https://doi.org/10.15407/frg2026.05.451
УДК 581.143.6:581.192

ОСОБЛИВОСТІ ІНДУКЦІЇ КАЛЮСОГЕНЕЗУ ТА БІОАКТИВНОСТІ КАЛЮСНИХ КУЛЬТУР РОСЛИН *RHODIOLA ROSEA* L., *SCUTELLARIA BAICALENSIS* GEORGI ТА *HYPERICUM PERFORATUM* L.

Т.А. БОГДАНОВИЧ[1,2], Д.І. ЛЯПІН[2], Н.А. МАТВЄЄВА[1]

[1]Інститут клітинної біології та генетичної інженерії Національної академії наук України
03143 Київ, вул. Академіка Заболотного, 148
[2]Національний університет «Київський авіаційний інститут»
03058 Київ, просп. Гузара Любомира, 1
e-mail: bogdanovych_tais@ukr.net

Рослини *Rhodiola rosea* L., *Scutellaria baicalensis* Georgi та *Hypericum perforatum* L. здавна відомі як джерела біологічно активних сполук із вираженою фармакологічною дією. Проте використання рослин із дикорослих популяцій не може бути стабільним і відтворюваним джерелом сировини для фармацевтичної промисловості. Одним із перспективних рішень цієї проблеми є застосування калюсних культур in vitro, які синтезують комплекс рослинних метаболітів, зокрема поліфенолів, з доведеною біоактивністю. Метою дослідження була оптимізація складу поживних середовищ із різними регуляторами росту для ініціації й проліферації калюсу лікарських рослин трьох видів, а також оцінка вмісту флавоноїдів та антиоксидантної активності отриманих культур. Калюсні культури були індуковані на середовищі Мурасіге та Скуга з додаванням 30 г/л цукрози та різних комбінацій регуляторів росту: 0,2 мг/л БАП + 2 мг/л НОК; 0,2 мг/л БАП + 2 мг/л 2,4-Д; 0,2 мг/л КІН + 2 мг/л НОК; 0,2 мг/л КІН + 2 мг/л 2,4-Д. Визначали вміст сухої речовини, загальний вміст флавоноїдів та антиоксидантну активність. За результатами проведених досліджень встановлено, що оптимальними умовами для індукції калюсних тканин *R. rosea* є комбінація 0,2 мг/л БАП + 2 мг/л 2,4-Д, *S. baicalensis* — 0,2 мг/л БАП + 2 мг/л НОК, *H. perforatum* — 0,2 мг/л КІН + 2 мг/л НОК. Найбільший вміст флавоноїдів виявлено у калюсній тканині *S. baicalensis* — 42,46±3,94 мг РЕ/г СР (мг рутинового еквівалента на г сухої речовини), тоді як вміст цих сполук у *R. rosea* та *H. perforatum* становив 29,71±1,77 мг РЕ/г СР та 8,69±1,39 мг РЕ/г СР відповідно. Виявлено досить сильну кореляцію між вмістом флавоноїдів та антиоксидантною активністю (R^2 = 0,77), що підтверджує участь поліфенольних сполук у прояві біологічної активності калюсних культур. Таким чином, підібрано оптимальні умови для ініціації й проліферації калюсу *R. rosea*, *S. baicalensis* та *H. perforatum*. Отримані культури *S. baicalensis* та *R. rosea* характеризувалися значним вмістом поліфенольних сполук та антиоксидантною активністю, що відкриває потенційні перспективи їх використання у біотехнологічному виробництві фармацевтичних препаратів.

Цитування: Богданович Т.А., Ляпін Д.І., Матвєєва Н.А. Особливості індукції калюсогенезу та біоактивності калюсних культур рослин *Rhodiola rosea* L., *Scutellaria baicalensis* Georgi та *Hypericum perforatum* L. *Фізіологія рослин і генетика.* 2026. 58, № 5. С. 451—460. https://doi.org/10.15407/frg2026.05.451

This is open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Ключові слова: *Rhodiola rosea* L., *Scutellaria baicalensis* Georgi, *Hypericum perforatum* L., калюс, регулятори росту, біологічно активні речовини, флавоноїди, антиоксидантна активність.

Біотехнологічні підходи у вирощуванні рослин є можливим вирішенням низки глобальних і регіональних завдань, таких як забезпечення продовольчої безпеки, підвищення стійкості сільськогосподарських культур до кліматичних змін, оптимізації ресурсокористування, а також отримання якісної лікарської сировини. Дійсно, дикорослі рослини не завжди можуть бути надійним джерелом сировини, оскільки їхнє вирощування та продукування ними цінних метаболітів залежить від погодних умов, складу ґрунтів, а під час повномасштабного вторгнення — також від доступності рослинних ареалів. Одним із можливих рішень проблеми нестачі рослинної сировини є використання культур in vitro, а саме калюсної культури.

Вибір для досліджень *Rhodiola rosea* L., *Scutellaria baicalensis* Georgi, *Hypericum perforatum* L. зумовлений різноплановістю їхнього впливу на організм людини [1—3] та високим вмістом біологічно активних сполук [4, 5]. Зокрема, *H. perforatum* (звіробій звичайний) відомий як природний антидепресант і антисептик, який містить нафтодіантрони (гіперицин, псевдогіперицин), флавоноїди (гіперозид, рутин, кверцетин) та фенольні кислоти, які визначають його фармакологічну цінність. *R. rosea* (родіола рожева) є адаптогеном, який підвищує стійкість організму до стресових чинників і стимулює метаболізм клітин, зокрема завдяки вмісту фенілпропаноїдів, флавоноїдів, фенольних спиртів і терпеноїдів. *S. baicalensis* (шоломниця байкальська) є джерелом таких флавоноїдів, як байкалеїн, байкалін, вогонін; ці сполуки мають протизапальну, антибактеріальну, протипухлинну та нейропротекторну дію. Така різноманітність метаболітів робить зазначені рослини цінними об'єктами для порівняльного дослідження. Також важливим фактором є підвищення інтересу до використання засобів на основі рослинної сировини в сучасній медичній практиці, оскільки вони мають меншу токсичність порівняно із синтетичними аналогами [6].

З літературних даних відомо, що рослини обраних видів утворюють калюс на середовищі Мурасіге-Скуга (МС) з комбінаціями різних ауксинів і цитокінінів [7—9], але досі не було проведено комплексного порівняння індукції їх калюсогенезу на різних комбінаціях регуляторів росту з визначенням біоактивності екстрактів з отриманих культур.

Метою даної роботи було дослідження особливостей індукції калюсогенезу in vitro культур рослин *Rhodiola rosea*, *Scutellaria baicalensis* та *Hypericum perforatum*, а також визначення оптимальних комбінацій регуляторів росту для отримання калюсної біомаси з огляду на загальний вміст флавоноїдів та антиоксидантну активність.

Методика

Для проведення дослідження було використано культивовані in vitro рослини *R. rosea* L., *S. baicalensis* Georgi та *H. perforatum* L. з

колекції лікарських рослин Інституту клітинної біології та генетичної інженерії Національної академії наук України. Культивування здійснювалося на поживному середовищі Мурасіге-Скуга (Merck) з повним вмістом макросолей із додаванням 30 г/л цукрози (МС30).

Для оцінки впливу регуляторів росту було використано комбінації 0,2 мг/л цитокінінів БАП (бензиламінопурин) або КІН (кінетин) з 2 мг/л ауксинів 2,4-Д (2,4-дихлорфеноксіоцтова кислота) або НОК (нафтилоцтова кислота). Таким чином, експериментальними варіантами комбінацій регуляторів росту були наступні: 0,2 мг/л БАП з 2 мг/л НОК, 0,2 мг/л БАП з 2 мг/л 2,4-Д, 0,2 мг/л КІН з 2 мг/л НОК, 0,2 мг/л КІН з 2 мг/л 2,4-Д. Як контроль використовували середовище МС30 без додавання регуляторів росту. Субкультивування експлантатів проводили раз на 2 тижні.

Для приготування екстрактів калюс ретельно відділяли від середовища, зважували по 1 г та гомогенізували у 3 мл 70 %-го етанолу. Гомогенат центрифугували в мікроцентрифузі «Eppendorf Centrifuge 5415 C» за 15 000 g упродовж 10 хв.

Визначення загального вмісту флавоноїдів проводили за методикою Pekal and Pyrzynska [10] спектрофотометрично на спектрофлуориметрі «Флюорат-02-Панорама». Реакційна суміш містила 0,25 мл екстракту, 1 мл деіонізованої води та 0,075 мл 5 %-го розчину $NaNO_2$. Через 5 хв до суміші додавали послідовно 0,075 мл 10 %-го розчину $AlCl_3$, 0,5 мл 1 М розчину гідроксиду натрію (NaOH) та 0,6 мл деіонізованої води. Абсорбцію визначали за довжини хвилі 510 нм. Вміст флавоноїдів визначали за калібрувальним графіком ($y = 1{,}0741\,x$), побудованим з використанням розчину рутину у концентрації 1 мг/мл з послідовними розведеннями (0,5, 0,25 та 0,125 мг/мл). Виражали у мг РЕ/г СР (мг рутинового еквівалента на г сухої речовини).

Антиоксидантну активність (АОА) отриманих рослинних екстрактів досліджували за здатністю відновлювати 2,2-дифеніл-1-пікрилгідразил радикал (ДФПГ) та виражали в EC_{50} (модифікований метод [11]). Робочий розчин ДФПГ концентрацією 0,0001 М готували на основі 96 %-го етанолу. Для аналізу використовували екстракти з послідовним зменшенням їх концентрацій: 0,125 мл, 0,062 мл та 0,031 мл. Досліджувані проби вносили у кювети та доводили розчином ДФПГ до загального об'єму реакційної суміші 2 мл. Кювети витримували упродовж 20 хв, після чого вимірювали оптичну густину суміші за довжини хвилі 515 нм. На підставі отриманих значень відсотка інгібування будували рівняння лінійної регресії та визначали показник концентрації напівмаксимального інгібування (EC_{50}). Виражали у мг СР (мг сухої речовини).

Дослідження проводили у трьох повтореннях. Статистичну обробку даних виконували за допомогою програмного забезпечення Microsoft Excel та R (версія 4.4.2). Дані були проаналізовані на статистичну значущість за допомогою однофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA) з наступним тестом Тьюкі. Всі результати представлені як середнє значення ± стандартне відхилення (SD). Різницю вважали значущою за $p \leq 0{,}05$.

Результати та обговорення

Встановлено, що найшвидше індукція калюсогенезу в *R. rosea* відбулася на середовищах з додаванням 2,4-Д, що узгоджується з результатами Khapilina et al. [12]. Найбільша біомаса калюсної тканини була отримана на середовищах, які містили БАП та 2,4-Д (рис. 1, таблиця). Слід відзначити, що на частині експлантатів за наявності регуляторів росту у комбінаціях БАП + 2,4-Д та КІН + 2,4-Д спостерігали також формування коренів. Таким чином, наявність у середовищі 2,4-Д впливала не тільки на швидку індукцію калюсу, а й на ризогенез.

Найшвидша індукція калюсогенезу *S. baicalensis* спостерігалася на середовищі з додаванням 0,2 мг/л БАП і 2 мг/л 2,4-Д (рис. 2, таблиця), що збігається з публікаціями інших авторів [9, 13]. Разом з тим, формування калюсної тканини також виявилось можливим і за використання регуляторів росту у комбінації 0,2 мг/л БАП і 2 мг/л НОК, оскільки за тривалішого культивування маса отриманої калюсної тканини була співставна з отриманою за вирощування експлантатів

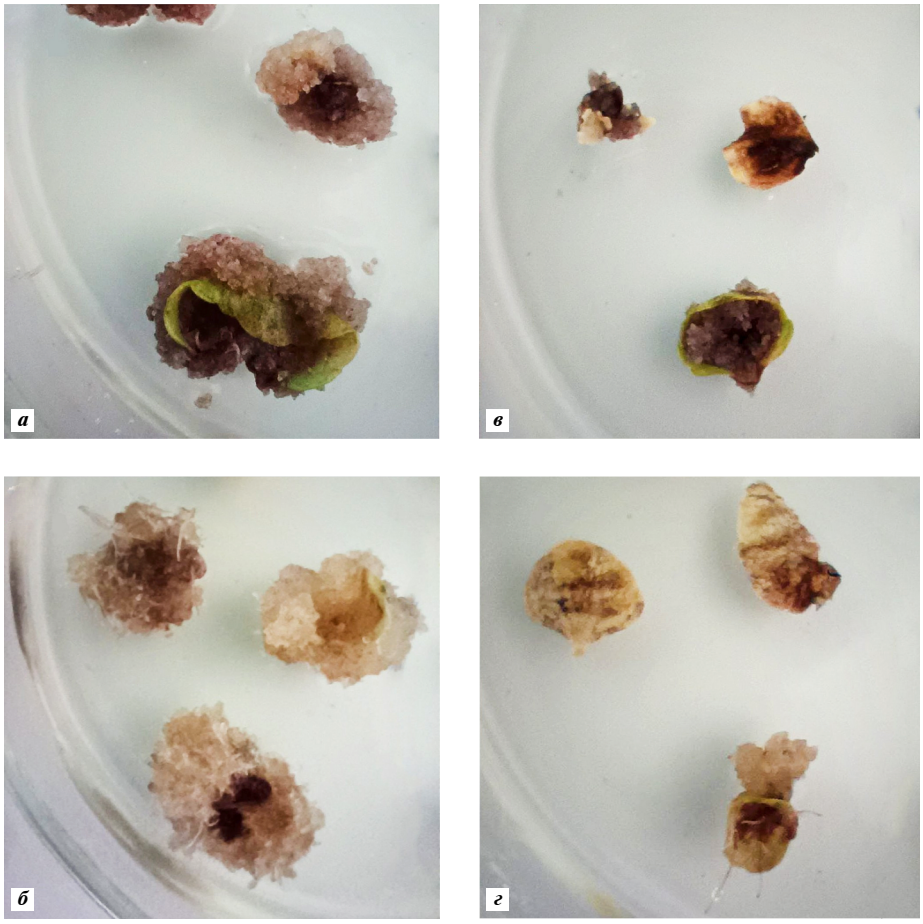


Рис. 1. Експлантати *Rhodiola rosea* на 49-у добу культивування на середовищах з додаванням регуляторів росту. Тут і на рис 2—3:

а — БАП+НОК; *б* — БАП+2,4-Д; *в* — КІН+НОК; *г* — КІН+2,4-Д

Динаміка росту маси калюсу Rhodiola rosea, Scutellaria baicalensis, Hypericum perforatum за впливу різних комбінацій регуляторів росту

Комбінація регуляторів росту	*Rhodiola rosea*				*Scutellaria baicalensis*				*Hypericum perforatum*			
	21 доба	35 доба	42 доба	49 доба	21 доба	35 доба	42 доба	49 доба	21 доба	35 доба	42 доба	49 доба
Контроль	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
0,2 мг/л КІН + 2 мг/л 2,4-Д	+	++	++	++	–	+	+	+	+	++	++	++
0,2 мг/л КІН + 2 мг/л НОК	–	++	++	++	–	+	+	+	+	++	+++	+++
0,2 мг/л БАП + 2 мг/л 2,4-Д	+	+++	++++	+++++	+	+++	++++	+++++	+	+	++	+++
0,2 мг/л БАП + 2 мг/л НОК	–	+++	+++	+++++	–	+	+	+++	+	++	+++	++++

Примітка. Кількість «+» відображає об'єм біомаси калюсу (семікількісна шкала), «–» означає відсутність калюсогенезу. БАП — бензиламінопурин, КІН — кінетин, 2,4-Д — 2,4-дихлорфеноксіоцтова кислота, НОК — нафтилоцтова кислота.

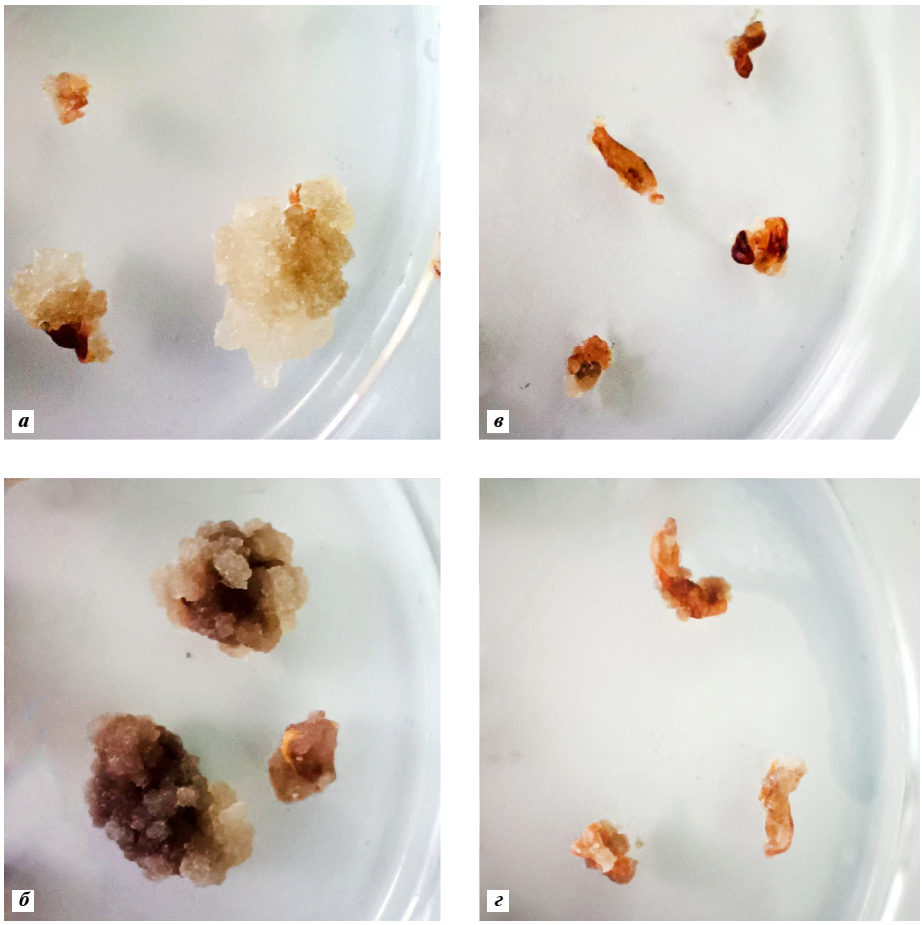


Рис. 2. Експлантати *Scutellaria baicalensis* на 49-у добу культивування на середовищах з додаванням регуляторів росту

на середовищі з 0,2 мг/л БАП і 2 мг/л 2,4-Д. Отже, за тривалого культивування (60 і більше діб) *S. baicalensis* можна використовувати регулятори росту у комбінаціях 0,2 мг/л БАП і 2 мг/л 2,4-Д та 0,2 мг/л БАП і 2 мг/л НОК. На всіх середовищах з додаванням інших комбінацій регуляторів росту калюс утворився у значно меншому об'ємі, що свідчить про недоцільність їх використання, це було також підтверджено дослідженням Dyduch-Siemińska and Gawroński [14].

Індукцію калюсогенезу та накопичення біомаси калюсів в *H. perforatum* спостерігали за використання регуляторів росту в усіх вказаних комбінаціях (рис. 3, таблиця), що узгоджується з результатами Sharifi et al. [15]. Водночас встановлено, що додавання до середовища БАП та НОК посилює калюсогенез *H. perforatum*.

Отже, згідно з таблицею, найперспективнішими комбінаціями з погляду ефективної індукції калюсогенезу *R. rosea* та *S. baicalensis* є використання регуляторів росту у комбінаціях БАП + НОК та БАП + 2,4-Д, а для *H. perforatum* — поєднання НОК з БАП або КІН.

Калюсні тканини *R. rosea, S. baicalensis* та *H. perforatum*, отримані після культивуванні експлантатів на середовищі з регуляторами рос-

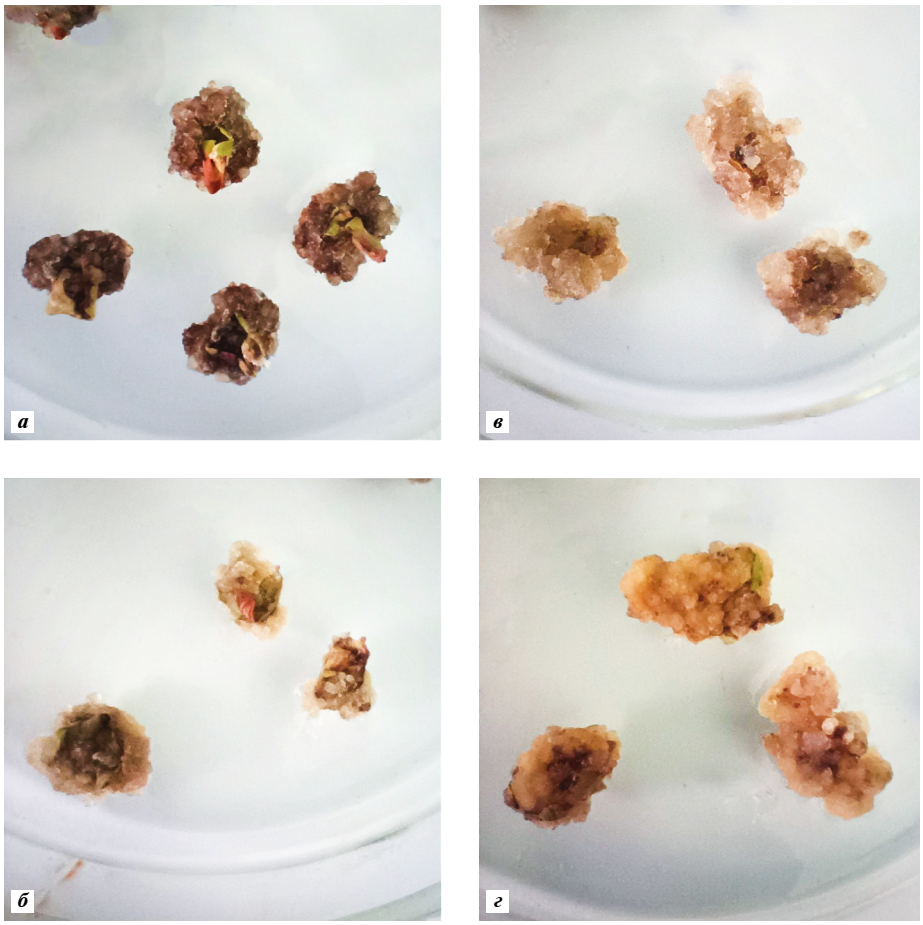


Рис. 3. Експлантати *Hypericum perforatum* на 49-у добу культивування на середовищах з додаванням регуляторів росту

ту рослин БАП + НОК та БАП + 2,4-Д, було використано для визначення вмісту флавоноїдів та антиоксидантної активності (АОА).

Найбільший вміст флавоноїдів виявлено у зразках шоломниці — 142,46±3,94 та 34,99±3,57 мг РЕ/г СР. Досить високим був вміст флавоноїдів і у зразках родіоли, культивованої на середовищі з БАП та 2,4-Д — 29,71±1,77 мг РЕ/г СР (рис. 4). Найвищий рівень АОА спостерігали у екстракті з калюсної тканини шоломниці (EC_{50} = 0,32±0,06 мг СР). Досить високою була також відповідна активність екстракту з калюсної тканини родіоли, культивованої на середовищі з БАП та 2,4-Д (EC_{50} = 0,32±0,07 мг СР).

Виявлено досить сильну кореляцію (R^2 = 0,77) між вмістом флавоноїдів та параметром EC_{50}, який характеризує антиоксидантну активність досліджуваних екстрактів. Така кореляція пов'язана з біологічною активністю флавоноїдів, які можуть нейтралізовувати активні форми кисню та зменшувати окиснювальний стрес [19, 20]. Також флавоноїди завдяки наявності фенольних гідроксильних груп здатні віддавати електрон або атом водню, перериваючи ланцюгові реакції вільнорадикального окиснення, що забезпечує захист клітинних структур від окисного ушкодження [21].

Раніше у ряді досліджень було визначено вміст флавоноїдів та АОА у калюсних культурах *S. baicalensis* та *H. perforatum*, культивова-

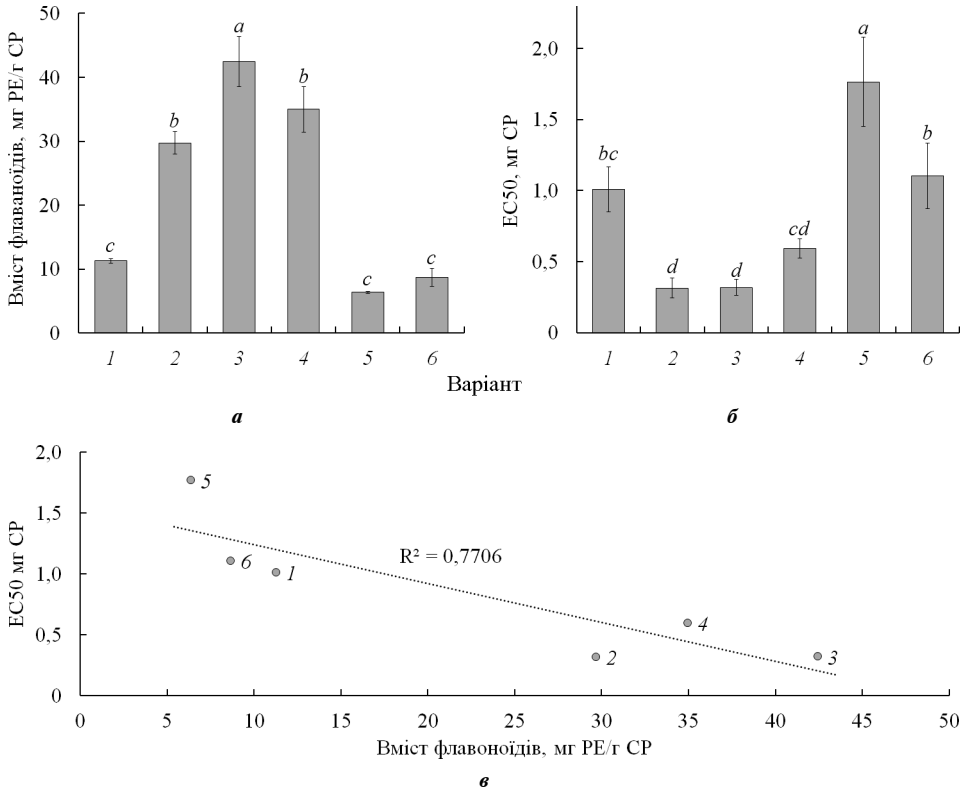


Рис. 4. Вміст флавоноїдів (*а*), антиоксидантна активність (EC_{50}) (*б*) екстрактів з калюсної тканини та кореляція цих параметрів (*в*):

1 — R. rosea, БАП+НОК; *2 — R. rosea,* БАП+2,4-Д; *3 — S. baicalensis,* БАП+НОК; *4 — S. baicalensis,* БАП+2,4-Д; *5 — H. perforatum,* БАП+НОК; *6 — H. perforatum,* КІН+НОК

них на поживному середовищі з додаванням 1,0 мг/л БАП і 1,0 мг/л 2,4-Д та 0,1 мг/л БАП і 0,1 мг/л НОК відповідно [9, 16]. Згідно з отриманими даними, вміст флавоноїдів у *S. baicalensis* становив 2,81±0,41 мг/г СР [9], у *H. perforatum* від 23,21±0,29 до 48,33±0,27 мг кверцетинового еквіваленту на грам сухого екстракту залежно від сорту [16]. Проте не було комплексного порівняння калюсних культур *R. rosea*, *S. baicalensis* та *H. perforatum* за вмістом флавоноїдів та АОА, культивованих на поживних середовищах з різними комбінаціями регуляторів росту. Склад середовища, а відповідно і додані регулятори росту в різних концентраціях, можуть значно впливати на антиоксиданту активність культур рослин [17, 18].

Таким чином, проведені дослідження підтвердили важливість індивідуального підбору необхідних регуляторів росту для ініціації та проліферації калюсогенезу у рослин *R. rosea*, *S. baicalensis* та *H. perforatum*. Для *R. rosea* оптимальними виявились комбінації 0,2 мг/л БАП з 2 мг/л НОК і 0,2 мг/л БАП з 2 мг/л 2,4-Д, для *S. baicalensis* — поєднання 0,2 мг/л БАП з 2 мг/л 2,4-Д, а для *H. perforatum* — комбінації 0,2 мг/л БАП з 2 мг/л НОК та 0,2 мг/л кінетину і 2 мг/л НОК. Найвища антиоксидантна активність, а отже, нижчий показник EC_{50} у перерахунку на суху речовину, була виявлена в екстрактах *S. baicalensis*, найнижча — у *H. perforatum*. Вміст флавоноїдів корелював з антиоксидантною активністю — у перерахунку на суху речовину найвищим вміст цих сполук був у зразках *S. baicalensis*. Таким чином, оптимізовані поживні середовища можуть бути використані для ефективного отримання калюсних культур родіоли, шоломниці та звіробою, що відкриває потенційні перспективи їх використання у біотехнологічному виробництві фармацевтичних препаратів.

Внесок авторів: *концепція та дизайн дослідження* — Н.А. Матвєєва; *отримання даних* — Д.І. Ляпін, Т.А. Богданович; *аналіз та інтерпретація результатів* — Т.А. Богданович, Д.І. Ляпін; *підготовка рукопису — написання первинного тексту статті* — Д.І. Ляпін, Т.А. Богданович; *підготовка рукопису — перегляд і редагування* — Т.А. Богданович, Н.А. Матвєєва.

Всі автори переглянули і схвалили остаточну версію рукопису.

Конфлікт інтересів: автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

REFERENCES

1. Apaydin, E.A., Maher, A.R., Shanman, R., Booth, M.S., Miles, J.N.V., Sorbero, M.E. & Hempel, S. (2016). A systematic review of St. John's wort for major depressive disorder. Systematic Reviews, 5, 148. https://doi.org/10.1186/s13643-016-0325-2
2. Urbanska, N., Ashaolu, T.J., Mattova, S., Simko, P. & Kiskova, T. (2025). The potential of selected plants and their biologically active molecules in the treatment of depression and anxiety disorders. Int. J. Mol. Sci., 26(5), 2368. https://doi.org/10.3390/ijms26052368
3. Zhao, Q., Chen, XY. & Martin, C. (2016). Scutellaria baicalensis, the golden herb from the garden of Chinese medicinal plants. Sci. Bull., 61, pp. 1391-1398. https://doi.org/10.1007/s11434-016-1136-5
4. Mullaicharam, B. & Nirmala, H. (2018). St John's wort (Hypericum perforatum L.): A review of its chemistry, pharmacology and clinical properties. Int. J. Res. Phytochem. Pharmacol. Sci., 1, 5. https://doi.org/10.33974/ijrpps.v1i1.7
5. Zhao, T., Tang, H., Xie, L., Zheng, Y., Ma, Z., Sun, Q. & Li, X. (2019). Scutellaria baicalensis Georgi. (Lamiaceae): A review of its traditional uses, botany, phytochemistry,

pharmacology and toxicology. J. Pharm. Pharmacol., 71(9), pp. 1353-1369. https://doi.org/10.1111/jphp.13129
6. Newman, D.J. & Cragg, G.M. (2020). Natural products as sources of new drugs over the nearly four decades from 01/1981 to 09/2019. J. Nat. Prod., 83(3), pp. 770-803. https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.9b01285
7. Tusevski, O., Stanoeva, J.P., Markoska, E., Brndevska, N., Stefova, M. & Simic, S.G. (2016). Callus cultures of Hypericum perforatum L. a novel and efficient source for xanthone production. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 125, pp. 309-319. https://doi.org/10.1007/s11240-016-0951-3
8. Kunakh, V.A. (2018). Genetics of cell populations: introduction, main results and positions (to the 50th anniversary of its foundation). Bull. Ukr. Soc. Genet. Breed., 16(1), pp. 75-103.
9. Abdelazeez, W.M.A., Aboueldis, G.R., Suliman, A.A. & Mohammed, D.M. (2025). Production of secondary metabolites in callus cultures of Scutellaria baicalensis L. and assessment of their anti-inflammatory and antioxidant efficacy in ulcerative colitis rats. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 160, 80. https://doi.org/10.1007/s11240-025-02996-6
10. Pekal, A. & Pyrzynska, K. (2014). Evaluation of aluminium complexation reaction for flavonoid content assay. Food Analyt. Methods, 7, pp. 1776-1782. https://doi.org/10.1007/s12161-014-9814-x
11. Matvieieva, N., Drobot, K., Duplij, V., Ratushniak, Y., Shakhovsky, A., Kyrpa-Nesmiian, T., Mickevičius, S. & Brindza, J. (2019). Flavonoid content and antioxidant activity of Artemisia vulgaris L. "hairy" roots. Preparative Biochemi. Biotechnol., 49(1), pp. 82-87. https://doi.org/10.1080/10826068.2018.1536994
12. Khapilina, O., Kupeshev, Z., Danilova, A. & Kalendar, R. (2016). In vitro culture of Rhodiola rosea L. Euras. J. Appl. Biotechnol., 4.
13. Wang, Y., Yao, D., Ma, H., Niu, Y., & Wang, D. (2022). Optimum callus induction conditions of Scutellaria baicalensis by orthogonal method. J. Shanxi Agricult. Sci., 50(10), 1368. https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-2481.2022.10.02
14. Dyduch-Siemińska, M., & Gawroński, J. (2024). The influence of cytokinin on the multiplication efficiency and genetic stability of Scutellaria baicalensis regenerants in in vitro culture conditions. Appl. Sci., 14(11), 4791. https://doi.org/10.3390/app14114791
15. Sharifi, I., Fotokian, M.H., Kordenaeij, A., Ramazani, S., Hasanlu, T., Nikoei, S.M., Davoodi, D., Nakhoda, B. & Mohammadinejad, G. (2014). Effects of growth regulators and explants on callus induction and organogenesis in Hypericum perforatum. Acta Hortic., 1023, pp. 241-247. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1023.35
16. Kwiecień, I., Miceli, N., Kędzia, E., Cavò, E., Taviano, M.F., Beerhues, L. & Ekiert, H. (2023). Different types of Hypericum perforatum cvs. (Elixir, Helos, Topas) in vitro cultures: A rich source of bioactive metabolites and biological activities of biomass extracts. Molecules, 28(5), 2376. https://doi.org/10.3390/molecules28052376
17. Jonuškienė, I., Stankevičienė, R., Kantminienė, K. & Tumosienė, I. (2023). The influence of phytohormones on antioxidative and antibacterial activities in callus cultures of Hypericum perforatum L. Agriculture, 13(8), 1543. https://doi.org/10.3390/agriculture13081543
18. Rasool, S., Rasool, K., Khilji, S.A. & Sajid, Z.A. (2025). Phytochemicals and antioxidant activity of leaf extract and callus cultures of Cinnamomum camphora L. PLOS One, 20(11), e0321155. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0321155
19. Ahmed, Z.S.O., Khan, E., Elias, N., Elshebiny, A. & Dou, Q. (2025). Updated review on natural polyphenols: Molecular mechanisms, biological effects, and clinical applications for cancer management. Biomolecules, 15(5), 629. https://doi.org/10.3390/biom15050629
20. Saad, A.M., Mohammed, D.M., Alkafaas, S.S., Ghosh, S., Negm, S.H., Salem, H.M., Fahmy, M.A., Semary, H.E., Ibrahim, E.H., AbuQamar, S.F., El-Tarabily, K.A. & El-Saadony, M.T. (2025). Dietary polyphenols and human health: Sources, biological activities, nutritional and immunological aspects, and bioavailability — a comprehensive review. Front. Immunol., 16. https://doi.org/10.3389/fimmu.2025.1653378
21. Stachelska, M.A., Karpiński, P. & Kruszewski, B. (2025). A comprehensive review of biological properties of flavonoids and their role in the prevention of metabolic, cancer

and neurodegenerative diseases. Appl Sci., 15(19), 10840. https://doi.org/10.3390/app151910840

Отримано 06.07.2026. Схвалено до друку 15.07.2026. Опубліковано 30.09.2026

FEATURES OF CALLUSOGENESIS INDUCTION AND BIOACTIVITY OF CALLUS CULTURES OF PLANTS *RHODIOLA ROSEA* L., *SCUTELLARIA BAICALENSIS* GEORGI AND *HYPERICUM PERFORATUM* L.

T.A. Bohdanovych[1,2], D.I. Liapin[2], N.A. Matvieieva[1]

[1]Institute of Cell Biology and Genetic Engineering, National Academy of Sciences of Ukraine
148 Akademika Zabolotnoho St., Kyiv, 03143, Ukraine
[2]National University «Kyiv Aviation Institute»
1 Huzar Lubomyr Ave., Kyiv 03058, Ukraine
e-mail: bogdanovych_tais@ukr.net

Rhodiola rosea L., *Scutellaria baicalensis* Georgi and *Hypericum perforatum* L. plants have long been known as sources of biologically active compounds with pronounced pharmacological effects. However, the use of plants from wild populations cannot be a stable and reproducible source of raw materials for the pharmaceutical industry. One of the promising solutions to this problem is the use of *in vitro* callus cultures, which synthesize a complex of plant metabolites, in particular, polyphenols, with proven bioactivity. The aim of the study was to optimize the composition of nutrient media with different growth regulators for the initiation and proliferation of callus of three medicinal plant species, as well as to evaluate the flavonoid content and antioxidant activity of the resulting cultures. Callus cultures were induced on Murashige and Skoog medium with the addition of 30 g/L sucrose and various combinations of growth regulators: 0.2 mg/L BAP + 2 mg/L NAA; 0.2 mg/L BAP + 2 mg/L 2,4-D; 0.2 mg/L KIN + 2 mg/L NAA; 0.2 mg/L KIN + 2 mg/L 2,4-D. The dry matter content, total flavonoid content and antioxidant activity were determined. It was found that the optimal conditions for the induction of callus tissues of *R. rosea* are a combination of 0.2 mg/L BAP + 2 mg/L 2,4-D, *S. baicalensis* — 0.2 mg/L BAP + 2 mg/L NAA, *H. perforatum* — 0.2 mg/L KIN + 2 mg/L NAA. The highest content of flavonoids was found in the callus tissue of *S. baicalensis* — 42.46±3.94 mg RE/g dry weight (DW), while the content of these compounds in *R. rosea* and *H. perforatum* was 29.71±1.77 mg RE/g DW and 8.69±1.39 mg RE/g DW, respectively. A strong correlation was observed between flavonoid content and antioxidant activity (R^2 = 0.77), confirming the participation of polyphenolic compounds in the biological activity of callus cultures. Thus, optimal conditions for the initiation and proliferation of callus of *R. rosea*, *S. baicalensis* and *H. perforatum* were determined. The obtained cultures of *S. baicalensis* and *R. rosea* were characterized by a significant content of polyphenolic compounds and antioxidant activity, which opens up potential prospects for their use in the biotechnological production of pharmaceuticals.

Key words: *Rhodiola rosea* L., *Scutellaria baicalensis* Georgi, *Hypericum perforatum* L., callus, growth regulators, biologically active compounds, flavonoids, antioxidant activity.

ORCID

Т.А. БОГДАНОВИЧ — T.A. Bohdanovych https://orcid.org/0000-0002-1834-523X

Д.І. ЛЯПІН — D.I. Liapin https://orcid.org/0009-0002-4209-2583

Н.А. МАТВЄЄВА — N.A. Matvieieva https://orcid.org/0000-0002-4877-5222