

вищою була кислотність – тим вищі показники відновлення срібла та швидкість процесу, окрім кислотності, що відповідає рН 6-8. Серед видів, які здатні відновлювати срібло при високо лужному середовищі є *Lactobacillus* spp., *P. pentosaceus*, *E. faecium*, *L. garvieae* [7].

Варто зазначити, що залежно від виду та штаму мікроорганізму, середовища, умов культивування та внесеної солі і її концентрації залежить розмір та форма отриманих наночастинок. Крім того, наночастилки срібла різних розмірів та форм мають різну антибактеріальну дію на різні види патогенів, тому цей процес потрібно досліджувати далі та опиратись на вже готові дослідження по цій темі [1, 2].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Siddiqi K.S., Husen A., Rao R.A.K. // J Nanobiotechnology. 2018. 16; 16(1):14. doi: 10.1186/s12951-018-0334-5.
2. Sintubin L., Verstraete W., Boon N. // Biotechnol Bioeng. 2012. 109(10):2422-2436. doi: 10.1002/bit.24570.
3. Gahlawat G., Choudhury A.R.. // RSC Adv. 2019. 26; 9(23):12944-12967. doi: 10.1039/c8ra10483b.
4. Viorica R.P., Pawel P., Kinga M., Michal Z., Katarzyna R., Boguslaw B. // Appl Microbiol Biotechnol. 2017. 101(19):7141-7153. doi: 10.1007/s00253-017-8443-x.
5. Naseer Q.A., Xue X., Wang X., Dang S., Din S.U., Kalsoom, J.J. // Braz J Biol. 2021. 5; 82:e232434. doi: 10.1590/1519-6984.232434.
6. Tian X., Jiang X., Welch C., Croley T.R., Wong T.Y., Chen C., Fan S., Chong Y., Li R., Ge C., Chen C., Yin J.J. // ACS Appl Mater Interfaces. 2018. 14; 10(10):8443-8450. doi: 10.1021/acsami.7b17274.
7. Sintubin L., De Windt W., Dick J., Mast J., van der Ha D., Verstraete W., Boon N. // Appl Microbiol Biotechnol. 2009. 84(4):741-9. doi: 10.1007/s00253-009-2032-6.

КУЛЬТУРА «БОРОДАТИХ» КОРЕНІВ РОСЛИН ПОЛИНУ ЯК ЕКОЛОГІЧНИЙ ТА ПРОДУКТИВНИЙ СПОСІБ ОТРИМАННЯ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ СПОЛУК

Т.А. Богданович, В.П. Дуплій, А.М. Шаховський, Я.І. Ратушняк, Н.А. Матвєєва

Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України
bogdanovych_tais@ukr.net

Генетична інженерія нині є широко відомим методом зміни геному рослин. Започаткований у 70-х роках 20 століття, цей метод застосовується для отримання трансгенних рослин різних видів, у тому числі лікарських. Крім того, використання для трансформації бактерій *Agrobacterium rhizogenes* дозволяє отримати культури «бородатих» коренів. Останні характеризуються швидким гормонезалежним ростом, є невибагливими до складу живильного середовища, що робить такі корені перспективним джерелом біологічно активних сполук як альтернативу рослинам, зібраним у їх природних місцях росту. Оскільки «бородаті» корені можна вирощувати цілорічно в умовах *in vitro* на стандартизованому живильному середовищі, а ріогі не забрудненому токсичними сполуками, їх використання як біофабрик цінних сполук є екологічно доцільним та дозволяє зберігати природні популяції лікарських рослин.

Рід *Artemisia* включає багато видів рослин, які ростуть на території України у природних умовах. Наприклад, розповсюдженими є такі рослини як *A. vulgaris* L., *A. absinthium* L. та *A. annua* L., використовувані у народній медицині. Рослини *A. dracuncululus* L. спеціально вирощуються та використовуються у кулінарії. Ще один вид, *A. tilesii* Ledeb., не зустрічається на території України та має дуже обмежений ареал, зокрема, росте на Алясці

та півночі Канади. Рослини усіх цих видів об'єднує те, що вони синтезують комплекс біологічно активних сполук, таких як сесквотерпенові лактони, флавоноїди, феноксикислоти, ефірні олії тощо. Так, встановлено, що рослини полинів різних видів синтезують артемізинін, який має протималарійні властивості. За дослідження синтезу артемізиніну у рослинах *A. annua* у 2015 році було навіть присуджено Нобелівську премію, що свідчить про важливість цієї роботи.

Завдяки широкому спектру цінних сполук, які накопичуються у рослинах полинів, ці рослини є предметом досліджень з генетичної інженерії, у тому числі трансформації з використанням *A. rhizogenes*. Рядом експериментів було встановлено, що «бородаті» корені, отримані після кокультивування з цими бактеріями, здатні не тільки синтезувати ті самі сполуки, що і вихідні рослини, але цей синтез може бути значно активізований завдяки перенесенню до геному рослин *rol* генів *A. rhizogenes*, які є індукторами вторинного метаболізму у клітинах рослин. Таким чином, завдяки генетичній трансформації можна отримати культури коренів, що синтезують цінні біологічно активні сполуки у кількості, яка значно перевищує кількість відповідних сполук, що накопичуються у материнських рослинах. Розроблено способи культивування коренів у біореакторах, що дозволяє інтенсифікувати та розширювати можливості продукції цінних сполук (Abraham & Thomas, 2017).

Метою нашої роботи було отримання «бородатих» коренів полинів різних видів (*A. vulgaris*, *A. absinthium*, *A. dracunculus*, *A. tylesii*, *A. annua*) та порівняння їх за продукцією флавоноїдів.

«Бородаті» корені було отримано шляхом кокультивування листових експлантів, взятих з вирощуваних *in vitro* рослин, із суспензією *A. rhizogenes* штаму А4. Після формування коренів на експлантах наявність перенесених *rol* генів *A. rhizogenes* було доведено з використанням ПЛР аналізу. Вміст флавоноїдів визначали за стандартною реакцією етанольних екстрактів з «бородатих» коренів з 10% водним розчином $AlCl_3$ та виражали у мг рутинового еквіваленту (РЕ) на грам вологої маси коренів.

Усі лінії «бородатих» коренів мали специфічні ознаки – здатність рости на середовищі без регуляторів росту та негативний геотропізм. Однак, отримані корені рослин різних видів відрізнялися фенотипово, зокрема, за ступенем галуження. Так, корені *A. vulgaris* в основному мали швидкий ріст у довжину та менше галуження порівняно з коренями *A. absinthium*, *A. dracunculus* та *A. tylesii*. Однак певні фенотипові відмінності також було виявлено і серед ліній коренів одного виду рослин, наприклад, деякі зразки мали специфічне забарвлення (у *A. vulgaris* та *A. tylesii*).

Усі лінії коренів накопичували флавоноїди, так само як і материнські рослини. Разом з тим, їх вміст у різних лініях коренів відрізнявся. Так, найбільший вміст флавоноїдів виявлено в одній з ліній «бородатих» коренях *A. vulgaris* – 107.9 ± 16.2 мг РЕ/г, найменший – у лінії виду *A. absinthium* (4.7 ± 0.1 мг РЕ/г).

Вміст флавоноїдів у трансгенних коренях у ряді випадків був значно більший за вміст у вихідних рослинах. Наприклад, у коренях контрольних рослин *A. vulgaris* вміст флавоноїдів становив 42.0 ± 3.6 мг РЕ/г вологої маси, а у «бородатих» коренях рослин цього виду варіював у межах 84.6 ± 3.0 – 107.9 ± 16.2 мг РЕ/г, що значно більше, ніж у контролі. У «бородатих» коренях *A. tylesii* флавоноїди накопичувалися у кількості від 26.7 ± 4.5 до 128.7 ± 1.1 мг РЕ/г, а у контролі – 34.6 ± 0.4 мг РЕ/г. Трансформовані корені *A. dracunculus* містили флавоноїди у кількості від 10.0 ± 0.4 до 54.2 ± 0.7 мг РЕ/г, а корені контрольних рослин – 12.3 ± 0.8 мг РЕ/г. Вміст флавоноїдів у «бородатих» коренях *A. annua* становив 26.4 ± 1.3 – 81.0 ± 4.3 мг РЕ/г, а у контролі – 29.6 ± 2.2 мг РЕ/г.

Таким чином, виявлено значні відмінності у вмісті флавоноїдів у лініях «бородатих» коренів рослин полину різних видів. Флавоноїди є важливими для рослин сполуками, а також сполуками, які можуть бути використані для лікування та запобігати різним захворюванням людини. Завдяки особливостям будови (два ароматичні та одне гетероциклічне кільце з атомом кисню) флавоноїди характеризують як потужні

антиоксиданти (Pietta, 2000). Вони здатні захищати клітини від оксидативного стресу, який може бути однією з причин виникнення онкозахворювань, серцево-судинних захворювань, нейродегенеративних хвороби, діабету тощо (Pisoschi & Pop, 2015). Хоча зазвичай біоактивні сполуки рослинного походження отримують з природної сировини, як показують наші дослідження, флавоноїди можна отримувати й з «бородатих» коренів, зокрема, коренів полину. Переваги такого способу полягають у можливості цілорічного вирощування рослинного матеріалу, використанні екологічно чистого живильного середовища, яке не потребує включення до свого складу дорогих реагентів, можливості відбору ліній-суперпродуцентів відповідних сполук, вміст яких може перевищувати вміст у коренях рослин, що ростуть у природних умовах.

Отже, отримані «бородаті» корені рослин полинів є перспективним джерелом цінних біологічно активних сполук.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Abraham J., Thomas T. D. // *Biotechnol. Prod. of Anti-Cancer Compounds*. 2017:201–230.
2. Pietta P. G. // *J. Nat. Prod.* 2000. 63:1035-1042.
3. Pisoschi A. M., Pop A. // *Eur. J. Med. Chem.* 2015. 97:55-74.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИРОБНИЦТВА ЗЕРНА СОЇ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

С.Д. Верхолюк, В.А. Мазур

Вінницький національний аграрний університет

Під час військового стану питання продовольчої безпеки держави є одним з пріоритетних складових національної безпеки, що обумовлюється стратегічною вагомістю зернової та зернобобової продукції під час російської агресії. У зв'язку із цим, виникає необхідність оцінки стану виробництва зерна, його експорту та моніторингу постійних прогнозів світових лідерів щодо цієї галузі є вкрай важливим питанням [1].

Виробництво зернобобових культур, у тому числі, сої сприяє стабілізації продовольчої безпеки [1]. Сьогодні частка мінеральних добрив у собівартості продукції сільського господарства зростає до рівня понад 60% і це за прогнозами аналітиків ринку є ще не кінцевим варіантом розвитку ситуації. У довоєнний час аналізуючи тенденцію до поступового зростання вартості мінеральних добрив та енергетичних ресурсів виконавці тематики ставили за мету пошуку ефективних моделей альтернативного удобрення із можливим потенційним заміщенням у технології вирощування основних зернобобових культур мінеральних добрив на вітчизняні аналоги біодобрив, бактеріальних препаратів та фізіологічно-активних речовин із підвищенням ефективності частки класичного удобрення за рахунок її зміщення у варіанти позакореневих підживлень у критичні фенофази росту і розвитку культур. Попередні результати отримані у ході досліджень засвідчили ефективність таких підходів та забезпечують зниження витрат мінеральних добрив до 40–50% за сталого рівня продуктивності культур, зниження технологічних ризиків, істотного підвищення екологічності отриманої продукції [4].

Для оцінки нових сортів сої, внесених до Державного реєстру сортів, придатних до поширення в Україні станом на 2020 р., за основними господарсько цінними ознаками застосовували кластерний аналіз, оскільки цей метод, на відміну від більшості математико-статистичних методів, не має ніяких обмежень на вид досліджуваних об'єктів. У дослідженнях використано сорти сої ранньостиглої групи.