



Original researches

 Content of Anthocyanins
 in Sweet Corn with Different Grain Coloring

 A. O. Psolova, K. V. Derkach, T. M. Satarova
 Institute of Grain Crops of National Academy
 of Agricultural Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine

 Received: 29 April 2019
 Revised: 06 May 2019
 Accepted: 07 May 2019

 Institute of Grain Crops
 of National Academy of Agricultural Sciences
 of Ukraine, Vladimir Vernadsky Str., 14,
 Dnipro, 49027, Ukraine

 Tel.: +38-056-236-26-18
 E-mail: annapselova@gmail.com
 kvderkach@gmail.com
 satarova2008@ukr.net

 Cite this article: Psolova, A. O., Derkach, K. V.,
 & Satarova, T. M. (2019). Content of
 anthocyanins in sweet corn with different grain
 coloring. *Agrology*, 2(2), 128–133.
 doi: 10.32819/019019

Abstract. In connection with the unbalanced nutrition of people, the constant psychological and physical stress of humankind, the spread of diseases of different etymologies, the growing of agricultural crops with high anthocyan content and the obtaining of antioxidants from food products is very actual and requires more in-depth study. Sweet corn has proven itself as a valuable food culture, therefore it is expedient to search and create sweet corn genotypes with high content of anthocyanins in grain. The material to be studied was the inbred line of sweet corn (*Zea mays* L.) CE401 with white coloring grain and the population of $F_4(CE401 \times \text{Chornosteblava})$ with purple coloring grain. Determination of the content of anthocyanins was carried out by means of modified method of differential spectrophotometry. The content of four non- glucosidic forms (delphinidin, pelargonidin, peonidin and cyanidin) and four glucoside (delphinidin-3-glucoside, pelargonidin-3-glucoside, peonidin-3-glucoside and cyanidin-3-glucoside) forms of anthocyanins have been analyzed. It was established that the total content of the analyzed species and forms of anthocyanins in the white grain of the inbred line CE401 was 1174.5 mg/kg, and in the purple grain of the population $F_4(CE401 \times \text{Chornosteblava})$ reached 2951.4 mg/kg, that is, the total content of anthocyanins in grain increased in 2.5 times with the intensification of the coloring of sweet corn grain from white to purple. Significant variations in the percentage ratio of anthocyan fractions between two investigated genotypes of sweet corn were not observed. In both genotypes the content of glucosidic forms of anthocyanins was almost twice exceeded the content of non-glucosidic forms (63.66% and 63.68% of non- glucosidic forms, respectively, in white and purple grain compared with 36.34% and 36.32% in glucosidic forms). Among the glucosidic forms in both genotypes was predominant peonidin-3-glucoside, and among non-glucosidic – pelargonidin. The intensity of the coloring of sweet corn grain in the purple coloring does not depend on the content or ratio of individual species and forms of anthocyanins, but on their total content. The high content of anthocyanins in purple maize grain makes it the actual to its using as a source of antioxidants and functional food.

Keywords: *Zea mays* L.; species of anthocyanins; glucosidic form of anthocyanins; genotype; food corn.

Уміст антоціанів у зерні кукурудзи цукрової різного забарвлення

А. О. Псьолова, К. В. Деркач, Т. М. Сатарова

Державна установа Інститут зернових культур Національної академії аграрних наук України, м. Дніпро, Україна

Анотація. У зв'язку з незбалансованістю харчування людей, їх постійним психологічним та фізичним напруженням, поширенням захворювань різної етимології вирощування сільськогосподарських культур з високим умістом антоціанів та отримання антиоксидантів із продуктами харчування є досить актуальним і потребує більш глибокого вивчення. Кукурудза цукрова зарекомендувала себе як цінна харчова культура, тому доцільним є пошук і створення генотипів цукрової кукурудзи з підвищеним умістом антоціанів у зерні. Матеріалом дослідження слугували ліній кукурудзи цукрової (*Zea mays* L.) CE401 зі зерном білого забарвлення та популяція $F_4(CE401 \times \text{Чорностеблова})$ зі зерном багряного забарвлення. Визначення вмісту антоціанів проводили модифікованим методом диференційної спектрофотометрії. Проаналізовано вміст чотирьох неглюкозильованих (дельфінідин, пеларгонідин, пеонідин і ціанідин) та чотирьох глюкозильованих (дельфінідин-3-глюкозид, пеларгонідин-3-глюкозид, пеонідин-3-глюкозид та ціанідин-3-глюкозид) форм антоціанів. Установлено, що загальний вміст проаналізованих видів і форм антоціанів у білому зерні лінії CE401 становив 1174,5 мг/кг, а в багряному зерні популяції $F_4(CE401 \times \text{Чорностеблова})$ досягав 2951,4 мг/кг, тобто з інтенсифікацією забарвлення зерна кукурудзи цукрової від білого до багряного загальний вміст антоціанів у зерні збільшився в 2,5 рази. Істотних коливань у відсотковому співвідношенні фракцій антоціанів між двома дослідженими генотипами кукурудзи цукрової не спостерігалося. В обох генотипів уміст глюкозильованих форм антоціанів майже у два рази перевищував уміст неглюкозильованих форм (63,66% і 63,68% неглюкозильованих форм, відповідно, у білому і багряному зерні проти 36,34% і 36,32% глюкозильованих форм). Серед глюкозильованих форм в обох генотипів переважав пеоні-

дин-3-глюкозид, а серед неглюкозильованих – пеларгонідин. Інтенсивність забарвлення зерна кукурудзи цукрової в багрянний колір залежить не від умісту чи співвідношення окремих видів і форм антоціанів, а від їхнього загального вмісту. Високий вміст антоціанів у зерні кукурудзи цукрової з багряним його забарвленням робить доцільним споживання її як джерела антиоксидантів та функціональної їжі.

Ключові слова: *Zea mays* L.; види антоціанів; глюкозильована форма антоціанів; генотип; кукурудза харчова.

Вступ

Антоціани належать до групи водорозчинних пігментів і забезпечують забарвлення в рослин від помаранчево-червоного до чорно-фіолетового (Khoo et al., 2017). Будова антоціанів встановлена в 1913–1916 рр. німецьким хіміком Р. Вільштеттером (Makarevich et al., 2010). Антоціани відносяться до вітамінів групи Р, підтримують здоров'я людини і тварин завдяки антиоксидантним властивостям (Wang et al., 1999; Nankar et al., 2016; Li et al., 2019).

У вищих рослин, у тому числі й у кукурудзи, розрізняють декілька видів антоціанів – ціанідин, пеларгонідин, дельфінідин, пеонідин та ін. У клітинах ці види антоціанів існують як у неглюкозильованій, так і в глюкозильованій формі, зокрема у формі 3-глюкозидів, що утворюються в результаті приєднання глюкози у 3-положенні. У кукурудзи антоціани в качанах присутні як у зерні, так і у стрижні та обгортках (Lao & Giusti, 2018; Fernandez-Aulis et al., 2019). Наприклад, у качанах пурпурного кольору частка антоціанів становить 30–70% від загальної кількості фенолів і може збільшуватися за дії посухи, низької температури, ультрафіолетового випромінювання (Yonemaru et al., 2018). Антоціанова пігментація кукурудзи визначається 17 локусами кількісних ознак, які знаходяться на хромосомах 1–3, 6 и 10 (Yonemaru et al., 2018).

Завдяки антиоксидантній дії, що характеризує антоціани, активно розвивається вирощування темнозабарвлених зернових, овочів та фруктів. Із літературних джерел відома лінія кукурудзи тайського походження зі загальним умістом антоціанів 1556,4 мг/кг, з яких ціанідин-3-глюкозиду – 315,3 мг/кг (Harakotr et al., 2016).

Антоціани є ефективними протипухлинними препаратами (Herrera-Sotero et al., 2017), які здатні поліпшувати прогноз сотень тисяч хворих на рак в усьому світі і натеper є найбільш поширеними хіміотерапевтичними засобами, використовуваними для лікування раку крові, молочної залози, яєчників і легень (Petroni et al., 2017). Антоціани позитивно впливають на стан мікрофлори кишківника (Gálvez Ranilla et al., 2017). Дослідження фракцій антоціанів в умовах *in vitro* з використанням макрофагів RAW 264.7 та адіпоцитів 3T3-L1 показали, що ціанідин-3-глюкозид і пеонідин-3-глюкозид у вищій мірі, ніж пеларгонідин-3-глюкозид, володіють протизапальними і антидіабетичними властивостями (Zhang et al., 2019).

Людство все більше віддає перевагу натуральним органічним зерновим, які не тільки задовольняють первинні фізичні потреби, але й несуть користь для організму в цілому. Селекціонерами всього світу ведеться робота над створенням сортів сільськогосподарських культур не лише високоврожайних, але й насичених амінокислотами, вітамінами та іншими речовинами з антиоксидантними властивостями. Кукурудза з високим умістом антоціанів є перспективним природним аналогом хімічних харчових барвників, може виступати біододатком з антиоксидантними властивостями, що забезпечує її якості функціональної їжі (Dwivedi et al., 2016; Yonemaru et al., 2018).

Науковцями різних країн проведено низку досліджень впливу антоціанів, екстрагованих з кукурудзи, на перебіг інфекційних та інших хвороб у тварин.

У Таїланді розроблено антоціановий комплекс із ціанідину та дельфінідину, 70% якого становить кукурудза пурпурного забарвлення, який збільшує здатність поглинати вільні ради-

кали, зменшує запалення, пригнічує окиснювально-нітратний стрес і знижує пошкодження печінки і перидуктальний фіброз у хом'яків, інфікованих *Opisthorchis viverrini* (Intuyod et al., 2014).

При вивченні можливості застосування екстракту кукурудзи пурпурної в запобіганні розвитку орофасіальної аллодії у самців щурів визначено, що його ефективність знаходиться на рівні ацетилсаліцилової кислоти (Magni, 2018). Вживання кукурудзи блакитної як біологічної домішки до основного корму в дозі 6 г/день покращувало рефлекторність дорослих щурів (Aguirre-López et al., 2017). Антоціани кукурудзи пурпурної у дозі 200 мг/кг протягом 12-тижневого експерименту пом'яксували окиснювальний стрес від ожиріння і сприяли зниженню маси тіла на 16,6% у мишей, раціон яких містив підвищену кількість жирів (Wu et al., 2017). Екстракт кукурудзи блакитної знижував артеріальний тиск, рівень тригліцеридів у сироватці крові, загальний холестерин і масу жирової тканини у щурів (Guzmán-Gerónimo et al., 2017). Споживання антоціанів у кількості 150–2000 мг/день є безпечним для людини. Їхній рівень в плазмі крові досягає максимуму через 2 год після прийому і спостерігається протягом 8 год (Makarevich et al., 2010).

Отже, у зв'язку з незбалансованістю харчування людей, їх постійним психологічним та фізичним напруженням, поширенням захворювань різної етимології вирощування сільськогосподарських культур з високим умістом антоціанів та отримання антиоксидантів із продуктами харчування є досить сучасним і конче потрібним. Кукурудза цукрова належить до цінних, корисних харчових культур (Klimova, 2013), тому доцільним є пошук і створення генотипів кукурудзи цукрової з підвищеним умістом антоціанів у зерні. В Україні вирощування кукурудзи цукрової з антоціановим забарвленням тільки набуває поширення, а селекційні дослідження зі створення нових генотипів кукурудзи цукрової зі зерном антоціанового забарвлення стають назрілими.

Мета нашого дослідження – визначення загального вмісту антоціанів та вмісту їхніх окремих фракцій у зерні генотипів кукурудзи цукрової білого та багряного забарвлення.

Матеріал і методи досліджень

Матеріалом дослідження слугували такі генотипи кукурудзи (*Zea mays* L.): лінія кукурудзи цукрової CE401 зі зерном білого забарвлення та популяція F₄(CE401×Чорностеблова) зі зерном багряного забарвлення. Популяцію F₄(CE401×Чорностеблова) отримано в результаті трьох послідовних самозапилення простого гібрида CE401×Чорностеблова. Дослідження проведено в лабораторії біотехнології Державної установи Інститут зернових культур НААН в 2018 році.

Уміст антоціанів у зерні визначали у фазі молочної стиглості, яка співпадає з технічною стиглістю, зокрема, на 21-у добу від самозапилення. Визначення вмісту антоціанів проводили модифікованим методом диференційної спектрофотометрії (Giusti & Wrolstad, 2001; Rodriguez-Saona & Wrolstad, 2001). За методикою цих дослідників отримано й колір досліджених видів і форм антоціанів та довжину хвиль світлового потоку, використані для їхньої візуалізації при спектрофотометрії (табл. 1). Загальний вміст антоціанів у зерні кукурудзи цукрової розраховували як суму вмісту всіх проаналізованих видів і форм.

Таблиця 1. Характеристика видів та форм антоціанів (Giusti & Wrolstad, 2001; Rodriguez-Saona & Wrolstad, 2001)

Вид і форма антоціанів	Довжина хвилі для візуалізації, нм	Молекулярний коефіцієнт поглинання E, м ² ·моль	Колір антоціанів
Ціанідин	510,5	24 600	помаранчево-червоний
Ціанідин-3-глюкозид	512,0	18 800	помаранчево-червоний
Дельфінідин	522,5	34 700	синьо-червоний
Дельфінідин-3-глюкозид	520,0	23 700	синьо-червоний
Пеларгонідин	504,5	17 800	помаранчевий
Пеларгонідин-3-глюкозид	516,0	31 620	помаранчевий
Пеонідин	511,0	37 200	помаранчево-червоний
Пеонідин-3-глюкозид	512,0	14 100	помаранчево-червоний

Дослідження проводили у п'яти біологічних і трьох аналітичних повторностях. Статистичний аналіз результатів здійснювали за (Weaver et al., 2017). Результати вмісту антоціанів у зерні на 21-у добу від самозапилення наведено за 70%-вої вологості і представлено у табличному матеріалі у вигляді $x \pm m/0,05$, де x – середнє арифметичне значення показника; m – похибка середнього арифметичного значення; $t/0,05$ – критерій Стюдента для рівня значущості 0,05.

Результати

Загальний вміст проаналізованих видів і форм антоціанів на 21-у добу після самозапилення за 70%-вої вологості в білому зерні лінії SE401 становив 0,117%, а в багрянному зерні популяції F₄(SE401×Чорностеблова) сягав 0,295% від вологої маси зерна цих генотипів (табл. 2). Як бачимо, загальний вміст антоціанів у зерні багрянозернової популяції F₄(SE401×Чорностеблова) перебільшував їхній вміст у зерні білозерної лінії SE401 у 2,5 раза.

Сумарний вміст глюкозильованих форм антоціанів у зерні достовірно переважав сумарний вміст неглюкозильованих форм в обох генотипів у майже однаковій пропорції: в 1,752 раза у SE401 і 1,753 раза у F₄(SE401×Чорностеблова). Порівняння ж вмісту двох форм антоціанів між генотипами

вказує на достовірне збільшення (у 2,513 раза) у популяції F₄(SE401×Чорностеблова) як сумарного вмісту неглюкозильованих форм, так і сумарного вмісту глюкозильованих форм відносно лінії SE401. Подібне порівняння свідчить про достовірне перебільшення вмісту в зерні всіх окремих фракцій обох форм антоціанів у F₄(SE401×Чорностеблова) стосовно SE401, яке становило 2,2 раза для пеларгонідину та 2,7 раза для решти неглюкозильованих форм. Уміст окремих видів глюкозильованих форм антоціанів у F₄(SE401×Чорностеблова) перевищував аналогічні показники у SE401 у 2,4 раза для дельфінідин-3-глюкозиду, у 2,5 раза для ціанідин-3-глюкозиду та пеонідин-3-глюкозиду та у 2,6 раза для пеларгонідин-3-глюкозиду. Тобто антоціани містилися в незрілому зерні як білого, так і багряного кольору. Разом з тим, як загальний вміст, так і вміст окремих проаналізованих видів і форм антоціанів достовірно розрізнявся в різних генотипів кукурудзи цукрової і суттєво збільшувався з появою інтенсивного багряного забарвлення зерна.

Відсоткове співвідношення видів і форм антоціанів показало, що сумарна частка досліджених неглюкозильованих форм антоціанів у зерні генотипів цукрової кукурудзи з білим та багряним забарвленням становила відповідно 36,34% і 36,32%, а глюкозильованих 63,66% і 63,68% (табл. 2). Розподіл часток окремих проаналізованих видів антоціанів для

Таблиця 2. Уміст антоціанів та співвідношення видів і форм антоціанів у зерні генотипів кукурудзи цукрової на 21-у добу від самозапилення за 70% вологості зерна

Речовина	Уміст антоціанів, мг/кг зерна		Співвідношення видів і форм антоціанів, %	
	лінія SE401 (колір зерна білий)	популяція F ₄ (SE401×Чорностеблова) (колір зерна багрянний)	лінія SE401 (колір зерна білий)	популяція F ₄ (SE401×Чорностеблова) (колір зерна багрянний)
Неглюкозильовані форми антоціанів				
Ціанідин	106,3±2,1	288,2±5,3	9,05	9,76
Пеларгонідин	174,6±2,8	391,6±2,5	14,86	13,27
Дельфінідин	72,9±3,8	194,9±2,6	6,21	6,60
Пеонідин	73,1±1,7	197,4±0,4	6,22	6,69
Разом	426,8±2,2	1072,1±6,2	36,34	36,32
Глюкозильовані форми антоціанів				
Ціанідин-3-глюкозид	230,7±15,0	580,4±9,1	19,64	19,67
Пеларгонідин-3-глюкозид	120,3±5,0	308,4±12,0	10,24	10,45
Дельфінідин-3-глюкозид	79,5±0,5	192,6±19,9	6,77	6,53
Пеонідин-3-глюкозид	317,2±20,6	797,9±12,4	27,01	27,03
Разом	747,7±5,0	1879,3±10,7	63,66	63,68
Усього антоціанів	1174,5±6,6	2951,4±11,2	100,00	100,00

обох форм досліджених генотипів залишався однаковим. Так, серед неглюкозильованих форм найбільший відсоток становив пеларгонідин, на другому місці знаходився ціанідин, а дельфінідин та пеонідин мали найменший і майже рівний внесок у загальний вміст антоціанів. Серед глюкозильованих форм в обох генотипів найбільша частка припадала на пеонідин-3-глюкозид, друге місце, як і для неглюкозильованих форм, посідав ціанідин-3-глюкозид, на третьому місці знаходився пеларгонідин-3-глюкозид, а найменшим внеском, як і раніше, характеризувався дельфінідин-3-глюкозид. Тобто за максимальним і мінімальним значенням внеску в сумарну частку неглюкозильованих і глюкозильованих форм антоціанів в обох проаналізованих генотипів пеларгонідин і пеонідин змінювалися місцями.

Аналіз співвідношення часток різних видів і форм антоціанів у незрілому зерні генотипів кукурудзи цукрової з різним забарвленням зерна показує, що посилення кольору від білого до багряного відбувається на фоні їхнього незначного перерозподілу. Зокрема, за інтенсифікації забарвлення відбувається зменшення пеларгонідину на 1,59% за перерозподілу цієї частки на збільшення ціанідину на 0,71%, пеонідину на 0,47%, дельфінідину на 0,39% та глюкозильованих форм на 0,02%. Зміна кольору зерна супроводжується змінами і у співвідношенні глюкозильованих форм антоціанів. Так, у $F_4(CE401 \times \text{Чорностеблова})$ порівняно з CE401 зменшується частка дельфінідин-3-глюкозиду на 0,24%, натомість збільшується частка пеларгонідин-3-глюкозиду на 0,21%, ціанідин-3-глюкозиду на 0,03% і пеонідин-3-глюкозиду на 0,02% за загального збільшення частки глюкозильованих форм на 0,02%.

Обговорення

У дослідженні двох китайських ліній встановлено, що у лінії Na0414 присутні три основні види антоціанів – ціанідин-3-глюкозид, пеларгонідин-3-глюкозид і пеонідин-3-глюкозид, які розташовувалися лише в перикарпі, а в лінії Na6130 – два основні компоненти – ціанідин-3-глюкозид і пеларгонідин-3-глюкозид і лише в алейроновому шарі (Li et al., 2019). В американських зразках кукурудзи синьої серед ідентифікованих п'яти фракцій антоціанів переважали ціанідин-3-глюкозид, пеларгонідин і пеонідин-3-глюкозид; їхній вміст зменшувався у напрямку ціанідин-3-глюкозид → пеларгонідин → пеонідин-3-глюкозид (Nankar et al., 2016). Для 8 проаналізованих робіт інші автори відзначили широку межі варіювання за вмістом ціанідин-3-глюкозиду в забарвленому зерні кукурудзи – від 10,0 до 9630 мг/кг (Dwivedi et al., 2016).

Під час дослідження вмісту антоціанів у зерні кукурудзи встановлено, що лінія з білим качаном і білим зерном містила $0,5 \pm 0,0$ мг/кг ціанідин-3-глюкозиду, $0,5 \pm 0,1$ мг/кг пеларгонідин-3-глюкозиду та $0,3 \pm 0,0$ мг/кг пеонідин-3-глюкозиду зі загальним вмістом антоціанів $2,6 \pm 0,1$ мг/кг, а лінія з фіолетовим качаном та фіолетовим зерном – $315,3 \pm 1,2$, $106,7 \pm 5,0$, та $133,2 \pm 1,5$ мг/кг відповідних фракцій антоціанів із їхнім загальним вмістом $1556,4 \pm 4,5$ мг/кг (Narakotr et al., 2016).

У нашому дослідженні в лінії кукурудзи цукрової CE401 з білим зерном та популяції $F_4(CE401 \times \text{Чорностеблова})$ з багряним зерном у фазі молочної стиглості на 21-у добу після запилення вміст глюкозильованих форм антоціанів майже у два рази перевищував вміст неглюкозильованих форм, серед глюкозильованих форм в обох генотипів переважав пеонідин-3-глюкозид, а серед неглюкозильованих – пеларгонідин. Аналогічний розподіл умісту за фракціями спостерігався нами в зрілому зерні раніше досліджених генотипів Дніпровської селекційної програми ІКС3202 із жовтим зерном, K1 із багряним і C1 із темно-синім зерном (Psolova et al., 2017). Отже, за порівняння генотипів кукурудзи цукрової з Дніпровської селекційної програми і світових зразків кукурудзи кольорової з антоціано-

вим забарвленням виявляється певне варіювання за фракціями, що переважають.

Загальний вміст антоціанів для американських генотипів із зерном синього кольору становив 430 мг/кг (Nankar et al., 2016). В інших дослідженнях вміст антоціанів у перерахунку на ціанідин-3-глюкозид у зерні кукурудзи синього кольору дорівнював 373,0 мг/кг зерна (Vazquez-Carrillo et al., 2018), у зерні пурпурового забарвлення – 430,2 мг/кг (Hwang et al., 2016).

Колектив учених виявив у зерні генотипу кукурудзи, відомого як “генетичний маркер Чейза”, загальний вміст антоціанів на рівні $470,0 \pm 180,0$ мг/кг (Tretyakov et al., 2012). Для п'яти гібридів кукурудзи зі зерном блакитного кольору цей показник коливався від $646,0 \pm 10,0$ до $1052,0 \pm 27,0$ мг/кг (Urias-Lugo et al., 2015), а в дослідженнях інших сягав навіть $310040,0$ мг/кг (Gálvez Ranilla et al., 2017).

На жаль, у цитованих роботах не вказано, за якої вологості зерна розраховано вміст антоціанів, але підкреслюється що цей показник визначено для зрілого зерна. Отже, загальний вміст антоціанів у зерні світових зразків кукурудзи залежно від кольору варіює в діапазоні $2,6$ – $9630,0$ мг/кг, а в окремому випадку сягає $310040,0$ мг/кг. У нашому дослідженні для незрілого зерна кукурудзи цукрової в період споживання – фазі молочної стиглості – загальний вміст антоціанів становив $1174,5 \pm 6,6$ мг/кг для білого зерна та $2951,4 \pm 11,2$ мг/кг для пурпурного зерна за 70%-вої вологості. Для порівняння отриманих нами даних із даними інших дослідників зазначимо, що за перерахунку для зерна з вологістю 14% вміст антоціанів для генотипу з білим зерном становитиме $3366,9$ мг/кг, а для генотипу з багряним зерном – $8460,7$ мг/кг. У разі перерахунку на абсолютно суху речовину загальний вміст антоціанів, відповідно, дорівнюватиме $3915,0$ мг/кг і $9838,0$ мг/кг.

Узагальнення власних результатів і літературних відомостей показує, що в білому зерні кукурудзи вміст антоціанів може суттєво розрізнятися, від $2,6 \pm 0,1$ мг/кг (Narakotr et al., 2016) до $1174,5 \pm 6,6$ мг/кг у фазі молочної стиглості в нашому дослідженні. Загальний вміст антоціанів, отриманий в популяції кукурудзи цукрової з багряним зерном, був на рівні генотипів із кольоровим зерном, отриманим у світовій практиці.

Високим є вміст антоціанів у забарвлених у фіолетовий колір вегетативних органах рослин кукурудзи – листках, стрижнях, стеблах. Так, вміст антоціанів у листках кукурудзи варіював у межах 90 – 44300 мг/кг при середньому значенні 17800 мг/кг (Gu et al., 2018), а за даними М. Ю. Третьякова зі співавторами (2012) – $41400,0 \pm 5000,0$ мг/кг. Однак, невідомо, як цей рівень антоціанів пов'язаний з вологістю листків. У стрижнях вміст антоціанів становив $2881,7 \pm 4,7$ мг/кг (Narakotr et al., 2016). У дослідженні, проведеному для генотипів кукурудзи Дніпровської селекційної програми, вміст антоціанів у стеблі темно-фіолетового забарвлення дорівнював $38362,33 \pm 1081,2$ мг/кг (Psolova et al., 2018), загальний вміст антоціанів у висівках зерна фіолетового кольору – $3625,0 \pm 105,0$ мг/кг (Chen et al., 2018). Отже, можна припустити, що в забарвлених у багряний чи фіолетовий колір вегетативних частин рослин кукурудзи загалом міститься більше антоціанів, ніж у зерні, але остаточний висновок можна буде зробити за стандартизації методів визначення антоціанів та обов'язкового перерахунку значень показників на однаковий рівень вологості біологічного матеріалу.

Висновки

Отже, з інтенсифікацією забарвлення зерна кукурудзи цукрової від білого до багряного зростає рівень загального вмісту антоціанів у 21-добовому після самозапилення зерні. Істотних коливань у відсотковому співвідношенні фракцій антоціанів між двома дослідженими генотипами кукурудзи цукрової з білим (лінія CE401) та багряним (популяція $F_4(CE401 \times \text{Чор-$

ностеблова) забарвленням зерна не спостерігалось. В обох генотипів вміст глюкозильованих форм антоціанів перевищував вміст неглюкозильованих форм. Серед глюкозильованих форм в обох генотипів переважав пеонідин-3-глюкозид, а серед неглюкозильованих – пеларгонідин. Інтенсивність забарвлення зерна кукурудзи цукрової в багрянний колір залежить не від вмісту чи співвідношення окремих видів і форм антоціанів, а від їхнього загального вмісту. Високий вміст антоціанів у зерні кукурудзи цукрової з багрянним його забарвленням робить доцільним споживання її як джерела антиоксидантів та функціональної їжі.

Висловлюємо подяку С. І. Белікову, кандидату сільськогосподарських наук, за надання насіння лінії CE401 та популяції Чорностеблова.

References

- Aguirre-López, L. O., Chavez-Servia, J. L., Gomez-Rodiles, C. C., & Beltran-Ramírez, J. C. (2017). Blue corn tortillas: effects on learning and spatial memory in rats. *Plant Foods for Human Nutrition*, 72, 448–450. doi: [10.1007/s11130-017-0642-1](https://doi.org/10.1007/s11130-017-0642-1).
- Chen, L., Yang, M., Mou, H., & Kong, Q. (2018). Ultrasound-assisted extraction and characterization of anthocyanins from purple corn bran. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(1), e13377. doi: [10.1111/jfpp.13377](https://doi.org/10.1111/jfpp.13377)
- Dwivedi, S. L., Upadhyaya, H. D., Chung, I. M., De Vita, P., García-Lara, S., Guajardo-Flores, D., & Ortiz, R. (2016). Exploiting phenylpropanoid derivatives to enhance the nutraceutical values of cereals and legumes. *Frontiers in plant science*, 7, 1–27. doi: [10.3389/fpls.2016.00763](https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00763)
- Fernandez-Aulis, F., Hernandez-Vazquez, L., Aguilar-Osorio, G., Arrieta-Baez, D., & Navarro-Ocana, A. (2019). Extraction and identification of anthocyanins in corn cob and corn husk from cacahuacintle maize. *Journal of Food Science*, 84(5), 954–962. doi: [10.1111/1750-3841.14589](https://doi.org/10.1111/1750-3841.14589)
- Gálvez-Ranilla, L., Christopher, A., Sarkar, D., Shetty, K., Chirinos, R., & Campos, D. (2017). Phenolic composition and evaluation of the antimicrobial activity of free and bound phenolic fractions from a peruvian purple corn (*Zea mays* L.) accession. *Journal of Food Science*, 82(12), 2968–2976. doi: [10.1111/1750-3841.13973](https://doi.org/10.1111/1750-3841.13973).
- Giusti, M. M., & Wrolstad, R. E. (2001). Characterization and measurement of anthocyanins by UV-Visible spectroscopy. *Current protocols in food analytical chemistry*, 1, 683–695. doi: [10.1002/0471142913.faf0102s00](https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00)
- Gu, X., Cai, W., Fan, Y., Ma, Y., Zhao, X., & Zhang, C. (2018). Estimating foliar anthocyanin content of purple corn via hyperspectral model. *Food science & nutrition*, 6(3), 572–578. doi: [10.1002/fsn3.588](https://doi.org/10.1002/fsn3.588)
- Guzmán-Gerónimo, R. I., Alarcón-Zavaleta, T. M., Oliart-Ros, R. M., Meza-Alvarado, J. E., Herrera-Meza, S., & Chávez-Servia, J. L. (2017). Blue corn extract improves blood pressure, lipid profile and fatty tissue in metabolic syndrome with a high content of sucrose in rats. *Journal of Medicinal Food*, 20(2), 110–115. doi: [10.1089/jmf.2016.0087](https://doi.org/10.1089/jmf.2016.0087)
- Harakotr, B., Suriham, K. L., & Scott, M. P. (2016). Genetic analysis of anthocyanin content in purple waxy corn (*Zea mays* L. Var. Certain kulesh) kernel and cob. *Journal of Breeding and Genetics*, 48(2), 230–239.
- Herrera-Sotero, M., González-Cortés, F., García-Galindo, H., Juárez-Aguilar, E., Rodríguez-Dorantes, M., Chávez-Servia, J., Oliart-Ros, R., & Guzmán-Gerónimo, R. (2017). Anthocyanin profile of red maize native from mixteco race and their antiproliferative activity on cell line DU145. *Flavonoids-From Biosynthesis to Human Health*, 595–617. doi: [10.5772/67809](https://doi.org/10.5772/67809)
- Hwang, S. H., Kwon, S. H., Wang, Z., Kim, T. H., Kang, Y. H., Lee, J. Y., & Lim, S. S. (2016). Optimization of extraction parameters of PTP1β (protein tyrosine phosphatase 1β), inhibitory polyphenols, and anthocyanins from *Zea mays* L. using response surface methodology (RSM). *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 16(1), 1–10. doi: [10.1186/s12906-016-1296-5](https://doi.org/10.1186/s12906-016-1296-5)
- Intuyod, K., Priprem, A., Limphirat, W., & Charoensuk, L. (2014). Anti-inflammatory and anti-periductal fibrosis effects of an anthocyanin complex in *Opisthorchis viverrini*-infected hamsters. *Food and Chemical Toxicology*, 74, 206–215. doi: [10.1016/j.fct.2014.09.021](https://doi.org/10.1016/j.fct.2014.09.021)
- Khoo, H. E., Azlan, A., Tang, S. T., & Lim, S. M. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food & Nutrition Research*, 61(1), 1361779. doi: [10.1080/16546628.2017.1361779](https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1361779)
- Klimova, O. E. (2013). Rekombinantni linii cukrovoi kukurudzi – novi dzherela selekciyno-cinnih oznak [Sweet maize recombinant lines – a new sources of valuable traits for breeding]. *Genetic Resources of Plants*, 12, 63–72 (in Ukrainian).
- Lao, F., & Giusti, M. M. (2018). Extraction of purple corn (*Zea mays* L.) cob pigments and phenolic compounds using food-friendly solvents. *Journal of Cereal Science*, 80, 87–93. doi: [10.1016/j.jcs.2018.01.001](https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.01.001)
- Li, T., Zhang, W., Yang, H., Dong, Q., Ren, J., Fan, H., & Zhou, Y. (2019). Comparative transcriptome analysis reveals differentially expressed genes related to the tissue-specific accumulation of anthocyanins in pericarp and aleurone layer for maize. *Scientific reports*, 9(1), 2485. doi: [10.1038/s41598-018-37697-y](https://doi.org/10.1038/s41598-018-37697-y)
- Magni, G., Marinelli, A., Riccio, D., Lecca, D., Tonelli, Ch., Abbraccio, M. P., Petroni, K., & Ceruti, S. (2018). Purple corn extract as anti-allodynic treatment for trigeminal pain: role of microglia. *Front Cell Neurosci*, 12, 1–11. doi: [10.3389/fn-cel.2018.00378](https://doi.org/10.3389/fn-cel.2018.00378)
- Makarevich, A. M., Shutova, A. G., Spiridonovich, E. V., & Reshetnikov, V. N. (2010). Funkcii i svojstva antocianov rastitelnogo syrya [Functions and properties of plant anthocyanins]. *Works of BSU*, 4(2), 147–157 (in Russian).
- Nankar, A. N., Dungan, B., Paz, N., Sudasinghe, N., Schaub, T., Holguin, F. O., & Pratt, R. C. (2016). Quantitative and qualitative evaluation of kernel anthocyanins from southwestern United States blue corn. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(13), 42–52. doi: [10.1002/jsfa.7671](https://doi.org/10.1002/jsfa.7671).
- Petroni, K., Trinei, M., Fornari, M., Calvenzani, V., Marinelli, A., Micheli, L. A., Pilu, R., Matros, A., Mock, H. P., Tonelli, C., & Giorgio, M. (2017). Dietary cyanidin 3-glucoside from purple corn ameliorates doxorubicin-induced cardiotoxicity in mice. *Nutrition, metabolism and cardiovascular diseases*, 27, 462–469. doi: [10.1016/j.numecd.2017.02.002](https://doi.org/10.1016/j.numecd.2017.02.002)
- Psolova, A. O., Derkach, K. V., Bielikov, Ye. I., & Satarova, T. M. (2018). Vmist antocianiv u stebli riznih genotipiv kukurudzi [The content of anthocyanins in stalks of different maize genotypes]. *Grain Crops*, 2(2), 218–225 (in Ukrainian). doi: [10.31867/2523-4544/0028](https://doi.org/10.31867/2523-4544/0028)
- Psolova, A. O., Derkach, K. V., Bielikov, Ye. I., & Satarova, T. M. (2017). Vmist antocianiv v zerni kukurudzi riznogo koloru [Content of anthocyanins in maize grain of different color]. *Grain Crops*, 1(2), 242–247 (in Ukrainian).
- Rodríguez-Saona, L. E., & Wrolstad, R. E. (2001). Extraction, isolation, and purification of anthocyanins. *Current protocols in food analytical chemistry*, 1, 672–682. doi: [10.1002/0471142913.faf0101s00](https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0101s00)
- Tretyakov, M. Y., Khoroshilov, S. A., Sidorov, A. N., Chulkov, A. N., Deineka, V. I., & Deineka, L. A. (2012). Kukuruz kak istochnik antocianov [Corn as a source of anthocyanins]. *NTP: Agriculture and planting*, 9, 30–32 (in Russian).
- Urias-Lugo, D. A., Heredia, J. B., Serna-Saldivar, S. O., Muy-Rangel, M. D., & Valdez-Torres, J. B. (2015). Total phenolics, total anthocyanins and antioxidant capacity of native and elite blue

- maize hybrids (*Zea mays* L.). *CyTA – Journal of Food*, 13(3), 336–339, doi: [10.1080/19476337.2014.980324](https://doi.org/10.1080/19476337.2014.980324)
- Vazquez-Carrillo, M. G., Aparicio-Eusebio, L. A., Salinas-Moreno, Y., Buendía-Gonzalez, M. O., & Santiago-Ramos, D. (2018). Nutritional, physicochemical, and sensory properties of blue corn polvorones, a traditional flour-based confectionery. *Plant Foods for Human Nutrition*, 73(4), 321–327. doi: [10.1007/s11130-018-0692-z](https://doi.org/10.1007/s11130-018-0692-z)
- Wang, H., Nair, M. G., Strasburg, G. M., Chang, Y. C., Booren, A. M., Gray, J. I., & De Witt, D. L. (1999). Antioxidant and antiinflammatory activities of anthocyanins and their aglycon, cyanidin, from tart cherries. *Journal Natural Products*, 62(2), 294–296. doi: [10.1021/np980501m](https://doi.org/10.1021/np980501m)
- Weaver, K. F., Morales, V., Dunn, S. L., Godde, K. & Weaver, P. F. (2017). *An introduction to statistical analysis in research*. John Wiley & Sons, Inc., USA. doi: [10.1002/9781119454205](https://doi.org/10.1002/9781119454205)
- Wu, T., Guo, X., Zhang, M., Yang, L., Wu, T., & Guo, X. (2017). Anthocyanin in black rice, soybean and purple corn increase fecal butyric acid and prevent liver inflammation in high fat diet-induced obese mice. *Food & Function*, 8(9), 3178–3186. doi: [10.1039/C7FO00449D](https://doi.org/10.1039/C7FO00449D)
- Yonemaru, J. I., Miki, K., Choi, S., Kiyosawa, A., & Goto, K. (2018). A genomic region harboring the P11 allele from the Peruvian cultivar JC072A confers purple cob on Japanese flint corn (*Zea mays* L.). *Breeding science*, 68(5), 582–586. doi: [10.1270/jsbbs.18090](https://doi.org/10.1270/jsbbs.18090)
- Zhang, Q., de Mejia, E. G., Luna-Vital, D., Tao, T., Chandrasekaran, S., Chatham, L., Juvik, J., Singh, V., & Kumar, D. (2019). Relationship of phenolic composition of selected purple maize (*Zea mays* L.) genotypes with their anti-inflammatory, anti-adipogenic and anti-diabetic potential. *Food Chemistry*, 289, 739–750. doi: [10.1016/j.foodchem.2019.03.116](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.116)