

УДК 664.8.037.1

doi:10.20998/2413-4295.2017.53.20

ЗМІНИ ВУГЛЕВОДНОГО КОМПЛЕКСУ ПЛОДІВ ПРИ ЗБЕРІГАННІ ЗА ОБРОБКИ АНТИОКСИДАНТНИМИ КОМПОЗИЦІЯМИ

М. Є. СЕРДЮК*

кафедра ТПЗПСГ, ТДАТУ, м. Мелітополь, УКРАЇНА
*email: kowtun.marina2013@gmail.com

АНОТАЦІЯ Дослідження присвячені виявленню та науковому обґрунтуванню впливу комплексних антиоксидантних композицій на зміни вуглеводного комплексу плодів протягом тривалого холодильного зберігання. Встановлено, що обробка антиоксидантними композиціями збалансовує катаболічні та анаболічні процеси перетворення вуглеводів при зберіганні плодової продукції, зменшує у 1,1...5,0 разів інтенсивність процесів післязбирального перетворення розчинних сахаридів, у 1,6...4,7 разів швидкість оцукрення крохмалю та у 1,7...9,3 рази швидкість витрати пектинових речовин.

Ключевые слова: антиоксиданти; вуглеводи; цукри; крохмаль; пектинові речовини; твердість; зберігання.

CHANGES IN THE CARBOHYDRATE COMPLEX OF FRUITS DURING STORAGE WITH TREATMENT WITH ANTIOXIDANT COMPOSITIONS

M. SERDYUK*

"Department of technology of processing and storage of agricultural products, Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, UKRAINE

ABSTRACT The studies are dedicated to the identification and scientific substantiation of the effect of complex antioxidant compositions on the changes in the carbohydrate complex of fruits during long refrigerated storage. Fruits of apple varieties dard, Aidared, Golden Delicions, Renet Symyrenka, Florina, fruits pear varieties Konferentsiia, Viktoriia, Kiure, Iziymynka Krymu and plum fruit varieties cornflower, Voloshka, Stenlei, Uhorka italiis'ka were selected for researches. The processing with antioxidant compositions was made in storage by imprisoning them into the working solution prepared in advance. Processing time - 10 seconds. The fruits were dried with the help of aeration. Variants of the processing: K – control, which was taken by the fruit, processed by water; Variant 1 - AKM - complex composition which contains a mixture dimetilsulfoskid, butilhidroksitoluol (ionol) of Polyethylene glycol; Variet 2 - AKRL - a mixture of ascorbic acid, rutin that lecithin; Variant 3 -DL - a mixture of dimetilsulfoskid, ionol of lecithin. The storage was done in plastic boxes 15 kg of fruit each. Storage temperature 0 ± 1 °C, humidity 95%. It has been established that the treatment with antioxidant compositions balances catabolic and anabolic processes of carbohydrate conversion during storage of fruit products, reduces the intensity of the processes of post-harvest metabolism of soluble saccharides in 1,1 ... 5,0 times, in 1,6 ... 4,7 times the saccharification rate starch and in 1,7 ... 9,3 times the rate of consumption of pectin substances. It is shown that pectic substances, along with starch, are used as the main reserve substance for the synthesis of sugars. A strong negative correlation between the intensity of breathing and pectin substances confirms the active involvement of the latter in the respiratory metabolism of the fruit.

Keywords: antioxidants; carbohydrates; sugars; starch; pectin substances; hardness; storage.

Вступ

Сучасна теорія харчування розглядає свіжу плодову продукцію як основне джерело незамінних фітонутрієнтів, і в першу чергу вуглеводів. Вони складають до 85-90% сухої маси плодів і вважаються основним енергетичним і опорним матеріалом їх клітин і тканин. Крім того, вуглеводи є основними речовинами, які обумовлюють зміни смакових якостей плодів [1].

Всі вуглеводи поділяють на дві групи - монози, або моносахариди, і поліози, або полісахариди. У свою чергу, поліози поділяють на полісахариди першого порядку (олігосахариди) та полісахариди другого порядку (крохмаль, глікоген, інулін, целюлоза, геміцелюлоза, пектинові речовини). Низькомолекулярні вуглеводи, а саме моносахариди і сахароза відіграють провідну роль в метаболізмі

плодів. Зміни цих речовин вважаються одним з критеріїв придатності плодів до тривалого зберігання [2].

Основним наслідком післязбирального метаболізму вуглеводів вважається покращення смакових якостей плодової сировини. Це пов'язано з тим, що протягом післязбирального дозрівання масова частка розчинних сахаридів у м'якоті плодів зростає завдяки гідролізу крохмалю та інших «лабільних» полісахаридів [3]. На думку багатьох авторів, крохмаль є одним із основних показників хімічного складу зерняткових плодів, зміни вмісту якого характеризують інтенсивність процесів післязбирального дозрівання [4-6].

Повне оцукрення крохмалю триває протягом перших двох – трьох місяців зберігання. Після досягнення плодами повної споживчої стиглості вміст розчинних цукрів в них починає зменшуватись, що

пов'язано з початком процесів старіння та порушенням координації багатьох процесів [7].

Проте, зростання вмісту цукрів відбувається не тільки за рахунок гідролізу крохмалю. Внаслідок перетворення сорбіту на сорбозу, плоди, які не мають здатності до післязбирального дозрівання, стають більш солодкими на смак [8].

Крім розчинних сахаридів, крохмалю і сахароспиртів у вуглеводному обміні плодів активну участь приймають пектинові речовини. Протягом зберігання пектинові речовини, разом з геміцелюлозами та целюлозою піддаються значним кількісним змінам у бік зниження. Продукти розпаду полісахаридів приймають участь у обміні речовин та можуть виступати субстратами дихання [9, 10, 11, 12].

По мірі дозрівання нерозчинний протопектин переходить у водорозчинний пектин, чим обумовлює розм'якшення тканин. З початком пост клімактеричного періоду кількість пектинових речовин у плодах зменшується та вони набувають неприємної пухкої консистенції. Зниження вмісту пектинових речовин пов'язано з їх гідролізом і витрачанням на дихання [13, 14]. У плодах, які генетично мають високу лежкість, перетворення протопектину на пектин відбувається більш повільними темпами, що обумовлено слабкою активністю пектолітичних ферментів. Плоди пізнього терміну досягання навіть після 4 місяців зберігання характеризувалися домінуючим вмістом протопектину над розчинним пектином, що є свідченням високого потенціалу сортової збереженості [15, 16].

Поряд з цим, існують твердження, що вміст пектинових речовин при зберіганні плодової продукції може збільшуватися. Відбувається це за рахунок окислення моносахаридів до галактуронової кислоти, а також внаслідок розпаду складних сполук, до складу яких входить пектин, при активації гідролітичних ферментів, наприклад протопектинази [17, 18].

Отже, не дивлячись на достатньо велику кількість існуючої наукової інформації, багато питань залишається дискусійними. І в першу чергу, не вирішеним є питання регулювання швидкостей післязбирального метаболізму вуглеводного комплексу. З погляду на це є доцільними простежити зміни вуглеводного комплексу плодів протягом тривалого зберігання під впливом антиоксидантних композицій.

Мета роботи

Метою досліджень, було виявлення та наукове обґрунтування впливу комплексних антиоксидантних композицій на зміни вуглеводного комплексу плодів протягом тривалого холодильного зберігання.

Викладення основного матеріалу

Дослідження проведені в Таврійському державному агротехнологічному університеті на базі лабораторії технології первинної переробки та зберігання продуктів рослинництва НДІ Агротехнологій та екології, м. Мелітополь, Україна.

Для досліджень обрані плоди яблуні сортів Айдаред, Голден Делішес, Ренет Симиренка, Флоріна, плоди груші сортів Конференція, Вікторія, Кюре, Ізюминка Криму та плодів сливи сортів Волошка, Стенлей, Угорка італійська. Для зберігання плоди зерняткових культур збирали при досягненні знімального ступеня стиглості, плоди сливи – технічної, типові за формою та забарвленням згідно з вимогами ГСТУ 01.1.-37-160:2004, ГСТУ 01.1.-37-162:2004, ГСТУ 01.1.-37-163:2004. Перед закладенням на зберігання була проведена інспекція, сортування й калібрування плодів.

Обробку антиоксидантними композиціями (АОК) виконували у сховищах шляхом занурення їх у заздалегідь приготовлені робочі розчини. Експозиція – 10 секунд. Висушували плоди вентиляванням.

Варіанти обробки: К – контроль, за який приймали плоди, оброблені водою; варіант 1 – АКМ – комплексна композиція до складу якої входять суміш диметилсульфоскиду, бутилгідрокситолуолу (іонолу) та поліетиленгліколів; варіант 2 – АКРЛ – суміш аскорбінової кислоти, рутину та лецитину; варіант 3 – ДЛ – суміш диметилсульфоскиду, іонолу та лецитину.

Зберігання виконували у пластикових ящиках, по 15 кг плодів у кожному. Температура зберігання 0 ± 1 °С, відносна вологість повітря 95 %.

Визначення вмісту розчинних цукрів, крохмалю, пектинових речовин виконували за стандартними методиками. Щільність м'якуша вимірювали пенетрометром. Дослідження проводились у трирічній повторності. У статті наведені середні дані. При аналізі та обробці експериментальних використовували комп'ютерні програми "MS office Excel 2007", пакет "Statistica 6" і персональний комп'ютер.

Результати та їх обговорення

Зміни вмісту розчинних цукрів. При закладанні плодів на зберігання найбільшим вмістом цукрів статистично достовірно відрізнялися плоди сливи з середнім вмістом загального цукру 12,62%. Кількісне значення даного показника у плодів яблуні було на 22%, у плодів груші на 29% меншим. Слід також зазначити, що плоди сливи були більш багатими сахарозою порівняно з зернятковими плодами.

Динаміка цукрів протягом зберігання плодів була однаковою незалежно від їх виду та способів попередньої обробки, та цілком узгоджувалась з динамікою інтенсивності дихання (рис.1). Коефіцієнти кореляції r між інтенсивністю дихання та

масовою часткою загального цукру для плодів яблуни варіювали від 0,66 до 0,97, для плодів груші від 0,66 до 0,99, для плодів сливи від 0,84 до 0,98 залежно від сортових особливостей та варіантів обробки. Такі кількісні значення коефіцієнтів кореляції констатують існування сильної прямої залежності між зазначеними показниками протягом всього періоду зберігання плодів.

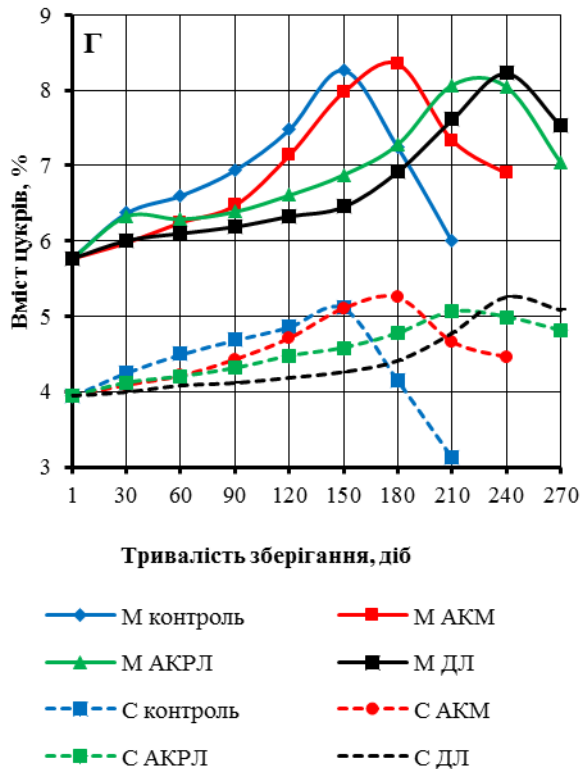


Рис. 1 – Динаміка моноцукрів (М) та сахарози (С) при зберіганні плодів яблуни сорту Флоріна за обробки антиоксидантними композиціями (середні 2008 – 2010 рр.)

Починаючи з першого етапу зберігання спостерігається зростання вмісту як моноцукрів, так і сахарози в плодах усіх видів, що пов'язано з початком процесів післязбирального дозрівання. Під час післязбирального дозрівання відбуваються як катаболічні, так і анаболічні процеси. Проте, в перший період зберігання, до досягнення плодами повної споживчої стиглості (пік клімактериксу), домінують процеси анаболізму, оскільки продукти розпаду складних вуглеводів можуть знову використовуватися при синтезі нових нутрієнтів. Наслідком цього є статистично достовірне зростання масової частки розчинних сахаридів. Найбільше кількісне значення масової частки розчинних цукрів зафіксовано у контрольних плодах яблуни на 120...150 добу, у плодах груші середнього терміну досягання – на 90 добу, у плодах груші пізнього терміну досягання – на 150...180 добу, у плодах сливи – на 50 добу зберігання.

На заключному етапі зберігання анаболічні процеси відсутні та відбуваються тільки катаболічні, наслідком чого є різке, істотне зниження вмісту цукрів. Обробка плодів антиоксидантними композиціями знижує швидкості як катаболічних, так і анаболічних реакцій, що відбуваються при зберіганні. Усі досліджені види плодів контрольних варіантів характеризувалися максимальними константами швидкості як зростання масової частки розчинних сахаридів в період післязбирального дозрівання, так і їх подальшого розпаду в період перезрівання та старіння. При зберіганні плодів з використанням антиоксидантних композицій константи швидкості зростання масової частки розчинних сахаридів у плодах яблуни були меншими ніж у контрольних в 1,1...1,5 разів, у плодів груші – в 1,7...1,8 разів, плодів сливи – в 1,7...2,3 рази залежно від варіанту обробки.

Ще більш ефективним вплив антиоксидантних композицій відзначався на останньому етапі зберігання. Швидкість катаболічних процесів розпаду цукрів у плодах яблуни при зберіганні з антиоксидантними композиціями була меншою порівняно з контрольними у 1,9...5 разів, плодів груші – у 1,5...4,8 разів, плодів сливи – у 1,6...3 рази залежно від варіанту обробки.

Позитивним наслідком такого зниження швидкостей катаболічних процесів є більш висока збереженість розчинних сахаридів в плодах дослідних варіантів після тривалого зберігання. Так, масова частка розчинних сахаридів в даний період у контрольних плодах усіх видів була меншою за початкове значення. При цьому, найбільш істотно зменшувався вміст сахарози. При зберіганні плодів з використанням АОК вміст розчинних сахаридів, у тому ж разі і сахарози, не тільки не зменшувався, а і був вищим за початкове значення. Максимальний позитивний ефект зафіксований при застосуванні композиції ДЛ.

Таким чином, застосовані антиоксидантні композиції статистично достовірно зменшують швидкість реакцій перетворення цукрів, що свідчить про їх інгібуючу дію на процеси післязбирального дозрівання плодів.

Зміни вмісту крохмалю. При закладанні плодів яблуни на зберігання була зафіксована висока навантаженість їх клітин зернами крохмалю (рис. 2). Середній вміст крохмалю в плодах яблуни знімального ступеню стиглості знаходився на рівні 2,2%. При цьому рівень сортової мінливості оцінювався як середній, з коефіцієнтом варіації $V=15\%$. Найбільш крохмалистими були плоди яблуни сорту Ренет Симиренко, найменша масова частка крохмалю зафіксована в плодах сорту Флоріна.

При проведенні кількісної оцінки вмісту крохмалю у плодах груші знімального ступеню стиглості була встановлена висока середньосортова варіабельність даного показника ($V=34,5\%$). В той же час варіабельність в межах групи сортів як середнього,

так і пізнього терміну досягання була низькою з коефіцієнтами варіації відповідно 5 та 6,6%. При цьому, середній вміст крохмалю в початковий період зберігання плодів груші пізнього терміну досягання знаходився на рівні 2,2 %, середнього терміну досягання – 1,2%.

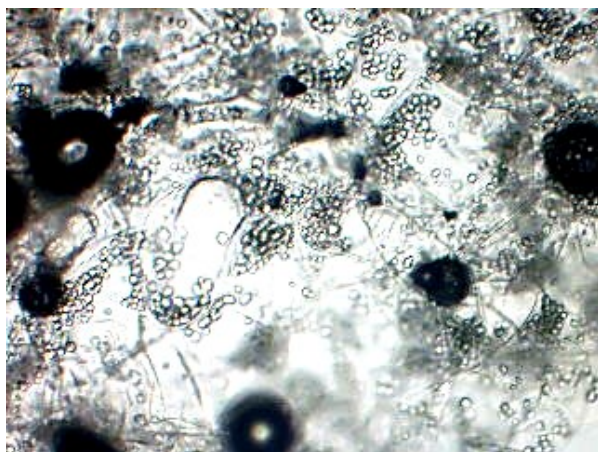


Рис. 2 – Зерна крохмалю в клітинах плодів яблуни знімального ступеню стиглості

Подальше зберігання характеризувалося продовженням процесу ферментативного гідролізу крохмалю до моносахаридів, який розпочався ще в період формування та дозрівання плодів на материнській рослині. Але кінетика даного процесу була різною та статистично достовірно залежала від варіанту обробки плодів перед закладкою на зберігання (табл. 1).

Таблиця 1 - Константи швидкості зниження масової частки крохмалю в плодах при зберіганні за обробки АОК

Помологічний сорт	Константи швидкості зниження масової частки крохмалю в плодах за різних видів обробки, k_K , діб ⁻¹ , $\times 10^{-2}$			
	К	АКМ	АКРЛ	ДЛ
Плоди яблуни				
Айдаред	-2,109	-1,305	-0,894	-0,666
Голден Делішес	-1,812	-1,033	-0,636	-0,448
Ренет Симиренко	-1,509	-1,061	-0,589	-0,430
Флоріна	-1,390	-0,770	-0,508	-0,341
Середнє	-1,705	-1,042	-0,657	-0,471
Плоди груші				
Вікторія	-3,227	-1,343	-1,215	-0,663
Конференція	-4,426	-2,760	-1,344	-0,961
Середнє	-3,827	-2,052	-1,280	-0,812
Кюре	-2,497	-1,438	-1,441	-0,897
Ізюмінка Криму	-2,988	-1,572	-1,512	-1,283
Середнє	-2,743	-1,505	-1,477	-1,090

Константа швидкості гідролітичного розпаду крохмалю k_K у контрольних плодів була значно вищою, ніж у плодів дослідних варіантів та варіювала в межах від $2,1 \cdot 10^{-2}$ діб⁻¹ у плодів яблуни сорту

Айдаред до $1,4 \cdot 10^{-2}$ діб⁻¹ у плодів сорту Флоріна. Контрольні плоди груші характеризувалися ще більшою швидкістю даного процесу, про що свідчать розраховані середні константи швидкості: $k_K = (3,2...4,4) \cdot 10^{-2}$ діб⁻¹ для плодів групи середнього терміну досягання та $k_K = (2,5...2,9) \cdot 10^{-2}$ діб⁻¹ для плодів групи пізнього терміну досягання.

При цьому крохмаль оцукрювався та повністю зникав у контрольних плодах груші середнього терміну досягання вже на 60 добу, у плодах груші пізнього терміну досягання – на 120...150 добу, та у плодах яблуни – на 150 добу зберігання.

При зберіганні плодів з обробкою антиоксидантними композиціями гідроліз крохмалю відбувався більш повільними темпами. Так, k_K при зберіганні плодів яблуни з обробкою АОК АКМ була у 1,6 разів, з обробкою АКРЛ – у 2,4 рази, з обробкою ДЛ – 3,4 рази меншою порівняно з контрольними плодами. При зберіганні плодів груші пізнього терміну досягання значення k_K були меншими за контрольний варіант відповідно у 1,8, 1,9 та 2,5 рази. Найбільший позитивний вплив АОК зафіксований для плодів груші середнього терміну досягання. При цьому значення k_K були меншими за контрольний варіант відповідно у 1,9, 2,9 та 4,8 рази.

Отже, при закладанні плодів на зберігання низьким запасом крохмалю характеризувалися плоди яблуни сорту Флоріна, та груші сортів середнього терміну досягання. Поряд з цим післязбиральна обробка АОК сприяла найбільш ефективному гальмуванню процесу ферментативного гідролізу крохмалю саме у плодах даних сортів, що нівелювало сортові відмінності та сприяло збереженості основної запасної енергетичної речовини протягом такого ж періоду, що і у плодах з більш високим початковим вмістом.

Повне оцукрення крохмалю при зберіганні плодів яблуни і груші пізнього терміну досягання за обробки АОК АКМ відбувалося на 150...180 добу, за обробки АКРЛ та ДЛ – на 210 добу зберігання, плодів груші середнього терміну досягання відповідно на 120 та 150 добу зберігання.

Кореляційним аналізом підтверджено існування прямого тісного кореляційного зв'язку між швидкостями зниження крохмалю та зростання цукрів. При цьому коефіцієнти кореляції для плодів яблуни становили $r=0,94$, для плодів груші – $r=0,96$. Це є свідченням того, що чим повільніше гідролізується крохмаль, тим повільніше утворюються цукри, і, відповідно, повільніше протікають процеси дозрівання плодів.

Середня масова частка крохмалю в плодах сливи при закладанні на зберігання знаходилась на рівні 0,03%. Слід зазначити, що аналізований показник характеризувався високою мінливістю як за сортами, так і за роками досліджень, але основний діапазон варіювання знаходився в межах дуже низьких значень 0,007...0,061%. Протягом наступних

10 діб зберігання крохмалю повністю оцукрювався та зникав у плодах сливи усіх варіантів.

Отже, основною причиною зростання вмісту розчинних цукрів у плодах сливи є гідроліз інших «лабільних» полісахаридів, таких як геміцелюлоза та целюлоза, а також сахароспиртів – сорбітолу та манітолу. Вміст сорбітолу в плодах сливи становить біля 3% [19]. При зберіганні сорбітол перетворюється на сорбозу, внаслідок чого плоди сливи стають солодшими. Крім того, на думку багатьох авторів, сорбітол приймає участь у вуглеводному обміні та виконує функцію проміжного метаболіту при диханні [20-22].

«Лабільні» полісахариди та сахароспирти приймають активну участь не тільки у вуглеводному обміні плодів сливи, а також і плодів яблуні та груші [22].

Зміни пектинових речовин. При закладанні плодів на зберігання найбільшим вмістом пектинових речовин характеризувалися плоди сливи. Середній багаторічний вміст пектинових речовин у плодах сливи вивчених сортів становив 1,5% з сортовим варіюванням від 1,4 (Угорка Італійська) до 1,7 % (Стенлей). Середній багаторічний вміст пектинових речовин у плодах яблуні та груші був майже однаковим та знаходився на рівні 1,2%. Поряд з цим у плодах яблуні даний показник характеризувався високою мінливістю як за сортами, так і за роками досліджень. Найбільший вміст пектинових речовин зафіксований у плодах яблуні сорту Флоріна врожаю 2009 року, найменший – у плодах сорту Голден Делішес урожаю 2010 року. Вміст пектинових речовин у плодах груші був гомеостатичним з середнім коефіцієнтом варіації за сортами та роками досліджень 7,7%. Поряд з цим, кількісне значення аналізованого показника у плодах сортів пізнього терміну досягання було дещо вищим, порівняно з плодами сортів середнього терміну досягання.

Слід також зазначити, що в початковий період зберігання в плодах усіх аналізованих видів та сортів вміст протопектину перевищував над вмістом розчинного пектину. На першому етапі зберігання усіх видів та сортів контрольних плодів (30 діб – для зерняткових, 10 – для сливи) спостерігалось незначне збільшення вмісту суми пектинових речовин. У плодах дослідних варіантів зростання вмісту пектинових речовин тривало на 2 – 4 місяці (залежно від виду та варіанту обробки) довше ніж у контрольних. Причому, зростання загального вмісту пектинових речовин відбувалось за рахунок збільшення вмісту протопектину. На думку деяких авторів [17,18], таке підвищення пов'язано з перетворенням геміцелюлози, яка містить залишки глюкуронової та галактуринової кислот, у протопектин.

При подальшому зберіганні як у контрольних, так і у дослідних плодах відбувалося зниження вмісту пектинових речовин. Таке зниження відбувається за рахунок ферментативного гідролізу нерозчинного

протопектину в розчинну форму – пектин, який, у свою чергу, витрачається, внаслідок участі у вуглеводному обміні.

При зберіганні плодів за обробки АОК перехід протопектину у розчинний пектин відбувається більш повільними темпами, про свідчать розраховані константи швидкості (табл. 2). Найбільші константи швидкості гідролізу протопектину були отримані для усіх видів та сортів контрольних плодів. Причому, максимальні значення встановлені для плодів, що характеризуються меншою лежкістю (сливи та груші середнього терміну досягання), дещо нижчі – для плодів з високою лежкістю (яблука та груші пізнього терміну досягання).

Таблиця 2 – Константи швидкості зниження масової частки протопектину в плодах при зберіганні за обробки АОК

Помологічний сорт	Константи швидкості зниження масової частки протопектину в плодах за різних видів обробки, $k_{пл}, \text{дїб}^{-1}, \times 10^{-2}$			
	К	АКМ	АКРЛ	ДЛ
Плоди яблуні				
Айдаред	-0,97	-0,44	-0,33	-0,21
Голден Делішес	-0,88	-0,48	-0,33	-0,15
Ренет Симиренка	-0,83	-0,58	-0,44	-0,28
Флоріна	-0,81	-0,54	-0,32	-0,22
Середнє	-0,87	-0,51	-0,36	-0,22
Плоди груші				
Вікторія	-0,81	-0,41	-0,24	-0,12
Конференція	-1,05	-0,51	-0,30	-0,07
Середнє	-0,93	-0,46	-0,27	-0,10
Кюре	-0,77	-0,36	-0,24	-0,14
Ізюмінка Криму	-0,61	-0,28	-0,20	-0,14
Середнє	-0,69	-0,32	-0,22	-0,14
Плоди сливи				
Волошка	-2,22	-0,74	-0,75	-0,35
Стенлей	-1,95	-1,06	-0,49	-0,33
Угорка Італійська	-3,07	-0,49	-0,31	-0,18
Середнє	-2,41	-0,76	-0,52	-0,29

При зберіганні плодів з обробкою антиоксидантними композиціями для констант швидкості гідролізу протопектину $k_{пл}$ були характерні значно нижчі кількісні значення. Так, $k_{пл}$ при зберіганні плодів яблуні з обробкою АОК АКМ була у 1,7 разів, з обробкою АКРЛ – у 2,4 рази, з обробкою ДЛ – 4 рази меншою порівняно з контрольними плодами. При зберіганні плодів груші пізнього терміну досягання значення $k_{пл}$ були меншими за контрольний варіант відповідно у 2,2, 3,1 та 5 разів. Найбільший позитивний вплив АОК зафіксований для плодів груші середнього терміну досягання та плодів сливи. При цьому значення $k_{пл}$ у плодів груші були меншими за контрольний варіант

відповідно у 2, 3,4 та 9,3 рази, а у плодів сливи – 3,2, 4,6 та 8,3 рази.

Після тривалого зберігання найбільшою кількістю пектинових речовин характеризувалися плоди яблуні сортів Айдаред та Флоріна, груші сортів Кюре та Ізюминка Криму та сливи сорту Стенлей. Обробка плодів АОК сприяла кращій збереженості пектинових речовин протягом зберігання, що пояснюється інгібуючою дією антиоксидантів на окисно-відновні процеси, і в першу чергу, на дихання. Найбільший позитивний ефект для всіх видів та сортів плодів встановлений при використанні АОК ДЛ.

Кореляційним аналізом підтверджена участь пектинових речовин як у вуглеводному обміні плодів, так і у процесі дихання. Сильний кореляційний зв'язок між вмістом пектинових речовин та сумою цукрів встановлений тільки при зберіганні плодів яблуні сортів Ренет Симиренка та Флоріна, і плодів груші сорту Ізюминка Криму за обробки всіма антиоксидантними композиціями, а також сорту Кюре за обробки композицією ДЛ. Між вмістом пектинових речовин та інтенсивністю дихання сильний негативний зв'язок встановлений при зберіганні дослідних плодів яблуні сорту Ренет Симиренка за обробки всіма АОК, та сорту Флоріна – за обробки композицією ДЛ, а також плодів груші сорту Ізюминка Криму за обробки АОК ДЛ.

При зберіганні плодів сливи усіх дослідних варіантів між вмістом пектинових речовин та сумою цукрів встановлений сильний негативний зв'язок. Що стосовно інтенсивності дихання, то негативний зв'язок з сумою пектинових речовин встановлений при зберіганні плодів сливи усіх варіантів. Причому для плодів контрольних варіантів зв'язок є слабким та середнім, а дослідних – сильним.

Отже, обробка антиоксидантними композиціями збалансовує катаболічні та анаболічні процеси перетворення вуглеводів, внаслідок чого пектинові речовини використовуються у якості основної запасної речовини для синтезу цукрів. А сильні негативні кореляційні залежності між інтенсивністю дихання та пектиновими речовинами підтверджують активне залучення останніх у дихальний метаболізм плодів сливи.

Швидкість взаємоперетворення пектинових речовин при післязбиральному дозріванні плодів позначається на їх консистенції. Гідроліз протопектину у розчинний пектин супроводжується розм'якшенням плодів, що пояснюється відокремленням суміжних клітин одна від одної. Але, при високому вмісті розчинного пектину, завдяки його здатності до набрякання та утримання великої кількості вологи, тургесцентність тканин плодів залишається високою. На останньому етапі зберігання, при швидкій витраті розчинного пектину, плоди втрачають соковитість та стають пухкими.

На думку деяких авторів [14,23] зменшення динамічної твердості плодів головним чином

визначається співвідношенням вмісту протопектину до розчинного пектину, або, так званим, протопектиновим індексом (ППІ).

Твердість м'якуша плодів на початку та після зберігання за обробки АОК наведені у таблиці 3.

Таблиця 3 – Твердість плодів при зберіганні за обробки антиоксидантними речовинами, кг/см²

Сорт	Початок зберігання	Кінець зберігання			
		контроль	АКМ	АКРЛ	ДЛ
Плоди яблуні					
Айдаред	6,89	2,80	3,70	3,95	4,30
Голден Делішес	6,33	2,90	3,10	3,50	5,30
Ренет Симиренка	7,27	3,15	3,10	3,85	4,90
Флоріна	6,80	4,17	5,15	5,20	5,45
Середнє	6,82	3,26	3,76	4,13	4,99
Плоди груші					
Вікторія	6,70	2,80	4,20	4,80	5,70
Конференція	5,70	2,00	2,93	4,10	4,90
Середнє	6,2	2,4	3,57	4,45	5,3
Кюре	10,60	4,85	7,20	8,70	9,27
Ізюминка Криму	11,53	5,05	9,33	10,27	10,63
Середнє	11,07	4,95	8,27	9,49	9,95
Плоди сливи					
Волошка	3,23	1,25	2,40	1,95	2,55
Стенлей	3,70	1,65	2,00	3,10	3,20
Угорка Італійська	3,27	1,10	2,60	2,70	2,85
Середнє	3,40	1,33	2,33	2,58	2,87

Основною тенденцією динаміки даного показника стало зменшення його кількісного значення протягом усього терміну зберігання незалежно від варіанту обробки. Однак, швидкості зниження у контрольних та дослідних варіантах були різними. Максимальними вони були у плодів контрольних варіантів з варіюванням констант швидкості k_T від $-0,23 \cdot 10^{-2}$ у плодів яблуні сорту Флоріна, до $-1,36 \cdot 10^{-2}$ у плодів сливи сорту Угорка Італійська, мінімальними – при зберіганні усіх видів плодів за обробки антиоксидантною композицією ДЛ.

Кореляційним аналізом підтверджено існування тісного зворотного зв'язку між ППІ та відсотком зменшення твердості м'якуша плодів з коефіцієнтами кореляції $r = -0,95 \dots -0,98$ залежно від виду плодів.

Отже, результатами наших досліджень встановлено, що вміст пектинових речовин, в тому числі протопектину, у плодах з обробкою АОК в порівнянні з контролем зберігався на більш високому рівні протягом усього періоду післязбирального дозрівання, що позитивно позначалося на їх квалітативних властивостях.

Висновки

1. Отже, обробка антиоксидантними композиціями збалансовує катаболічні та анаболічні

процеси перетворення вуглеводів при зберіганні плодової продукції, зменшує у 1,1...5,0 разів інтенсивність процесів післязбирального перетворення розчинних сахаридів, у 1,6...4,7 разів швидкість оцукрення крохмалю та у 1,7...9,3 рази швидкість витрати пектинових речовин.

2. Науково обґрунтовано, що пектинові речовини, поряд з крохмалем, використовуються у якості основної запасної речовини для синтезу цукрів. А сильні негативні кореляційні залежності між інтенсивністю дихання та пектиновими речовинами підтверджують активне залучення останніх у дихальний метаболізм плодів.

Список литературы

1. **Сердюк, М. Є.** Формування смакових якостей плодів сливи під впливом абіотичних чинників / **М. Є. Сердюк, Д. С. Степаненко** // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2015. – Т. 4. – №. 10 (76). – с. 55 – 61. doi: 10.15587/1729-4061.2015.46579.
2. **Jan, I.** Influence of storage duration on physico-chemical changes in fruit of apple cultivars / **I. Jan, A. Rab** // *J. Anim. Plant Sci.* – 2012. – Т. 22. – №. 3. – С. 708-714.
3. **Mesa, K.** Seasonal trends of starch and soluble carbohydrates in fruits and leaves of 'Abbé Fétel' pear trees and their relationship to fruit quality parameters / **K. Mesa, S. Serra, A. Masia, F. Gagliardi, D. Bucci, S. Musacchi** // *Scientia Horticulturae*. – 2016. – Т. 211. – С. 60-69. – doi.org/10.1016/j.scienta.2016.08.008.
4. **Причко, Т. Г.** Изменения биохимических и физико-химических характеристик яблок в период созревания / **Т. Г. Причко, Ю. Г. Скорикова** // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. – 1990. – Т. 199. – №. 6 – 10 с.
5. **П'инский, А. S.** Honey Crisp [apples] storage in various conditions / **A. S. П'инский, S. B. Karpov, M. R. Pustovalov** // *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. – 2014. – 13 с.
6. **Kovács, E.** Morphologic changes of starch granules in the apple cv. Mutsu during ripening and storage / **E. Kovács, T. M. Eads** // *Scanning*. – 1999. – Т. 21. – №. 5. – С. 326-333. - doi:10.1002/sca.4950210506.
7. **Beattie, B.** Storage, ripening and handling of fruit / **B. Beattie, N. Wade** // *Fruit Processing*. – Springer US, 1996. – С. 40-69. - doi.org/10.1007/978-1-4615-2103-7_3.
8. **Дубровская, О. Ю.** Биохимический состав плодов сортов и форм сливы и выделение лучших генотипов для селекционного использования и переработки : дис. ... канд.с.-х. наук: 06.01.05 / **Ольга Юрьевна Дубровская**. – Мичуринск. – 2015. – 130 с.
9. **Segonne, S. M.** Multiscale investigation of mealiness in apple: an atypical role for a pectin methylesterase during fruit maturation / **S. M. Segonne, M. Bruneau, J. M. Celton, S. Le Gall, M. Francin-Allami, M. Juchaux, J. P. Renou** // *BMC plant biology*. – 2014. – Т. 14. – №. 1. – С. 375. - doi.org/10.1186/s12870-014-0375-3.
10. **El-Ramady, H. R.** Postharvest management of fruits and vegetables storage / **H. R. El-Ramady, É. Domokos-Szabolcsy, N. A. Abdalla, H. S. Taha, M. Fári** // *Sustainable agriculture reviews*. – Springer International Publishing, 2015. – С. 65-152. - doi.org/10.1007/978-3-319-09132-7_2.
11. **Kaur, K.** Changes in pectin methyl esterase activity with different packaging materials and stages of fruit harvesting during cold storage of pear cv. Punjab beauty / **K. Kaur, W. S. Dhillon, B. V. C. Mahajan** // *Journal of food science and technology*. – 2014. – Т. 51. – №. 10. – С. 2867-2871. - doi.org/10.1007/s13197-012-0773-1
12. **Lapasin, R.** The polysaccharides: sources and structures / **R. Lapasin, S. Priel** // *Rheology of Industrial Polysaccharides: Theory and Applications*. – Springer US, 1995. – С. 1-133. - doi.org/10.1007/978-1-4615-2185-3_1
13. **Billy, L.** Relationship between texture and pectin composition of two apple cultivars during storage / **L. Billy, E. Mehinagic, G. Royer, C. M. Renard, G. Arvisenet, C. Prost, F. Jourjon** // *Postharvest Biology and Technology*. – 2008. – Т. 47. – №. 3. – С. 315-324. - doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.07.011
14. **Салина, Е. С.** Пектиновые вещества как технологический показатель пригодности плодов яблони для производства сока / **Е. С. Салина, Н. С. Левгерова, Л. А. Грюнер, И. А. Ильина** // *Достижения науки и техники АПК*. – 2010. – №. 9. – С. 30 – 31.
15. **Созаева, Д. Р.** Содержание пектинов в различных видах плодовых культур и их физико-химические свойства / **Д. Р. Созаева, А. Джабоева, Л. Шаова, О. Цагоева** // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. – 2016. – №. 2 (68) – С. 170 – 174.
16. **Deuel, H.** Pectic substances and pectic / **H. Deuel, E. Stutz** // *Advances in Enzymology and Related Areas of Molecular Biology*. – 2009. – Т. 20. – С. 341. - doi: 10.1002/9780470122655.ch11
17. **Арасимович, В. В.,** Обмен углеводов при созревании и хранении плодов яблони / **В. В. Арасимович, И. П. Пономарева** // Кишинев: Штиинца. – 1976. – С. 61-77.
18. **Новикова, О. А.** Динамика содержания пектиновых веществ в плодах яблони в процессе хранения / **О. А. Новикова, Н. А. Голикова, Р. И. Овчинникова** // *Аграрный вестник Урала*. – 2009. – №. 12.
19. **Belitz, I. H. D.** Fruits and fruit products / **I. H. D. Belitz, I. W. Grosch** // *Food chemistry*. – Springer Berlin Heidelberg, 2004. – 806-861. - doi.org/10.1007/978-3-662-07279-0_19.
20. **Suzuki, Y.** Polyol Metabolism and Stress Tolerance in Horticultural Plants / **Y. Suzuki** // *Abiotic Stress Biology in Horticultural Plants*. – Springer Japan, 2015. – P. 59-73. - doi.org/10.1007/978-4-431-55251-2_5.
21. **Shen, B.** Roles of sugar alcohols in osmotic stress adaptation. Replacement of glycerol by mannitol and sorbitol in yeast / **B. Shen, S. Hohmann, R. G. Jensen, H. J. Bohnert** // *Plant Physiology*. – 1999. – Т. 121. – №. 1. – P. 45-52. - doi: 10.1104/pp.121.1.45.
22. **Dikeman, C. L.,** Carbohydrate composition of selected plum/prune preparations / **C. L. Dikeman, L. L. Bauer, G. C. Fahey** // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 2004. – Т. 52. – №. 4. – С. 853-859. - doi: 10.1021/jf034858u.
23. **Медведев, В. А.** Технология комплексного использования отходов садоводства и сокового производства : автореф. дисс. на соискание уч. степени к.т.н. – Краснодар, 1973. – 29 с.

Bibliography (transliterated)

1. Serdyuk, M., Stepanenko, D. Formation of the taste of plum fruits under the influence of abiotic factors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2015, **4**(10 (76)), 55-60.
2. Jan, I., Rab, A., Influence of storage duration on physico-chemical changes in fruit of apple cultivars. *J. Anim. Plant Sci.*, 2012, T. 22, №. 3, C. 708-714.
3. Mesa, K., Serra, S., Masia, A., Gagliardi, F., Bucci, D., Musacchi, S. Seasonal trends of starch and soluble carbohydrates in fruits and leaves of 'Abbé Fétel' pear trees and their relationship to fruit quality parameters. *Scientia Horticulturae*, 2016, **211**, 60-69. – doi:10.1016/j.scienta.2016.08.008.
4. Prichko, T. G., Skorikova, Yu. G. Izmeneniya biokhimicheskikh i fiziko-himicheskikh karakteristik yablok v period sozrevaniya. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Pischevaya tehnologiya*, 1990, **199**, 6-10.
5. Il'inskij, A. S., Karpov, S. B., Pustovalov, M. R. Honey Crisp [apples] storage in various conditions. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*, 2014, 13.
6. Kovács, E., Eads, T. M. Morphologic changes of starch granules in the apple cv. Mutsu during ripening and storage. *Scanning*, 1999, **21**, №. 5, 326-333. – doi:10.1002/sca.4950210506.
7. Beattie, B., Wade, N. Storage, ripening and handling of fruit. *Fruit Processing*, Springer US, 1996, 40-69, – doi: 10.1007/978-1-4615-2103-7_3.
8. Dubrovskaya, O. Yu., Biohimicheskij sostav plodov sortov i form slivyi i vydelenie luchshih genotipov dlya selekcionnogo ispolzovaniya i pererabotki : dis. ... kand.s.-h. nauk: 06.01.05. Michurinsk, 2015, 130 s.
9. Segonne, S. M., Bruneau, M., Celton, J. M., Gall, S. Le, Francin-Allami, M., Juchaux, M., Renou, J. P. Multiscale investigation of mealiness in apple: an atypical role for a pectin methylesterase during fruit maturation. *BMC plant biology*, 2014, **14**, №. 1, 375. – doi:10.1186/s12870-014-0375-3.
10. El-Ramady, H. R., Domokos-Szabolcsy, É., Abdalla, N. A., Taha, H. S., Fári, M. Postharvest management of fruits and vegetables storage. *Sustainable agriculture reviews*. – Springer International Publishing, 2015, C. 65-152. - doi.org/10.1007/978-3-319-09132-7_2.
11. Kaur, K., Dhillon, W. S., Mahajan, V. C. Changes in pectin methyl esterase activity with different packaging materials and stages of fruit harvesting during cold storage of pear cv. Punjab beauty. *Journal of food science and technology*, 2014, **51**, №. 10, C. 2867-2871. – doi:10.1007/s13197-012-0773-1.
12. Lapasin, R., Pricl, S. The polysaccharides: sources and structures. *Rheology of Industrial Polysaccharides: Theory and Applications*. – Springer US, 1995, 1-133. – doi:10.1007/978-1-4615-2185-3_1
13. Billy, L., Mehinagic, E., Royer, G., Renard, C. M., Arvisenet, G., Prost, C., Jourjon, F. Relationship between texture and pectin composition of two apple cultivars during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 2008, **47**, №. 3, C. 315-324. – doi:10.1016/j.postharvbio. 2007.07.011
14. Salina, E. S., Levgerova, N. S., Gryuner, L. A., Ilina, I. A. Pektinovyie veschestva kak tehnologicheskij pokazatel prigodnosti plodov yabloni dlya proizvodstva soka. *Dostizheniya nauki i tehniki APK*, 2010, **9**, S. 30 – 31.
15. Sozaeva, D. R., Dzhaboeva, A., Shaova, L., Tsagoeva, O. Soderzhanie pektinov v razlichnykh vidah plodovykh kultur i ih fiziko-himicheskije svoystva. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tehnologiy*, 2016, **2** (68), S. 170 – 174.
16. Deuel, H., Stutz, E. Pectic substances and pectic. *Advances in Enzymology and Related Areas of Molecular Biology*, 2009, **20**, C. 341. – doi: 10.1002/9780470122655.ch11
17. Arasimovich, V. V., Ponomareva, I. P. Obmen uglevodov pri sozrevanii i hranenii plodov yabloni. *Kishinev: Shtiintsa*, 1976, S. 61-77.
18. Novikova, O. A., Golikova, N. A., Ovchinnikova, R. I. Dinamika sodержaniya pektinovykh veschestv v plodakh yabloni v protsesse hraneniya. *Agrarniy vestnik Urala*, 2009, 12.
19. Belitz, I. H. D., Grosch, I. W. Fruits and fruit products. *Food chemistry*. – Springer Berlin Heidelberg, 2004, 806-861. – doi:10.1007/978-3-662-07279-0_19.
20. Suzuki, Y. Polyol Metabolism and Stress Tolerance in Horticultural Plants. *Abiotic Stress Biology in Horticultural Plants*, Springer Japan, 2015, 59-73. – doi:10.1007/978-4-431-55251-2_5.
21. Shen, B., Hohmann, S., Jensen, R. G., Bohnert, H. J. Roles of sugar alcohols in osmotic stress adaptation. Replacement of glycerol by mannitol and sorbitol in yeast. *Plant Physiology*, 1999, **121**, №. 1, 45-52, doi: 10.1104/pp.121.1.45.
22. Dikeman, C. L., Bauer, L. L., Fahey, G. C. Carbohydrate composition of selected plum/prune preparations. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2004, **52**, №. 4, C. 853-859. - doi: 10.1021/jf034858u.
23. Medvedev, V. A. Tehnologiya kompleksnogo ispolzovaniya othodov sadovodstva i sokovogo proizvodstva : avtoref. diss. na soiskanie uch. stepeni k.t.n., Krasnodar, 1973., 29 s.

Сведения об авторах (About authors)

Сердюк Марина Єгорівна – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Таврійський державний агротехнологічний університет, доцент кафедри технології переробки та зберігання продукції сільського господарства, м. Мелітополь, Україна; e-mail: kowtun.marina2013@gmail.com.

Marina Serdyuk – Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Docent, Associate Professor, Department of technology of processing and storage of agricultural products, Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, Ukraine, e-mail: kowtun.marina2013@gmail.com

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Сердюк, М. Є. Зміни вуглеводного комплексу плодів при зберіганні за обробки антиоксидантними композиціями / **М. Є. Сердюк** // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 53 (1274). – С. 137-145. – doi:10.20998/2413-4295.2017.53.20.

Please cite this article as:

Serdyuk, M. Changes in the carbohydrate complex of fruits during storage with treatment with antioxidant compositions. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **53** (1274), 137–145. – doi:10.20998/2413-4295.2017.53.20.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Сердюк, М. Е. Изменения углеводного комплекса плодов при хранении с обработкой антиоксидантными композициями / **М. Е. Сердюк** // Вестник НТУ «ХПИ», Серія : Новые решения в современных технологиях. - Харьков: НТУ «ХПИ». - 2017. - № 53 (1274). - С. 137-145. - doi:10.20998/2413-4295.2017.53.20.

АННОТАЦІЯ *Исследования посвящены выявлению и научному обоснованию влияния комплексных антиоксидантных композиций на изменения углеводного комплекса плодов в течение длительного холодильного хранения. Установлено, что обработка антиоксидантными композициями балансирует катаболические и анаболические процессы превращения углеводов при хранении плодовой продукции, уменьшает в 1,1 ... 5,0 раз интенсивность процессов послеуборочной преобразования растворимых сахаридов, в 1,6 ... 4,7 раза скорость осахаривания крахмала и в 1,7 ... 9,3 раза скорость расхода пектиновых веществ.*

Ключевые слова: *антиоксиданты; углеводы; сахара; крахмал; пектиновые вещества; твердость; хранение.*

Поступила (received) 30.11.2017