



Агроекологія, радіологія, меліорація

УДК 633.861.2:631.67:631.5

© 2026

ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ РЕГУЛЯТОРІВ РОСТУ ДЛЯ СТИМУЛЯЦІЇ ВЕГЕТАТИВНОГО РОЗМНОЖЕННЯ ШАФРАНУ ПОСІВНОГО (*CROCUS SATIVUS L.*) У КУЛЬТУРИ *IN VITRO*

*Р.А. Вожегова*¹, *В.О. Боровик*², *С.П. Шукайло*³,
*Л.А. Сергєєв*⁴, *І.М. Когут*⁵

¹доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН

²доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник

³⁻⁵кандидати сільськогосподарських наук

¹⁻³Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України
вул. Маяцька дорога, 24, с-ще Хлібодарське
Одеського р-ну Одеської обл., 67667, Україна

^{4, 5}Одеська державна сільськогосподарська дослідна станція
Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України
вул. Маяцька дорога, 24, с-ще Хлібодарське
Одеського р-ну Одеської обл., 67667, Україна
e-mail: ¹vozhegova57@ukr.net, ²veraborovik@meta.ua,

³neko-eandex@ukr.net, ⁴sla80@ukr.net, ⁵innakogut10@gmail.com

ORCID: ¹0000-0002-3895-5633, ²0000-0003-0705-2105,

³0000-0008-1689-6530, ⁴0000-0003-4169-8938, ⁵0000-0002-4418-5954

Надійшла 01.12.2025. Рецензована 08.01.2026. Прийнята до друку 19.03.2026

Мета. Визначити оптимальний склад регуляторів росту вегетативних органів шафрану посівного з метою стимуляції його розмноження в культурі *in vitro*. **Методи.** Дослідження проводили у 2023 – 2024 рр. в умовах мікроклональної лабораторії із застосуванням таких методів: візуальних (ведення фенологічних спостережень), вимірювально-вагових (визначення біометричних показників і продуктивності), хімічні (встановлення якісних показників), математико-статистичних (визначення достовірності отриманих результатів), а також дисперсійного та регресійного аналізу (математична обробка експериментальних даних). **Результати.** Встановлено позитивну реакцію експлантів шафрану

посівного (*Crocus sativus* L.) на його культивування методом *in vitro*. Ауксини живильного середовища активували клітини до поділу, тоді як сам поділ ініціювався цитокінінами. Інакше кажучи, за умов подвійного гормонального контролю в експлантах запускалися механізми індукції, що зумовлювали початок формування калюсної культури. Як гормони росту використовували 6-бензиламінопурин (БАП), β -піндолілмасляну кислоту (ІМК) та α -нафтилоцтову кислоту (НОК). Найвищу частоту утворення справжніх пагонів (до 21%) спостерігали за використанням БАП, 1,0 мг/л та ІМК, 0,5 мг/л. Для індукції коренеутворення ефективним виявилось поєднання БАП, 1,0 мг/л з ІМК, 1,0 мг/л. **Висновки.** Встановлено, що різні комбінації складників живильного середовища по-різному впливали не лише на приживаність експлантів, а й на динаміку їх морфогенетичного розвитку. Першими пробуджувалися бічні верхівкові бруньки, з яких формувалися листки. Генеративні верхівкові та дрібні нижні бруньки активувалися дещо пізніше. Оптимальним для активації фізіологічних процесів виявилось середовище з комбінацією фітогормонів БАП, 1,0 мг/л + ІМК, 0,5 мг/л, у якому на 120-й день частка оздоровлених регенерованих експлантів була найбільшою — 58%.

Ключові слова: бруньки, гормональний контроль, живильне середовище, експланти, калюсна культура, оздоровлення.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202603-07>

В Україні зростає інтерес до вирощування пряноароматичних культур, які користуються високим попитом на світовому ринку. До таких культур належить і шафран — одна з найдорожчих у світі спецій, що цінується за інтенсивне забарвлення, аромат і лікувальні властивості [1, 2]. Його застосовують у харчовій, фармацевтичній, косметичній промисловості, а також у медицині [3].

Основними світовими виробниками шафрану є Іран, Індія, Іспанія, Греція, Марокко та Італія. Проте зміни клімату, дефіцит водних ресурсів і деградація ґрунтів у традиційних регіонах вирощування цієї культури спонукають до пошуку нових територій для її культивування, зокрема це може бути Україна. В умовах сучасного ринку, зважаючи на високий попит і значну маржинальність шафрану, наша держава може стати цілком конкурентоспроможним його виробником. Водночас

застосування біотехнологічних підходів відкриває шлях до створення власної бази здорового, генетично стабільного посадкового матеріалу.

Загалом шафран посівний (*Crocus sativus* L.) є стерильною триплоїдною культурою, клітини якої містять 3 набори хромосом, тому він не може утворювати життєздатне насіння, а розмножується виключно вегетативно — за допомогою бульбоцибулин. Щоправда, вегетативне розмноження відбувається дуже повільно, а багаторічне використання бульбоцибулин робить їх сприйнятливими до різних фітопатогенів, і це є причиною високого рівня інфікування посадкового матеріалу, зумовлює зниження його якості [4]. Така особливість вирощування потребує застосування біотехнологічних підходів до масового розмноження культури.

Попри позитивні результати впровадження методу *in vitro* слід пам'ятати

і про певні ризики й аспекти, які обов'язково мають урахуватись у разі застосування зазначеного методу відтворення культури. В низці досліджень, присвячених клонуванню шафрану методом *in vitro*, відзначається, що основним негативним чинником, який впливає на кількість кінцевого продукту, є контамінація — поява сторонніх мікроорганізмів у культурі *in vitro* на живильному середовищі [5–7]. Це можуть бути бактерії, гриби, дріжджі тощо. Під час роботи з шафраном (як і з багатьма іншими стерильними культурами) контамінація — одна з найбільших проблем: інфікування посадкового матеріалу може сягати 95–100%. Навіть мінімальне інфікування середовища призводить до загибелі пробіркових рослин, а експериментальні дані можуть стати непридатними для подальшого дослідження. Тому необхідно постійно й ретельно контролювати патогенну мікрофлору, запроваджувати дезінфекцію та оптимальні стерилізаційні методи.

Розмноження бульбоцибулин різними біотехнологічними методами, зокрема клонуванням *in vitro*, достатньо широко практикується у країнах, де традиційно вирощують шафран. На думку авторів праць [8, 9], домінуючими є методи органогенезу як основні підходи до отримання рослинних регенерантів і подальшого формування мікроцибулин.

У деяких дослідженнях описано складові середовищ культивування, які дають змогу проводити міроклонування шафрану з високою продуктивністю та чудовою якістю тканин порівняно зі звичайними культурами. Зокрема, у праці [10] наведено рекомендації щодо оптимізації умов отримання якісного посадкового матеріалу.

Dewir з співавторами [11] вважають, що в культурі рослин *in vitro* основним та базовим процесом є індукція — вона стимулює ростові процеси в окремих клітинах (тканинах) унаслідок їх поділу й диференціації під впливом

фітогормонів з урахуванням співвідношення їх складу та концентрації. В підсумку формуються нові ембріони (ембріоїди) або калюси (скупчення неорганізованих клітин) [12]. Слід зазначити, що ауксини сприяють утворенню коренів, а цитокініни — пагонів. Важливою метою цих досліджень є добір фітогормонів та їх концентрацій, за яких клонування експлантів шафрану посівного за методом *in vitro* має високу ефективність. Зокрема, увагу акцентують на певному поєднанні цитокінінів та ауксинів, регулюванні їх співвідношення, що в певних композиціях є критичним для процесів індукції розгалуженості, калюсоутворення й формування мікробульбоцибулин загалом.

Мета досліджень — визначити оптимальний склад регуляторів росту вегетативних органів шафрану посівного з метою стимуляції його розмноження в культурі *in vitro*.

Матеріали та методи досліджень. Ефективність розмноження шафрану посівного (*Crocus sativus L.*) за методом культури *in vitro* досліджували впродовж 2023–2025 рр. в умовах міроклональної лабораторії. Для проведення експериментів застосовували такі методи наукових досліджень: візуальні — для ведення фенологічних спостережень; вимірювально-вагові — для визначення біометричних показників та продуктивності; хімічні — для вивчення якісних показників; математико-статистичні — для встановлення достовірності отриманих результатів і вивчення кореляційних залежностей. Лабораторні дослідження здійснювали з використанням прийнятих у біотехнології методів [13–15]. За використання методу культури тканин *in vitro* всі операції, пов'язані із садінням матеріалу, проводили в асептичних умовах, стерилізуючи не тільки живильне середовище, посуд, інструменти, а й рослинний матеріал [16]. Математичну обробку експериментальних даних

здійснювали за методами дисперсійного та регресійного аналізу [17, 18]. Для закладення лабораторного досліду посадковий матеріал шафрану збирали наприкінці травня на ділянці розмноження. Викопані бульбоцибулини очищали від покривних лусок, проводили їх первинне знезараження від ґрунтових патогенів протруювачем «Максим».

Оскільки рослини шафрану посівного (*Crocus sativus L.*) через особливості генотипу розмножуються не статевим шляхом, а за допомогою бульбоцибулин, метод культури *in vitro* є ефективним способом отримання якісного, оздоровленого посадкового матеріалу з високим коефіцієнтом розмноження. Цей метод дає змогу усунути вірусні інфекції, прискорити оновлення сорту та зберегти цінні ознаки вихідних рослин. Залучення до схеми селекційного процесу біотехнологічної ланки підвищує ефективність добору і прискорює створення нових форм рослин із бажаними ознаками та властивостями [19, 20].

Одна з головних проблем, яку необхідно було розв'язати під час застосування культури *in vitro*, — це дезінфекція посадкового матеріалу перед його висадкою на живильне середовище. На поверхні бульбоцибулин та їх експлантів міститься велика кількість різноманітних мікроорганізмів, здатних рости й розмножуватися на живильному середовищі. У процесі росту й розвитку грибки та бактерії не лише використовують поживні речовини живильного середовища, а й значною мірою пригнічують ростові процеси в експлантах. Тому стерилізація експлантів має бути виконана якомога якісніше.

Щоб видалити поверхневу мікрофлору, проводили стерилізацію бульбоцибулин: знімали зовнішні шари лусок, експланти промивали в 70%-му етанолі (витримка — 30 с), потім — у 15%-му розчині гіпохлориту натрію (витримка — 10–15 хв), після чого промивали стерильною дистильованою водою. Для

ініціації культури використовували здорові бульбоцибулини, без механічних пошкоджень і гнилі. Згідно з методом культури тканин *in vitro* для індукції клітинних поділів та формування калюсної тканини експланти поміщали на живильне середовище Мурасіге – Скуга (МС) і додавали БАП, 1,0–2,0 мг/л та ІМК, 0,5 мг/л. Роботи в лабораторії проводили в стерильних умовах.

Важливим аспектом біотехнологічної роботи є правильний підбір компонентів живильного середовища, концентрації та співвідношення регуляторів росту в їх складі, які і визначають напрям розвитку введеного біоматеріалу. Власне, ріст тканин та органів рослин полягає в утворенні клітин апікальної меристеми, що проходять низку послідовних етапів, а саме: поділ, ріст, розтягнення і диференціювання. Реалізація морфогенетичних потенцій апікальних меристем шафрану залежить від балансу в живильному середовищі компонентів, що забезпечують трофічну (макро- і мікросолі, вуглеводи й амінокислоти) та регуляторну (гормони, вітаміни) функції клітин.

В умовах культури *in vitro* морфогенез шафрану (*Crocus sativus L.*) контролюють введеними в поживне середовище екзогенними регуляторами росту. Співвідношення ауксинів і цитокінінів визначає напрям морфогенетичних процесів: підвищені концентрації ауксинів стимулюють калюсогенез, тоді як домінування цитокінінів індукує органогенез пагонів. Збалансовані комбінації цих фітогормонів сприяють формуванню повноцінних регенерантів та підвищують ефективність мікроклонального розмноження.

Активна проліферація калюсної маси розпочиналась орієнтовно через місяць після введення в культуру. В цей час спостерігали появу калюсних мас (ранній калюс), які на початку липня переносили на нове живильне середовище з підвищеним вмістом цитокінінів (БАП, 2,0 мг/л + НОК, 0,5 мг/л). Загалом

1. Варіанти модифікованих живильних середовищ для культивування шафрану посівного (*Crocus sativus L.*) за методом *in vitro*

Варіант середовища	Комбінація регуляторів росту в поживному середовищі Мурасіге – Скуга	Концентрація регуляторів росту, мг/л
1	БАП	6,0
2		2,0
3	БАП + ІМК	1,0 + 0,5
4		1,0 + 1,0
5		0,5 + 1,0
6	БАП + НОК	2,0 + 0,5

досліджували ефективність 6 варіантів живильних середовищ (табл. 1).

Для підвищення ефективності процесу індукції використовували світловий режим 16/8 год (довгий фотоперіод, що передбачає 16 год освітлення — світлова фаза й 8 год темряви — темнова фаза) та температуру 24 ± 2 °С. У підсумку активізувався процес утворення бульбоцибулин. Середовище сприяло виникненню нового етапу розвитку — диференціації тканин, завдяки чому надалі (через 6–8 тижнів) формувалися мікробульбоцибулини (структури, здатні до подальшої регенерації). В мікробульбоцибулинах, перенесених на середовище зі зниженою концентрацією гормонів, спочатку починали утворюватися проростки, які потім трансформувалися в повноцінні рослини-регенеранти.

Із самого початку досліджень автори зауважували чітку активацію висаджених фрагментів: уже через тиждень кількість неінфікованих експлантів становила 97,7%, що є досить високим показником. Однак унаслідок часткового інфікування кількість живих експлантів все ж таки знижувалась і на 120-й день не перевищувала 40,7% (табл. 2).

У часовому форматі фіксували подальше зменшення живих фрагментів шафрану: за місяць — до 69%, а на 60-, 90- і 120-й дні дослідження кількість живих експлантів коливалася залежно від комбінації регуляторів росту, тобто мала пряму залежність

від якості та концентрації живильного середовища. Впродовж 4 міс. дослідження певну перевагу в ростових процесах спостерігали у двох варіантах поживного середовища — з БАП, 2,0 мг/л та з комбінацією БАП, 1,0 мг/л + ІМК, 0,5 мг/л. Частка життєздатних експлантів у цих середовищах перевищувала показники умовного контролю і на 120-ту добу дослідження становила, відповідно, 49 та 58%. Середовище з комбінацією регуляторів росту БАП, 1,0 мг/л + ІМК, 0,5 мг/л упродовж усього терміну досліджень переважало інші за кількістю живих рослин-регенерантів. Найнижчі показники виживання зафіксовано в середовищі з БАП, 2,0 мг/л + НОК, 0,5 мг/л, де частка оздоровлених експлантів становила в середньому 27%. Упродовж дослідження спостерігали певні особливості росту й розвитку оздоровлених експлантів шафрану залежно від умов культивування. Динаміку змін простежували за показниками щомісячних підрахунків кількості живих рослин-регенерантів, висоти проростків, частоти формування калюсу, зеленого листя та справжніх корінців.

Спершу пробуджувалися бічні верхівкові бруньки, з яких утворюються листки. Вони мали висоту до 0,5 см. Генеративні верхівкові та малі нижні бруньки пробуджувалися дещо пізніше. Під впливом фітогормонів на незначній частині досліджуваних фрагментів (10–15%) відбувались індукційні

процеси — активація клітинних поділів і, як наслідок, початок формування раннього калюсу, тобто початок утворення калюсної культури. На цей час у клітинах здійснюється подвійний гормональний контроль поділу: ауксин готує клітину до поділу, який потім запускається цитокініном [6]. Це свідчить про інтенсивну морфогенетичну реакцію експлантів уже з перших тижнів культивування.

Мікроклонування шафрану за біотехнологічним методом культури тканин *in vitro* дає змогу зберегти ідентичність матеріалу, отримати високоякісні вторинні метаболіти [4–7]. Серед методів клонального мікророзмноження розрізняють активацію вже наявних меристем та індукцію виникнення організованих структур (бруньок чи ембріоїдів) безпосередньо з ізольованих тканин експлантів чи первинного калюсу. Регенерація рослин *in vitro* може здійснюватися за одним із трьох механізмів морфогенезу (ембріогенез, соматичний ембріогенез, геморизогенез), які супроводжуються етапами органо- і гістогенезу. Регенерація тканин унаслідок геморизогенезу можлива пагонами, що утворюються з додаткових бруньок, безпосередньо із тканин експланту або з калюсу, утвореного на експланті. Інтенсивність мікророзмноження залежить від генотипу та стану донорної рослини, розміру й морфогенетичного потенціалу експланту та особливостей введення в культуру *in vitro* (режим стерилізації, умови культивування, склад живильного середовища, вміст у ньому регуляторів росту) [13].

Різні комбінації складових живильного середовища по-різному впливали не тільки на приживаність експлантів, а й на динаміку процесів їх розвитку. Висоту рослин-регенерантів вимірювали, починаючи з 0,5 см. Максимальну висоту проростків шафрану, понад 0,5 см, відзначали через місяць після введення в культуру *in vitro* в середовищі

з комбінацією фітогормонів БАП, 2,0 мг/л + НОК, 0,5 мг/л на фоні агаризованого середовища МС (табл. 3).

За усередненими даними, на 2-й місяць після введення в середовище *in vitro* висота проростків залежно від його варіанту сягала 1,6–2,4 см. Перевагу в ростових процесах спостерігали в середовищах із комбінаціями фітогормонів БАП, 0,5 мг/л + ІМК, 1 мг/л та БАП, 2,0 мг/л + НОК, 0,5 мг/л — вони забезпечували достовірний приріст проростків за 3-річний період, на 0,6–0,8 см порівняно з контрольними показниками.

На 3-й місяць досліджень висота проростків в усіх середовищах була більшою, ніж у контрольному (БАП, 6,0 мг/л), проте перевагу за цим показником мали середовища з БАП, 2,0 мг/л + НОК, 0,5 мг/л та БАП, 1,0 + ІМК, 0,5 мг/л — відповідно, на 5,5 та 4,7 см. На 4-й місяць найбільшою висота проростків була в контрольному середовищі та в середовищі з комбінацією регуляторів росту БАП, 1,0 мг/л + ІМК, 0,5 мг/л — відповідно, 6,3 та 6,7 см; найменшим (4,9 см), цей показник був за комбінації регуляторів росту БАП, 0,5 мг/л + ІМК, 1 мг/л. Уже на 90-й день дослідження в окремих рослин *in vitro* відзначали формування справжніх зелених листків (табл. 4).

Зокрема, справжні листки першими формувалися в контрольному середовищі (БАП, 6,0 мг/л) та за комбінації поживного середовища БАП, 1,0 мг/л + ІМК, 0,5 мг/л — відповідно, 10 та 12% на 3-й місяць; 13 і 19% — на 4-й місяць спостережень. Упродовж 3-го місяця фіксували утворення перших коренів. До цього часу їх функцію виконували залишки тканин материнської бульбоцибулини та безформні калюсні маси другого типу [14, 15].

Найбільше справжніх розгалужених коренів було сформовано в рослин *in vitro* на фоні комбінації поживного середовища БАП 1,0 мг/л + ІМК, 0,5 мг/л. За першого вимірювання (на 3-й місяць)

3. Висота рослин-регенерантів шафрану посівного *in vitro* залежно від складу поживного середовища (середнє за 2023–2025 рр.), см

Комбінація регуляторів росту в поживному середовищі	Концентрація регуляторів росту, мг/л	Висота рослин у різні терміни, см		
		2-й міс.	3-й міс.	4-й міс.
БАП	6,0	1,6 ± 0,1	3,3 ± 0,2	6,3 ± 1,3
	2,0	1,9 ± 0,2	4,0 ± 0,4	5,4 ± 0,5
БАП + ІМК	1,0 + 0,5	2,2 ± 0,1	4,7 ± 1,0	6,7 ± 0,4
	1,0 + 1,0	2,1 ± 0,1	3,8 ± 0,4	5,0 ± 0,9
	0,5 + 1,0	2,0 ± 0,2	4,5 ± 0,6	4,9 ± 1,1
БАП + НОК	2,0 + 0,5	2,4 ± 0,2	5,5 ± 0,6	5,9 ± 0,5
НІР ₀₅		0,2	0,4	0,6

корені були сформовані у 20% експлантів, а за наступного вимірювання (на 4-й місяць) — у 26%. Формування справжніх коренів також зафіксовано в 15% експлантів у варіанті з БАП, 2,0 мг/л. Водночас на фоні поживних комбінацій гормонів БАП, 1,0 мг/л + ІМК, 1,0 мг/л та БАП, 2,0 мг/л + НОК, 0,5 мг/л за роки досліджень не було сформовано жодного справжнього листка чи кореня.

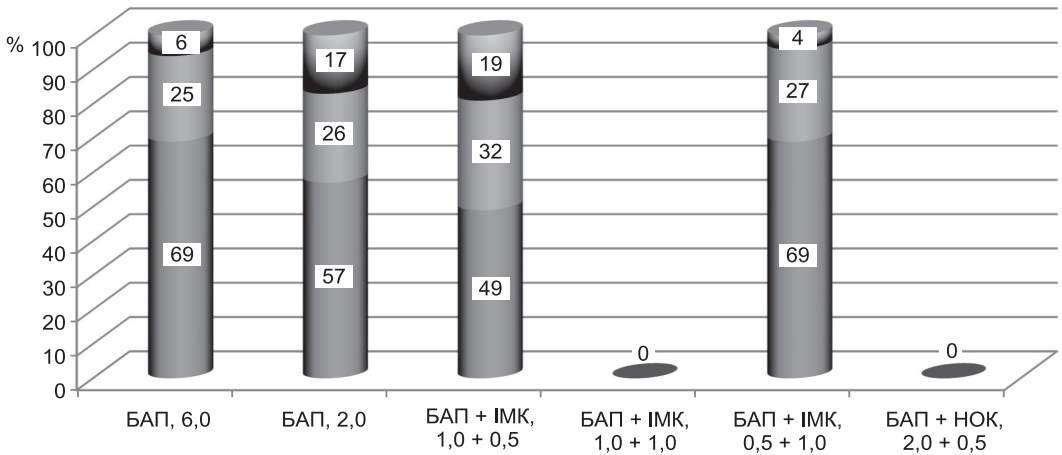
Культивовані експланти шафрану активно вегетували впродовж усього періоду досліджень та зрештою формували повноцінні мікробульбоцибулини. Отриманий матеріал калібрували на три фракції: ≥ 1,5 г, 1,6–2,0 та ≤ 2,1 г.

Максимальну частку великих мікробульбоцибулин, тобто з вагою ≤ 2,1 г, виявили на середовищах із комбінацією фітогормонів БАП, 1,0 мг/л + ІМК, 0,5 мг/л та БАП, 2,0 мг/л — відповідно, 19 і 17% (рисунок).

За комбінації фітогормонів БАП, 1,0 мг/л + ІМК, 1,0 мг/л та БАП, 2,0 мг/л + НОК, 0,5 мг/л повноцінні мікробульбоцибулини не формувалися, тому такі середовища слід віднести до категорії не придатних для культивування шафрану. Це також підтверджує невідповідність співвідношення між цитокинінами та ауксинами, які значною мірою регулюють і коригують процеси індукції. За роки досліджень на фоні поживного

4. Кількість рослин-регенерантів шафрану, у яких сформувалися справжі листя та корені (середнє за 2023–2025 рр.), %

Комбінація регуляторів росту в поживному середовищі Murasige – Скуга	Концентрація регуляторів росту, мг/л	Кількість експлантів зі справжнім листям, %		Кількість експлантів зі справжнім коренем, %	
		Місяць від введення в культуру			
		3-й	4-й	3-й	4-й
БАП	6,0	10	13	8	12
	2,0	2	10	5	15
БАП + ІМК	1,0 + 0,5	12	19	20	26
	1,0 + 1,0	0	0	0	0
	0,5 + 1,0	5	5	5	5
БАП + НОК	2,0 + 0,5	0	0	0	0
НІР ₀₅		2,2	6,1	12,9	5,1



Структурний розподіл культивованих *in vitro* мікробульбоцибулин шафрану посівного (*Crocus sativus L.*) за масою залежно від складу живильного середовища, %: ≥ 1,5 г (■), 1,6–2,0 г (▒) та ≤ 2,1 г (□)

середовища БАП, 1,0 мг/л + ІМК, 0,5 мг/л лише в одному з дослідів спостерігали регенерацію максимальної частки (19–26%) повноцінних бульбоцибулин, придатних для використання як посадкового матеріалу та для подальшого розмноження.

Вирощені *in vitro* експланти (мікробульбоцибулини) були розділені на 3 групи з мінімальною вагою 1,5 г, 2,0 та 2,5 г. Ці мінібульби після висихання (через 7 днів) пересаджували в невеликі горщики з глинистим ґрунтом, утримували в тепличних умовах для проростання і цвітіння за

температури 20–23 °С, вологості 60–70% та регулярно контролювали впродовж 6 тижнів.

Мінібульби масою 2,0–2,5 г лише частково забезпечували цвітіння. В середньому частка новоутворених і висаджених для акліматизації бульбоцибулин забезпечувала до 23% цвітіння, з коливаннями показників за роками на рівні 19–28%, що є свідченням повноцінного біологічного циклу культури в разі її вирощування за методом *in vitro* та перспективність цього напряму дослідження.

Висновки

Результати досліджень свідчать про позитивну реакцію експлантів шафрану посівного (*Crocus sativus L.*) на культивування методом *in vitro*. Найвищу частоту утворення справжніх пагонів (до 21%) спостерігали за концентрації регуляторів росту в середовищі БАП, 1,0 мг/л + ІМК, 0,5 мг/л. Для індукції коренеутворення ефективним виявилось поєднання БАП, 1,0 мг/л + ІМК, 1,0 мг/л. Установлено, що різні комбінації складників живильного середовища по-різному впливали не

лише на приживаність експлантів, а й на динаміку їх морфогенетичного розвитку. Спочатку пробуджувалися бічні верхівкові бруньки, з яких формувалися листки. Генеративні верхівкові та дрібні нижні бруньки активувалися дещо пізніше. Оптимальним для інтенсифікації фізіологічних процесів упродовж усього часу досліджень визнано середовище з комбінацією фітогормонів БАП, 1,0 мг/л + ІМК, 0,5 мг/л, у якому на 120-й день спостерігали найбільшу частку (58%) оздоровлених регенованих експлантів.

Vozhehova R.¹, Borovyk V.², Shukailo S.³, Serheiev L.⁴, Kohut I.⁵

¹⁻³*Institute of Climate-Smart Agriculture of NAAS, 24 Maiatska Doroha Str., vil. Khlivodarske, Odesa district, Odesa oblast, 67666, Ukraine;* ^{4,5}*Odesa State Agricultural Research Station of the Institute of Climate-Smart Agriculture of NAAS, 67666, 24 Maiatska Doroha Str., vil. Khlivodarske, Odesa district, Odesa oblast, Ukraine; e-mail: ¹vozhegova57@ukr.net, ²veraborovik@meta.ua, ³neko-eandex@ukr.net, ⁴sla80@ukr.net, ⁵innakogut10@gmail.com; ORCID: ¹0000-0002-3895-5633, ²0000-0003-0705-2105, ³0000-0008-1689-6530, ⁴0000-0003-4169-8938, ⁵0000-0002-4418-5954*

Optimization of the composition of growth regulators to stimulate vegetative propagation of saffron (*Crocus Sativus* L.) in vitro culture

Goal. To determine the optimal composition of growth regulators of vegetative organs of saffron to stimulate its reproduction in an *in vitro* culture. **Methods.** The study was conducted in 2023–2024 in a microclonal laboratory using the following methods: visual (conducting phenological observations), measuring-weight (determining biometric indicators and productivity), chemical (establishing qualitative indicators), mathematical statistical (determining the reliability of the results obtained), as well as dispersion and regression analysis (mathematical processing of experimental data). **Results.** The

positive reaction of saffron explants (*Crocus sativus* L.) to its cultivation by *in vitro* method was established. Auxins of the nutrient medium activated the cells before division, while the division itself was initiated by cytokinins. In other words, under the conditions of dual hormonal control, induction mechanisms were triggered in explants, which led to the beginning of the formation of callus culture. The growth hormones used were: 6-benzylaminopurine (BAP), β -pindolybutyric acid (PBA), and β -naphthylacetic acid (NAA). The highest incidence of true shoots (up to 21%) was observed with BAP (1.0 mg/L), and PBA (0.5 mg/L). The combination of BAP, 1.0 mg/L, with PBA, 1.0 mg/L, was effective for inducing root formation.

Conclusions. It was determined that different combinations of components of the nutrient medium influenced not only the survival rate of explants, but also the dynamics of their morphogenetic development. The first to awaken were the lateral apical buds, from which leaves were formed. Generative apical and small lower buds were activated a little later. Optimal for the activation of physiological processes was the medium with a combination of phytohormones BAP (1.0 mg/l) + PBA (0.5 mg/l), in which on the 120th day the share of recovered regenerated explants was the largest — 58%.

Key words: buds, hormonal control, nutrient medium, explants, callus culture, sanitation.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202603-07>

Бібліографія

1. Mzabri I., Addi M., Berrichi A. Traditional and Modern Uses of Saffron (*Crocus Sativus*). *Cosmetics*. 2019. 6(4). P. 63. doi: 10.3390/cosmetics6040063

2. Semeniuc C.A., Mandrioli M., Urs M.J., Toschi T.G. Quality and authenticity of saffron and sensory aspects. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 2024. 38:101067. doi: 10.1016/j.ijgfs.2024.101067

3. Jafarnia N., Ghorbani Z., Nokhostin M. et al. Effect of Saffron (*Crocus sativus* L.) as an Add-On Therapy to Sertraline sn Mild to Moderate Generalized Anxiety Disorder: A Double Blind Randomized Controlled Trial.

Archives of Neuroscience. 2017. 4(4):e14332. doi: 10.5812/archneurosci.14332

4. Aissa R., Ibourki M., Bouzid H.A., Bijla L. Phytochemistry, quality control and medicinal uses of Saffron (*Crocus sativus* L.): an updated review. *Journal of Medicine and Life*. 2023. 16(6). doi: 10.25122/jml-2022-0353

5. Tosan M., Siuki A.H., Sanghari M., Mughaddam P.R. Analysis of Global Saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy & Technology*. 2024. 1(2). P. 115–138. doi: 10.22048/jsat.2024.443037.1524

6. Yang W., Qiu X., Wu Q. et al. Active constituents of saffron (*Crocus sativus* L.) and their

prospects in treating neurodegenerative diseases (Review). *Espermental and Therapeutic medicine*. 2023. 25(5):235. doi: 10.3892/etm.2023.11934.

7. Pandita D. Saffron (*Crocus sativus L.*): phytochemistry, therapeutic significance and omics-based biology. *Medicinal and Aromatic Plants*. 2021. P. 325–396. doi: 10.1016/B978-0-12-819590-1.00014-8

8. Tarraf W., İzgü T., Şimşek Ö., Cicco N. et al. Saffron In Vitro Propagation: An Innovative Method by Temporary Immersion System (TIS), Integrated with Machine Learning Analysis. *Horticulturae*. 2024. 10(5). P. 454. doi: 10.3390/horticulturae10050454

9. Mir I., Ahmed N., Wani S.H. et al. In vitro development of microcorms and stigma like structures in saffron (*Crocus sativus L.*). *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 2010. 16(4): P. 369–373. doi: 10.1007/s12298-010-0044-4.

10. Ahmed Z.S., Salim A.M., Al-Dur E.T. et al. Optimization of micropropagation and microtuber induction in saffron (*Crocus sativus L.*) using PGR (NAA and BAP) and salicylic acid elicitor. *BMC Plant Biology*. 2025. 25:877. doi: 10.1186/s12870-025-06900-4

11. Dewir Y.H., Alsdon A., Al-Aizari A.A., Al-Mohidib M. In Vitro Floral Emergence and Improved Formation of Saffron Daughter Corms. *Horticulturae*. 2022. 8(10):973. doi: 10.3390/horticulturae8100973

12. Soukrat S., Benlhabib O., Alfaiz C., Lage M. Boosting saffron (*Crocus sativus L.*) micro-propagation through in vitro corm production. V International Symposium on Saffron Biology and Technology: Advances in Biology,

Technologies, Uses and Market, Agadir, Morocco. *Acta Horticulturae*. 2017. 184. P. 87–95. doi: 10.17660/ActaHortic.2017.1184.13

13. Лобова О.В., Пилипчук О.О. Основи біотехнології рослин: методичні вказівки до самостійної роботи для студентів спеціальності 6.051401 «Екобіотехнологія». Київ: Видавничий центр НУБіП України, 2013. 48 с.

14. Мельничук М.Д., Новак Т.В., Кунах В.А. Біотехнологія рослин: підруч. Київ: ПоліграфКонсалтинг, 2003. 140 с.

15. Сатарова Т.М., Абраїмова О.Є., Вінніков А.І., Черенков А.В. Біотехнологія рослин: навч. посіб. Дніпропетровськ: Адверта, 2016. 136 с.

16. Манушкіна Т.М. Біотехнологія в рослинництві: курс лекцій. Миколаїв: МНАУ, 2014. 51 с.

17. Вожегова Р.А., Лавриненко Ю.О., Млярчук М.П. та ін. Методика польових і лабораторних досліджень на зрошуваних землях. Херсон: Айлант, 2014. 286 с.

18. Ушкаренко В.О., Вожегова Р.А., Голлбородько С.П., Коковіхін С.В. Методика польового досліду (зрошуване землеробство). Херсон: Грінь Д.С., 2014. 448 с.

19. Cardoso J.C., de Oliveira M.E., Cl Cardoso F. Advances and challenges on the *in vitro* production of secondary metabolites from medicinal plants. *Horticultura Brasileira*. 2019. 2. P. 124–132. doi: 10.1590/S0102-53620190201

20. Maggi M.A., Bisti S., Picco C. Saffron: Chemical Composition and Neuroprotective Activity. *Molecules*. 2020. 25(23):5618. doi: 10.3390/molecules25235618