

УДК 606:57.08:633.63

## ФИЗИОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ РОСЛИН-РЕГЕНЕРАНТІВ БУРЯКА ЦУКРОВОГО, ДОВГОТРИВАЛО КУЛЬТИВОВАНИХ IN VITRO

О.Л. КЛЯЧЕНКО

*Національний університет біоресурсів і природокористування України  
03041 Київ, вул. Героїв Оборони, 15  
e-mail: Klyachenko@ukr.net*

Встановлено специфічні й неспецифічні якісні та кількісні зміни регенерантів буряка цукрового, що довготривало культивувались в умовах *in vitro*, за концентрацією фотосинтетичних пігментів (хлорофілів *a*, *b*, каротиноїдів), активністю аніонних пероксидаз, вмістом фенольних сполук, які виконують важливі регуляторні і захисні функції. Виявлено значні генотипні відмінності за дослідженими показниками. Проведено кластерний аналіз спорідненості досліджених генотипів за якісним біохімічним станом метаболічного профілю, встановлено його особливості щодо формування екологічної пластичності рослин, що важливо для підвищення ефективності селекційного процесу буряка цукрового.

*Ключові слова:* буряк цукровий, тритерпенові глікозиди, пероксидаза, флавоноїди, культура *in vitro*, метаболічний профіль.

У селекційному процесі буряка цукрового значну роль відіграють біотехнологічні методи, які дають змогу з високою ефективністю створювати вихідний матеріал [1, 11], отримувати стійкі проти природних стресових чинників генотипи [4, 16]. Пріоритетним напрямом у сучасній інноваційній біотехнології рослин є метод мікроклонального розмноження [3, 6] і збереження рослинного матеріалу [10], який застосовують на всіх етапах селекційного процесу.

В культурі *in vitro* рослини перебувають у стані часткового гетеротрофного живлення, що спричинює зміни метаболічних процесів і їх адаптацію до специфічних умов середовища. Важливим лімітувальним чинником, що впливає на метаболізм рослин *in vitro*, є світло. Спектральні характеристики та інтенсивність штучного освітлення різняться від природних, особливо в короткохвильовій частині спектра. Відсутність коротких хвиль при цьому негативно позначається на генетичному апараті рослин, особливо генів, експресія яких залежить від освітлення [15].

Метою роботи було вивчення специфічних і неспецифічних якісних та кількісних змін у рослин-регенерантів буряка цукрового, довготривало культивованих *in vitro*.

### Методика

У роботі досліджували рослини-регенеранти буряка цукрового сортів Білоцерківський однонасінний 45, Ялтушківський однонасінний 64,

диплоїдних гібридів Іванівський ЧС 33, Уладово-Верхняцький ЧС 37, Український ЧС 70, Іванівсько-Веселоподільський ЧС 84 і триплоїдного гібрида Олександрія, які культивували на модифікованому середовищі Мурасиге—Скуга [7] за температури 25—26 °С, освітлення 4500 лк, фотоперіоду 16 год упродовж двох років.

Вміст хлорофілів *a*, *b* і каротиноїдів у листках рослин-регенерантів буряка цукрового (мг/г сирової речовини) визначали в метанольних екстрактах, які отримували у співвідношенні 1:10 (наважка листків : метанол). Оптичну густину вимірювали за довжини хвиль 662 нм (хлорофіл *a*), 646 (хлорофіл *b*) і 440 нм (каротиноїди) на спектрофотометрі Optizen POP (Південна Корея). Контролем слугував метанол [13].

Тритерпенові глікозиди ідентифікували методом тонкошарової хроматографії на пластинах з параметрами 100 × 150 мм, сорбент — Silica gel G60 («Merck», Німеччина), фенолкарбонові кислоти і флавоноїди — за допомогою системи розчинників: 1) хлороформ : метанол : вода (70 : 30 : 4); 2) хлороформ : льодяна оцтова кислота : метанол : вода (60 : 32 : 12 : 8). Посилення світіння речовин при опроміненні ультрафіолетом (УФ 365 нм) досягали обробкою пластин з хроматограмами 5 %-м спиртовим розчином  $AlCl_3$  з подальшим нагріванням протягом 5 хв за 105 °С [9]. Сапоніни виявляли шляхом послідовної обробки пластин спиртовим розчином сірчаної кислоти і ваніліну [8]. Хроматограми витримували 7—10 хв за температури 110 °С до появи характерних плям. Фотодокументацію матеріалів виконували з використанням програми Axio Vision 40V Carl Zeiss. Цифрову обробку даних здійснювали в програмі Image Pro Premier 9.0 (Trial version). Хроматограми аналізували в програмі Sorbfil TLC.

Активність аніонних пероксидаз визначали за швидкістю реакції окиснення бензидину до утворення продукту синього кольору певної концентрації [2].

Загальний вміст фенольних сполук у листках буряка цукрового досліджених генотипів встановлювали спектрофотометричним методом (СФ Optizen Pop, Південна Корея) за допомогою реактиву Фоліна—Чекольтеу [18].

## Результати та обговорення

Експериментальні дані свідчать про генотипні особливості за однакових умов культивування за вмістом хлорофілів *a*, *b* та каротиноїдів у листових пластинках, що зумовлено їх різними адаптивними можливостями і здатністю до швидкої перебудови метаболічних процесів (табл. 1). Найбільші вміст пігментів і відношення хлорофіли : каротиноїди виявлено у листках рослин-регенерантів триплоїдного гібрида Олександрія і сорту Білоцерківський однонасінний 45, найменшими ці показники були в листках сорту Ялтушківський однонасінний 64. Досліджені регенеранти різних генотипів буряка цукрового *in vitro* за збільшенням сумарної кількості фотосинтетичних пігментів розміщувались у такій послідовності: Ялтушківський однонасінний 64 < Український ЧС 70 < Іванівсько-Веселоподільський ЧС 84 < Уладово-Верхняцький ЧС 37 < Іванівський ЧС 33 < Білоцерківський однонасінний 45 < Олександрія.

Фенольні сполуки беруть участь в усіх життєво важливих процесах рослин: росту, розвитку, фотосинтезу, дихання, а також захисту від дії стресових чинників середовища [5]. Установлено, що культури клітин

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАСТЕНИЙ-РЕГЕНЕРАНТОВ

ТАБЛИЦЯ 1. Вміст фотосинтетичних пігментів у листках рослин-регенерантів генотипів буряка цукрового *in vitro*

Сорт, гібрид	Пігмент, мг/г сирової речовини				Відношення Хл <i>a</i> + <i>b</i> /каро- тиноїди
	Хл <i>a</i>	Хл <i>b</i>	Хл <i>a</i> + <i>b</i>	Кароти- ноїди	
Ялтушківський однонасінний 64	0,14±0,02	0,06±0,01	0,20±0,01	0,08±0,02	2,56±0,10
Білоцерківський однонасінний 45	1,25±0,07	0,52±0,04	1,77±0,09	0,56±0,03	3,15±0,16
Іванівський ЧС 33	0,44±0,03	0,21±0,02	0,65±0,04	0,25±0,02	2,61±0,17
Уладово-Верхняцький ЧС 37	0,46±0,02	0,16±0,01	0,62±0,03	0,24±0,01	2,55±0,13
Український ЧС 70	0,24±0,01	0,18±0,01	0,42±0,02	0,23±0,02	1,82±0,09
Іванівсько- Веселоподільський ЧС 84	0,34±0,02	0,18±0,02	0,51±0,04	0,16±0,01	3,13±0,17
Олександрія	1,33±0,07	0,58±0,03	1,91±0,08	0,61±0,03	3,14±0,12

Примітка:  $p < 0,05$ .

рослин *in vitro* виявляють здатність до синтезу всіх класів вторинних метаболітів [14]. Важливим є синтез фенольних сполук у листках, який залежить від сформованості асиміляційних органів та активності фотосинтетичного апарату. Значна кількість фенольних сполук (оксикоричних і фенолкарбонових кислот) синтезується у хлоропластах, подальша транслокація яких до інших компартментів клітин і тканин зумовлена активністю транспортних систем та умовами росту рослин. За відсутності УФ-випромінювання в умовах *in vitro* в епідермісі листків кількість фенолів, які здатні поглинати короткохвильове випромінювання, зменшується, змінюється також просторовий розподіл фенольних сполук у мезофілі листка й клітинах, які формують транспортну систему: обкладка провідних пучків, склеренхіма і трахеїди [5].

Результати виконаних нами біохімічних досліджень вмісту фенолів, флавоноїдів і катехінів у листках рослин-регенерантів різних генотипів буряка цукрового за умов довготривалого культивування *in vitro* наведе-

ТАБЛИЦЯ 2. Вміст і співвідношення фенольних сполук у листках рослин-регенерантів генотипів буряка цукрового за умов довготривалого культивування *in vitro*

Сорт, гібрид	Фенольна сполука, мг/г			
	Фн	Фл	Фл/Фн, %	Кт
Білоцерківський однонасінний 45	<b>59,5±2,27</b>	<b>6,3±0,32</b>	<b>10,6±0,11</b>	<b>9,0±0,45</b>
Ялтушківський однонасінний 64	8,2±0,51	0,51±0,03	6,2±0,06	1,7±0,09
Іванівський ЧС 33	<b>35,0±1,70</b>	2,0±0,10	5,8±0,06	<b>13,6±0,68</b>
Уладово-Верхняцький ЧС 37	26,6±1,23	1,7±0,09	6,4±0,06	6,5±0,33
Український ЧС 70	<b>30,0±1,57</b>	1,4±0,07	4,8±0,05	<b>23,4±1,17</b>
Іванівсько-Веселоподільський ЧС 84	10,6±0,53	2,0±0,10	18,9±0,19	2,4±0,12
Олександрія	<b>48,9±2,05</b>	6,8±0,34	13,9±0,14	<b>13,5±0,68</b>

Примітка: Фн — феноли, Фл — флавоноїди; Кт — катехіни; півжирним шрифтом виділено високий вміст фенольних сполук;  $p < 0,05$ .

но в табл. 2. На основі парного кореляційного аналізу між окремими середніми значеннями показників фенольних сполук і вмістом фотосинтетичних пігментів, розрахованих для вибірки всіх досліджених генотипів, встановлено прямий позитивний зв'язок. Так, коефіцієнт кореляції  $r$  між вмістом фенольних сполук і хлорофілу  $a$  становив  $0,88 \pm 0,01$ . Близькими за значеннями були коефіцієнти кореляції для пар ознак: концентрація фенолів і сумарний вміст хлорофілів  $a+b$  ( $r = 0,87 \pm 0,03$ ), фенолів і каротиноїдів ( $r = 0,93 \pm 0,01$ ). Найтісніший зв'язок виявлено між вмістом у листках флавоноїдів і хлорофілу  $a$  ( $r = 0,99 \pm 0,02$ ), флавоноїдів і хлорофілу  $b$  ( $r = 1,0 \pm 0,03$ ), флавоноїдів і каротиноїдів ( $r = 0,98 \pm 0,03$ ).

Значно нижчий рівень кореляційної залежності встановлено між вмістом пластидних пігментів та катехинів і танінів у листках, коефіцієнти кореляції яких виходили за межі вірогідності. Виявлені нами тенденції підтвердили, що синтез флавоноїдів за умов *in vitro* залежить від стану фотосинтетичного апарату рослин, звідки можна дійти висновку про їх метаболічну взаємозалежність.

Відомо, що флавоноїди в рослинному організмі виконують низку важливих регуляторних функцій, які пов'язані з полярним транспортом ауксинів, білками мембран та регуляцією стану мембран, через здатність агліконів кверцетину і кемпферолу інтегруватись у бішар фосфоліпідів. Вони мають значно вищий антиоксидантний потенціал порівняно з вітаміном С і каротиноїдами і відіграють ключову роль у стабілізації мембран хлоропластів шляхом дезактивації вільних радикалів та активних форм кисню. Флавоноїди забезпечують також функціональний стан пластид і в комплексі з металами зі змінною валентністю беруть участь у донорно-акцепторних механізмах окисно-відновних процесів клітин [12]. Через здатність легко віддавати іони водню в окисно-відновних реакціях, особливо за наявності гідроксильних груп у  $C_3$  й  $C_4$  положеннях, флавоноїди також впливають на активність ферментів оксидаз, зокрема вільних і слабкозв'язаних пероксидаз [17].

За результатами виконаних досліджень встановлено, що аніонні пероксидази в листках рослин-регенерантів буряка цукрового виявляють високу активність за швидкістю окиснення солянокислого бензидину внаслідок ферментативного розкладання пероксиду водню (рис. 1). Досліджені рослини-регенеранти сортів і гібридів буряка цукрового за цим показником можна поділити на три групи. До першої належать генотипи з відносно низькою активністю аніонних пероксидаз (Український ЧС 70, Олександрія, Іванівський ЧС 33, Білоцерківський однонасі́нний 45), до другої — із середньою (Іванівсько-Веселоподільський ЧС 84), до третьої — з високою активністю пероксидаз (Уладово-Верхняцький ЧС 37 і Ялтушківський однонасі́нний 64).

Отримані нами результати узгоджуються з літературними даними щодо оберненої залежності активності аніонних пероксидаз від накопичення флавоноїдів у листках рослин-регенерантів [17]. Так, найменш активними ці ферменти були в рослин-регенерантів сорту Білоцерківський однонасі́нний 45 і триплоїдного гібрида Олександрія, в листках яких містилась найбільша кількість флавоноїдів. Водночас доволі низьку активність пероксидаз у листках диплоїдного гібрида Український ЧС 70 із невисоким вмістом флавоноїдів очевидно можна пояснити меншим вмістом у листках хлорофілів  $a$  і  $b$  й відповідно недостатньою фотосин-

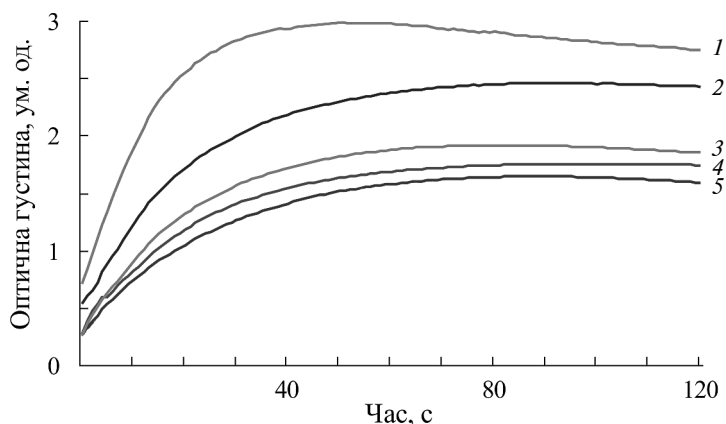


Рис. 1. Кінетика окиснення бензидину в процесі ферментативного розкладання пероксиду водню пероксидазою:

1 — Іванівський ЧС 33; 2 — Уладово-Верхняцький ЧС 37; 3 — Український ЧС 70; 4 — Олександрія; 5 — Білоцерківський однонасінний 45, Ялтушківський однонасінний 64, Веселоподільський ЧС 84

тетичною активністю асиміляційних органів, а також уповільненням росту рослин у культурі *in vitro*.

Крім фенольних сполук у регуляції процесів метаболізму в листках буряка цукрового важливе значення мають терпенові сполуки і сапоніни. В результаті аналізу метаболічного профілю листків досліджених сортів і гібридів доведено їх певну специфічність у синтезі індивідуальних сполук (рис. 2). При хроматографічному розділенні метанольних екстрактів листків за відповідними показниками  $R_f$  і реакцією на анісовий альдегід ми виявили 16 речовин вторинного метаболізму. Відсутність потрібних стандартів унеможливила ідентифікацію кожної речовини, проте методом фотоденситометричного аналізу хроматограм ми визначили співвідношення індивідуальних сполук та їх наявність у зразках.

За нормалізації результатів хроматографічного профілювання і переведення у відповідну матрицю було проведено кластерний аналіз спорідненості гібридів за якісним біохімічним станом системи, який описує метаболічний профіль. Встановлено, що досліджені генотипи буряка цукрового в умовах *in vitro* формують два окремих кластери (рис. 3).

Перший кластер об'єднує сорт Білоцерківський однонасінний 45, гібриди Олександрія та Іванівський ЧС 33, які в умовах довготривалого культивування *in vitro* характеризувались високою активністю вторинного метаболізму й, відповідно, виявляли здатність до формування високого адаптивного потенціалу. До другого належать решта досліджених гібридів і сорт Ялтушківський однонасінний 64, який у кластері відрізнявся дещо більшою відстанню за показником спорідненості. Другий кластер складається з двох підкластерів, у яких у пари об'єднані гібриди Уладово-Верхняцький ЧС 37 з Українським ЧС 70 і сорт Ялтушківський однонасінний 64 з гібридом Іванівсько-Веселоподільським ЧС 84, які мали найменшу активність щодо синтезу фенольних сполук (див. табл. 2).

Отже, в умовах довготривалого культивування рослин *in vitro* за результатами аналізу комплексу пластидних пігментів, фенольних сполук, біохімічного тесту метаболічних профілів терпенів і тритерпенових сапонінів у групі досліджених рослин-регенерантів триплоїдний гібрид

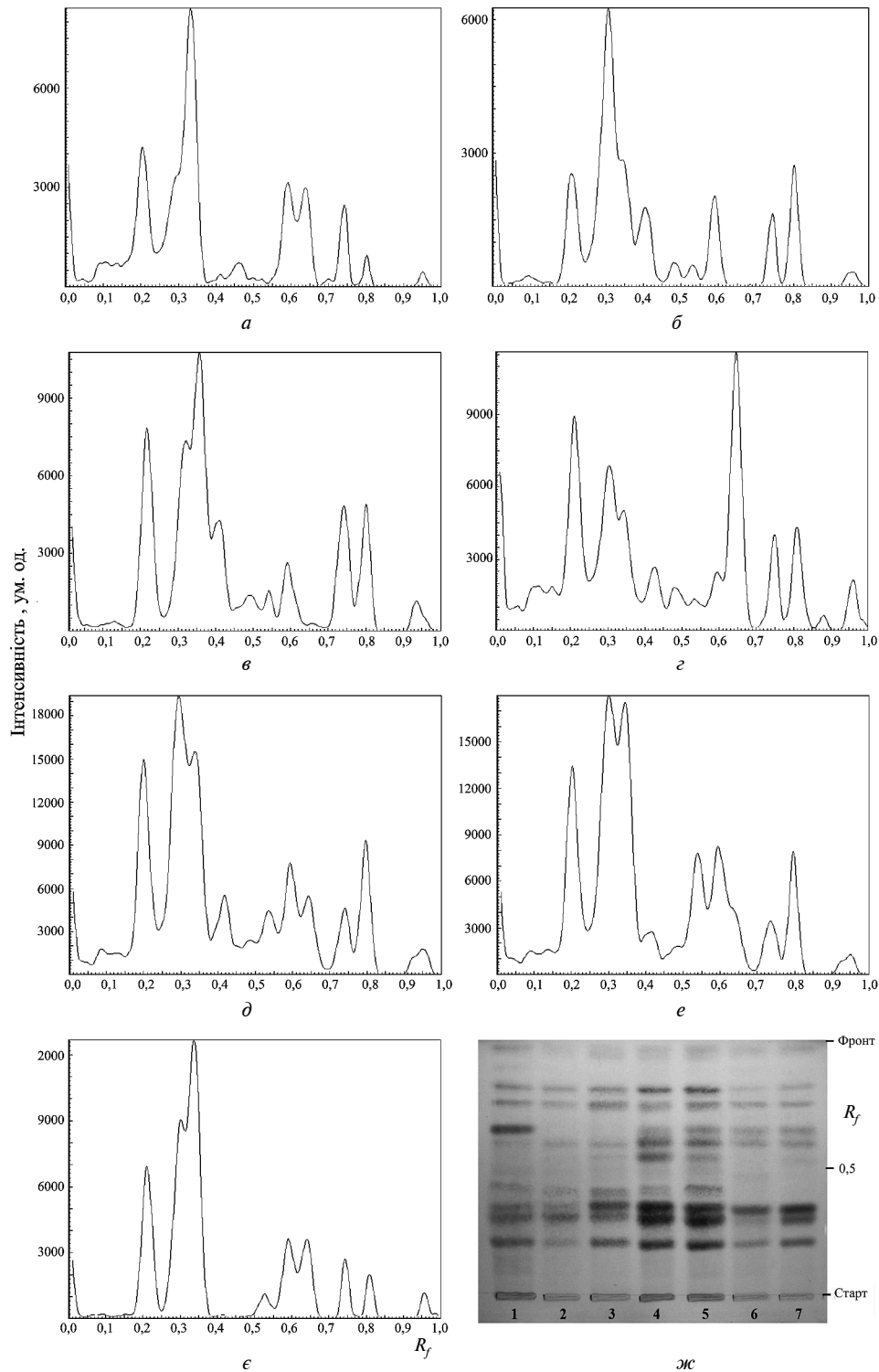


Рис. 2. Фотоденситограми (а–е) і хроматограма (ж) розділення терпенових сполук і три-терпенових сапонінів у листках сортів і гібридів буряка цукрового *in vitro*:  
 а – Іванівський ЧС 33; б – Уладово-Верхняцький ЧС 37; в – Український ЧС 70; з – Олександрія;  
 д – Білоцерківський однонасінний 45; е – Ялтушківський однонасінний 64; є – Іванівсько-Весело-  
 подільський ЧС 84

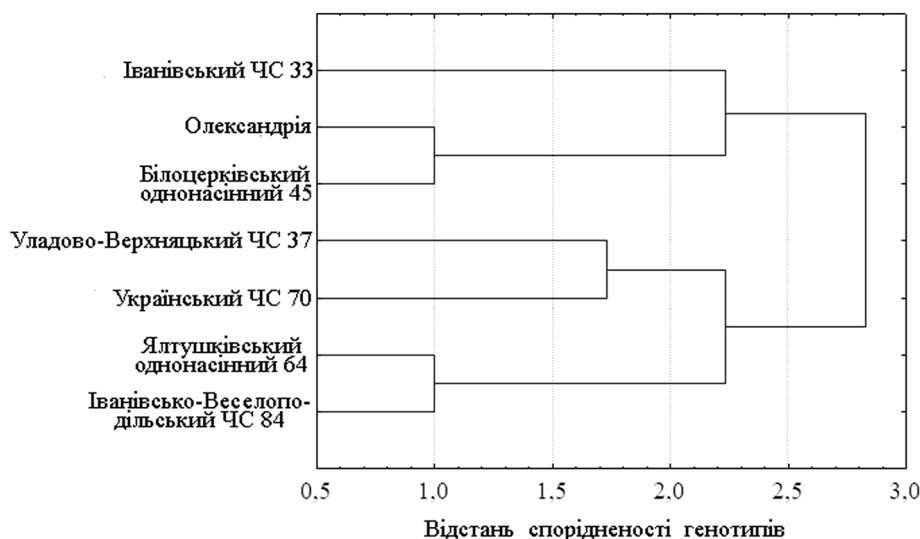


Рис. 3. Кластерний аналіз спорідненості генотипів буряка цукрового за біохімічним профілем терпенових сполук і тритерпенових глікозидів

Олександрія, сорт Білоцерківський однонасінний 45 і диплоїдний гібрид Іванівський ЧС 33 вирізнялись високим адаптивним потенціалом. Виявлені генотипні особливості є допоміжною ознакою, за якою можна оцінювати екологічну пластичність рослин буряка цукрового, що має важливе практичне значення для підвищення ефективності селекційного процесу.

#### ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Балков И.Я. Новый этап в селекции и семеноводстве — высокорентабельные гибриды. *Сахарная свекла*. 2011. № 7. С. 26—28.
2. Бояркин А.М. Быстрый метод определения активности пероксидазы. *Биохимия*. 1951. Т. 16, вып. 4. С. 325—355.
3. Бутенко Р.Г. Биология клеток высших растений in vitro и биотехнологии на их основе. М.: ФБК-ПРЕСС, 1999. 160 с.
4. Дубровна О.В., Моргун Б.В. Клітинна селекція пшениці на стійкість до стресових чинників довкілля. *Фізіологія і біохімія культ. рослин*. 2009. **41**, № 6. С. 463—475.
5. Запрометов М.Н. Фенольные соединения. Распространение, метаболизм и функция в растениях. М.: Наука, 1993. 272 с.
6. Знаменская В.В. Микроклонирование in vitro как метод поддержания линий сахарной свеклы. *Энциклопедия рода Beta: биология, генетика и селекция*. Новосибирск. 2010. С. 420—427.
7. Кляченко О.Л., Криловська С.А. Отримання регенерантів у цукрових буряків. *Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету*. 2012. № 11. С. 312—315.
8. Ковалев В.Н., Попова Н.В., Кисличенко В.С., Исакова Т.И., Журавель И.А., Степанова С.И., Сербин А.Г., Картмазова Л.С. Практикум по фармакогнозии. Харьков: Изд-во НФаУ Золотые страницы, 2003. 512 с.
9. Мироненко Н.В. УФ-спектрофотометрическое определение тритерпеновых сапонинов — производных олеаноловой кислоты. *Химия растительного сырья*. 2011. № 3. С. 153—157.
10. Редько В.І., Роїк М.В., Недак Т.М., Бех Н.С., Слущька Н.П. Повільноростучі in vitro колекції цукрових і кормових буряків як метод збереження їх генетичного різноманіття. *Збірник наукових праць ІЦБ УААН*. 2008. Вип. 10. С. 231—234.
11. Роїк М.В., Корнеєва С.О. Селекція цукрових буряків. Спеціальна селекція польових культур. Біла Церква: БЦ НАУ, 2010. С. 276—314.

12. Charles S.B., Imin N., Djordjevic M.A. Flavonoids: new roles for old molecules. *Journal of Integrative Plant Biology*. 2010. **52** (1). P. 98–111.
13. Handbook of Food Analytical Chemistry: Pigments, Colorants, Flavors, Texture, and Bioactive Food Components. Ed. by E.Wrolstad. In: Pigments and colorants. Publisher: Wiley, John & Sons, Incorporated. 2005. F. 4, pp. 175-176.
14. Kuruppusamy S. (2009). A review on trends in production of secondary metabolites from higher plants de in vitro tissue, organ and cell cultures. *J. Med. Plants Res.* **3**, N 13. P. 1222–1239.
15. Parry M.A., Reynolds V., Salvucci M.E., Raines C., Andralojc P.J., Xin-Guang Zhu, Price G.D., Condon A.G., Furbank R.T Raising yield potential of wheat. II Encreasing photosynthetic capacity and efficiency. *J. Exp. Bot.* 2011. **62**, N 2. P. 453–467.
16. Saad E., Raja A. In vitro micropropagation of spinach beet (*Beta vulgaris* L.) under effect of saltstress. *Amer. Soc. Plant Biol. (ASPB)*. 2003. **34**, N 4. P. 503.
17. Santelia D., Henrichs S., Vincenzetti V., Sauer M., Bigler L., Klein M., Bailly A., Lee Y., Friml J., Geisler M., Martinoia E. Flavonoids redirect PIN-mediated polar auxin fluxes during root gravitropic responses. *The J. of Biological Chemistry*. 2008. **283** (45). P. 31218–31226.
18. Stitt M., Garhardt R., Vurzel B., Heldt H. (1983). A role for fructose 2,6-bisphosphate in the regulation of sucrose synthesis in spinach leaves. *Plant Physiol.* 1983. **72**. P. 1139–1143.

Отримано 19.03.2018

#### REFERENCES

1. Balkov, I.Ya. (2011). A new stage in selection and seed-growing - highly profitable hybrids Saharnaja svekla, No. 7, pp. 26-28 [in Russian].
2. Bojarkin, A.M. (1951). A quick method for determining peroxidase activity. *Biohimija*, 16(4), pp. 325-355 [in Russian].
3. Butenko, R.G. (1999). Biology of cells of higher plants in vitro and biotechnology based on them. M.: FBK-PRESS [in Russian].
4. Dubrovna, O.V. & Morhun, B.V. (2009). Wheat Cell Selection for Resistance to Stressful Environmental Factors. *Fiziologiya i biokhimiya kult. rastenii*, 41(6), pp. 463-475 [in Ukrainian].
5. Zaprometov, M.N. (1993). Phenolic compounds. Distribution, metabolism and function in plants. M.: Nauka [in Russian].
6. Znamenskaja, V.V. (2010). Microcloning in vitro as a method of maintaining sugar beet lines. *Jenciklopedija roda Beta: biologija, genetika i selekcija*. Novosibirsk [in Russian].
7. Kliachenko, O.L. & Krylovska, S.A. (2012). Getting sugar beet regenerators. *Zbirnyk naukovykh prats Podilskoho derzhavnogo ahrarno-tekhnicnogo universytetu*, No. 11, pp. 312-315 [in Ukrainian].
8. Kovalev, V.N., Popova, N.V., Kislichenko, V.S., Isakova, T.I., Zhuravel, I.A., Stepanova, S.I., Serbin, A.N., Seraia, L.M. & Kartmazova, L.S. (2003). Workshop on pharmacogenesis. *Kharkov: Izd-vo NFaU Zoloty stranic* [in Russian].
9. Mironenko, N.V. (2011). UV-spectrophotometric determination of triterpene saponins - derivatives of oleanolic acid. *Himija rastitel'nogo syr'ja*, No. 3, pp. 153-157 [in Russian].
10. Redko, V.I., Roik, M.V., Nediak, T.M., Bekh, N.S. & Slutska, N.P. (2008). Slowly growing in vitro collection of sugar and fodder beet as a method of preserving their genetic diversity. *Zbirnyk naukovykh prats ITsB UAAN*, Iss. 10, pp.231-234 [in Ukrainian].
11. Roik, M.V. & Korneieva, M.O. (2010). Selection of sugar beet. *Special selection of field crops. Bila Tserkva: BTs NAU*, 276-314 [in Ukrainian].
12. Charles, S. B., Imin, N. & Djordjevic M.A. (2010). Flavonoids: new roles for old molecules. *J. of Integrative Plant Biol.*, 52 (1), pp. 98-111.
13. Handbook of Food Analytical Chemistry: Pigments, Colorants, Flavors, Texture, and Bioactive Food Components. Ed. by E.Wrolstad. (2005). *Pigments and colorants* (F. 4). Publisher: Wiley, John & Sons, Incorporated.
14. Kuruppusamy, S. (2009). A review on trends in production of secondary metabolites from higher plants de in vitro tissue, organ and cell cultures. *Med. Plants Res.*, 3(13), pp. 1222-1239.
15. Parry, M.A.J., Reynolds, M.P., Salvucci, M.E., Raines, C., Andralojc, P.J., Xin-Guang Zhu, Price, G.D., Condon, A.G. & Furbank, R.T. (2011). Raising yield potential of wheat. II Encreasing photosynthetic capacity and efficiency. *J. Exp. Bot.*, 62(2), pp. 453-467.
16. Saad, E. & Raja, A. (2003). In vitro micropropagation of spinach beet (*Beta vulgaris* L.) under effect of saltstress. *Amer. Soc. Plant Biol. (ASPB)*, 34(4), p. 503.
17. Santelia, D., Henrichs, S., Vincenzetti, V., Sauer, M., Bigler, L., Klein, M., Bailly, A., Lee, Y., Friml, J., Geisler, M. & Martinoia, E. (2008). Flavonoids redirect PIN-mediated polar



auxin fluxes during root gravitropic responses. The J. of Biological Chemistry, 283 (45), pp. 31218-31226.

18. Stitt, M., Garhardt, R., Vurzel, B. & Heldt, H. (1983). A role for fructose 2,6-bisphosphate in the regulation of sucrose synthesis in spinach leaves. Plant Physiol., 72, pp. 1139-1143.

Received 12.01.2018

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАСТЕНИЙ-РЕГЕНЕРАНТОВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ, ДЛИТЕЛЬНО КУЛЬТИВИРУЕМЫХ IN VITRO

*О.Л. Кляченко*

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, Киев

Установлены специфические и неспецифические качественные и количественные изменения регенерантов сахарной свеклы, которые длительно культивировались в условиях *in vitro*, по концентрации фотосинтетических пигментов (хлорофиллов *a*, *b*, каротиноидов), активности ферментов анионных пероксидаз, содержанию фенольных соединений, которые выполняют важные регуляторные и защитные функции. Выявлены значительные генотипические отличия по исследованным показателям. Проведен кластерный анализ схожести исследованных генотипов по качественному биохимическому состоянию метаболического профиля, установлены их особенности относительно формирования экологической пластичности растений, что важно для повышения эффективности селекционного процесса сахарной свеклы.

PHYSIOLOGICAL PECULIARITIES OF SUGAR BEET REGENERANTS LONG-TERM CULTIVATED IN VITRO

*O.L. Klyachenko*

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine  
15 Heroiv Oborony St., Kyiv, 03041, Ukraine  
e-mail: Klyachenko@ukr.net

Specific and non-specific quantitative and qualitative changes of concentration of photosynthetic pigments (chlorophylls *a*, *b*, and carotenoids), activity of anion peroxidases and content of phenolic compounds were detected in sugar beet regenerants, which were cultivated for a long time under *in vitro* conditions. These features play important role in regulatory and defense mechanisms and shown significant genotypic differences between regenerants. A cluster analysis for the similarity of genotypes was carried out by a quantitative biochemical state of the metabolic profile. These peculiarities are revealed in respect to the formation of ecological plasticity of plants, which have great importance for increasing the efficiency of the sugar beet breeding process.

*Key words:* sugar beet, triterpene glycosides, flavonoids, peroxidases, metabolic profile.