

Ковальчук Н. С., с.н.с., Бордусь О. Ю., м.н.с., аспірант (Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків, м. Київ, natalakovalcuk461@gmail.com, kukoshh@gmail.com)

БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ МЕТОД РОЗМНОЖЕННЯ *PAULOWNIA SSP*

Проведені дослідження з пророщування насіння в умовах *in vivo* впродовж 14 діб з наступною стерилізацією проростків з зародковими листочками і апікальною меристемою, що проводилась розчинами гіпохлориту натрію з концентрацією 20% і упродовж 2–5 хв. Розроблений спосіб мікроклонального розмноження павловнії з використанням в якості експлантів апікальних меристем із проростків насіння інтродукованих видів роду *Paulownia* Siebold & Zucc. і отримана колекція вихідних матеріалів для селекції *in vitro* (*Paulownia tomentosa* Steud., *Paulownia elongata* S.Y.Hu; *Paulownia* '9501' (*Paulownia tomentosa* × *Paulownia fortunei*); *Paulownia* 'Zo7' (*Paulownia tomentosa* × *Paulownia fortunei* × *Paulownia kawakamii*); *Paulownia* 'Shan thong' (*Paulownia tomentosa* × *Paulownia fortunei*).

Ключові слова: біоенергетичні рослини; павловнія; мікроклональне розмноження; фітогормони; стерилізація; біотехнологічні лінії.

Постановка проблеми. Наразі рід *Paulownia* налічує понад 20 видів рослин (20–25 видів за даними різних авторів) родом із Китаю та Східної Азії. Більшість видів швидкоростучі із швидким збиранням врожаю, яке починається через 8 років [11]. Через 6 років рослина може досягати 20 м [10]. Деревина легка, м'яка, використовується в деревообробній галузі та в будівництві [5]. Також використовується для виробництва біомаси.

Важливою ознакою з точки зору економічних розрахунків є те, що павловнія не потребує повторного садіння, оскільки вона дає поросль на пеньках і цикл вирощування можна повторити кілька разів. Павловнію також використовували для створення лісових насаджень, для рекультивації територій після видобувних робіт. У зв'язку з цим є необхідність розробити нові ефективні способи отримання культуральної розсади в умовах *in vitro*.

Види роду *Paulownia* розмножують насінням або кореневими живцями. Насінина має повільний темп росту у порівнянні з кореневими чи здерев'янілими живцями, та розсадою, отриманою в культурі *in vitro* [10]. Отже, це основна причина того, чому пошук нового ефективного методу розмноження важливий.

Стерильна культура *in vitro* має багато можливостей: від розмноження меристемної тканини до прямого соматичного ембріогенезу з міжвузль рослин і листових експлантів [1; 9; 13]. Також є інформація про опосередкований спосіб розмноження з калюсу [7].

Загально визнано, що контроль морфогенезу, на який впливає кілька факторів, а саме генетичне походження, види тканин та експлантів, компоненти поживного середовища, регулятори росту та власне поживне середовище визначають успішність регенерації *in vitro* [11; 13]. Через недостатню кількість інформації про використання методів введення насіння в стерильні умови *in vitro*, дослідження має інноваційний характер.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В дослідженнях українських вчених представлені дані про введення в стерильну культуру *in vitro* експлантів, у вигляді частини пагону чи пазушної бруньки (А Подгаєцький та ін. 2020), також в дослідженнях турецьких вчених (М. Ozaslan та ін. 2014) були використані кореневі живці. Проте в цих морфологічних структурах є значна кількість спор, які викликають грибові захворювання, що себе проявляють в умовах поживного середовища, і через наявність грубих покривних тканин, стерилізація їх повинна бути із збільшеною концентрацією стерилізуючих речовин або збільшеною тривалістю експозиції.

За інформацією дослідників Л. Штерева та ін. (2014), при пророщуванні насіння в умовах *in vitro* було встановлено, що для стерилізації необхідно не менше 30%-ий розчин натрію гіпохлориту з упродовж 15 хв з максимальним виходом стерильного матеріалу 98%. Через вплив натрію гіпохлориту на насіння, за 15 хвилин виникають негативні наслідки, що впливають на проростання і термін життєздатності введених експлантів [11].

Окремі етапи мікроклонального розмноження павловнії наведено у працях: С. San José, J. Cernadas & E. Corredoira (2013), А. Chunchukov, S. Yancheva (2015), де описані і процеси стерилізації введеного матеріалу в умови *in vitro*.

Постановка завдання та мети дослідження. *Мета роботи* – розроблення ефективного способу введення експлантів інтродукованих видів і гібридів *Paulownia* ssp. та їх розмноження в умови поживних середовищ *in vitro*.

Об'єкт дослідження – мікроклональне розмноження рослин видів та гібридів роду *Paulownia* ssp.

Предмет дослідження – введення експлантів рослин в умови поживних середовищ та розмноження розсади видів і гібридів *Paulownia* ssp.

Основні завдання дослідження:

1. Визначення схожості насіння *Paulownia* ssp., що будуть використовуватися для введення в умови *in vitro*;

2. Визначення ефективності стерилізації експлантів та їх приживлюваність;

3. Визначення оптимального вмісту гормональних речовин в поживному середовищі для ефективного пагоноутворення та підвищення коефіцієнту розмноження шляхом збільшення кількості однузлових сегментів.

Матеріали та методи дослідження. *Місце проведення досліджень.* Дослідження були проведені в лабораторії цитогенетики Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків.

Експериментальний матеріал. В даному дослідженні використано 5 видів та сортів павлонії – *Paulownia*: 'Shang Thong' (*P. fortunei* x *P. tomentosa*), '9501' (*P. tomentosa* x *P. fortunei*), *Paulownia elongata* S.Y.Hu, 'Z07' (*P. fortunei* x *P. tomentosa* x *P. kawakami*), *Paulownia tomentosa* Steud..

Насіння сіяли по 30 шт у 4-разовій повторюваності в чашки Петрі на зволожений фільтрувальний папір і впродовж 14 діб пророщували за температури 24–26°С із інтенсивністю освітлення 1500 Lux. Обліки проводили на 7-й, 10-й і 14-й день.

Методика введення в культуру in vitro. В якості експлантів використані проростки насіння павлонії, від яких відокремлювали зелену частину із зародковими листочками і апікальною меристемою, що у порівнянні з насінною має нижчу інфікованість. Експланти висаджували на поживні середовища в стерильних умовах ламінар-боксів після оброблення експлантів в 20% розчині натрію гіпохлорит впродовж 2–5 хвилин і триразовим промиванням у стерильній дистильованій воді.

Щоб отримати експланти для введення в умови *in vitro* представників *Paulownia* ssp. насіння пророщували в умовах *in vivo* на вологому фільтрувальному папері. Зображення насіння та їх проростків показані на рисунку 1.

Поживне середовище. Підбрано середовища на базі середовищ Мурасіге і Скуга [8] з додаванням цукрози 30 г/ дм³, мезоінозиду 0,1 г/дм³ і в різних пропорціях БАП, кінетину та гібереліну для пагоноутворення і формування сегментів для оптимального коефіцієнту розмноження павловнії.

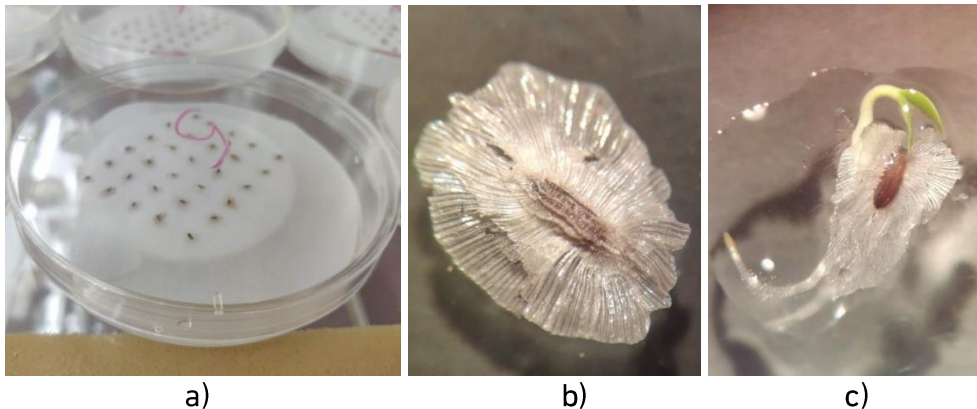


Рис. 1. Насіння *Paulownia tomentosa* Steud.: а) викладене насіння в чашці Петрі; б) загальний вигляд насінини та с) проросток насіння з зародковими листочками і апікальною меристемою за Зб. 7*12,5 стереомікроскопу «МБС-11»

Умови інкубування. Режим освітлення – 16/8 годин, інтенсивність світла – 1500 Lux при використанні люмінесцентних ламп холодного білого світла, температурний режим – 24–8° С.

Аналіз даних. Для встановлення достовірності досліджень і підбраної вибірки для аналізу проводили розрахунок величини похибки репрезентативності *mp*, що у відсотках дозволяє контролювати суттєвість досліді за методикою статистичного аналізу. Середня похибка репрезентативності *mp* у відсотках визначалась за формулою:

$$m = \pm \sqrt{\frac{P(100 - P)}{n}},$$

де *P* – відсоток досліджуваного показника; *n* – обсяги дослідження

кожного селекційного номера.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для отримання первинних експлантів для введення в культуру *in vitro* представників видів та гібридів роду *Paulownia* насінневий матеріал пророщували в умовах *in vivo* на зволоженому фільтрувальному папері.

Результати схожості та життєздатності насіння викладені в табл. 1.

Таблиця 1

Показники пророщування насіння *Paulownia ssp.* в умовах *in vivo*

№ з/п	Назва зразку та його походження	Кількість насінин, шт				Схожість насіння, %, P ± mр	Зараженість насіння, % P ± mр
		всього	пророслих	непророслих	інфікованих		
1	<i>Shang Thong (P. fortunei x P. tomentosa)</i>	120	68	52	10	57±4,5	8,3±2,5
2	<i>9501 (P. tomentosa x P. fortunei)</i>	120	36	84	2	30±4,2	1,7±1,2
4	<i>Paulownia elongata S.Y.Hu</i>	120	47	73	7	38±4,4	5,8±2,1
5	<i>Z07 (P. fortunei x P. tomentosa x P. kawakami)</i>	120	46	74	2	38±4,4	1,7±1,2
6	<i>Paulownia tomentosa Steud.</i>	120	100	20	2	83±3,4	1,7±1,2
Середнє значення по досліді						49,3	3,8

За даними таблиці 1 найвища схожість насіння була в *Paulownia tomentosa* і сягала до 83%. Значення решти зразків змінювались від 30% і до 57%. Частка інфікованого насіння при пророщуванні змінювалась від 1,7% до 8,3%.

Після садіння на поживні середовища стерилізованих експлантів проводили облік життєздатних культуральних рослин. Дані розрахунку ефективності стерилізації наведено в табл. 2.

Відсоток стерильного матеріалу дещо відрізнявся і залежав від сорту. Найменший відсоток був у виду *Paulownia elongata* із значенням 79%, і схожі між собою *Paulownia tomentosa*, *P. 'Shang*

Thong' та *P. 'Z07'* значеннями 83%, 85% та 85% відповідно. Найбільший вихід стерильних експлантів був характерний для *P. '9501'* із значенням 99%.

Таблица 2

 Ефективність стерилізації насіння *Paulownia* ssp. в умовах *in vitro*

№ з/п	Назва зразку та його походження	Кількість експлантів, шт.	Життєздатних рослин <i>in vitro</i> , шт.	Інфікованих і заггиблих рослин, шт.	Ефективність стерилізації, %, $P \pm mр$
1.	'Shang Thong' (<i>P. fortunei</i> x <i>P. tomentosa</i>)	120	103	17	86±3,2
2.	'9501' (<i>P. tomentosa</i> x <i>P. fortunei</i>)	120	119	0	99±0,8
3.	<i>Paulownia elongata</i> S.Y.Hu	120	95	4	79±3,7
4.	'Z07' (<i>P. fortunei</i> x <i>P. tomentosa</i> x <i>P. kawakami</i>)	120	102	3	85±3,1
5.	<i>Paulownia tomentosa</i> Steud.	120	100	4	83±3,4

Для пагоноутворення і утворення більшої кількості сегментів уведені експланти культивували на поживних середовищах на основі протоколу Мурасіге-Скуга з різним умістом фітогормонів. Склад базового поживного середовища наведено в табл. 3.

Таблица 3

 Склад середовища Мурасіге і Скуга для розмноження рослин в культурі *in vitro* (на 1 дм³ розчину)

Назва та одиниці виміру	Кі-сть	Назва та одиниці виміру	Кі-сть
Макроелементи В ₅ , мл	100	CaCl ₂ , г	3,3
NH ₄ NO ₃ , г	16,5	Mg SO ₄ ·7H ₂ O, г	4,2
KNO ₃ , г	19,0	KH ₂ PO ₄ , г	1,7
Мікроелементи В ₅ , мл	100	KI, мг	83
H ₃ BO ₃ , мг	620	Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O, мг	25
MnSO ₄ ·4H ₂ O, г	2,23	CuSO ₄ ·5H ₂ O, мг	2,5
ZnSO ₄ ·4H ₂ O, мг	860	CoCl ₂ ·6H ₂ O, мг	2,5

Органічні добавки			
Нікотинова кислота, мг	1	Аскорбінова кислота, мг	1
Піридоксин HCl, мг	1	Мезоінозит, мг	100
Тіамін-HCl, мг	1	Fe-хелат, мг	5
Фітогормони: БАП, мг	0–1,5	Кінетин, мг	1,5
Гіберелін:	0–0,3	Субстрат: агар-агар, г	7
Вуглеводи: цукроза, г	30	pH	5,6

Для впливу на процес пагоноутворення використовували проростки насіння з зародковими листочками і апікальними меристемами. Для досягання утворення бокових пагонів в умовах першого пасажу досліджували поживні середовища з додаванням БАП, кінетину та гібереліну в різних концентраціях, для зменшення негативного впливу утворення калусу в області ризогенезу під дією фітогормонів, що впливає на життєздатність рослин в ґрунтових умовах. Облік культуральних рослин проводили через 4 тижні після садіння і результати занесені в табл. 4.

Таблиця 4

Ефективність пагоноутворення *Paulownia ssp.* в різних модифікаціях поживних середовищ на основі Мурасіге і Скуга

№ з/п	Походження колекційних зразків насіння	Вміст фітогормонів в поживному середовищі на 1 дм ³ розчину	Кількість посажених експлантів, шт.	Кількість пагонів сумарно, шт.	Кількість міжвузль, шт.	Кількість сегментів на експлант, шт./екс.	Ефективність пагоноутворення, паг/експлант
1.	'Shang Thong' (<i>P. fortunei</i> x <i>P. tomentosa</i>)	Безгормональне середовище	30	34	102	3,4	1,2
		БАП 1,5 мг/дм ³ , Кінетин 0,5 мг/дм ³ Гіберелін 0,3 мг/дм ³	30	37	113	3,8	1,3
		БАП 1,5 мг/дм ³ , Кінетин 1,5 мг/дм ³	30	40	120	4,0	1,3
		Всього	90	111	335	3,7	1,3

продовження табл. 4

2.	'9501' (<i>P. tomentosa</i> x <i>P. fortunei</i>)	Безгормональне середовище	30	30	80	2,7	1
		БАП 1,5 мг/дм ³ , Кінетин 0,5 мг/дм ³ Гіберелін 0,3 мг/дм ³	30	42	114	3,8	1,4
		БАП 1,5 мг/дм ³ , Кінетин 1,5 мг/дм ³	30	60	138	4,6	2
		Всього	90	132	332	3,7	1,6
3.	<i>Paulownia elongata</i> S.Y.Hu (природний вид)	Безгормональне середовище	30	30	60	2,0	1
		БАП 1,5 мг/дм ³ , Кінетин 0,5 мг/дм ³ Гіберелін 0,3 мг/дм ³	30	30	90	3,0	1
		БАП 1,5 мг/дм ³ , Кінетин 1,5 мг/дм ³	30	63	172	5,7	2
		Всього	90	123	322	3,6	1,5
4.	'Z07' (<i>P. fortunei</i> x <i>P. tomentosa</i> x <i>P. kawakami</i>)	Безгормональне середовище	30	48	133	4,4	1,6
		БАП 1,5 мг/дм ³ , Кінетин 0,5 мг/дм ³ Гіберелін 0,3 мг/дм ³	30	48	138	4,6	1,6
		БАП 1,5 мг/дм ³ , Кінетин 1,5 мг/дм ³	30	81	85	2,8	2,7
		Всього	90	177	356	4,0	1,9
5.	<i>Paulownia tomentosa</i> Steud. (природний вид)	Безгормональне середовище	30	30	65	2,2	1
		БАП 1,5 мг/дм ³ , Кінетин 0,5 мг/дм ³ Гіберелін 0,3 мг/дм ³	30	33	79	2,6	1,1
		БАП 1,5 мг/дм ³ , Кінетин 1,5 мг/дм ³	30	42	117	3,9	1,4
		Всього	90	105	261	2,9	1,3

Ефективність пагоноутворення раховували як відношення кількості утворених бокових пагонів до кількості введених експлантів. Найвища ефективність пагоноутворення спостерігалась в гібриду *P. 'Z07'* із значенням 2,7 на середовищі з БАП 1,5 мг/дм³ та кінетином 1,5 мг/дм³. Такий високий показник був спричинений індукцією пагонів не лише із пазушних бруньок, а й з морфогенного калюсу. Також на безгормональному середовищі показник був досить високий – 1,6 паг/експлант, що означає високу

пагоноутворюючу здатність гібриду без впливу гормональних речовин.



Рис. 2. Рослини-регенеранти *Paulownia* на поживному середовищі для індукції пагонів

Найкращі результати у досліджуваних зразків були на поживному середовищі з БАП $1,5 \text{ мг/дм}^3$ та кінетином $1,5 \text{ мг/дм}^3$ і змінювались в межах 1,3–2,7 пагонів на експлант.

В першому пасажі використовували БАП і кінетин, який забезпечує утворення додаткових бокових пагонів для всіх зразків із наступним етапом пересадки на середовище у концентраціях гормонів БАП $0,3 \text{ мг/дм}^3$ і кінетину $0,15 \text{ мг/дм}^3$ для формування сегментів і покращення ефективності мікроклонального розмноження для отримання культуральної розсади. В якості контролю використано поживне середовище без використання гормонів. Результати кількості сегментів наведені в табл. 5.

Таблиця 5

Кількість утворених сегментів для розмноження культуральної
Paulownia ssp. в різних модифікаціях поживних середовищ
Мурасіге і Скуга

Походження колекційних зразків насіння	Вміст фітогормонів в поживному середовищі на 1 дм ³ розчину	Кількість отриманих регенерантів, шт.	Середня висота 1 рослини, см	Сума сегментів на 1 селек. номер, шт.	Кількість утворених сегментів на 1 рослину, шт./росл.
'Shang Thong' (<i>P. fortunei</i> x <i>P. tomentosa</i>)	БАП 0,3 мг/дм ³ , кінетин 0,15 мг/д ³	49	4,3	216	4,4
	Безгормональне середовище	30	3,0	102	3,4
'9501' (<i>P. tomentosa</i> x <i>P. fortunei</i>)	БАП 0,3 мг/дм ³ , кінетин 0,15 мг/дм ³	46	5,0	188	4,1
	Безгормональне середовище	30	2,9	80	2,7
<i>Paulownia elongata</i> S.Y.Hu (природний вид)	БАП 0,3 мг/дм ³ , кінетин 0,15 мг/дм ³	31	6,1	146	4,7
	Безгормональне середовище	30	2,6	65	2,2
<i>Paulownia tomentosa</i> Steud. (природний вид)	БАП 0,3 мг/дм ³ , кінетин 0,15 мг/дм ³	8	9	59	7,4
	Безгормональне середовище	30	2,5	65	2,2

Проаналізувавши таблицю 6, можна виокремити високу ефективність пагоноутворення і в кінцевому результаті сегментоутворення у виду *Paulownia tomentosa* Steud., що сягає значення 7,4 сегментів на 1 рослину на поживному середовищі з умістом фітогормонів БАП 0,3 мг/дм³ та гібереліну 0,15 мг/дм³.

З отриманих результатів дослідження видно, що пророщування насіння на вологому стерильному фільтрувальному папері в чашках Петрі до формування експлантів зародкових листочків і апікальних меристем протягом 14 діб дає високу ефективність у порівнянні із стерилізацією насіння, а саме негативною дією стерилізуючих речовин на експланти, на відміну від досліджень Л. Штерева та ін. (2014), в яких пророщували до 30 діб.

Виявлено, що на поживному середовищі з БАП 0,3 мг/дм³ та гібереліном 0,15 мг/дм³ всі селекційні номери мали вищу здатність до сегментоутворення і сягали значення кількості сегментів від 4,1 шт./рослину до 7,4 шт./рослину. Невеликі витрати фітогормонів, але в сукупності дали значний результат, тому можна стверджувати, що при концентрації БАП 0,3 мг/дм³ рослини мали значення сегментоутворення до 7,4 сегментів на культуральну рослину [6; 9; 10; 11].

Висновки. Новий спосіб мікроклонального розмноження представників роду *Paulownia*, з використанням у якості експлантів зародкових листочків і апікальних меристем із проростків насіння на штучних поживних середовищах *in vitro*, гіпохлориту натрію для отримання культуральної розсади, макро- і мікросолей на базовому середовищі Мурасіге-Скуга характеризується тим, що пророщування насіння проводиться в умовах *in vivo* вродовж 14 діб.

Процес стерилізація проростків відбувається 20% розчином натрію гіпохлорит упродовж 2–5 хвилин, а отримані додаткові пагони на поживному середовищі з включенням фітогормонів БАП 1,5 мг/дм³ і кінетину 1,5 мг/дм³ значно збільшує вихід сегментів на один експлант *in vitro*, що може досягати на одну рослину до 7,4 сегментів.

1. Bergmann B. A., Moon H. K. In vitro adventitious shoot production in Paulownia. *Plant Cell Reports*. 1997. № 16. P. 315–319.
2. Enjalric F., Carron M. P., Lardet L. Bacterial and bacteria-like contaminants of plant tissue cultures: a symposium in the CEC crop productivity programme. *International Symposium on Bacterial and Bacteria like Contaminants of Plant Tissue Culture*, 1987-09-23/1987-09-25, Cork (Irlande), 1988. P. 57–65.
3. Статистичний аналіз агрономічних даних в пакеті Statistica 6.0. / Ерментраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Методичні вказівки. К. : ПоліграфКонсалтинг, 2007. 55 с.
4. Giri C. C., Shyamkumar B. and Anjaneyulu C. Progress in Tissue Culture, Genetic Transformation and Applications of Biotechnology to Trees: An Overview. *Trees*. 2004. № 18. P. 115–135.
5. Hakan M., Akyildiz H., Sahin K. Some technological properties and uses of paulownia (*Paulownia tomentosa* Steud.) wood. 2010. URL: http://www.jeb.co.in/journal_issues/201005_may10/paper_21.pdf (дата звернення: 10.08.2023).
6. Ipekci Z., Gozukirmizi N. Direct somatic embryogenesis and synthetic seed production from Paulownia elongata. *Plant Cell*. 2003. № 22. P. 16–24.
7. Leifert C., Ritchie J.Y. & Waites W.M. Contaminants of plant-tissue and cell cultures. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 1991. № 7. P. 452–469.
8. Murashige T., Skoog F. A. Revised Medium for Rapid Growth and Bioassays with Tobacco Tissue Cultures.

Physiol.Plant. 1962. № 15. P. 473–497. **9.** Ozaslan M., Can C., Aytekin T. Effect of explant source on in vitro propagation of *Paulownia tomentosa* Steud. *Biotechnology & Biolechnological Equipment.* 2005. № 19. P. 20–26. **10.** Pożoga, M., Olewnicki, D., Jabłońska, L. () In Vitro Propagation Protocols and Variable Cost Comparison in Commercial Production for *Paulownia tomentosa* × *Paulownia fortune* Hybrid as a Renewable Energy Source. *Appl. Sci.* 2019. № 9, 2272. **11.** Shtereva L., Vassilevska-Ivanova R., Karceva T., Kraptchev B. Micropropagation of six *Paulownia* genotypes through tissue culture. *Journal of Central European Agriculture.* 2014. Vol.15, no. 4. Pp. 147–156. URL: <https://doi.org/10.5513/JCEA01/15.4.1523> (дата звернення: 10.08.2023). **12.** Лісовий М. М., Григорюк Б. П., Мацкевич О. В. Біотехнологічні, фізіологічні та екологічні особливості розмноження гібриду павловнії (*Paulownia*) в культурі in vitro. *Іноваційні агротехнології* : матеріали всеукраїнської наукової конференції, 28 березня. Умань, 2018. С. 16–17. **13.** Мацкевич О. В., Лісовий М. М. Особливості розмноження гібриду Павловнії (*Paulownia*) 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. 218–219. **14.** Chunchukov A., Yancheva S. Micropropagation of *Paulownia* species and hybrids. *Annuaire de l'Université de Sofia "St. KlimentOhridski"*. 2015. Vol. 100. P. 223–230. **15.** San José, M. C., Cernadas, M. J., & Corredoira, E. Histology of the regeneration of *Paulownia tomentosa* (*Paulowniaceae*) by organogenesis. *Revista De Biología Tropical.* 2014. № 62(2). P. 809–818. URL: <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i2.10845> (дата звернення: 10.08.2023).

REFERENCES:

1. Bergmann B. A., Moon H. K. In vitro adventitious shoot production in *Paulownia*. *Plant Cell Reports.* 1997. № 16. P. 315–319. **2.** Enjalric F., Carron M. P., Lardet L. Bacterial and bacteria-like contaminants of plant tissue cultures: a symposium in the CEC crop productivity programme. *International Symposium on Bacterial and Bacteria like Contaminants of Plant Tissue Culture*, 1987-09-23/1987-09-25, Cork (Irlande), 1988. P. 57–65. **3.** Statystychnyi analiz ahronomichnykh danykh v paketi Statistica 6.0. / Ermentraut E. R., Prysiazhniuk O. I., Shevchenko I. L. *Metodychni vkazivky.* K. : PolihrafKonsaltnyh, 2007. 55 s. **4.** Giri C. C., Shyamkumar B. and Anjaneyulu C. Progress in Tissue Culture, Genetic Transformation and Applications of Biotechnology to Trees: An Overview. *Trees.* 2004. № 18. P. 115–135. **5.** Hakan M., Akyildiz H., Sahin K. Some technological properties and uses of paulownia (*Paulownia tomentosa* Steud.) wood. 2010. URL: http://www.jeb.co.in/journal_issues/201005_may10/paper_21.pdf (data zvernennia: 10.08.2023). **6.** Ipekci Z., Gozukirmizi N. Direct somatic

embryogenesis and synthetic seed production from *Paulownia elongata*. *Plant Cell*. 2003. № 22. P. 16–24. **7.** Leifert C., Ritchie J.Y. & Waites W.M. Contaminants of plant-tissue and cell cultures. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 1991. № 7. P. 452–469. **8.** Murashige T., Skoog F. A. Revised Medium for Rapid Growth and Bioassays with Tobacco Tissue Cultures. *Physiol.Plant*. 1962. № 15. P. 473–497. **9.** Ozaslan M., Can C., Aytakin T. Effect of explant source on in vitro propagation of *Paulownia tomentosa* Steud. *Biotechnology & Biochemical Engineering*. 2005. № 19. P. 20–26. **10.** Pożoga, M., Olewnicki, D., Jabłońska, L. () In Vitro Propagation Protocols and Variable Cost Comparison in Commercial Production for *Paulownia tomentosa* × *Paulownia fortune* Hybrid as a Renewable Energy Source. *Appl. Sci*. 2019. № 9, 2272. **11.** Shtereva L., Vassilevska-Ivanova R., Karceva T., Kraptchev B. Micropropagation of six *Paulownia* genotypes through tissue culture. *Journal of Central European Agriculture*. 2014. Vol.15, no. 4. Pp. 147–156. URL: <https://doi.org/10.5513/JCEA01/15.4.1523> (data zvernennia: 10.08.2023). **12.** Lisovyi M. M., Hryhoriuk B. P., Matskevych O. V. Biotekhnolohichni, fiziolohichni ta ekolohichni osoblyvosti rozmnozhennia hibrydu pavlovnii (*Paulownia*) v kulturi in vitro. *Inovatsiini ahrotekhnolohii* : materialy vseukrainskoi naukovoï konferentsii, 28 bereznia. Uman, 2018. S. 16–17. **13.** Matskevych O. V., Lisovyi M. M. Osoblyvosti rozmnozhennia hibrydu Pavlovnii (*Paulownia*) in vitro. *Biotekhnolohiia: zvershennia ta nadii. Zbirnyk tez VI Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, prysviachenoï do 120-richchia NUBIP Ukrainy (14–16 lystopada 2017 roku, m. Kyiv)*. Kompyrnt. C. 218–219. **14.** Chunchukov A., Yancheva S. Micropropagation of *Paulownia* species and hybrids. *Annuaire de l'Université de Sofia "St. Kliment Ohridski"*. 2015. Vol. 100. P. 223–230. **15.** San José, M. C., Cernadas, M. J., & Corredoira, E. Histology of the regeneration of *Paulownia tomentosa* (*Paulowniaceae*) by organogenesis. *Revista De Biología Tropical*. 2014. № 62(2). P. 809–818. URL: <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i2.10845> (data zvernennia: 10.08.2023).

Kovalchuk N. S., Senior Research Fellow, Bordus O. Y., Junior Research Fellow, Post-graduate Student (Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, Kyiv)

BIOTECHNOLOGICAL METHOD OF PROPAGATION OF PAULOWNIA SSP

The purpose of this study is to develop highly efficient methods of in vitro propagation of introduced species of the genus *Paulownia Siebold & Zucc.* for the development of bioenergy in Ukraine, obtaining a collection of raw materials for selection, replication of high-quality

planting material. According to the results of the experimental studies, it was established that the germination of seeds *in vivo* took place for 14 days, the sterilization of the germ leaves and apical meristems was carried out with solutions of sodium hypochlorite with a mass fraction of 20% and an exposure time of 2–5 minutes. Additional shoots were obtained on Murashige-Skuga nutrient medium with the inclusion of hormonal substances BAP 1.5 mg/dm³ in order to achieve the maximum number of internodes and rooting of cultural seedlings, nutrient media containing BAP 0.3 mg/dm³ and kinetin 0.15 mg/dm³ were added. A method of microclonal reproduction of paulownia was developed using as explants apical meristems from seed seedlings of introduced species of the genus *Paulownia* Siebold & Zucc. and the obtained collection of starting materials for *in vitro* breeding (*Paulownia tomentosa* Steud., *Paulownia elongata* S.Y.Hu; *Paulownia* '9501' (*Paulownia tomentosa* × *Paulownia fortunei*); *Paulownia* 'Zo7' (*Paulownia tomentosa* × *Paulownia fortunei* × *Paulownia kawakamii*); *Paulownia* 'Shan thong' (*Paulownia tomentosa* × *Paulownia fortunei*). The highest percentage of shoot regeneration on the medium with the addition of 1.5 mg/dm³ kinetin and 1.5 mg/dm³ BAP was characteristic of selected lines of *Paulownia elongata* S.Y.Hu with a shoot formation coefficient of 2 pp./ex and 'Z07' (*P. fortunei* × *P. tomentosa* × *P. kawakami*) with a value of 2.7 pg./ex. After transplanting to nutrient medium with BAP 0.3 mg/dm³ and gibberellic acid 0.15 mg/dm³ the best results were in *Paulownia tomentosa* Steud., with the formation of 7.4 shoots per plant.

Keywords: bioenergy plants; paulownia; microclonal reproduction; phytohormones; sterilization; biotechnological lines.