УДК 664.8.047
DOI: 10.15587/2313-8416.2018.141156

РОЗРОБКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РЕЖИМІВ СУШІННЯ КРОХМАЛЕВМІСНОЇ СИРОВИНИ

© Р. О. Шапар, О. В. Гусарова

У статті надано класифікацію рослинних матеріалів, зосереджено увагу на крохмалевмісній сировині, зокрема коренеплодах батату, наведено хімічний склад, існуючі способи сушіння. Представлено результати досліджень тепловологої обробки та процесу конвективного зневоднення кореневплодів. Розроблено енергоефективні двоступеневі режими сушіння, за якими температура теплоносія на першому етапі процесу дорівнює 80…100 °С, на другому – 55…70 °С, температура матеріалу впродовж зневоднення 50…60 °С. Запропоновані режими забезпечують скорочення тривалості сушіння, зниження теплових витрат до 15 %, одержання сушених продуктів з високими органолептичними показниками

Ключові слова: *коренеплоди батату, тепловолога обробка, ступеневе сушіння, чипси, харчовий порошок, енергоефективні режими*

1. Вступ

Відповідно з класифікацією рослинних матеріалів за певними домінуючими ознаками, ми виділили декілька основних груп рослинних матеріалів (рис. 1), хімічний склад та природні властивості яких обумовлюють певні умови і режими сушіння та технології [1].

Одна із груп представлена крохмалевмісною сировиною, зокрема коренеплодами батату. Батат – одна з найважливіших продовольчих культур повсякденного харчування у країнах тропічного і субтропічного клімату. Продукти харчування з батату займають сьоме місце після продуктів з пшениці, рису, кукурудзи, картоплі, ячменю і маніоки. Основна частина батату, а це майже 80 % світового врожаю, культивується у Китаї. Лідерство з вирощування батату на європейському континенті належить Португалії та Іспанії [2, 3]. Використанню та переробці підлягають всі частини батату: бульби, лоза, листя. Останні переважно застосовують як корм для тварин.

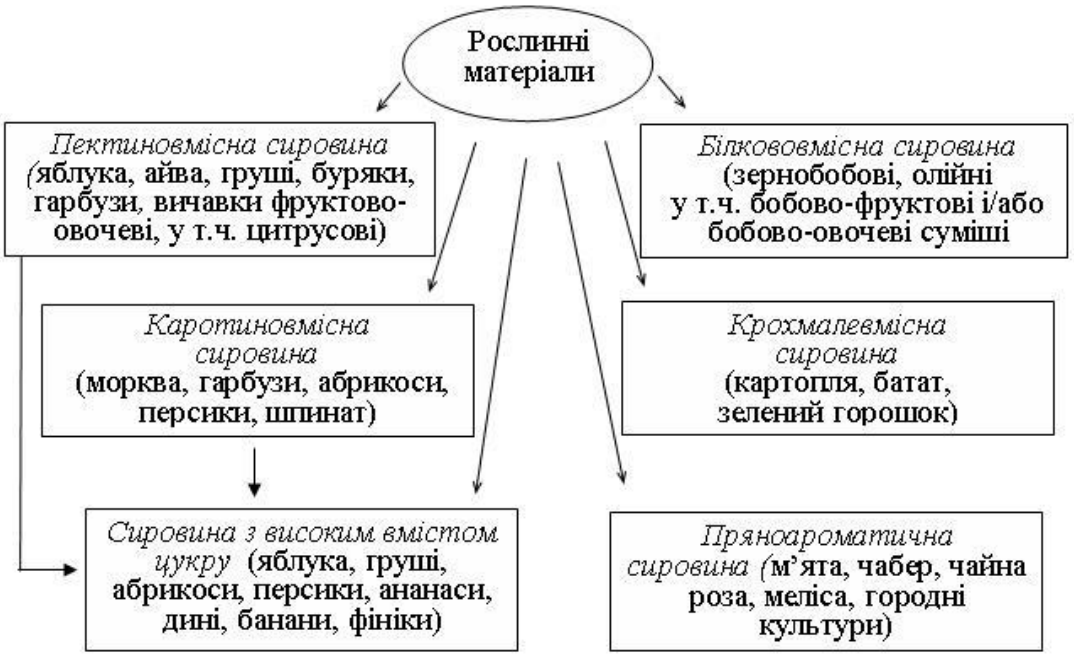


Рис. 1. Класифікація рослинних матеріалів

Коренеплоди, завдяки своїй високій харчовій і біологічній цінності, вживають як у свіжому вигляді при приготуванні різноманітних страв [3, 4], так і використовують у промисловості для одержання харчових продуктів та виділення цільових компонентів (рис. 2).

Рис. 2. Напрямки переробки батату

Вміст сухих речовин у коренеплодах становить від 20 до 30 %, при цьому 60...70 % складає крохмаль (табл. 1) [3]. Хімічний склад батату коливається у залежності від сортових ознак, умов вирощування, ступеня зрілості, зберігання. Забарвлення м'якоті зумовлено наявністю каротиноїдів, антоціанів, поліфенолів і буває білим, кремовим, жовтим, помаранчевим, фіолетовим.

Характерною особливістю коренеплодів вважають кількісний склад вуглеводів та низький вміст білку і жиру. Поживна цінність батату посилюється наявністю у його складі вітамінів у т.ч. тіаміну, рибофлавіну, каротиноїдів, фолієвої, аскорбінової та пантотенової кислот, а також фенолів, антоціанів, мінеральних речовин. Серед мінеральних речовин домінує кальцій, залізо, калій, магній [3]. Завдяки такому багатому складу його споживання корисне для здоров'я людини і набуває поширення та популярності далеко за межами країн тропічного і субтропічного клімату, у т. ч. і в нашій країні.

Батат, як і всі матеріали рослинного походження, має високий вміст вологи. Ферментативні, мікробіологічні та біохімічні зміни призводять до псування сировини досить швидко. Забезпечення мікробіологічної стійкості та стабільності органолептичних показників під час зберігання можливе в умовах низьких температур, а це енерго- і фінансово витратний крок.

Сушіння розповсюджений метод збереження свіжої рослинної сировини. Сегмент сушеного батату на світовому ринку представлений пластівцями, чипсами і так званим борошном – дрібнодисперсним порошком.

Таблиця 1

Середній склад поживних речовин кореня батату

Найменування	Показники, г на сиру масу
вода	77,28
білок	1,57
жир	0,05
зола	0,99
харчові волокна	3,00
сахароза	2,52
глюкоза	0,96
фруктоза	0,70
крохмаль	12,65

Примітка: Енергетична цінність, ккал/кДж – 86,0/360

Сушену продукцію зручніше транспортувати, вона не потребує великих площ для зберігання і має довготривалий термін зберігання, а тому доступна будь якої пори року. До того ж, розширюється географія ринків реалізації сушених продуктів. Консервуючий ефект під час сушіння досягається за рахунок зниження природної вологості та уповільнення процесів розвитку мікрофлори у сушених матеріалах.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз науково-технічних джерел показує, що при зневодненні батату одержують продукти із рівноважною з навколишнім середовищем вологістю, з низькою залишковою вологістю, що мають консистенцію чипсів, порошкоподібних, використовуючи різні способи сушіння: конвективний, кондуктивний, сублімаційний, ІК-випромінювання, поєднання декількох способів на сушильних установках камерного типу, стрічкових, тунельних, ро-

зпилювальних [5], барабанних, а також сонячно-повітряним способом.

Відповідно з [6] попередньо підготовлений до сушіння батат зневоднюють під вакуумом, але використання такого способу обмежено через складність обслуговування і високу вартість сушильного обладнання.

У країнах із сухим кліматом практикується природне сонячно-повітряне сушіння. Підготовлені до сушіння коренеплоди нарізають, бланшують в киплячій воді та піддають сушінню на сонці до досягнення залишкової вологості 6...10 %. У залежності від маси зневоднювальної сировини сушіння триває від 4 годин до 5 діб [3, 7].

Недоліками сонячно-повітряного сушіння є довготривалість процесу, переривання у нічний час та при погіршенні погодних умов, мікробіологічна активність і бактеріологічне обсіменіння. За результатами мікробіологічних аналізів, у сушеному баташі, одержаному у такий спосіб, виявлено 12 видів пліснявих грибів [8]. Існуючі недоліки можна подолати за допомогою сучасних сушарок, що працюють на енергії сонця.

Відомий спосіб одержання порошку з батату в основі якого покладено розпилювальне сушіння. До недоліків можна віднести попереднє перетворення коренеплодів до пюреподібної маси, внесення мальтодекстринів, чим порушується натуральність кінцевого продукту, а також значні енерговитрати процесу, крупногабаритність розпилювальних сушарок [3].

Існує спосіб виробництва харчових спіралеподібних чипсів з коренеплодів батату [9], що складається з підготовки сировини, нарізання коренеплодів спіраллю, просушування, обсмаження в олії, охолодження і пакування.

Недоліками даного способу є підвищена калорійність чипсів, наявність холестеринових і канцерогенних речовин внаслідок обсмаження, що негативно позначається на якості кінцевого продукту.

Відповідно з [10] для одержання чипсів, підготовлений до зневоднення коренеплід батату нарізають та занурюють, витримують у екстракті зеленого чаю і піддають сушінню. Обробка сировини у розчині чаю потребує додаткового обладнання з підготовки екстракту зеленого чаю, до того ж, чипси втрачають свій природний смак, а витрати на виробництво і собівартість зростають.

Із вищесказаного витікає, що основними вимогами, які пред'являються до сушіння є контроль параметрів процесу, інтенсивність та забезпечення максимально повного збереження природних властивостей коренеплодів батату при суттєвому скороченні тривалості зневоднення та зниженні енерговитрат.

3. Мета та задачі дослідження

Мета роботи полягає у дослідженні процесу конвективного зневоднення попередньо оброблених коренеплодів та пошуку шляхів інтенсифікації процесу для скорочення тривалості сушіння, зниження теплових витрат та забезпечення максимально повного збереження природних властивостей батату і конкурентоспроможності сушеного батату на світовому ринку.

Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

– визначити оптимальні умови тепловологої обробки;

– встановити кінетичні закономірності процесу сушіння;

– встановити енергоефективні режими сушіння.

4. Матеріали та методи

Дослідження проводяться у рамках Меморандуму про співробітництво з Інститутом технологій ГФС м. Ханой.

В якості об'єкту дослідження використано коренеплоди батату помаранчевого кольору, як одного з основних видів сировини для переробної промисловості В'єтнаму і виробництва продуктів харчування. Помаранчевий колір свідчить про наявність у складі батату каротиноїдів. Відповідно з [3] вміст цього вітаміну коливається у діапазоні від 9,1 до 9,4 мг/100 г.

Вивчення кінетики процесу конвективного сушіння проводили на експериментальному стенді з системою автоматичного збору та обробки інформації до залишкової вологості матеріалу 6...8 % в діапазоні температур сушильного агента від 60 до 100 ºС, швидкості руху від 1,0 до 3,0 м/с, вологовмісті 10 г/кг сухого повітря. Зразки нарізали пластинками завтовшки 3…4 мм та брусками розміром 5×5×50 мм.

Визначання початкового і кінцевого вмісту вологи здійснювали за ДСТУ 7804:2015. За отриманими даними побудовано криві кінетики сушіння $W^c=f(\tau)$ і кінетики швидкості сушіння $dW^c/d\tau=f(W)$.

5. Результати досліджень та їх обговорення

5.1. Дослідження процесів тепловологої обробки та конвективного зневоднення коренеплодів батату

Коренеплоди батату, як природний матеріал і об'єкт зневоднення – складна система, їхні масовологообмінні та термодинамічні характеристики залежать від характеру взаємодії вологи з твердим каркасом сировини і є функцією хімічного складу, структури, щільності паренхімних тканин тощо. У процесі сушіння при порушенні теплових режимів можливі негативні процеси, що призводять до втрати цінних складових вихідного матеріалу. Для збереження природних властивостей сировини необхідний ретельний підхід до визначення способу зневоднення і встановлення теплових режимів з урахування гранично-допустимої температури об'єкту зневоднювання.

Вибір енергоефективних режимів сушіння ґрунтується на забезпеченні максимального видалення вологи, мінімальної тривалості процесу за умов досягнення високої якості кінцевого продукту та його безпечності.

Результатами експериментальних досліджень визначено, що інтенсифікації процесу сушіння передує оптимально обґрунтована тепловолога обробка паренхімних тканин коренеплодів батату. У даному випадку така технологічна операція є обов'язковою,

її основна мета полягає у клейстеризації крохмалю і коагуляції білків. Експериментально визначено, що необхідний ефект обробки залежить від розмірів і форми зневоднювального матеріалу та досягається за температури матеріалу 80…95 ºС з витримкою 50…600 с. Вплив температури та тривалості знаходяться в обернено пропорційній залежності, обробка здійснюється у воді або в атмосфері пари.

Зазначений режим забезпечує сприятливі умови для гідратації крохмальних зерен за рахунок власної вологи, якої у коренеплодах майже у три рази більше, ніж сухих речовин та насиченої пари. Волога проникає всередину крохмального зерна, розсовує міцели, крохмаль набухає, збільшуючи об'єм зернини і клейстеризується [11]. Під час обробки частково змінюється пружність тканин. Для підвищення пружності та стабілізації клітинної структури проводиться охолодження обробленого сировинного матеріалу шляхом промивання у воді. Одночасно з цим із поверхні змивається плівка утворена залишками зруйнованих крохмальних зернин, які уповільнюють видалення вологи під час сушіння.

Поряд зі специфічним впливом на зміну властивостей паренхімних тканин, проведенням такої обробки досягається збільшення клітинної проникності коренеплодів батату, що у подальшому, під час сушіння, інтенсифікує вологообмін, при цьому, забезпечується збереження вітамінного комплексу, стабілізація природного кольору і смакових якостей та інактивація ферментної системи. Повнота інактивації визначається реакцією на наявність найбільш термостійкого ферменту – пероксидази [12].

Домінуючим параметром, що визначає інтенсивність процесу сушіння є температура теплоносія. Збільшення її величини приводить до зростання інтенсивності процесу видалення вологи і скорочення теплових витрат сушіння. Отже, з теплотехнічної точки зору, для інтенсифікації зневоднювання температуру теплоносія маємо збільшувати, а, з огляду на термолабільність об'єктів сушіння, таке підвищення лімітовано.

Ґрунтуючись на результатах експериментальних досліджень, відповідно до закономірностей тепломасопереносу при сушінні, розроблено ступеневі режими зневоднення, за якими температура теплоносія на першому етапі процесу підтримується у діапазоні 80…100 °С, а на другому 55…70 °С. Зазначені режими запобігають виникненню незворотних процесів, які здатні призвести до погіршення якості продукту, оскільки температура матеріалу не перевищує 50…60 °С. Сушінням у такий спосіб досягається інтенсифікація процесу та скорочення тривалості теплового впливу на матеріал.

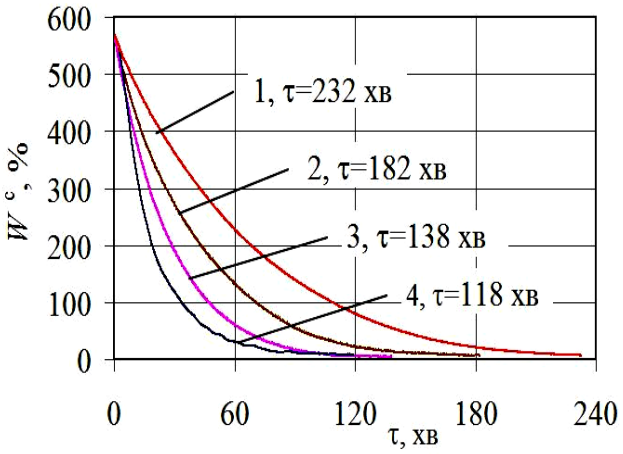
На підставі експериментальних даних побудовано графічні залежності, які показують, що видалення вологи з коренеплодів батату проходить зі спадною швидкістю впродовж усього процесу.

На рис. 3 надано порівняльний аналіз результатів кінетики зневоднення одноступеневого режиму за температури теплоносія 60 °С та двоступеневого 80...60 °С.

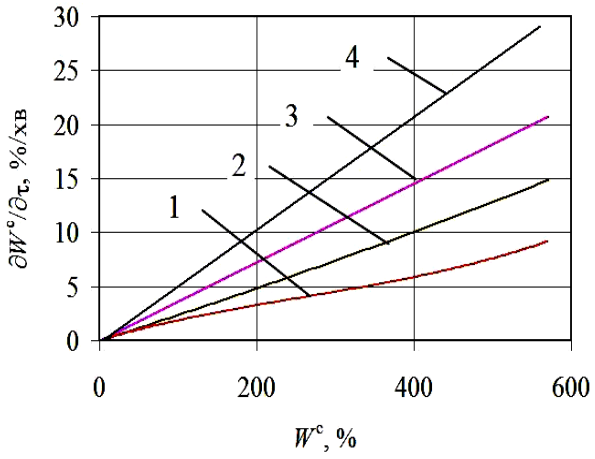
Аналіз впливу температури теплоносія на кінетику вологообміну при однаковій тривалості тепловологої обробки зразків завтовшки δ=3…4 мм (рис. 3, *а*, криві 1, 2), показує скорочення тривалості процесу на 22 % у режимі двоступеневого зневоднення порівняно з одноступеневим.

Із збільшенням часу тепловологої обробки зразків батату від 180 до 240 с в умовах двоступеневого режиму (рис. 3, *а*, криві 2,3) спостерігається зменшення тривалості процесу сушіння на 26 %.

Залежність геометричної форми та розмірів зразків на кінетику зневоднення (рис. 3, *а*) показує, що у випадку нарізання батату брусочками (крива 4) процес видалення вологи проходить швидше пластинок (крива 3), тривалість процесу скорочується на 15 %. Більш інтенсивне сушіння зразків, нарізаних у вигляді брусків, пояснюється меншими поперечними розмірами ніж пластинки.



а



б

Рис. 3. Вплив параметрів сушіння на процес зневоднення: *а* – $W^c = f(\tau)$; *б* – $dW^c/d\tau = f(W)$; V = 1,5 м/с; d = 10 г/кг сухого повітря: 1 – T = 60 °С, $\tau_{об}$ = 180 с, δ = 3…4 мм; 2 – T = 80...60 °С, $\tau_{об}$ = 180 с, δ = 3…4 мм; 3 – T = 80...60 °С, $\tau_{об}$ = 240 с, δ = 3…4 мм; 4 – T = 80...60 °С, $\tau_{об}$ = 240 с, 5×5×50 мм

Із порівняльного аналізу побудованих кривих швидкості сушіння (рис. 3, *б*) видно, що в межах зазна-

чених параметрів процесу найповільніша швидкість видалення вологи 9,0 %/хв. відповідає одноступеневому зневодненню (крива 1), при двоступеневих режимах швидкість зростає до своєї максимальної величини 15,0 %/хв, 21,0 та 28,0 %/хв (криві 2–4) відповідно.

Температура зневоднювального матеріалу в режимах одно- і двоступеневого сушіння не перевищує 58 °С. Проте зразки, висушені при температурі теплоносія 60 °С, втрачають природний колір внаслідок довготривалості процесу, через що використання низькотемпературного режиму недоцільне.

5.2. Схема технологічного процесу переробки батату

На підставі отриманих результатів запропонована принципова схема технологічного процесу переробки коренеплодів на чипси і порошкоподібну продукцію (рис. 4). Формування і контроль якісних показників проводиться на кожному етапі, забезпечуючи дотримання режимних параметрів та екологічну чистоту всього технологічного процесу.

Рис. 4. Принципова схема технологічного процесу переробки батату

На ділянці підготовки проводиться інспекція, мийка, подрібнення сировини, промивання від вільного крохмалю, далі – тепловолога обробка та охолодження водою обробленого матеріалу. Процес зневоднення проходить за встановленими ступеневими режимами.

Герметичне фасування чипсів і порошку здійснюється в упаковку з полімерного або комбінованого матеріалу в безкисневому середовищі, завдяки чому забезпечується мікробіологічна стійкість, уповільнюється неферментативне окислення, подовжується термін зберігання.

Чипси з батату мають приємний зовнішній вигляд, рівномірний помаранчевий колір, солодкуватий смак властиві свіжій сировині, хрустку консистенцію притаманну чипсам. Споживають чипси як самостійний вітамінний продукт або додають під час приготування їжі.

Для одержання харчового порошку висушений матеріал детермопластифікують і направляють на диспергування до порошкоподібного стану, потім на фракціонування.

Харчовий порошок широко використовують у складі продуктів харчування як натуральний наповнювач, барвник, структуроутворювач [3, 4] збагачуючи їх незамінними для організму вітамінами, мікроелементами та іншими біологічно активними сполуками.

Отримані дані будуть використані в подальших дослідженнях по визначенню оптимальних параметрів проведення основних етапів технологічного процесу.

Не зважаючи на те що, дослідження проводились у рамках міжнародного співробітництва, з огляду на зростаючу популярність батату в Україні, отримані результати актуальні і для вітчизняних виробників.

6. Висновки

1. На підставі проведених досліджень визначено оптимальні умови тепловологої обробки коренеплодів батату відповідно з якими необхідний ефект обробки залежить від розмірів і форми зневоднювального матеріалу та досягається за температури матеріалу 80…95 °С з витримкою 50…600 с. Вплив температури та тривалості знаходяться в обернено пропорційній залежності.

2. Базуючись на результатах експериментальних досліджень, узагальнено кінетичні закономірності конвективного сушіння коренеплодів батату, побудовано графічні залежності. Характер кривих показує, що видалення вологи при зазначених параметрах процесу проходить зі спадною швидкістю впродовж усього зневоднення.

3. Розроблено та обґрунтовано енергоефективні ступеневі режими зневоднення за якими температура теплоносія на першому етапі процесу підтримується у діапазоні 80…100 °С, на другому 55…70 °С.

Температура матеріалу впродовж сушіння не перевищує гранично-допустиму величину, завдяки чому забезпечується високий ступінь збереження природних властивостей сировини.

Використання двоступеневого зневоднення сприяє нтенсифікації процесу, скороченню тривалості та зниженню теплових витрат до 15 %.

Література

1. Снєжкін Ю. Ф., Шапар Р. О. Технологічні аспекти виробництва сушених продуктів: мат. міжнар. наук.-пр. конф. // Удосконалення процесів і обладнання-запорука інноваційного розвитку харчової промисловості. Київ, НУХТ, 2012. С. 102–104.

2. Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: http://www.fao.org/home/en/ (Last accessed: 15.05.2018)

3. Handbook of Vegetables and Vegetable Processing / ed. by Nirmal K. S. Wiley-Blackwell, A John Wiley & Sons, Ltd., Publication, 2011. 772 p. doi: http://doi.org/10.1002/9780470958346

4. Bovell-Benjamin A. C. Sweet Potato: A review of its past, present, and future role in human nutrition // Advances in Food Nutrition Research. 2007. Vol. 52, Issue 1. P. 1–59. doi: http://doi.org/10.1016/s1043-4526(06)52001-7

5. Joykumar Singh N., Pandey R. K. Convective air drying characteristics of sweet potato cube (Ipomoea batatas L.) // Food and Bioproducts Processing. 2012. Vol. 90, Issue 2. P. 317–322. doi: http://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.06.006

6. Zhong T. The effect of ohmic heating on vacuum drying rate of sweet potato tissue // Bioresource Technology. 2003. Vol. 87, Issue 3. P. 215–220. doi: http://doi.org/10.1016/s0960-8524(02)00253-5

7. Effect of Sun-Drying on Some Quality Characteristics of Sweet Potato Chips / Silayo V. et. al. // African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development. 2003. Vol. 3, Issue 2. doi: http://doi.org/10.4314/ajfand.v3i2.19143

8. Okungbowa F. I., Osagie M. Mycoflor of sun-dried sweetpotato (Ipomoea batatas L.) slices in Benn City, Nigeria // Nigeria. African Journal of Biotechnology. 2009. Vol. 8, Issue 14. P. 3326–3331. URL: https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/61090/49282 (Last accessed: 30.05.2018)

9. Способ производства пищевых спиралевидных чипсов из клубней батата: пат. № 0002631393 / Дзантиева Л. Б., Хурумова З. К., Хозиев А. М. RU. № 2017100171; заявл. 09.01.2017; опубл. 21.09.2017. Бюл. № 27.

10. Method for producing health sweet potato chips: pat. No. 106901277 China / Li M., Jiang J. No. 102017000296117; declareted: 28.04.2017; published: 30.06.2017.

11. Производство продуктов питания из картофеля / Волчкова Н. Т. и др. Москва: Легкая и пищевая промышленностью, 1984. 192 с.

12. Aliyeva N. F. The identification of the activity of peroxidase in apples and potatoes under normal and saline conditions // The World of Medicine and Biology. 2011. Vol. 31, Issue 4. P. 65–67. URL: https://womab.com.ua/ua/smb-2011-04/122 (Last accessed: 07.06.2018)

Рекомендовано до публікації д-р техн. наук Сорокова Н.М.
Дата надходження рукопису 14.06.2018

Шапар Раїса Олексіївна, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник, Відділ тепломасопереносу в тепло технологіях, Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України, вул. Булаховського, 2, м. Київ, Україна, 03164
E-mail: r.sh@ukr.net

Гусарова Олена Віталіївна, науковий співробітник, Відділ тепломасопереносу в тепло технологіях, Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України, вул. Булаховського, 2, м. Київ, Україна, 03164
E-mail: O.V.Husarova@nas.gov.ua