

ФОРМУВАННЯ НИЗЬКОМОЛЕКУЛЯРНИХ АНТИОКСИДАНТІВ ПАСЛЬОНОВИХ ПЛОДІВ ЗАЛЕЖНО ВІД ГІДРОТЕРМІЧНИХ УМОВ

О.П. Приц

Досліджено вплив температури та опадів на формування комплексу низькомолекулярних антиоксидантів плодів перцю гібрида Нікіта та томата сорту Новачок. Установлено, що визначальний вплив на формування комплексу антиоксидантів має сума активних температур періоду формування та дозрівання плодів, де коефіцієнт кореляції залежно від показника становить від $-0,57$ до $0,75$.

Ключові слова: *томати, перець, температура, опади, аскорбінова кислота, фенольні речовини, каротиноїди, цукри.*

ФОРМИРОВАНИЕ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ АНТИОКСИДАНТОВ ПАСЛЕНОВЫХ ПЛОДОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

О.П. Присс

Исследовано влияние температуры и осадков на формирование комплекса низкомолекулярных антиоксидантов плодов перца гибрида Никита и томата сорта Новичок. Установлено, что определяющее влияние на формирование комплекса антиоксидантов имеет сумма активных температур периода формирования и созревания плодов, где коэффициент корреляции в зависимости от показателя составляет от $-0,57$ до $0,75$.

Ключевые слова: *томаты, перец, температура, осадки, аскорбиновая кислота, фенольные вещества, каротиноиды, сахара.*

FORMATION OF NON-ENZYMATIC ANTIOXIDANTS IN SOLANACEAE FRUITS UNDER HYDROTHERMAL CONDITIONS

O. Priss

The influence of hydrothermal conditions on the formation of ascorbic acid, phenolic substances, carotenoids in fruits of sweet bell pepper cultivar Nikita and tomato cultivar Novachok was investigated. Relationships are set on the basis of the

connection between the pair correlation analysis of abiotic factors change and concentrations of bioactive compounds. It is shown that non-enzymatic antioxidants in solanaceae fruits significantly influenced by the sum of temperatures in the period of forming and ripening of fruits, whereas the coefficient of correlation makes up from -0,57 to 0,75 depending on the characteristic. There is a strong direct correlation ($r=0,61$) between the ascorbic acid pool and rainfall. Rainfall also has strong ($r=-0,81$) influence on the formation of carotenoids in fruits of pepper, but does not affect the concentration of polyphenolic compounds. The concentrations of each compound under consideration are in close correlation with each other that indicates the similarity of favorable conditions for the formation of a maximum fund of non-enzymatic antioxidant.

Keywords: tomatoes, peppers, temperature, rainfall, ascorbic acid, phenols, carotenoids, sugars.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Результати епідеміологічних і наукових досліджень показують, що харчовий фактор відіграє важливу роль у запобіганні наслідків діяльності вільних радикалів в організмі людини [1]. Рослинні антиоксиданти мають високу біологічну активність, і дієта, багата на плоди й овочі, значно посилює антиоксидантний потенціал організму і знижує ризик кардіоваскулярних, дегенеративних захворювань [2–4]. Добре відомі антиоксидантні властивості вітаміну С, β -каротину, фенольних сполук [5–7]. Останнім часом значна увага приділяється антиоксидантним властивостям окремих каротиноїдів, зокрема лікопіну. Було показано, що високий рівень споживання лікопіну негативно корелює з певними видами онкозахворювань [8]. Дослідження останнього десятиріччя доводять, що прості вуглеводи в рослинних клітинах також виконують функції антиоксидантів і сигнальних молекул [9]. Розчинні вуглеводи можуть брати участь у вакуолярних антиоксидантних процесах під час стресів [10; 11]. Згідно з цією точкою зору, цукри, що накопичуються в значній кількості у вакуолях можуть виступати в ролі утилізаторів кисневих радикалів, працюючи разом із вакуолярними фенольними сполуками.

Вагомі докази ефективності харчових біоактивних сполук у підтриманні здоров'я та профілактиці багатьох захворювань є поштовхом для здійснення моніторингу антиоксидантних сполук у плодоовочевій продукції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання формування окремих біоактивних сполук під впливом абіотичних факторів розглядалися багатьма авторами [12–16]. Вміст аскорбінової кислоти (АК) у плодах та овочах суттєво варіюється залежно від виду і сорту продукції. Рівень її накопичення також змінюється в широких

межах залежно від кліматичних чинників періоду вегетації. Висловлено думку про сприятливий вплив знижених температур на збільшення концентрації АК [14]. Формування фенольних кислот та загального вмісту поліфенолів в помідорах в значною мірою залежить від характеристик спектра сонячного випромінювання [15]. З'ясовано, що температури нижче 12° С сильно гальмують біосинтез каротиноїду лікопіну, а температури вище 32° С зовсім зупиняють цей процес. Синтез лікопіну пришвидшується при температурах вище 20° С, однак достовірних даних щодо впливу температур на синтез β-каротину не виявлено [16]. Вплив гідротермічних чинників на синтез комплексу низькомолекулярних антиоксидантів у плодах перцю й томатів належним чином ще не оцінено.

Мета статті – виявити вплив гідротермічних умов на формування комплексу низькомолекулярних антиоксидантів у плодах перцю й томатів. Для досягнення поставленої мети необхідно визначити вміст аскорбінової кислоти, фенольних речовин, каротиноїдів та цукрів за різних погодних умов вегетації.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження проводили в 2005–2012 рр. на базі кафедри технології переробки та зберігання продукції сільського господарства Таврійського державного агротехнологічного університету (м. Мелітополь). Досліджували плоди перцю гібрида Нікіта F1 та плоди томатів сорту Новачок, вирощені в умовах відкритого ґрунту. Щоденні метеорологічні дані за період досліджень зібрані на Мелітопольській метеостанції.

Визначення низькомолекулярних антиоксидантів проводили за такими методиками: вміст аскорбінової кислоти за відновленням реактиву Тільманса [17]; вміст фенольних речовин (ФР) за допомогою реактиву Фоліна-Деніса, як описано в ДСТУ 4373:2005; загальний вміст каротиноїдів шляхом екстрагування пігментів ацетоном із наступним визначенням їх оптичної густини [18]; масову концентрацію цукрів фериціанідним методом, як описано в ДСТУ 4954:2008.

За роки досліджень гідротермічні умови вегетації перцю й томатів змінювались у широких межах як за температурними показниками, так і за режимами зволоження (рис. 1).

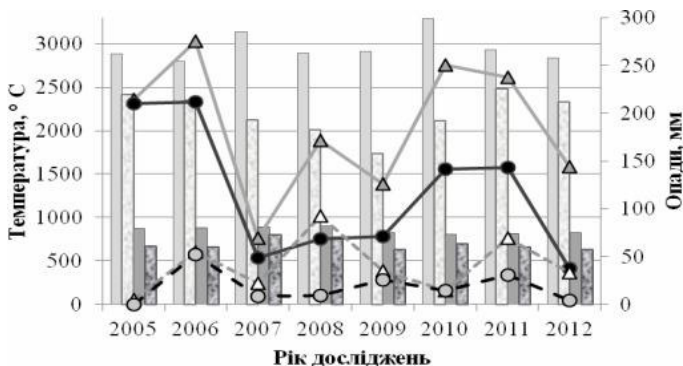


Рис. 1. Гідротермічні умови вегетації томатів та перцю:
 ■ – сума температур вегетації томатів; □ – сума температур вегетації перцю; ■ – сума температур періоду плодоутворення томатів; ■ – сума температур періоду плодоутворення перцю; –△– опади періоду вегетації томатів; ● – опади періоду вегетації перцю; –△– – опади періоду плодоутворення томатів; –●– – опади періоду плодоутворення перцю

За вмістом АК досліджувані пасльонові овочі суттєво різняться. Вміст цього вітаміну в перці у 6...7 разів більше, ніж у томатах (рис. 2).

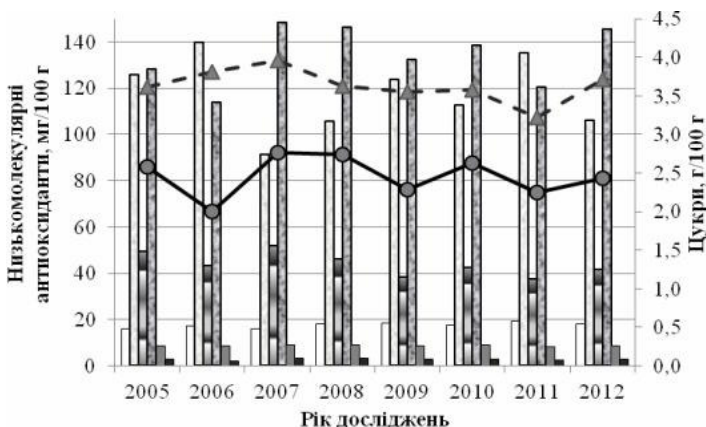


Рис. 2. Низькомолекулярні антиоксиданти пасльонових овочів:
 □– АК томатів; □ – АК перцю; ■ – ФР томатів; ■ – ФР перцю;
 ■– каротиноїди томатів; ■– каротиноїди перцю; –△– – цукри томатів;
 –●– – цукри перцю

У перцю гібрида Нікіта рівень АК не опускався нижче 90 мг/100 г за всі роки досліджень. Томати в середньому містили близько 17,32 мг/100 г АК. Мінімальну кількість АК плоди синтезують у роки з високими температурами періоду формування і дозрівання плодів (2007, 2009). Найменша кількість АК у перцю також зафіксована в рік із максимальною сумою температур періоду формування і дозрівання плодів (2007). Максимальний вміст АК мали плоди перцю у 2006 р., коли спостерігалась найбільша кількість опадів як за весь період вегетації, так і за періоди формування й дозрівання плодів. Дослідники зазначають, що сприятливий вплив на збільшення концентрації АК мають саме низькі температури [14]. Наші результати узгоджуються з таким твердженням. Відповідно, і кореляційні зв'язки є оберненими з температурою і прямими з опадами (рис. 3).

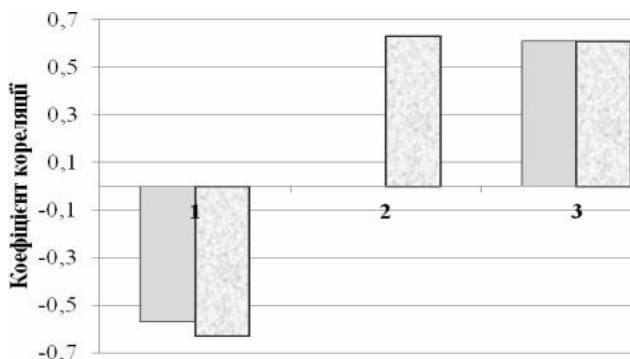


Рис. 3. Залежність рівня АК пасльонових овочів від погодних умов (2005–2012 рр.): ■ – томати; ▨ – перець; 1 – сума температур періоду формування і дозрівання плодів; 2 – опади періоду вегетації; 3 – опади періоду формування і дозрівання плодів

Менша залежність пулу АК у томатах від погодних факторів пояснюється тривалішим періодом вегетації (120–140 діб) і періодами формування і дозрівання плодів (40 діб). При більш тривалій вегетації рослини встигають розвинути механізми адаптації до несприятливих зовнішніх чинників.

Вміст поліфенолів у рослинній продукції сильно корелює з їх антиоксидантною активністю [19]. Плоди томатів у середньому містять 45,20 мг/100г ФР. Варіативність за роками середня ($V=11,44$). Для солодкого перцю характерні високі концентрації поліфенольних

сполук: 114,04...148,44 мг/100г залежно від року досліджень. Коефіцієнт варіації становить 9,48%. Максимальна концентрація фенольних речовин у плодах пасльонових культур спостерігалась 2007 року, коли температури періоду формування і дозрівання плодів сягали найвищих значень. Парний кореляційний аналіз підтверджує, що визначальний вплив на формування фенольних сполук у плодах пасльонових культур має сума температур періоду формування і дозрівання плодів (рис. 4).



Рис. 4. Залежність рівня ФР від суми температур періоду формування і дозрівання плодів (2005–2012 рр.): ■ – томати; □ – перець

Вміст фенольних речовин пасльонових овочів сильно обернено корелює з фондом АК (табл.).

Таблиця

Кореляційні зв'язки низькомолекулярних антиоксидантів пасльонових овочів

Плоди	Антиоксидант	АК	ФР	каротиноїд	цукри
томати	АК	-	0,86	-0,56	-0,46
	ФР	-0,86	-	0,71	0,52
	каротиноїди	-0,56	0,71	-	0,65
	цукри	-0,46	0,52	0,65	-
перець	АК	-	-0,97	-0,86	-0,84
	ФР	-0,97	-	0,87	0,83
	каротиноїди	-0,86	0,87	-	0,95
	цукри	-0,84	0,83	0,95	-

Отже, можна припустити, що ці антиоксиданти виявляють компенсаторну дію один відносно одного, підтримуючи тим самим прооксидантно-антиоксидантну рівновагу клітини.

Каротиноїди виконують багато функцій у метаболізмі рослин, включаючи оксидантну стресостійкість [20]. Томати сорту Новачок містять 8,28...9,22 мг/100г сирової маси каротиноїдів. Варіативність за роками мінімальна – лише 3,41%. У перці Нікіта, що в технічному ступені стиглості має жовто-оранжеве забарвлення, каротиноїдів міститься від 1,95 до 3,32 мг/100 г залежно від року дослідження. Варіативність за роками дослідження середня – 15,51%. Для плодів томата і перцю встановлено достовірний прямий кореляційний зв'язок між накопиченням каротиноїдів та сумою температур періоду формування і дозрівання плоду (рис. 5).

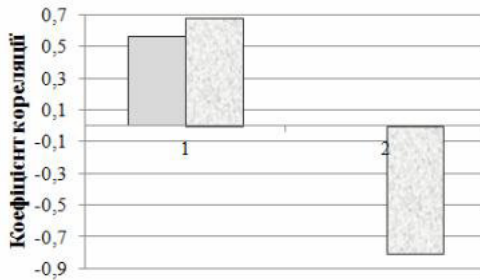


Рис. 5. Залежність рівня каротиноїдів пасльонових овочів від погодних умов (2005–2012 рр.): ■ – томати; □ – перець; 1 – сума температур періоду формування і дозрівання плоду; 2 – опади періоду формування і дозрівання плоду

Формування каротиноїдів у плодах перцю знаходиться у більш тісних зв'язках із абіотичними факторами. Отримані дані свідчать, що вміст каротиноїдів у плодах перцю головним чином залежить від кількості опадів у період формування і дозрівання плодів ($r = -0,81$). При більшій кількості опадів плоди формують менший пул каротиноїдів (2006 р.). На відміну від перцю, вміст каротиноїдів у плодах томата практично не залежить від опадів. Подібні результати отримані для томатів також іншими дослідниками, які наголошують, що не виявлено прямої залежності між рівнем каротиноїдів та АК, як антиоксидантів, що беруть участь у системі індукування стійкості до посухи [21]. Каротиноїди обох пасльонових перебувають в оберненій залежності з аскорбіною кислотою ($r = -0,56$; $-0,86$) та в тісному

прямому зв'язку з фенольними речовинами ($r = 0,71; 0,87$), що вказує на подібність сприятливих умов для максимального формування біологічно активних речовин.

Зміни вуглеводного складу рослин викликають різноманітні абіотичні стресори. Варіативність фонду цукрів за роки досліджень у томатах становила 5,92%, а в плодах перцю 10,94%. Максимальна кількість цукрів формується у плодах обох пасльонових культур у роки з найвищими сумами періоду формування і дозрівання плодів (2007). У ході кореляційного аналізу виявлено, що формування фонду простих цукрів у плодах пасльонових культур перебуває в сильній кореляційній залежності від суми температур періоду формування й дозрівання плодів (рис. 6).

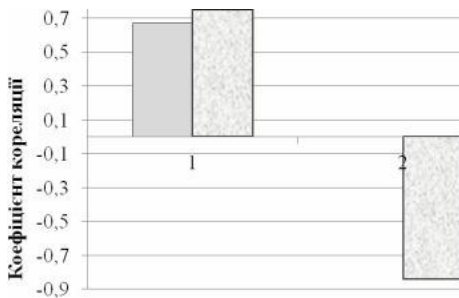


Рис. 6. Залежність концентрації цукрів пасльонових овочів від погодних умов (2005–2012 рр.): ■ – томати; ▨ – перець; 1 – сума температур періоду формування і дозрівання плоду; 2 – опади періоду формування і дозрівання плоду

Перець Нікіта демонструє сильну залежність фонду сахаридів від опадів періоду формування і дозрівання плодів, що вказує на більшу вимогливість гібрида до погодних факторів. Вміст цукрів пасльонових плодів тісно пов'язаний із каротиноїдами ($r = 0,65 \dots 0,95$) та фенолами ($r = 0,52 \dots 0,83$). Прямі тісні зв'язки вказують на подібність сприятливих умов для формування максимального фонду низькомолекулярних антиоксидантів. Зв'язок із АК обернений сильний для перцю ($r = -0,84$), а в томатах знижується до $-0,46$ при $r = 0,07$. Обернені зв'язки АК та інших антиоксидантів свідчать про компенсаторну дію один відносно одного для підтримання прооксидантно-антиоксидантної рівноваги клітини.

Висновки. Формування низькомолекулярних антиоксидантів пасльонових овочів сильно залежить від таких абіотичних факторів, як температура та опади. Визначальний вплив на формування комплексу антиоксидантів має сума активних температур періоду формування та дозрівання плодів, де коефіцієнт кореляції залежно від показника становить від $-0,57$ до $0,75$. Між пулом аскорбінової кислоти та опадами періоду формування й дозрівання плодів існує пряма кореляція ($r = 0,61$). Опади також суттєво ($r = -0,81$) впливають на формування каротиноїдів у плодах перцю, але не впливають на формування фенольних речовин у пасльонових плодах. Концентрації кожного з досліджених антиоксидантів перебувають у тісній кореляції між собою, що вказує на подібність сприятливих умов для формування максимального фонду антиоксидантів.

Список джерел інформації / References

1. Jadhav, S.S., Salunkhe, V.R., Chandrakant, M.S. (2013), "Daily consumption of antioxidants: prevention of disease is better than cure", *Asian J. Pharm. Res.*, Vol. 3(1), pp. 34-40.
2. Sikora, E., Cieslik, E., Topolska, K. (2008), "The sources of natural antioxidants", *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.*, Vol. 7(1), pp. 5-17.
3. Small, D.M., Gobe, G.C. (2013), "Oxidative stress and antioxidant therapy in chronic kidney and cardiovascular disease" in Morales-González J.A. (Ed.), *Oxidative stress and chronic degenerative diseases – a role for antioxidants*, *InTech, Rijeka, Croatia*, pp. 233-264.
4. Valadez-Vega, C., Delgado-Olivares, L., Morales González, J.A., Alanís García E., Villagomez Ibarra, J.R., Ramírez Moreno, E., Sánchez Gutiérrez, M., Sumaya Martínez, M.T., Zuñiga Pérez, C., Calderón Ramos, Z. (2013), "The role of natural antioxidants in cancer disease" in Morales-González J.A. (Ed.), *Oxidative stress and chronic degenerative diseases – a role for antioxidants*, *InTech, Rijeka, Croatia*, pp. 391-418.
5. Du, J., Cullen, J.J., Buettner, G.R. (2012), "Ascorbic acid: chemistry, biology and the treatment of cancer", *Biochim Biophys Acta*, Vol. 1826(20), pp. 443-457.
6. Scalbert, A., Manach, C., Morand, C., Rémésy, C., Jiménez, L. (2005), "Dietary polyphenols and the prevention of diseases", *Critical reviews in food science and nutrition*, Vol. 45, pp. 287-306.
7. Rao, A.V., Rao, L.G. (2007), "Carotenoids and human health", *Pharmacological Research*, Vol. 55, pp. 207-216.
8. Omoni, A.O., Aluko, R.E. (2005), "The anti-carcinogenic and anti-atherogenic effects of lycopene: a review", *Trends Food Sci. Technol*, Vol. 16, pp. 344-350.

9. Van den Ende, W., Valluru, R. (2009), "Sucrose, sucrosyl oligosaccharides, and oxidative stress: scavenging and salvaging?", *Journal of Experimental Botany*, Vol. 60(1), pp. 9-18.

10. Peshev, D., Vergauwen, R., Moglia, A., Hideg, É., Van den Ende, W. (2013), "Towards understanding vacuolar antioxidant mechanisms: a role for fructans?", *Journal of experimental botany*, Vol. 64(4), pp. 1025-1038.

11. Bolouri Moghaddam, M.R., Le Roy, K., Xiang, L., Rolland, F., Van den Ende, W. (2010), "Sugar signalling and antioxidant network connections in plant cells", *FEBS journal*, Vol. 277(9), pp. 2022-2037.

12. Rosales, M.A., Cervilla, L.M., Sánchez-Rodríguez, E., Rubio-Wilhelmi Mdel, M., Blasco, B., Ríos, J.J., Soriano, T., Castilla, N., Romero, L., Ruiz, J.M. (2011), "The effect of environmental conditions on nutritional quality of cherry tomato fruits: evaluation of two experimental Mediterranean greenhouses", *J. Sci. Food Agric.*, Vol. 91, pp. 152-162.

13. Dumas, Y., Dadomo, M., Di Lucca, G., Grölier, P. (2003), "Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes", *J. Sci. Food Agric.*, Vol. 83, pp. 369-382.

14. Lee, S.K., Kader, A.A. (2000), "Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops", *Postharvest Biology and Technology*, Vol. 20, pp. 207-220.

15. Luthria, D.L., Mukhopadhyay, S., Krizek, D.T. (2006), "Content of total phenolics and phenolic acids in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruits as influenced by cultivar and solar UV radiation", *Journal of Food Composition and Analysis*, Vol. 19, pp. 771-777.

16. Krumbein, A., Schwarz, D., Kläring, H.P. (2006), "Effects of environmental factors on carotenoid content in tomato (*Lycopersicon esculentum* (L.) Mill.) grown in a greenhouse", *Journal of Applied Botany and Food Quality*, Vol. 80, pp. 160-164.

17. Найченко В. М. Практикум з технології зберігання і переробки плодів та овочів з основами товарознавства / В. М. Найченко. – К.: ФАДА ЛТД, 2001. – 211 с.

Naichenko, V.M. (2001), *Workshop on technology storage and processing of fruits and vegetables with the basics of commodity [Praktykum z tekhnologiyi zberihannya i pererobky plodiv ta ovochiv z osnovamy tovaroznavstva]*, FADA LTD, Kyiv, 211 p.

18. Мусієнко М. М. Спектрофотометричні методи в практиці фізіології, біохімії та екології рослин / М. М. Мусієнко, Т. В. Паршикова, П. С. Славний. – К.: Фітосоціоцентр, 2001. – 200 с.

Musiienko, M.M., Parshykova, T.V., Slavnyi, P.C. (2001), *Spectrophotometric methods in practice, physiology, biochemistry and ecology of plants [Spektrofotometrychni metody v praktytsi fiziologii, biokhimiyi ta ekologiiy roslin]*, Fitosotsiotsentr, Kyiv, 200 p.

19. Velioglu, Y.S., Mazza, G., Gao, L., Oomah, B.D. (1998), "Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products", *Journal of agricultural and food chemistry*, Vol. 46(10), pp. 4113-4117.

20. Ahmad, P., Jaleel, C.A., Azooz, M.M., Nabi, G. (2009), "Generation of ROS and non-enzymatic antioxidants during abiotic stress in plants", *Botany research international*, Vol. 2, No. 1, pp. 11-20.

21. Uenyayar, S., Keles, Y., Cekic, F.O. (2005), "The antioxidative response of two tomato species with different drought tolerances as a result of drought and cadmium stress combinations", *Plant soil environ*, Vol. 51, No. 2, pp. 57-64.

Прісс Олеся Петрівна, канд. с.-г. наук, доц., кафедра технології переробки та зберігання продукції сільського господарства, Таврійський державний агротехнологічний університет. Адреса: пр. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь, Запорізька обл., Україна. Тел.: (050)3229450; e-mail: olesyapriiss@mail.ru.

Прісс Олеся Петровна, канд. с.-х. наук, доц., кафедра технологии переработки и хранения продукции сельского хозяйства, Таврический государственный агротехнологический университет. Адрес: пр. Б. Хмельницкого, 18, г. Мелитополь, Запорожская обл., Украина. Тел.: (050)3229450; e-mail: olesyapriiss@mail.ru.

Priss Olesya, PhDs, associate professors; Tavria State Agrotechnological University, chair of technology of processing and storage of production of agriculture. Address: B. Hmelnitskogo Avenue, 18, Melitopol, Ukraine. Tel.: (050)3229450; e-mail: olesyapriiss@mail.ru.

*Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук В.В. Погарською, канд. техн. наук Н.П. Загорю, канд. с.-г. наук Н.А. Гаприндашвілі
Отримано 01.08.2014. ХДУХТ, Харків.*

УДК 663.253.34:664.8.03:635.753

ДИНАМІКА ФЕНОЛЬНИХ РЕЧОВИН ПІД ЧАС ЗБЕРІГАННЯ ЗЕЛЕНІ ПЕТРУШКИ ЗА УМОВИ ВПЛИВУ АНТИОКСИДАНТІВ

О.П. Прісс, А.С. Кулик

Досліджено динаміку фенольних речовин зелені петрушки під час зберігання. Установлено, що використання живильного середовища з додаванням антиоксидантів дозволяє стабілізувати вміст поліфенолів і відсунути їх розпад на пізніший термін. Між вмістом фенольних речовин та активністю поліфенолоксидази під час зберігання петрушки встановлено зворотний кореляційний зв'язок $r = -0,63 \dots -0,93$.

Ключові слова: зберігання, петрушка, гідрогель, антиоксиданти, фенольні речовини, поліфенолоксидаза, іонол, хлорофілітм.

© Прісс О.П., Кулик А.С., 2014