

УДК 635.356:664.8.037.5

**Станіслава ЛЕВИЦЬКА,  
Світлана БЕЛІНСЬКА,  
Вікторія КРИВОШАПКА**

## **ПІГМЕНТНИЙ КОМПЛЕКС ЗАМОРОЖЕНОЇ КАПУСТИ БРОКОЛІ**

*Наведено результати досліджень  $\alpha$ - і  $\beta$ -хлорофілу та  $\beta$ -каротину в гібридах сортів капусти брокколі, які районовані в Україні. Проаналізовано вплив способів попередньої обробки та заморожування на вміст рослинних пігментів. Установлено, що капуста брокколі є цінним джерелом  $\alpha$ - і  $\beta$ -хлорофілу. Визначено оптимальний спосіб попередньої обробки капусти, що забезпечує мінімальні втрати рослинних пігментів.*

*Ключові слова:* капуста брокколі, рослинні пігменти,  $\alpha$ - і  $\beta$ -хлорофіл,  $\beta$ -каротин, попередня обробка, заморожування.

*Левицкая С., Белинская С., Кривошапка В. Пигментный комплекс замороженной капусты брокколи. Приведены результаты исследований  $\alpha$ - и  $\beta$ -хлорофилла и  $\beta$ -каротина в гибридах сортов капусты брокколи, районированных в Украине. Проанализировано влияние способов предварительной обработки и замораживания на содержание растительных пигментов. Установлено, что капуста брокколи является ценным источником  $\alpha$ - и  $\beta$ -хлорофилла. Определен оптимальный способ предварительной обработки капусты, что обеспечивает минимальные потери растительных пигментов.*

*Ключевые слова:* капуста брокколи, растительные пигменты,  $\alpha$ - и  $\beta$ -хлорофилл,  $\beta$ -каротин, предварительная обработка, замораживание.

**Постановка проблеми.** Стабільність попиту на свіжі плоди, овочі та продукти їх переробки забезпечується не лише високою біологічною і харчовою цінністю, а й надзвичайно широкою палітрою кольорів і відтінків, які для споживачів є одним із визначальних критеріїв вибору. Колір плодів і овочів опосередковано свідчить про свіжість, ступінь стиглості та смако-ароматичні властивості плодово-овочевої продукції. Їх пігментний комплекс представлено каротиноїдами, хлорофілом, флавоноїдами, антоціанами, які зумовлюють їхню різнобарвність. Каротиноїди (каротин і ксантофіл) надають плодам і овочам жовтого та помаранчевого кольору, хлорофіли – зеленого, флавонові пігменти (антоціани, флавони, флавоноли) – жовтого, синього та червоного.

Хлорофіли – це магнієві комплекси різноманітних тетрапіролів, що мають порфіринову будову. Колір хлорофілу, виходячи з хімічної будови його молекули, пояснюється наявністю подвійних кон'югованих зв'язків у порфіриновому кільці та утворенням металорганічного зв'язку з магнієм [1].

© Станіслава Левицька, Світлана Белінська, Вікторія Кривошапка, 2017

У рослинній клітині хлорофіл міститься в хлоропластах у неоднорідному стані й представлений синьо-зеленим *a*-хлорофілом ( $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$ ) і жовто-зеленим *b*-хлорофілом ( $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$ ), які відрізняються ступенем окислення, забарвленням та іншими властивостями. Пігмент зв'язаний з білком адсорбційним або хімічним зв'язком за рахунок додаткових валентностей атому магнію, а також за допомогою вільних карбоксильних груп молекул білка. Співвідношення *a*- і *b*-хлорофілу в середньому становить 3:1. У зелених частинах рослин хлорофіл завжди супроводжують каротиноїди –  $\beta$ -каротин, лютеїн, віолаксантин, неоксантин та ін. Їх у хлоропластах зазвичай у 3 рази менше, ніж хлорофілів [2].

Науковцями України – Н. В. Коробець, Р. Ю. Павлюк, В. В. Погарською, Л. М. Пилипенко [2–6] – доведено лікувально-профілактичні властивості пігментного комплексу рослинної сировини та підвищення попиту на зелені овочі, функціональною складовою яких є хлорофіл. Лікувально-профілактичні властивості хлорофілвмісних овочів виявляються у протипухлинній дії, підвищенні імунітету, нормалізації обміну речовин і зумовлені сукупною дією хлорофілів, аскорбінової кислоти та  $\beta$ -каротину, які в значній кількості містяться в зелених овочах [3; 4].

Проблемі дослідження якості хлорофілвмісних свіжих і перероблених овочів присвячено праці науковців [2–6], якими встановлено, що хлорофіл плодів і овочів нестійкий до впливу різноманітних факторів: теплової обробки, рН, кисню повітря, світла. При цьому відбуваються значні втрати хлорофілу, які супроводжуються потемнінням або знебарвленням продукту. Так, у кислому середовищі внаслідок заміни комплексно зв'язаного магнію в молекулі хлорофілу на водень утворюються речовини бурого забарвлення – феофіттини. Це ускладнює отримання із хлорофілвмісних овочів консервованих продуктів із властивим їм природним яскравим зеленим забарвленням.

Найбільш поширеними способами стабілізації вмісту хлорофілу в продуктах переробки плодів і овочів є: використання низьких температур, антиоксидантів (переважно жиророзчинних); додавання солей різних металів (цинку, заліза, міді) [5; 6]. Принцип дії цих способів базується на зміні просторової орієнтації клітинних структур, коагуляції та денатурації білкових речовин. Водночас вибір оптимального способу стабілізації вмісту хлорофілу залежить від виду рослинної сировини, типу перероблення та мети подальшого використання продукту – для безпосереднього споживання чи подальшої промислової переробки.

При переробленні плодів і овочів зміни хлорофілу пов'язані також з активністю ферменту хлорофілази. Вона належить до класу естераз, активна у водних розчинах, каталізує відщеплення фітолу від хлорофілу та його похідних, які не містять магнію, утворюючи

хлорофіліди та феофорбіди відповідно. Утворення хлорофілідів не починається до тих пір, доки не активується хлорофілаза, оптимальною температурою для якої є 60–76 °С. При підвищенні температури понад 80 °С активність хлорофілази зменшується, а при 100 °С фермент інактивується [6].

Зазначене свідчить про те, що проблема збереженості кольору хлорофілвмісних продуктів переробки плодів і овочів є актуальною, оскільки різні види та сорти плодоовочевої продукції суттєво відрізняються за хімічним складом.

*Мета роботи* – дослідження пігментного комплексу сортів капусти броколі, які районовані в Україні, та його зміни при переробленні та заморожуванні.

**Матеріали та методи.** Об'єктом дослідження є свіжа, витримана в розчині кухонної солі, бланшована та свіжозаморожена капуста броколі сортів *Партенон* (французька селекція), *Монако F1*, *Белстар F1*, *Квінта F1* (голландська селекція), які включені до Державного реєстру сортів рослин [7].

Зразки капусти витримано в розчині кухонної солі концентрації 3 % упродовж 20 хв, бланшування відбувалося за температури 85 °С протягом 3 хв.

Вміст *a*- і *b*-хлорофілу й  $\beta$ -каротину визначено спектрофотометричним методом на спектрофотометрі *Specord 210* [8].

**Результати досліджень.** Проведена робота підтверджує, що сорти свіжої капусти броколі не мають суттєвої відмінності за вмістом хлорофілу (*табл. 1*), кількість якого залежно від сорту варіювала в межах від 49.0 до 53.7 мг/100 г.

Таблиця 1

Вміст хлорофілу в капусті броколі, мг/100 г

*n* = 2; *P* ≥ 0.95

Гібриди сортів	<i>a</i> -хлорофіл	<i>b</i> -хлорофіл	Загальний вміст <i>a</i> - і <i>b</i> -хлорофілу	Співвідношення <i>a</i> -хлорофіл / <i>b</i> -хлорофіл
<i>Партенон</i>	36.9 ± 1.8	12.1 ± 0.6	49.0 ± 2.45	3.05:1
<i>Монако F1</i>	35.6 ± 1.8	18.1 ± 0.9	53.7 ± 2.69	1.96:1
<i>Белстар F1</i>	37.9 ± 1.9	10.9 ± 0.5	48.8 ± 2.44	3.47:1
<i>Квінта F1</i>	37.0 ± 1.9	12.8 ± 0.7	49.8 ± 2.49	2.89:1

Результати попередніх досліджень авторів співпадають із даними наукової літератури щодо прямого кореляційного зв'язку між вмістом хлорофілу та вмістом дикарбонових амінокислот білка (глутамінової й аспарагінової кислоти) [2; 9].

На наш погляд, важливим з позиції формування кольоропараметричних характеристик капусти броколі є не лише загальний

вміст хлорофілу, а й співвідношення *a*- та *b*-хлорофілу, які відрізняються відтінками зеленого кольору: синьо-зеленим і жовто-зеленим. Інтенсивно виражений синьо-зелений відтінок зеленого кольору найбільш виражений у капусті сортів *Партенон* і *Белстар F1*, що підтверджено результатами органолептичної оцінки. Співвідношення *a*- і *b*-хлорофілу у зазначених сортах перебуває в межах 3.05:1–3.47:1. Капуста сортів *Квінта F1* і *Монако F1* мала менш насичений зелений колір і незначний жовтуватий відтінок. Для цих сортів співвідношення *a*- й *b*-хлорофілу було дещо нижчим і становило 2.89:1–1.96:1.

Класична технологія заморожування капусти броколі передбачає її бланшування за температури 85 °С протягом 3 хв. Із метою інактивації аскорбінатоксидази та стабілізації вмісту аскорбінової кислоти, яка разом із хлорофілом забезпечує лікувально-профілактичні властивості капусти броколі, нами пропонується замість бланшування здійснювати витримку капусти перед її заморожуванням у 3-процентному розчині кухонної солі протягом 20 хв. Вміст хлорофілу в попередньо обробленій капусті наведено в *табл. 2*.

Таблиця 2

**Вплив способу попередньої обробки на вміст хлорофілу  
в капусті броколі, мг/100 г**

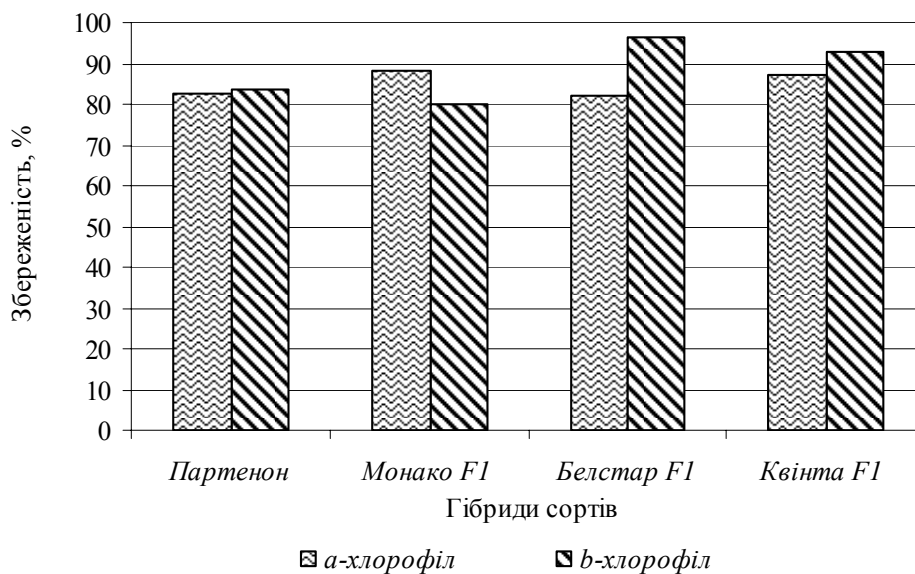
 $n = 2; P \geq 0.95$ 

Гібриди сортів	<i>a</i> -хлорофіл	<i>b</i> -хлорофіл	Загальний вміст <i>a</i> - і <i>b</i> -хлорофілу	Співвідношення <i>a</i> -хлорофіл / <i>b</i> -хлорофіл
<i>Бланшована</i>				
<i>Партенон</i>	32.2 ± 1.6	11.7 ± 0.6	43.9 ± 2.1	2.75:1
<i>Монако F1</i>	29.2 ± 1.5	11.3 ± 0.4	40.5 ± 2.1	2.58:1
<i>Белстар F1</i>	28.0 ± 1.5	11.9 ± 0.7	39.9 ± 1.9	2.35:1
<i>Квінта F1</i>	26.7 ± 1.3	13.5 ± 0.7	40.2 ± 2.1	1.98:1
<i>Витримана в розчині кухонної солі</i>				
<i>Партенон</i>	39.3 ± 1.6	12.8 ± 0.6	52.1 ± 2.6	3.07:1
<i>Монако F1</i>	34.2 ± 1.7	12.5 ± 0.6	46.7 ± 2.3	2.73:1
<i>Белстар F1</i>	31.6 ± 1.9	14.8 ± 0.7	46.4 ± 2.3	2.14:1
<i>Квінта F1</i>	33.5 ± 1.7	13.5 ± 0.7	47.0 ± 2.4	2.48:1

Під час бланшування капусти відбулося зниження *a*-хлорофілу в середньому на 10 %, *b*-хлорофілу – на 16 %. Ми припускаємо, що це зумовлено підвищенням активності хлорофілази під дією високих температур [6]. Водночас установлено: відносна частка *a*-хлорофілу в сортах *Партенон*, *Белстар F1* і *Квінта F1* зменшується, а в сорті *Монако F1* – збільшується, що спричинено сортовими особливостями гібридів.

Витримка в розчині кухонної солі індукує підвищення концентрації *a*-хлорофілу в середньому на 12 %, *b*-хлорофілу – на 18 %, що зумовлено компенсаторною реакцією, адже в заданих умовах знижується ефективність використання сонячної енергії. Проте співвідношення *a*- і *b*-хлорофілу змінюється лише в капусті сорту *Монако F1* зі збільшенням частки *a*-хлорофілу, що позитивно впливає на насиченість зеленого кольору. В капусті *Белстар F1* та *Квінта F1* збільшується частка *b*-хлорофілу, в сорті *Партенон* змін не виявлено.

На *рисунку* наведено вплив заморожування на загальний вміст *a*- і *b*-хлорофілу в сортах капусти броколі.



Збереженість хлорофілу в свіжозамороженій капусті броколі, %

Під час заморожування броколі спостерігається зниження *a*-хлорофілу на 12–18 %, *b*-хлорофілу – на 4–19 % залежно від сорту та його вмісту в свіжій капусті. Загальний вміст варіював у межах 40.6–44.7 мг/100 г.

Хлорофіл у зелених овочах завжди супроводжують каротиноїди –  $\beta$ -каротин, лютеїн, віолаксантин, неоксантин, а також у невеликій кількості *a*-каротин,  $\beta$ -криптоксантин, зеаксантин, антраксантин. Вони характеризуються наявністю довгого аліфатичного ланцюга кон'югованих подвійних зв'язків, які зумовлюють притаманне їм забарвлення. Чим більше подвійних зв'язків, тим інтенсивніше виражений колір [2]. Результати досліджень  $\beta$ -каротину в капусті броколі, який має високу біологічну цінність і є природним антиоксидантом, наведено в *табл. 3*. Вони підтверджують його незначний вміст – від 3.1 до 4.6 мг/100 г.

Вміст  $\beta$ -каротину в сортах капусти броколі, мг/100 г $n = 2; P \geq 0.95$ 

Гібриди сортів	Капуста броколі			
	свіжа	бланшована	витримана у розчині NaCl	свіжозаморожена
<i>Партенон</i>	4.6 ± 0.2	4.3 ± 0.2	4.5 ± 0.2	4.5 ± 0.2
<i>Монако F1</i>	4.1 ± 0.2	3.7 ± 0.2	4.0 ± 0.2	3.7 ± 0.2
<i>Белстар F1</i>	3.8 ± 0.2	3.5 ± 0.2	3.9 ± 0.2	3.7 ± 0.2
<i>Квінта F1</i>	3.1 ± 0.2	2.7 ± 0.1	3.3 ± 0.1	2.8 ± 0.1

Відомо, що каротиноїди стійкі до дії високих і низьких температур, проте нашими дослідженнями встановлено їх часткове руйнування. Під час бланшування броколі втрати  $\beta$ -каротину становили 1.5–4 %, при витримці в розчині кухонної солі змін не відбулося, під час заморожування втрати були незначні й сягали 2 % порівняно зі свіжою капустою.

Отже, попереднє бланшування броколі перед її заморожуванням супроводжується незначною втратою  $\beta$ -каротину.

**Висновки.** Встановлено, що пігментний комплекс досліджуваних сортів капусти броколі характеризується достатньо високим вмістом *a*- і *b*-хлорофілу та незначним  $\beta$ -каротину.

Виявлено, що витримка броколі в розчині кухонної солі супроводжується підвищенням концентрації *a*- і *b*-хлорофілу на 7–11 % залежно від сорту, що підтверджує додаткові переваги цього способу попередньої обробки перед заморожуванням. Це забезпечує отримання замороженої капусти броколі, пігментний комплекс якої зазнає мінімальних змін.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Безусов А. Т., Кузнецова К. Д. Дослідження стабілізації пігментного комплексу листових овочів. Харчова наука і технологія. 2013. № 4. С. 27—30.
2. Коробець Н. В. Формування якості добавок із хлорофілвмісних овочів та продуктів харчування з їх використанням : дис. канд. техн. наук : 05.18.15. Харків, 2006. 335 с.
3. Yamauchi Naoki, Watada Alley E. Chlorophyll and xanthophyll changes in broccoli florets stored under elevated CO<sub>2</sub> or ethylene-containing atmosphere. Postharvest biology and technology journal. University of California. 1998. N 33. P. 114—117.
4. Павлюк Р. Ю. Розробка технології консервованих вітамінних фітодобавок і їх використання в продуктах харчування профілактичної дії : автореф. дис. ... докт. техн. наук : спец. 05.18.13 "Технологія консервованих і охолоджених харчових продуктів". Харків, 1996. 48 с.

5. Погарська В. В. Формування якості каротиноїдних фітодобавок профілактичної дії з моркви та їх використання в продуктах харчування : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.18.15 "Товарознавство харчових продуктів". Харків, 1998. 17 с.
6. Пилипенко Л. М. Научные основы технологии консервированных пищевых продуктов из листовых овощей : дис. докт. техн. наук : 05.18.13. Одеса, 1994. 522 с.
7. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні. Державна ветеринарна та фітосанітарна служба України. 2015. URL : <http://vet.gov.ua/node/919> (дата звернення: 22.03.2017).
8. Тартачник І. І. Методи дослідження зелених пігментів в листках і плодах. Проблеми моніторингу у садівництві ; за ред. А. М. Силаєвої. Київ : Аграрна наука, 2003. С. 157—159.
9. Белінська С. О., Левицька С. О. Біологічна цінність білка капусти броколі. Міжнар. наук.-практ. журн. "Товари і ринки". 2016. № 2 (22). С. 92—98.
10. Лебедєва Т. С., Ситник К. М. Пігменти рослинного світу. Київ : Наук. думка, 1986. 83 с.

Стаття надійшла до редакції 24.04.2017.

*Levitska S., Belinska S., Krivosapka V. Pigment complex of frozen broccoli.*

**Background.** The stable demand for fresh fruits and vegetables and products of their processing is due to not only their high biological, nutritional value, but also to an extremely wide palette of colors and shades, which for consumers are one of the defining criteria of their choice. Pigment complex of fruit and vegetables is represented by carotenoids, chlorophyll, flavonoids, anthocyanins, which are responsible for a color variety of fresh fruits and vegetables. Medicinal properties of chloroplastin vegetables with the content of *a*- and *b*-chlorophyll, which is structurally similar to hemoglobin and have antitumor properties, increase immunity, normalization of metabolism and is due to the combined action of chlorophylls, ascorbic acid and  $\beta$ -carotene, which are in a considerable amount in green vegetables.

Chlorophyll of fruits and vegetables is not resistant to the effects of various factors: under the influence of heat treatment, pH, oxygen, light it experiences significant loss of chlorophyll, accompanied by darkening or discoloring of the product. So, the problem of preservation of color of chloroplastin products of processed fruit and vegetables is important because different species and varieties of fruits and vegetables vary greatly in chemical composition.

*The aim* of this study is research of the pigment complex of cabbage and broccoli, which grow in Ukraine and its changes during processing and freezing.

**Material and methods.** The object of research is fresh, soaked in a solution of salt, blanched and frozen broccoli variety *Partenon*, *Monaco F1*, *Belstar F1*, *Quinta F1*. Samples of cabbage are soaked in the salt solution concentration of 3 % for 20 min, blanching occurred at the temperature of 85 °C for 3 min. The study was conducted according to the following criteria: content of *a*- and *b*-chlorophyll and  $\beta$ -carotene.

**Results.** Conducted research of fresh broccoli confirmed that the varieties have no significant difference in the content of chlorophyll, the amount of which depending on the varieties ranged from 49.0 to 53.7 mg/100 g. During the blanching of the cabbage *a*-chlorophyll reduced on average by 10 % and *b*-chlorophyll on the average by 16 %. Soaking in salt solution induces an increase of the concentration of *a*-chlorophyll on average by 12 % and *b*-chlorophyll on average by 18 % due to a compensatory reaction,

because in the given conditions the efficiency of solar energy decreases. During freezing of broccoli *a*-chlorophyll decreased by 12–18 %, *b*-chlorophyll by 4–19 % depending on the species and its content in fresh cabbage. The results of studies of  $\beta$ -carotene confirm its negligible content in cabbage from 3.1 to 4.6 mg/100 g.

**Conclusion.** It has been established that the pigment complex of the studied broccoli variety is characterized by a rather high content of *a*- and *b*-chlorophyll and low content of  $\beta$ -carotene.

It has been identified that soaking broccoli in a solution of salt increases concentrations of *a*- and *b*-chlorophyll by 7–11 % depending on the variety, which confirms the additional benefits of this method of pretreatment before freezing. It provides frozen broccoli, pigment complex of which will undergo minimal modifications.

*Keywords:* broccoli, vegetable pigments, *a*- and *b*-chlorophyll,  $\beta$ -carotene, pretreatment, freezing.

#### REFERENCES

1. *Bezusov A. T., Kuznecova K. D.* Doslidzhennja stabilizacii' pigmentnogo kompleksu lystovyh ovochiv. Harchova nauka i tehnologija. 2013. № 4. S. 27—30.
2. *Korobec' N. V.* Formuvannja jakosti dobavok iz hlorofilvmisnyh ovochiv ta produktiv harchuvannja z i'h vykorystannjam : dys. kand. tehn. nauk : 05.18.15. Harkiv, 2006. 335 s.
3. *Yamauchi Naoki, Watada Alley E.* Shlorophyll and xanthophyll changes in broccoli florets stored under elevated CO<sub>2</sub> or ethylene-containing atmosphere. Postharvest biology and technology journal. University of California. 1998. N 33. R. 114—117.
4. *Pavljuk R. Ju.* Rozrobka tehnologii' konservovanyh vitaminnyh fitodo-bavok i i'h vykorystannja v produktah harchuvannja profilaktychnoi' dii' : avtoref. dys. ... dokt. tehn. nauk : spec. 05.18.13 "Tehnologija konservovanyh i oholodzhenyh harchovyh produktiv". Harkiv, 1996. 48 s.
5. *Pogars'ka V. V.* Formuvannja jakosti karotynoi'dnyh fitodobavok pro-filaktychnoi' dii' z morkvy ta i'h vykorystannja v produktah harchuvannja : avtoref. dys. ... kand. tehn. nauk : spec. 05.18.15 "Tovaroznavstvo harchovyh produktiv". Harkiv, 1998. 17 s.
6. *Pilipenko L. M.* Nauchnye osnovy tehnologii' konservirovanyh pishhevyh produktov iz listovyh ovoshhej : dis. dokt. tehn. nauk : 05.18.13. Odesa, 1994. 522 s.
7. Derzhavnyj rejestr sortiv roslyn, prydatnyh dlja poshyrennja v Ukrai'ni. Derzhavna veterynarna ta fitosanitarna sluzhba Ukrai'ny. 2015. URL : <http://vet.gov.ua/node/919> (data zvernennja: 22.03.2017).
8. *Tartachnyk I. I.* Metody doslidzhennja zelenykh pigmentiv v lystkah i plodah. Problemy monitoryngu u sadivnyctvi ; za red. A. M. Sylajevoi'. Kyi'v : Agrarna nauka, 2003. S. 157—159.
9. *Belins'ka S. O., Levyc'ka S. O.* Biologichna cinnist' bilka kapusty brokoli. Mizhnar. nauk.-prakt. zhurn. "Tovary i rynky". 2016. № 2 (22). S. 92—98.
10. *Lebedjeva T. S., Sytnyk K. M.* Pigmenty roslynnogo svitu. Kyi'v : Nauk. dumka, 1986. 83 s.