme & Deering, T. (2011). Effect of cytokinin type and concentration on in vitro shoot proliferation of hazelnut (*Corylus avellana* L.). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. 39. 209–213. <https://doi.org/10.1080/01140671.2011.559253>. (in English).

54. Andrés, H., Fernández, B., Rodríguez, R. et al. (2002). Phytohormone contents in *Corylus avellana* and their relationship to age and other developmental processes. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 70. P. 173–180. <https://doi.org/10.1023/A:1016347921550>. (in English).

55. Gentile, A., Frattarelli, A., Nota, P. et al. (2017). The aromatic cytokinin meta-topolin promotes in vitro propagation, shoot quality and micrografting in *Corylus colurna* L. *Plant Cell Tiss Organ Cult* 128. P. 693–703. <https://doi.org/10.1007/s11240-016-1150-y>. (in English).

56. Silva, A.P., Santos, A., Rosa, E. and Rodríguez, A. (2001). Concentration of individual cytokinins in nuts of

Corylus avellana L. and their relationship with blanks. *Acta Hort.* 556, 385–392 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2001.556.57> <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2001.556.57>. (in English).

57. Mardani, N., Khadivi, A. & Vatanpour-Azghandi, A. (2020). Micropropagation of Three Commercial Cultivars of Hazelnut (*Corylus avellana* L.). *Gesunde Pflanzen* 72. P. 41–46. <https://doi.org/10.1007/s10343-019-00481-7>.

58. Frick, E.M., Strader, L.C. (2018). Roles for IBA-derived auxin in plant development, *Journal of Experimental Botany*, Vol. 69, Issue 2. P. 169–177. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx298>. (in English).

59. Korasick, David A., Tara A. Enders, and Lucia C. Strader. (2013). Auxin biosynthesis and storage forms. *Journal of experimental botany*. 64.9 2541–2555. (in English).

60. Bartel, B., LeClere S., Magidin M., Zolman B. (2001). Inputs to the active indole3-acetic acid pool: de novo synthesis, conjugate hydrolysis, and indole-3- butyric acid β -oxidation. *J Plant Growth Regul.* 20. P. 198–216. (in English).

61. Read, P.E., Nas, M.N. and Miller, V.I. (2007). Acclimatization and establishment of micropropagated plants of hazelnut (*Corylus* spp.) hybrids. *Acta Hort.* 748, 199–202. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.748.25>. (in English).

62. Nicholson, J., Shukla, M.R., Saxena, P. K. (2019). In vitro rooting of hybrid hazelnuts (*Corylus avellana* × *Corylus americana*) in a temporary immersion system. *Botany*. 98(7): 343–352. <https://doi.org/10.1139/cjb-2019-0206>. (in English).

63. Kozai, T., Afreen, F., Zobayed, S. M. A. Photoautotrophic (sugar-free medium) Micropropagation as a New Micropropagation and Transplant Production System. 2005. 316 p. (in English).

64. Matskevych, V. V., Filipova, L. M. Andrievskiy, V. V. Photoautotrophic method of microclonal propagation of blackberries. *Modern agrobiotechnologies and land management in Ukraine. Abstracts of the State Scientific and Practical Conference November 19, 2015 (Bila Tserkva)*. C. 8–9. (in Ukrainian).

65. Mirabelli, C. & Tullio, M. & Pierandrei, F. & Rea, Elvira. (2009). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on micropropagated hazelnut (*Corylus avellana* L.) plants. *Acta Horticulturae*. 812. 467–472. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.812.67>. (in English).

66. Srivastava, P. & Bharti, Nisha & Pande Katara, Deepshikha & Srivastava, Sheela. (2002). Role of Mycorrhiza in In Vitro Micropropagation of Plants. https://doi.org/10.1007/978-94-017-3209-3_23. (in English).

67. Mycorrhiza MycoFriend is a complex mycorrhizal biological product 30r. URL: <https://promgidroponika.com.ua/ua/p1406483123-mikoriza-mikofrend-kompleksnyj.html>. (in Ukrainian).

68. Is mycorrhization required in fruit plants. URL: <https://btu-center.com/publication/2020/chi-potribna-mikorizatsiya-u-plodovikh-roslin/>. (in Ukrainian).

69. Truffle seedling. URL: <http://truffland.com/index.php/ru/services1>. (in Russian).

70. The "King" of mushrooms: should farmers grow truffles? URL: <https://kurkul.com/interview/260-korol-gribiv-chi-varto-fermeram-viroschuvati-tryufel>. (in Ukrainian).

71. Do I need mycorrhization in fruit plants?. URL: <https://propozitsiya.com/nuzhna-li-mikorizatsiya-u-plodovyh-rasteniy>. (in Russian).

72. Truffles and hazelnuts – sleeping business. URL: <https://pro-orehi.ru/trufel-i-funduk-sovmestimyj-biznes/>. (in Ukrainian).