

ВМІСТ АНТОЦІАНІВ У СТЕБЛІ РІЗНИХ ГЕНОТИПІВ КУКУРУДЗИ

А. О. Псьолова, К. В. Деркач, Є. І. Беліков, Т. М. Сатарова

Державна установа Інститут зернових культур НААН, вул. Володимира Вернадського, 14, м. Дніпро, 49027, Україна

Проведені дослідження зі з'ясування вмісту антоціанів та їхніх глюкозидів в зелених і темно-фіолетових стеблах кукурудзи. Виявлено залежність між забарвленням стебел досліджуваних генотипів кукурудзи і кількісним вмістом в них антоціанів. Темно-фіолетове забарвлення стебла рослин кукурудзи популяції Чорностеблова пов'язано із суттєвим збільшенням в ньому загального вмісту антоціанів (до 38362,33 мг/кг) порівняно з генотипами, які мають зелене стебло і для яких цей показник становить 168,6–996,1 мг/кг. Інтенсифікація забарвлення стебла (до темно-фіолетового) у рослин популяції Чорностеблова відбувається за рахунок посідання неглюкозильованих і глюкозильованих форм усіх видів антоціанів, серед яких переважають неонідин (27,31 %) та ціанідин (21,72 %). У рослин цієї популяції антоціани становлять 3,83 % від сухої маси стебла. Оскільки антоціани є антиоксидантами і часто використовуються як харчові домішки для збагачення раціону людини і тварин, перспективним є використання стебла кукурудзи популяції Чорностеблова як сировини для виготовлення біологічної добавки E163-"антоціани".

Ключові слова: *Zea mays* L., антиоксиданти, антоціани, стебло, генотип.

Серед рослинних пігментів антоціани являють собою найбільшу групу. Вони належать до класу флавоноїдів і надають забарвлення рослинним тканинам – від помаранчево-червоного до чорно-фіолетового [1]. На відміну від хлорофілу антоціани є позапластидними пігментами, які зосереджені у вакуолях [2]. У вищих рослин, зокрема кукурудзи, ідентифіковано п'ять основних видів антоціанів – ціанідин, пеларгонідин, дельфінідин, мальвідин та неонідин, а також їхні 3-глюкозильовані форми, що утворюються в результаті приєднання залишку глюкози до третього вуглецевого атома в молекулі антоціану [3].

Антоціани разом з поліфенолами, танінами і каротиноїдами є найвідомішими ан-

тиоксидантами. Людина і тварини одержують антоціани лише з їжею. Наявність в харчуванні продуктів, збагачених антиоксидантами, в тому числі антоціанами, знижує ризик судинних захворювань, виникнення пухлин; також вони відзначаються антимурагенною дією [4–6]. Як харчова і дієтична домішка антоціани зареєстровані в Європейському Союзі у розділі E100-E199 (барвники) під номером E163 [1–3].

У зв'язку з тим, що антиоксиданти часто використовуються як харчові домішки у збалансованому раціоні людини і тварин, оцінка сільськогосподарських культур на вміст антоціанів, зокрема кукурудзи, є досить актуальною. В Україні роботи у напрямку створення генотипів кукурудзи з контролю-

Інформація про авторів:

Псьолова Анна Олексіївна, молодший науковий співробітник лаб. біотехнології,

e-mail: annapselova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5533-8672>

Деркач Катерина Володимирівна, канд. біологічних наук, науковий співробітник лаб. біотехнології,

e-mail: kvderkach@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1871-9585>

Беліков Євген Ілліч, кандидат с.-г. наук, провідний науковий співробітник лаб. селекції кукурудзи харчового напрямку використання, e-mail: Belikovevgen@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2039-6642>

Сатарова Тетяна Миколаївна, доктор біологічних наук, професор, завідувач лаб. біотехнології,

e-mail: Satarova2008@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0002-5571-1139>

ваним вмістом антоціанів тільки набувають свого розвитку.

Мета дослідження – визначення вмісту видів і форм антоціанів у стеблах різних генотипів кукурудзи, які різняться за забарвленням.

Матеріали та методи дослідження. Матеріалом для дослідження були генотипи кукурудзи (*Zea mays* L.): популяція Білосніжка (кукурудза цукрова зі стеблом зеленого кольору), лінії кременистої кукурудзи (АіД121, ІКС226, БС4626-6/1, БС37-10 та АП178-325) зі стеблом зеленого кольору і популяція Чорностеблова (кукурудза зубовидна зі стеблом темно-фіолетового кольору). Рослини для аналізу вирощували 2016 р. в польових умовах за методикою польового досліду на базі Державного підприємства «Дослідне господарство Дніпро» Державної установи Інститут зернових культур НААН (Дніпропетровська область) [7].

Вміст антоціанів визначали модифікованим методом диференціальної спектрофотометрії [8, 9]. Наважку рослинного матеріалу масою 0,5 г заливали 5 мл 96 %-ного етилового спирту, підкисленого 0,1 % соляною кислотою, одержану суміш добре перемішували і залишали на дві години у щільно закритому посуді, впродовж яких вміст колби періодично перемішували. Одержану суспензію фільтрували за допомогою насоса Камовського. Відфільтрований осад тричі про-

мивали 2 мл підкисленого етилового спирту. В пробірку Eppendorf об'ємом 1,5 мл переносили 1,4 мл фільтрату, потім її центрифугували (13000 обертів/хв.) протягом 10 хв. По 0,4 мл надосадової рідини переносили до двох колб, які містили по 15 мл двох різних буферів. Перший буфер – розчин хлориду калію в концентрації 0,025 М, рН 1,0; другий – розчин ацетату натрію в концентрації 0,4 М, рН 4,5. Таким чином одержували зразки, розведені в 38,5 раза. Давали рідинам врівноважитися протягом 15 хв., і не пізніше 30 хв. від змішування зразка з буфером вимірювали оптичну густину одержаних розчинів на спектрофотометрії СФ-2000. Контролем була кювета з дистильованою водою. Встановлювали вміст окремих видів антоціанів: ціанідину, пеларгонідину, дельфінідину, пеонідину, мальвідину і їхніх 3-глюкозильованих форм. Згідно з науковими даними в таблиці 1 наведено колір досліджуваних видів і форм антоціанів та довжину хвилі світлового потоку для їхньої візуалізації при спектрофотометрії [8, 9]. Загальний вміст антоціанів у стеблі кукурудзи розраховували як суму вмісту їхніх видів і форм. Щодо загального вмісту неглюкозильованих форм антоціанів, визначали їх як суму вмісту ціанідину, пеларгонідину, дельфінідину, мальвідину та пеонідину, а загального вмісту 3-глюкозильованих форм антоціанів – як суму вмісту їхніх 3-глюкозидів.

1. Характеристика видів і форм антоціанів

Види і форми 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	18 800	помаранчево-червоний
Дельфінідин	522,5	34 700	синьо-червоний
Дельфінідин-3-глюкозид	520	23 700	синьо-червоний
Пеларгонідин	504,5	17 800	помаранчевий
Пеларгонідин-3-глюкозид	516	31 620	помаранчевий
Пеонідин	511	37 200	помаранчево-червоний
Пеонідин-3-глюкозид	512	14 100	помаранчево-червоний
Мальвідин	520	37200	синьо-червоний
Мальвідин -3-глюкозид	535	36400	синьо-червоний

Визначення вмісту антоціанів проводили в період цвітіння кукурудзи, для аналізу використовували восьме міжвузля стебла. За біологічну повторність обирали окрему рос-

лину, дослідження проводилися у п'яти біологічних і п'яти аналітичних повтореннях. Вміст антоціанів наведено у перерахунку на 1 кг абсолютно сухої маси стебла однієї рос-

лини. У ході дослідження визначали вологість зразків [10]. Статистичний аналіз даних проводили за Л. О. Атраментовою [11]. В таблицях результати показані як $X \pm mt_{0,05}$, де X – середнє арифметичне значення показника, m – похибка середнього арифметичного значення, $t_{0,05}$ – критерій Стюдента для рівня значущості 0,05.

Результати дослідження. Вологість досліджуваних зразків стебел кукурудзи становила 24,4–37,4 % і була врахована при розрахунках вмісту антоціанів на 1 кг абсолютно сухої маси стебла.

Як видно з таблиці 2, загальний вміст антоціанів в стеблі досліджуваних генотипів кукурудзи коливається в діапазоні 168,64–38362,23 мг/кг, тобто становить 0,02–3,83 % від абсолютно сухої маси стебла. За загальним вмістом антоціанів у стеблі зразки розподілялися на генотипи з низьким (168,64 мг/кг – популяція Білосніжка), середнім (338,89, 404,15, 425,93, 463,45 і 996,13 мг/кг відповідно у ліній АіД121, ІКС226, БС4626-6/1, БС37-10 і АП178-3253) і надвисоким вмістом антоціанів (38362,23 мг/кг – популяція Чорностеблова). Порівняння розміру довірчих інтервалів показників свідчить про суттєве варіювання як загального вмісту антоціанів, так і їхніх окремих видів і форм між деякими рослинами популяції Чорностеблова порівняно із генотипами, в яких стебло зеленого кольору (табл. 2). Таке явище може бути пов'язане як з суттєвим збільшенням середнього значення показників, так і з генетичною неоднорідністю окремих рослин популяції Чорностеблова.

Вміст видів та форм антоціанів у відсотковому співвідношенні в стеблі досліджуваних генотипів кукурудзи наведено в таблиці 3.

Загальний вміст 3-глюкозильованих форм антоціанів у стеблі кукурудзи становив близько $\frac{2}{3}$ від їхнього загального вмісту. Сума 3-глюкозидів антоціанів переважала суму їхніх неглюкозильованих форм в 1,45–2,73 раза, зокрема, залежно від генотипу в 1,45 раза – ІКС226, в 1,63 раза – Чорностеблова, в 1,92 раза – АіД121 і БС4626-6/1, в 1,95 раза – Білосніжка та в 2,31 і 2,73 раза – АП178-325 і БС37-10 відповідно.

На рисунку показано співвідношення окремих видів антоціанів у стеблі досліджу-

ваних генотипів кукурудзи за сумарним вмістом неглюкозильованої та глюकोзильованої форм.

Як видно з таблиць 2, 3 і рисунку, найбільшу частку в загальній кількості антоціанів щодо популяції Білосніжка становили форми дельфінідину (31,69 %) і пеларгонідину (27,88 %), ці показники є найбільшими порівняно зі значеннями інших досліджуваних генотипів. Найбільша частка антоціанів у решти сортозразків припадала на суму неглюкозильованої та глюкозильованої форм пеонідину (від 27,31 % у Чорностеблової до 31,41 % у БС 37-10).

Наступною найбільшою складовою антоціанів були форми мальвідину в популяції із зеленим стеблом: АіД121 (23,11 %), АП178-325 (23,25 %), БС4626-6/1 (24,08 %), БС37-10 (25,53 %) і ІКС226 (25,94 %) та ціанідину в популяції Чорностеблова (21,72 %). Отже, форми із зеленим стеблом, за виключенням Білосніжки, за характером розподілу видів антоціанів суттєво не відрізнялися від генотипу із темно-фіолетовим стеблом – Чорностеблової. Це свідчить про те, що значна інтенсивність забарвлення стебла популяції Чорностеблова пов'язана із суттєвим збільшенням у ньому вмісту всіх видів антоціанів порівняно з лініями, що мають зелене стебло. Разом з тим розподіл видів антоціанів за сумою неглюкозильованої та глюкозильованої форм у популяції Білосніжка суттєво відрізняється не тільки від популяції Чорностеблова, але й від інших генотипів із зеленим забарвленням стебла.

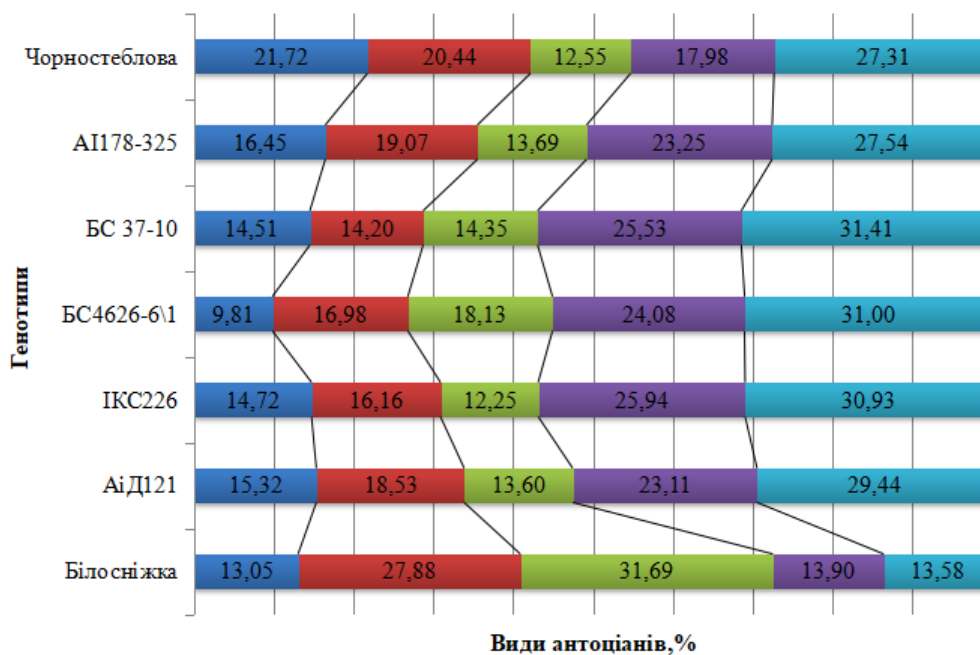
Отже, у досліджених генотипів із зеленим забарвленням стебла загальний вміст антоціанів варіював у широкому діапазоні – від 168,64 до 996,13 мг/кг, тобто різнився у 5,91 раза. Однак у популяції Чорностеблова з інтенсивним темно-фіолетовим забарвленням стебла загальний вміст антоціанів був значно вищий – у 38,5–227,5 раза, ніж у генотипів із зеленим стеблом. За раніше одержаними нами даними загальний вміст антоціанів у зерні кукурудзи із різним забарвленням варіює від 1385,3 мг/кг (у лінії ІКС202 з жовтим зерном) до 2691,0 мг/кг (у популяції К1 з багряним) і 6014,4 мг/кг (у популяції С1 із темно-синім зерном), дані для зерна вологістю 14 %) [12]. Таким чином, навіть у темно-синьому зерні вміст антоціанів майже у 6 ра-

2. Вміст антоціанів у стеблі генотипів кукурудзи

Види і форми антоціанів Генотип	Вміст, мг/кг						
	Білосніжка	АїД 121	ІКС 226	БС 4626-6\1	БС 37-10	АІ 178-325	Чорностеблова
Ціанідин	9,02 ± 0,9	23,52 ± 4,0	25,45 ± 5,9	22,37 ± 4,8	24,63 ± 5,4	67,11 ± 2,4	3412,31 ± 460,8
Пеларгонідин	12,74 ± 2,4	29,21 ± 3,2	31,82 ± 10,0	38,68 ± 8,7	24,63 ± 5,4	85,88 ± 6,0	3920,03 ± 529,4
Дельфінідин	16,51 ± 2,2	16,55 ± 2,7	20,66 ± 4,5	39,14 ± 7,0	22,11 ± 2,8	50,08 ± 3,1	2367,76 ± 338,1
Мальвідин	9,86 ± 0,9	19,43 ± 3,5	43,34 ± 18,6	25,94 ± 5,7	22,11 ± 2,8	50,24 ± 4,9	2485,72 ± 361,6
Пеонідин	8,96 ± 1,2	27,20 ± 12,3	43,41 ± 15,4	32,60 ± 5,6	20,08 ± 3,3	47,27 ± 2,8	2403,55 ± 352,9
Ціанідин-3-глюкозид	12,99 ± 1,0	28,41 ± 3,3	34,02 ± 10,6	23,10 ± 6,0	37,17 ± 5,1	96,75 ± 2,0	4920,20 ± 713,0
Пеларгонідин-3-глюкозид	34,11 ± 2,35	33,57 ± 7,5	33,52 ± 6,3	40,00 ± 8,9	35,85 ± 2,5	104,12 ± 32,0	3920,03 ± 529,4
Дельфінідин-3-глюкозид	36,93 ± 5,2	29,55 ± 4,3	28,85 ± 7,6	44,88 ± 10,0	39,00 ± 5,9	86,26 ± 8,4	2449,08 ± 328,6
Мальвідин-3-глюкозид	13,57 ± 1,1	58,89 ± 11,3	61,49 ± 19,4	85,67 ± 20,9	86,63 ± 8,9	181,41 ± 19,0	4413,43 ± 618,2
Пеонідин-3-глюкозид	13,95 ± 2,5	72,56 ± 13,8	81,59 ± 15,6	111,08 ± 22,5	113,72 ± 5,3	227,01 ± 14,8	8070,22 ± 983,2
Загальний вміст неглюкозилізованих форм антоціанів	57,09 ± 2,8	115,91 ± 4,6	164,68 ± 9,0	158,73 ± 6,6	113,56 ± 1,7	300,58 ± 14,4	14589,37 ± 620,2
Загальний вміст 3-глюкозилізованих форм антоціанів	111,55 ± 10,6	222,98 ± 17,5	239,47 ± 20,0	304,73 ± 31,8	312,37 ± 31,3	695,55 ± 54,3	23772,96 ± 1814,9
Всього антоціанів	168,64 ± 6,1	338,89 ± 10,9	404,15 ± 11,2	463,46 ± 17,4	425,93 ± 19,7	996,13 ± 36,4	38362,33 ± 1081,2

3. Співвідношення видів і форм антоціанів у стеблі генотипів кукурудзи

Види і форми антоціанів Генотип	Частка видів і форм антоціанів, %						
	Біло- сніж- ка	АіД 121	ІКС 226	БС 4626-6/1	БС 37-10	АІ 178- 325	Чорно- стеб- лова
Ціанідин	5,35	6,94	6,30	4,83	5,78	6,74	8,89
Пеларгонідин	7,55	8,62	7,87	8,35	5,78	8,62	10,22
Дельфінідин	9,79	4,88	5,11	8,45	5,19	5,03	6,17
Мальвідин	5,85	5,73	10,72	5,60	5,19	5,04	6,48
Пеонідин	5,31	8,03	10,74	7,03	4,71	4,75	6,27
Ціанідин-3-глюкозид	7,70	8,38	8,42	4,98	8,73	9,71	12,83
Пеларгонідин-3-глюкозид	20,33	9,91	8,29	8,63	8,42	10,45	10,22
Дельфінідин-3-глюкозид	21,90	8,72	7,14	9,68	9,16	8,66	6,38
Мальвідин-3-глюкозид	8,05	17,38	15,22	18,48	20,34	18,21	11,50
Пеонідин-3-глюкозид	8,27	21,41	20,19	23,97	26,70	22,79	21,04
Загальний вміст неглюкози- льованих форм антоціанів	33,85	34,20	40,74	34,26	26,65	30,18	38,03
Загальний вміст 3-глюкози- льованих форм антоціанів	66,15	65,80	59,26	65,74	73,35	69,82	61,97
Всього антоціанів	100	100	100	100	100	100	100



- Ціанідин + ціанідин-3-глюкозид
- Пеларгонідин + пеларгонідин-3-глюкозид
- Дельфінідин + дельфінідин-3-глюкозид
- Мальвідин + мальвідин-3-глюкозид
- Пеонідин + пеонідин-3-глюкозид

Рис. Співвідношення видів антоціанів у стеблі різних генотипів кукурудзи за сумарним вмістом неглюкозильованої та глюकोзильованої форм.

зів менший порівняно зі стеблом рослин популяції Чорностеблова. Водночас у жовтому зерні антоціанів міститься значно більше, ніж у зеленому стеблі проаналізованих генотипів.

Переважаання глюкозилуваних форм антоціанів, встановлене для стебла кукурудзи в даному дослідженні, є природним станом, оскільки в рослинах антоціани на $\frac{2}{3}$ містяться саме в глюкозилуваній формі, а присутність вільних неглюкозилуваних антоціанів свідчить або про їхній інтенсивний синтез, який не встигає супроводжуватися глюкозилуванням, або про розщеплення глюкозилуваних форм в процесі метаболізму [3]. Вміст 3-глюкозилуваних форм антоціанів також становив близько $\frac{2}{3}$ від загального вмісту антоціанів в зерні кукурудзи, причому дещо збільшувався при інтенсифікації забарвлення зерна від жовтого до темно-синього [12]. У досліджуваних нами генотипів кукурудзи із зеленим стеблом вміст глюкозилуваних форм варіював, проте не був пов'язаний із переходом зеленого забарвлення у темно-фіолетове.

Згідно з літературними даними, вміст ціанідин-3-глюкозиду в зерні кукурудзи генетичного маркера "Чейза" становив 470 мг/кг, тимчасом як у стеблі він був у 20,3 раза більший і дорівнював 9540 мг/кг [13]. У популяції С1, яка має темно-синє зерно і яку ми аналізували у попередніх дослідженнях, вміст

ціанідин-3-глюкозиду становив 526,6 мг/кг, а в стеблі рослин популяції Чорностеблова був у 9,4 раза більший – на рівні 4920,2 мг/кг [12].

Таким чином, підсилене темно-фіолетове забарвлення рослин популяції Чорностеблова пов'язано із суттєвим збільшенням загального вмісту антоціанів порівняно з генотипами із зеленим стеблом (у 38,5–227,5 раза) за рахунок внеску усіх видів і форм антоціанів – від дельфінідину (12,55 %) до пеонідину (27,31 %). Разом з тим на підставі наших досліджень встановлено, що у темно-синьому зерні міститься антоціанів у 4,3 раза більше порівняно з жовтим [12]. Причому в зерні на відміну від стебла з підсиленням забарвлення збільшується частка глюкозилуваних форм антоціанів, суттєво підвищується вміст мальвідин-3-глюкозиду і дельфінідин-3-глюкозиду.

Висновок

Проведені дослідження показали, що загальний вміст антоціанів у темно-фіолетовому стеблі рослин кукурудзи популяції Чорностеблова становить 3,83 % від його сухої маси і більш-менш рівномірно представлений всіма видами антоціанів. Одержані результати свідчать про перспективність використання стебел кукурудзи популяції Чорностеблова як джерела антиоксидантів при виготовленні біологічної добавки Е163-"антоціани".

Використана література

1. Khoo H. E., Azlan A., Tang S. T., Lim S. M. Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food Nutrition Research*. 2017. Vol. 61. № 1. URL:<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28970777>
2. Макаревич А. М., Шутова А. Г., Спиридонович Е. В., Решетников В. Н. Функции и свойства антоцианов растительного сырья. *Труды БГУ*. 2010. Т. 4. № 2. С.147–157.
3. Гергель О. В. Розробка методик аналізу антоціанів у свіжих плодах калини звичайної (*Viburnum opulus* L.). Фітотерапія. *Часопис*. № 4. 2013. С. 58–59.
4. Тараховский Ю. С., Ким Ю. А., Абдрасилов Б. С., Музафаров Е. Н. Флавоноиды: биохимия, биофизика, медицина / ред. Е. И. Маевский. Пушино: Synchronbook, 2013. 310 с.
5. Дурнова Н. А., Курчатова М. Н. Влияние растительных экстрактов на индукцию микроядер циклофосфаном в эритроцитах крови беспородных белых мышей. *Цитология*. Т. 57. № 6. 2015. С. 452–458.
6. Matsumoto H., Nakamura Y., Hirayama M., Yoshiki Y., Okubo K. Antioxidant activity of black currant anthocyanin aglycons and their glycosides measured by chemiluminescence in a neutral pH region and in human plasma. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. Vol. 50. № 18. 2002. P. 5034–5037.
7. Лебідь Є. М., Циков В. С., Пашенко Ю. М. Методика проведення польових дослідів з кукурудзою / Ін-т зерн. госп-ва УААН. Дніпро, 2008. 27 с.
8. Rodriguez-Saona Lu. E., Wrolstad R. E. Extraction, isolation, and purification of anthocyanins. Current protocols in food analytical chemistry. 2001. P. 672–682.
9. Giusti M. M., Wrolstad R. E. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. 2001. P. 683–695.
10. Чалаєв Д. М. Теплонасосна зерносушарка для насінневого зерна. Київ: ТОВ Поліграф Сервіс, 2012. 154 с.
11. Атраментова Л. О., Утевская О. М. Статистичні

методи в біології / ХНУ ім. В. Н. Каразіна. Харків: ХНУ, 2007. 288 с.

12. Псьолова А. О., Деркач К. В., Беліков Є. І., Сатарова Т. М. Вміст антоціанів в зерні кукурудзи різного кольору. *Зернові культури*. Дніпро, 2017. Т. 1. № 2. С. 242–246.
13. Третьяков М. Ю., Хорошилов С. А., Сидоров А. Н., Чулков А. Н. Кукуруза как источник антоцианов. *Достижения науки и техники АПК*. № 9. 2012. С. 30–32.

References

1. 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, URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28970777>
2. Makarevych, A. M., Shutova, A. H., Spirydonovych, Ye. V., Reshetnykov, V. N. (2010). Function and properties of plant anthocyanins. *Trudy BHU [Proceedings of the BHU]*, 4, 2. 147–157. [in Russian]
3. Herhel, O. V. (2013). The development of methods for analyzing anthocyanins in fresh fruits of Kalini (*Viburnum opulus* L.). *Phototherapy. Chasopys [Chasopie]*, 4, 58–59. [in Ukrainian]
4. Tarakhovskyy, Yu. S., Kym, Yu. A., Abdrasylov B. S., Muzafarov, E. N. (2013). Flavonoidy: biokhimiya, biofizyka, medytsyna. E. I. Mayevskyy (Ed.). Pushchino: Sunchrobook. [in Russian]
5. Durnova, N. A., Kurchatova, M. N. (2015). Vplyv rastytelnykh ekstraktiv na induktsiyu u mykroyader tsyklofosfanom v erytrotsytakh krovi bezporodnykh bilykh myshey. *Tsytolohiya [Cytology]*, 57, 6, 452–458. [in Russian]
6. Matsumoto, H., Nakamura, Y., Hirayama, M., Yoshiki Y., Okubo, K. (2002). Antioxidant activity of black currant anthocyanin aglycons and their glycosides measured by chemiluminescence in a neutral pH region and in human plasma. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 50, 18, 5034–5037.
7. Lebid, Ye. M., Tsykov, V. S., Pashchenko, Yu. M. (2008). *Metodyka provedennya polovnykh doslidiv z kukurudzoyu [Methodology conducted polovnykh doslidiv kukurudzoyu]*, Dnipro: N. p. [in Ukrainian]
8. Rodriguez-Saona, Lu. E., Wrolstad, R. E. (2001). Extraction, isolation, and purification of anthocyanins. *Current protocols in food analytical chemistry*. 672–682.
9. Giusti, M. M., Wrolstad, R. E. (2001). Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. 683–695.
10. Snyezhkin, Yu. F., Pazyuk, V. M., Petrova, Zh. O., Chalayev, D. M. (2012). *Teplonasosna zernosusharka dlya nasimnyevoho zerna [Heat Pump Grain Dryer for Seed Grains]*. Kyiv: TOV Polihraf Servis. [in Ukrainian]
11. Atramentova, L. O., Utevska, O. M. (2007). *Statystychni metody v biolohiyi [Statistical methods in biology]*, Kharkiv: KHNU. [in Ukrainian]
12. Psolova, A. O., Derkach, K. V., Byelikov, YE. I., Satarova, T.M. (2017). The content of anthocyanins in corn maize of different colors. *Zernovy kultury. [Grain Cultures]*, 1, 2. 242–246 [in Ukrainian]
13. Tretyakov, M. Yu., Khoroshylov, S. A., Sydorov, A. N., Chulkov, A. N. (2012). Kukuruzna yak dzherelo antotsianiv. *Dostyzhennya nauky i tekhniki APK [Achievements of science and technology]*, 9, 30–32.

УДК 581.192:633.15

Псьолова А. А., Деркач Е. В., Беліков Е. І., Сатарова Т. Н. Содержание антоцианов в стебле разных генотипов кукурузы.

Зерновые культуры. 2018. Т. 2. № 2. С. 218–225.

Государственное учреждение Институт зерновых культур НААН, ул. Владимира Вернадского, 14, Днепр, 49027, Украина

Исследовано содержание антоцианов и их гликозидов в зелёных и темно-фиолетовых стеблях кукурузы. Установлена зависимость между окраской стебля исследуемых генотипов кукурузы и количественным содержанием в нём антоцианов. Темно-фиолетовая окраска стебля растений кукурузы популяции Чорностеблова зависит от существенного увеличения в нём общего содержания антоцианов (до 38362,33 мг/кг) по сравнению с генотипами, имеющими зелёный стебель и для которых этот показатель составляет 168,6–996,1 мг/кг. Усиление окраски стебля (до темно-фиолетовой) в растений популяции Чорностеблова происходит за счет совмещения негликозилированных и гликозилированных форм всех видов антоцианов, большинство из них составляют неонидин (27,31 %) и цианидин (21,72 %). У растений этой популяции антоцианы составляют 3,83 % сухой массы стебля. Поскольку антоцианы являются антиоксидантами и часто используются как пищевые добавки с целью обогащения рациона человека и животных, стебли кукурузы популяции Чорностеблова целесообразно использовать в качестве источника для изготовления биологической добавки Е163-"антоцианы".

Ключові слова: *Zea mays* L., антиоксиданти, антоціани, стебло, генотип.

A large group of water-soluble pigments in the kingdom of plants are anthocyanins belonging to the class of flavonoids and providing a color from orange-red to black-violet. The presence of food products rich in antioxidants, including anthocyanins, reduces the risk of vascular diseases, the emergence of tumors, it has an anti-mutagenic effect. Anthocyanins are registered in the European Union as a food and dietary supplement in the section E100-E199 (dyes) under the number E163.

Due to the fact that antioxidants are often used as food additives in a balanced diet of animals and humans, the estimation of the content of anthocyanins in crops, especially in maize, is very relevant.

The material for the study were the following maize (*Zea mays* L.) genotypes: the population Bilosnizhka which is a sweet corn with green stalk, flint maize inbred lines AiD121, IKS226, BS4626-6 / 1, BS37-10 and AI178-325 with a green stalk and a population of dent maize Chornosteblova with a dark purple stalk.

The content of anthocyanins was determined by the modified differential spectrophotometry method by Lu.E. Rodriguez-Saona, R.E. Wrolstad and M.M. Giusti, R.E. Wrolstad Determination of the content of anthocyanins was carried out during the flowering period, and the eighth internode of the stalk was used for the analysis.

The content of anthocyanins in the stalk of the studied maize genotypes varies in the range of 168,64 – 38362,23 mg/kg, that is, 0,02–3,83 % of the absolutely dry weight of the stalk. According to the total content of anthocyanins in the stalk, the studied samples were divided into genotypes with low (168,64 mg/kg – population Bilosnizhka), medium (338,89, 404,15, 425,93, 463,45 and 996,13 mg/kg, respectively in inbred lines AiD121, IKS226, BS4626-6/1, BS37-10 and AI178-3253) and super-high content of anthocyanins (38362,23 mg/kg – the population Chornosteblova). In the studied genotypes with a green stalk color, the total content of anthocyanins varied in the wide range from 168,64 mg/kg to 996,13 mg/kg, that is, it differed 5,91 times. The enhanced dark violet coloration of the stalk of plants of the Chornosteblova population is associated with a significant increase in the total content of anthocyanins in comparison with the green-stalk genotypes (38,5 to 227,5 times) due to the contribution of all species and forms of anthocyanins, from the forms of delphinidin (12,55 %) to forms of peonidin (27,31 %).

Thus, studies have shown that the total content of anthocyanins in maize stalk of the Chornosteblova population with a dark violet color is 3,83% of the dry weight of the stalk and it is more or less uniformly represented by all kinds of anthocyanins. The obtained results testify to the prospect of using maize stalks of the Chornosteblova population as a source of antioxidants in the production of the biological additive E163 – "anthocyanins".

Key words: *Zea mays* L., antioxidants, anthocyanins, stalks, genotype.