УДК 664.8.047
DOI:

ВПЛИВ ТЕПЛОВОЛОГОЇ ОБРОБКИ НА КІНЕТИКУ СУШІННЯ ПЕКТИНОВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ

Шапар Р.О., к.т.н., ст.наук.співр., Гусарова О.В.
Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

Анотація. У статті наведено властивості сировини, що є джерелом пектинових речовин, зокрема яблук, спектр фізіологічної дії пектину та переваги пектиновмісних сушених продуктів. Мета роботи - визначення впливу різних видів попередньої тепловологої обробки яблук перед сушінням на кінетику процесу конвективного зневоднення і стан пектинових речовин. Об'єктами досліджень обрано яблука сортів Ренет Симиренко та Джонатан.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень доводять, що обов'язковою умовою переробки пектиновмісної сировини є попередня тепловолога обробка паренхімних тканин. У роботі наведено криві сушіння та криві швидкості сушіння яблук в режимі двостадійного зневоднення, що піддавались різним видам обробки. Характер кривих показує, що процес видалення вологи проходить в періоді падаючої швидкості впродовж усього зневоднення. Дослідженнями встановлено, що незалежно від виду обробки, тривалість зневоднення бланшованих зразків скорочується порівняно із свіжими яблуками. Тривалість процесу сушіння зразків бланшованих парою, є найменшою і скорочується на 20 та 25 % для яблук сортів Ренет Симиренко та Джонатан відповідно, при цьому, їхня максимальна швидкість зневоднення вища у 1,8 рази.

Проаналізовано стан пектинових речовин та зміна співвідношення протопектину та розчинного пектину під час попередньої тепловологої обробки та конвективного сушіння. Співвідношення змінюється в бік збільшення кількості розчинного пектину від 35 до 60 %. Встановлено, що тепловолога обробка та сушіння за двостадійними режимами забезпечують максимальний ступінь збереження пектинових та інших біологічно активних речовин, сприяють зниженню собівартості чипсів за рахунок скорочення тривалості та енергетичних витрат процесу.

Ключові слова: пектиновмісна сировина, попередня тепловолога обробка, стадійне сушіння, інтенсифікація процесу.

INFLUENCE OF HEAT AND MOISTURE TREATMENT ON THE KINETICS OF DRYING PECTIN-CONTAINING PRODUCT

Shapar R.O., Husarova O.V.
Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

Abstract. The article presents the properties of raw material, which is a source of pectin, in particular apples, the spectrum of physiological action of pectin substances and the advantages of pectin-containing dried products. The purpose of the work was to determine the effect of different types of preliminary heat treatment of apples before drying on the kinetics of the dehydration process and the amount of soluble pectin in chips.

The results of both theoretical and experimental investigations demonstrate that hygrothermal processing of parenchymal tissues is a sine qua non for processing pectin-containing raw material. The curves of drying and curves of drying rates of apples subjected to various types of preliminary heat treatment before dewatering are presented in the work. Studies have shown that the duration of dehydration of all blanched specimens is reduced compared to untreated apples. The drying time of apples blanched with steam to residual moisture of 6 % is the smallest. The process of dehydration proceeds in the period of incident speed, on the curves of drying there is no period of constant speed. The maximum speed of drying occurs in steam blanched apples.

It is determined that the soluble pectin amount in fresh apples is 35 % of the total pectin amount and increases to 58 % after hygrothermal processing. Some insignificant loss 2...4% of the total amount of pectin substances and grows of soluble pectin amount by 2...5 % in the course of drying process are observed.

According to the results of investigations, the stepped modes of dehydrating pectin-containing materials are determined. They promote a reduction of process duration by 25 % and saving in the energy resources by 20 % as well as guarantee a high level of conservation of pectin and biologically active substances.

Keywords: pectin-containing raw materials, preliminary heat treatment, step drying, intensification of the process.

Вступ. Одним з найбільш важливих факторів, що впливає на стан здоров'я людей є харчування. Життєдіяльність організму людини та формування його стійкості до впливу зовнішнього середовища значною мі-

рою залежить від постійного надходження біологічно необхідних речовин з їжею. Виробництво біологічно повноцінних харчових продуктів у нашій країні здійснюється в недостатній кількості. Особливо відчутним є практична відсутність продуктів, збагачених пектиновими речовинами.

Спектр фізіологічної дії пектинів надзвичайно широкий – як детоксиканти і радіопротектори, пектини, зв'язують іони важких металів, радіонукліди та токсичні речовини, виявляють імуностимулюючу активність, у складі харчових волокон сприятливо впливають на діяльність травного каналу, нормалізують діяльність корисної мікрофлори тощо [1].

Відсутність виробництва пектину в Україні обмежує виготовлення продуктів харчування на пектиновій основі. Наразі потреби у пектині значно перевищують обсяги його імпорту поставок. За таких обставин актуальним і доцільним є використання пектинів у складі самої сировини, яка, до того ж, сама по собі має високу харчову та біологічну цінність, наприклад у вигляді сушених пектиновмісних продуктів.

Пектиновмісні сушені продукти мають низку переваг порівняно з іншими способами консервування сировини – фруктових соками, пастами, пюре тощо. З одного боку – це скорочення витрат на транспортування та невеликі складські приміщення для зберігання. З другого – термін зберігання сушених продуктів у 2...3 рази перевищує термін зберігання свіжої сировини, тому вони доступні споживачеві у будь-яку пору року. До того ж розширюється географія ринків реалізації сушених продуктів, у т.ч. і міжнародних. Вони технологічні, прості та зручні у застосуванні, вдало поєднуються з іншими харчовими інгредієнтами.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Найпоширенішою пектиновмісною сировиною в Україні є яблука. Залежно від сорту, кліматичних умов, ступеня дозрілості, часу зберігання вміст пектинових речовин коливається від 1,0 до 1,8 % на сиру масу. Пектинові речовини – високомолекулярні похідні вуглеводів, представлені протопектином – нерозчинним пектином, розчинним пектином, пектовою та пектиною кислотою і їхніми солями. Співвідношення протопектину та розчинного пектину специфічне для кожної культури й є її характерною видовою біохімічною ознакою. Протопектин складає основу пектоцелюлозної оболонки, середньої пластинки і є цементуючою речовиною, що скріплює клітини в єдину тканину. Розчинний пектин міститься в клітинному соку, соку вакуолей, міжклітинних тканинах і є запасною речовиною, яка залучається в процесі обміну [1,2].

Особливості хімічного складу та технологічні властивості яблук зумовлюють їхнє широке використання у якості об'єктів переробки при виробництві сушених пектиновмісних продуктів, таких як сухофрукти, чипси, харчові порошки. Сухофрукти з яблук традиційно вживають як самостійний продукт, або використовують для приготування напоїв, узварів. Яблучний порошок має найбільше застосування у молочних, кондитерських, борошняних виробках, збагачуючи їх пектиновими речовинами, вітамінами, вуглеводами, органічними кислотами, мікроелементами і є безумовною альтернативою штучним наповнювачам, барвникам, смаковим добавкам, які додають у харчові продукти [3].

Розглянемо детальніше технологічний процес одержання чипсів з яблук, які отримують сушінням до низької залишкової вологості без обсмаження, завдяки чому не містять холестеринів та канцерогенів речовин. Вони компактні та зручні у користуванні [4].

Торгівельна мережа України представлена чипсами переважно закордонного виробництва, але вони мають занадто високу ціну. До того ж, огляд літературних джерел, свідчить, що більшість технологій під час виробництва передбачає внесення цукрового сиропу, фруктових соків та есенцій, смакових компонентів, ароматизаторів здебільшого штучного походження [5-8].

Для одержання чипсів використовують яблука відповідно до існуючого стандарту [9] з твердою плодовою м'якоттю. Кружечки і частки нарізають з яблук діаметром більше 50 мм, пізніх осінніх і осінньозимових сортів, що мають величину цукрово-кислотного індексу – 16...20. Така величина оптимальна з точки зору технології зневоднення та органолептичних показників чипсів. Підвищений вміст цукру і, відповідно індексу, ускладнює сушіння та виключає можливість використання високих температур з метою інтенсифікації зневоднення, через імовірність протікання реакцій меланоїдиноутворення і карамелізації. Індекс нижче вказаного діапазону негативно позначається на смакових якостях чипсів [10,11].

Результати теоретичних та експериментальних досліджень доводять, що обов'язковою умовою переробки пектиновмісної сировини є попередня тепловоліога обробка паренхімних тканин. Попередня обробка пектиновмісних сировинних матеріалів подвійно обґрунтована. По-перше, вона сприяє гідролізу протопектину в розчинну форму. Поєднання пектинових речовин з іншими компонентами сировини, насамперед, з цукрами та органічними кислотами, зумовлюють високу драглетуючу здатність сушених продуктів. По-друге, поряд зі специфічним впливом на зміну властивостей вихідної сировини, відбувається стабілізація кольору, інактивація ферментної системи, збільшення клітинної проникності, що в подальшому, під час сушіння, інтенсифікує процес видалення вологи.

При обґрунтуванні технології виробництва пектиновмісної сушеної продукції, нами доведено, що уникнення перевищення температури матеріалу за допустиме значення і скорочення теплових витрат забезпечується низкою методів, зокрема сушінням з використанням стадійних режимів зневоднення [12].

Підвищений вміст пектинових речовин, яким властива здатність зв'язувати та утримувати вологу, ускладнює процес і лімітує температуру матеріалу та тривалість термічного зневоднення. Враховуючи енергоємність зневоднення, підвищені вимоги до якості та безпечності кінцевих продуктів, на перший план виступають максимально допустима температура зневоднювального матеріалу, натуральність сушених продуктів і екологічна чистота технологічного процесу. Критерії якості та економічності процесу поєднуються в одну задачу – підвищення ефективності термічного зневоднення [13,14].

Мета. Визначити вплив різних видів попередньої тепловологої обробки яблук перед сушінням на кінетику процесу зневоднення.

Задачі дослідження:

- визначити вплив попередньої тепловологої обробки яблук на процес сушіння;
- встановити кінетичні закономірності процесу сушіння;
- проаналізувати динаміку змін співвідношення форм пектинових речовин.

Результати та їх обговорення.

При проведенні досліджень, підготовлені яблука сортів Ренет Смиренко та Джонатан, з початковим вмістом пектинових речовин 1,1 та 1,3 % на сиру масу відповідно, нарізали кільцями завтовшки 3...4 мм та піддавали наступним видам попередньої тепловологої обробки: бланшування парою, у воді, у розчинах лимонної кислоти різної концентрації та у розчині цукрового сиропу. Зневоднення здійснювали методом двос-тадійного конвективного сушіння до залишкової вологості не більше 6 %, середня температура яблук протягом експерименту не перевищувала 60 °С.

На рисунках 1 і 2 зображено криві кінетики сушіння $W^c = f(\tau)$ та криві швидкості сушіння $dW^c/d\tau = f(W^c)$ яблук. Порівняння процесів зневоднення яблук показало, що характер кривих кінетики та швидкості сушіння є подібним. Для обох сортів основні закономірності протікання процесу вологообміну є загальними.

1 – необроблені яблука, 2 – бланшовані у 10 % цукровому сиропі, 3 – бланшовані у 0,1 % розчині лимонної кислоти, 4 – бланшовані у 1 % розчині лимонної кислоти, 5 – бланшовані парою
 $t = 80...60\text{ }^{\circ}\text{C}$; $V = 1,5\text{ м/с}$; $d = 10\text{ г/кг с.п.}$

Рис. 1. Вплив видів бланшування яблук сорту Ренет Смиренко на кінетику (а) та швидкість процесу сушіння (б)

Аналіз кривих кінетики сушіння (рис. 1, (а) та рис. 2, (а)) показав, що тривалість зневоднення зразків бланшованих в різний спосіб, скорочується порівняно із необробленими яблуками. Тривалість зневоднення зразків бланшованих парою є найменшою і скорочується на 20 % для яблук сорту Ренет Смиренко та на 25 % для сорту Джонатан.

Як бачимо з рис. 1, (б) та рис. 2, (б) процес зневоднення протікає в періоді падаючої швидкості. Швидкість сушіння бланшованих зразків вища, ніж необроблених протягом усього процесу. Максимальна швидкість сушіння обох сортів яблук вища у 1,8 рази.

1 – необроблені яблука, 2 – бланшовані у 10 % цукровому сиропі, 3 – бланшовані у 1 % розчині лимонної кислоти, 4 – бланшовані парою, 5 – бланшовані у воді $t = 80 \dots 60 \text{ }^\circ\text{C}$; $V = 1,5 \text{ м/с}$; $d = 10 \text{ г/кг с.п.}$

Рис. 2. Вплив видів бланшування яблук сорту Джонатан на кінетику (а) та швидкість процесу сушіння (б)

Аналізуючи вплив попередньої тепловологої обробки на органолептичні характеристики готового продукту визначено, що всі досліджені види обробки забезпечують високий ступінь збереження природного кольору та запаху чипсів.

Проте бланшування у розчинах лимонної кислоти, як і у цукровому сиропі, негативно позначається на характеристиках готового продукту, зразки прилипають один до одного та до поверхні сушильного обладнання, тим самим збільшуючи втрати продукту. Крім того, бланшування у розчинах приводить до здорожчання чипсів за рахунок придбання штучних смакових компонентів, зниження натуральності, при цьому, порівняно з бланшуванням парою, відбувається перехід сухих речовин до розчину (2...3 %). Наведений на діаграмі (рис. 3) хімічний склад чипсів з яблук підтверджує правильність вибору способу попередньої тепловологої обробки яблук і режиму термічного зневоднення.

Аналіз стану пектинових речовин яблук під час переробки показує, що співвідношення протопектину та розчинного пектину змінюється. Так, кількість розчинного пектину в свіжих яблуках становить 35 % від загальної, а після бланшування парою зростає до 58 %. Визначення кількісного вмісту пектинових речовин здійснювали титриметричним методом запропонованим С.Я. Раїк (рис. 4).

Рис. 3. Хімічний склад чипсів з яблук сорту Ренет Симиренко

Рис. 4. Зміна співвідношення форм пектину під час переробки

Впродовж процесу конвективного сушіння відзначаються незначні втрати загальної кількості пектинових речовин – 2...4 % і підвищення кількості розчинного пектину на 2...5 %, що підтверджується даними діаграми наведеної на рис. 4 [14].

Висновки.

1. Результати проведених досліджень щодо впливу різних видів попередньої тепловологої обробки пектиновмісної сировини доводять перевагу бланшування у атмосфері пари.

2. Обґрунтування результатів з кінетики сушіння в режимах двостадійного зневоднення, за якими температура теплоносія на першій стадії процесу дорівнює 80 °С, на другому 60 °С показує скорочення тривалості процесу та швидкості зневоднення у 1,8 рази для зразків бланшованих парою. Температура матеріалу впродовж сушіння не перевищує гранично допустиме значення, завдяки чому забезпечується високий ступінь збереження природних компонентів сировини, у т. ч. пектинових речовин.

3. Співвідношення протопектину (нерозчинного пектину) і розчинного пектину для досліджених сортів яблук під час бланшування парою і конвективного сушіння змінюється в бік збільшення кількості розчинного пектину від 35 до 60 %. Вміст пектинових речовин у готовому продукті коливається від 6 до 12 % на 100 г сухих речовин залежно від початкової кількості.

Використання зазначених результатів позначається на зниженні собівартості чипсів за рахунок скорочення тривалості до 25 % та енерговитрат процесу.

Чипси відповідають вимогам розроблених нами технічним умовам ТУУ 10.3-05417118-053:2016 „Чипси фруктові, овочеві” за фізико-хімічними та мікробіологічними показниками, мають приємний зовнішній вигляд, хрустку консистенцію, збалансована кількість цукру і органічних кислот надає смаку, властивого свіжим яблукам. Вживання пектиновмісних продуктів підсилює захисні сили організму і сприяє його оздоровленню, вони набувають лікувально-профілактичної та направленої дії і можуть споживатися регулярно без обмеження в часі.

References

1. Karpovich, N.S., Donchenko, L.V., Nelina, V.V. (1989). *Pektin. Proizvodstvo i primeneniye*. Kyiv: Urozhay, 88.
2. Orlova, N.Ia., Diakova, Yu.V. (2015). Vuhlevodnyi kompleks sushenykh baklazhaniv. *Tovaroznachnyi visnyk*. Kyiv. 8, 201–211.
3. Sniezhkin, Yu.F., Shapar, R.O., Khavin, O.O., Chalaiev, D.M. (2002). Dosvid vykorystannia naturalnykh poroshkiv z roslynnoi syrovyny u molochnykh produkakh. *Prom. Teplotekhnika*. 24 (4), 57-59.
4. Sniezhkin, Yu.F., Husarova, O.V., Shapar, R.O. (2017). Intensyfikatsiia volohovydalennia pry znevodnenni plodoovochevoi syrovyny. *Naukovi pratsi ONAKhT*. Odesa. 1, (81), 90-93. doi.org/10.15673/swonaft.v8i1l.681.
5. Sham, P., Scaman, C., Durance, T. (2001). Texture of vacuum microwave dehydrated apple chips as affected by calcium pretreatment, vacuum level, and apple variety. *Journal of Food Science*. 66 (9), 1341 – 1347. doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.tb15212.x.
6. Giannini, Beau. (12.08.2010). *Certificate of authorship WO/2010/090620, MPK A23B 7/005 (2006.01), A23B 7/02 (2006.01), A23L 1/212 (2006.01)*. A method of preparing apple chips. (China). PCT/US2009/000740; declared 04.02.2009.
7. Choi, Gwang Cheolchoi, Ji Hyeokchoi. (12.05.2015). *Certificate of authorship 1020150051298, MPK A23L 1/212, A23L 3/40*. Method for preparing dehydrated apple chips. (Korea). 1020130132592; declared 02.11.2013.
8. Shapar, R.O. Husarova, O.V. (2017). Analiz innovatsiinykh tekhnolohii dlia vyrobnytstva fruktovykh chypsov. *Prom. teplotekhnika*, Kyiv. 39 (3), 53-59. doi.org/10.31472/ihe.3.2017.08.
9. Iabluka svizhi serednikh ta piznykh terminiv dostyannia. Tekhnichni umovy. (2017). *DSTU 8133:2015*. Kyiv: Derzhstandart, 9.
10. Korolev, A.A. (2012). Tekhnolohiya proyzvodstva plodoovoshchnykh chypsov metodom kombynyrovannoho obezvozhyvanyia. *Khraneniye y pererabotka selkhozsyria*. 10, 29 – 30.
11. Sniezhkin, Yu.F., Shapar, R.O., Husarova, O.V. (26.02.2018). *Certificate of authorship 123213, MPK A23B 7/02, F26B 3/04, F26B 3/02, A23L 19/00*. Sposib vyrobnytstva chypsov z yabluk z tsukrovo-kyslotnym indeksom 16...20; declared 10.05.2016. Bulletin No 4.
12. Sniezhkin, Yu.F., Shapar, R.O., Sorokova, N.M., Husarova, O.V. (2015). Rozrobka tekhnolohii vyrobnytstva novykh form sushenykh produktiv. *Prom. Teplotekhnika*, Kyiv. 37 (6), 29–37. doi.org/10.31472/ihe.6.2015.04
13. Burdo, O.H., Bezbakh, I.V., Zykov, O.V., Shyshov, S.V. (2018). Doslidzhennia vplyvu rezhymnykh i konstruktivnykh parametriv pry obrobtsi viazkykh ta dyspersnykh produktiv v aparatakh na bazi rotatsiinykh termosyfoniv. *Naukovi pratsi natsionalnoho universytetu kharchovykh tekhnolohii*, Kyiv. 24, (6), 80–89. doi.org/10.24263/2225-2924-2018-24-6-12.
14. Sniezhkin, Yu.F. Shapar, R.O. (2018). *Teplomasoobminni tekhnolohii pererobky pektynovmisnoi syrovyny*. Kyiv. *Sik Hrup Ukraina*. 228. ISBN 978-617-7457-69-4.

Отримано в редакцію 16.04.2019

Прийнято до друку 21.06.2019

Received 16.04.2019

Approved 21.06.2019