

УДК 635.1/8, 664-4

Технологічні аспекти сушіння коренеплодів пастернаку

О. В. Хареба¹, Ж. О. Петрова², І. В. Кузнєцова³

¹Інститут овочівництва і баштанництва НААН України, вул. Інститутська, 1, сел. Селекційне, Харківський р-н, Харківська обл., 62478, Україна

²Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Желябова, 2, м. Київ, 03057, Україна

³Національна академія аграрних наук України, вул. Омеляновича-Павленка, 9, м. Київ, 02000, Україна
e-mail: ingaV@ukr.net

Мета. Удосконалити технологію отримання пастернаку сушеного для подальшого використання в харчовій промисловості. **Методи.** Сушіння пастернаку здійснювали чистим повітрям ($d = 10$ г/кг сухого повітря) конвективним способом за температури теплоносія 60 °С і швидкості його руху $2,5$ м/с. Структурні зміни, які відбувались у речовинах коренеплоду пастернаку сушеному під дією температури, вивчали із застосуванням диференційного сканувального калориметра QDSC-20 Termo Fisher SCIENTIFIC. **Результати.** Представлено результати досліджень щодо технології отримання порошку з коренеплодів пастернаку, яка включає очищення та подрібнення коренеплодів, їхнє сушіння конвективним способом, пакування та зберігання порошку. Досліджено процес конвективного сушіння подрібнених коренеплодів пастернаку та визначено оптимальний режим для промислового виробництва. Вивчено структурні зміни, що відбуваються в коренеплодах під час сушіння. **Висновки.** Установлено, що оптимальним режимом конвективного сушіння подрібнених коренеплодів пастернаку є: розмір часток $4 \times 2 \times 1$ мм, температура 60 °С і швидкість руху теплоносія $2,5$ м/с. Визначено основні температурні точки, за яких видаляється гігроскопічна і зв'язана вода (60 – 168 °С), часткового плавлення цукрів (176 – $188,5$ °С), повне плавлення цукрів та утворення золи (205 – 225 °С). Показано, що за температури 192 °С відбувається найбільше накопичення продуктів розкладу сполук. Розроблено технологічну схему отримання порошку з коренеплодів пастернаку та визначено, що вихід пастернаку сушеного становить 23 – 24 %.

Ключові слова: коренеплід пастернаку; технологія; сушіння; якість.

Вступ

Пастернак (*Pastinaca sativa* L.) – це дворічна рослина родини селерових, висотою $1,0$ – $1,5$ м із веретеноподібним м'ясистим жовто-коричневим коренеплодом. Його коренеплоду властиві приємний солодкуватий смак і пряний аромат. Водночас, за зберігання коренеплоди пастернаку втрачають близько третини біологічно цінних сполук, тому розроблення більш ефективних і придатних способів зберігання його біологічно цінних сполук є сьогодні актуальним завданням.

Збереженням біологічно цінних сполук рослинної сировини та отриманням харчових порошоків із рослинної сировини займалися Снежкін Ю. Ф., Петрова Ж. О. [1], Роїк М. В., Кузнєцова І. В. [2], Капрельянц Л. В., Іоргачова К. Г. [3], Сарафанова Л. А. [4] та інші вчені.

Основним технологічним процесом, що дає змогу зберегти біологічно цінні сполуки овочевих культур є сушіння. Нині сушіння білих коренеплодів здійснюють у конвеєрних сушарках до кінцевої вологості 8 – 14 % [5, 6]. У виробничих умовах коренеплоди овочів сушать за температури 32 – 47 °С упродовж $3,50$ – $4,13$ год., що є енерговитратним та не забезпечує виробництво продукції належної якості. Остріков А. М. [5] та Шевцов С. О. [6] вивчали процес сушіння рослинної сировини, зокрема й подрібнених коренеплодів пастернаку, за умов змінного теплопідводу. Такий спосіб дає змогу отримати сухий продукт упродовж 6 хв. Проте, залишається низка питань, пов'язаних із виробництвом якісних сушених овочевих продуктів в Україні.

Мета досліджень – удосконалити технологію отримання пастернаку сушеного для подальшого використання в харчовій промисловості.

Матеріали та методика досліджень

Використовували коренеплоди пастернаку зі вмістом масової частки вологи 75 %. Кінетику сушіння подрібненого пастернаку вивчали на експериментальному сушильному стенді Інституту технічної теплофізики НАН України.

Коренеплоди пастернаку мили й очищали від домішок, подрібнювали до часток розміром $4 \times 2 \times 1$ мм та направляли на сушіння. Маса взятої для аналізу наважки становила 210,3 г. Сушіння пастернаку здійснювали чистим повітрям ($d = 10$ г/кг сухого повітря) конвективним способом за температури теплоносія 60°C і швидкості його руху 2,5 м/с.

Структурні зміни, які відбувались у речовинах коренеплоду пастернаку сушеного під дією температури, вивчали із застосуванням диференційного сканувального калориметра QDSC-20 Termo Fisher SCIENTIFIC (Intertech Corporation, 2008 р.). Зразок порошку пастернаку сушеного поміщали в алюмінієву капсулу і запаювали для відсутності доступу кисню. Визначення проводили в температурному інтервалі $25\text{--}300^\circ\text{C}$ за швидкості нагрівання $10^\circ\text{C}/\text{хв}$. Розрахунки здійснювали за допомогою програмного забезпечення STARe.

Результати досліджень

Отримання в короткий термін продукту високої якості можливе завдяки конвективному сушінню подрібненого коренеплоду пастернаку, кінетика сушіння якого представлена на рисунку 1.

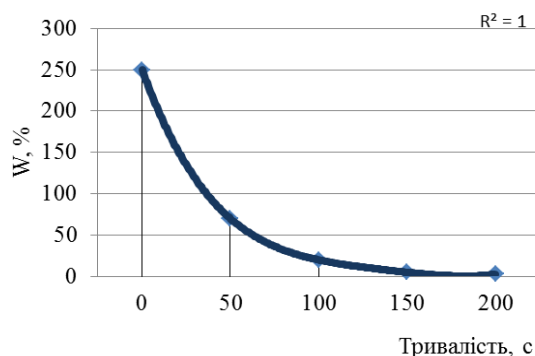


Рис. 1. Кінетика сушіння подрібненого коренеплоду пастернаку в шарі

Крива (рис. 2) має характерний вигляд для колоїдних капілярно-пористих рослинних матеріалів і включає три періоди сушіння з наявністю критичної вологості. Зокрема, I етап сушіння, що починається з вологовмісту 250 % є короткотерміновим та характеризує період прогрівання сировини. II період є коротким періодом максимального значення швидкості сушіння, що характеризує швидкість зовнішньої дифузії. У цей же період зростає швидкість руху внутрішньої вологи до поверхні часток подрібненого коренеплоду. Граничний перехід з II до III періоду (вологовміст сировини становить 100 %) характеризує внутрішню дифузію вологи та рівномірність процесу. Завершення III періоду сушіння характеризується видаленням частини вологи з капілярів часток коренеплоду.

Із завершення сушіння вологовміст отриманого порошку пастернаку становить 2,3 %. За дослідженнями В. О. Шевцова [7] коефіцієнт об'ємної усадки за сушіння подрібненого коренеплоду пастернаку становить 0,64. За нашими дослідженнями після конвективного сушіння залишається 23,2 % від загальної ваги подрібненого пастернаку, що переважно відбувається за рахунок видалення вологи (72,7 %).

Розрахована нами (за Ликовим А. В. [8]) критична вологість для подрібненого коренеплоду пастернаку становить 2,18. При цьому кінетичний коефіцієнт становить 1,19. За експериментальними даними отримано рівняння регресії:

$$y = 3,0375x^4 - 46,21x^3 + 266,31x^2 - 701,04x + 727,90$$

де x – тривалість сушіння, с; y – вологовміст сировини, %.

Величина достовірності апроксимації становить 1, що свідчить про міцний зв'язок між елементами технологічного процесу: тривалістю сушіння і швидкістю вилучення вологи з подрібнених часток коренеплоду пастернаку за температури процесу 60°C . Вивчили зміни, що відбуваються в коренеплоді в разі застосування колективного способу сушіння (рис. 2).

Sample: пастернак сушений
 Size: 5.1000 mg
 Method: Oxygen induction time

DSC

File: F:\таматы\пастернак сушений.001
 Operator: OP
 Run Date: 01-Jan-2002 02:03
 Instrument: DSC Q20 V24.10 Build 122

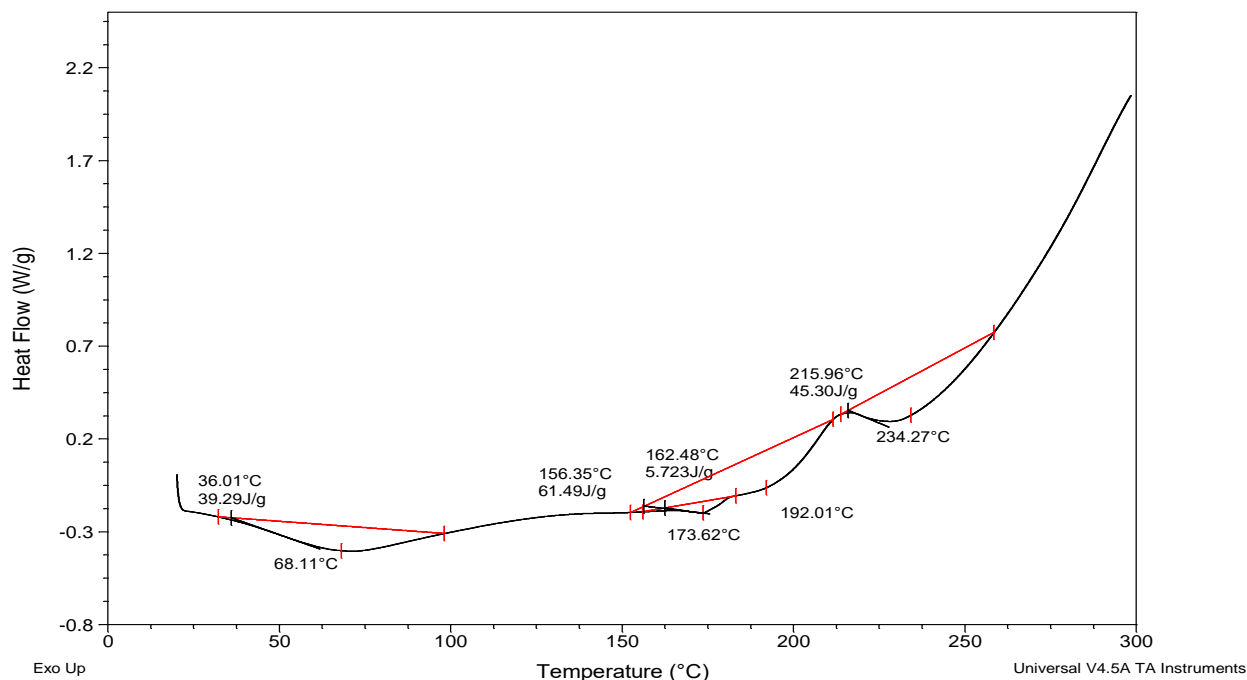


Рис. 2. ДСК-грама зразку пастернаку сушеного

За характером отриманих ендопіків на кривій термограмі процес, що відбувається можна умовно поділити на декілька етапів:

- підсушування: вилучення гігроскопічної і зв'язаної води (60–168 °C);
- плавлення: часткове (цукрів) за температур 176–188,5 °C, повне плавлення цукрів та утворення золи за температур 205–225 °C;

Енергія активації, розрахована за методом А. Broido [9], виражається різницею енергій перехідного та вихідного стану реакції плавлення. Значення енергії активації зразку становить на рівні 39,29 кДж/моль, що показує структурну гомогенність та низький уміст домішок. Зниження енергії активації після другого піку свідчить про зростання частки домішок, які можуть бути представлені продуктами плавлення речовин. Значення ентальпії на початку процесу нагрівання в обох випадках є високим і становить 61,49; 5,72 та 45,30 Дж/г, що показує стійкість основних сполук у діапазоні температур для першого ендопіку.

Процеси, що відбуваються у системі підлягають закону Лавуазьє–Лапласа, відповідно до якого за розкладання складної сполуки на прості відбувається поглинання такої ж кількості енергії, яка витрачається для утворення такої ж сполуки [10, 11]. Після вилучення вільної та зв'язаної вологи зі зразків значення ентальпії знижуються від 61,49 до 5,72 Дж/г для зразку порошку, що свідчить про зниження стійкості цукрів і процесу деструкції зразка.

Таким чином, технологія сушіння коренеплодів пастернаку (рис. 3) включає такі технологічні процеси: очищення коренеплодів (миття та відокремлення домішок), їхнє подрібнення до розміру часток 4×2×1 мм, сушіння та зберігання сушеного порошку.

На всіх стадіях технологічного процесу постійно здійснюється контроль за якістю продукції, починаючи з надходження коренеплодів у виробництво, ефективністю сушіння, і завершуючи отриманням продукту та за його зберіганням.

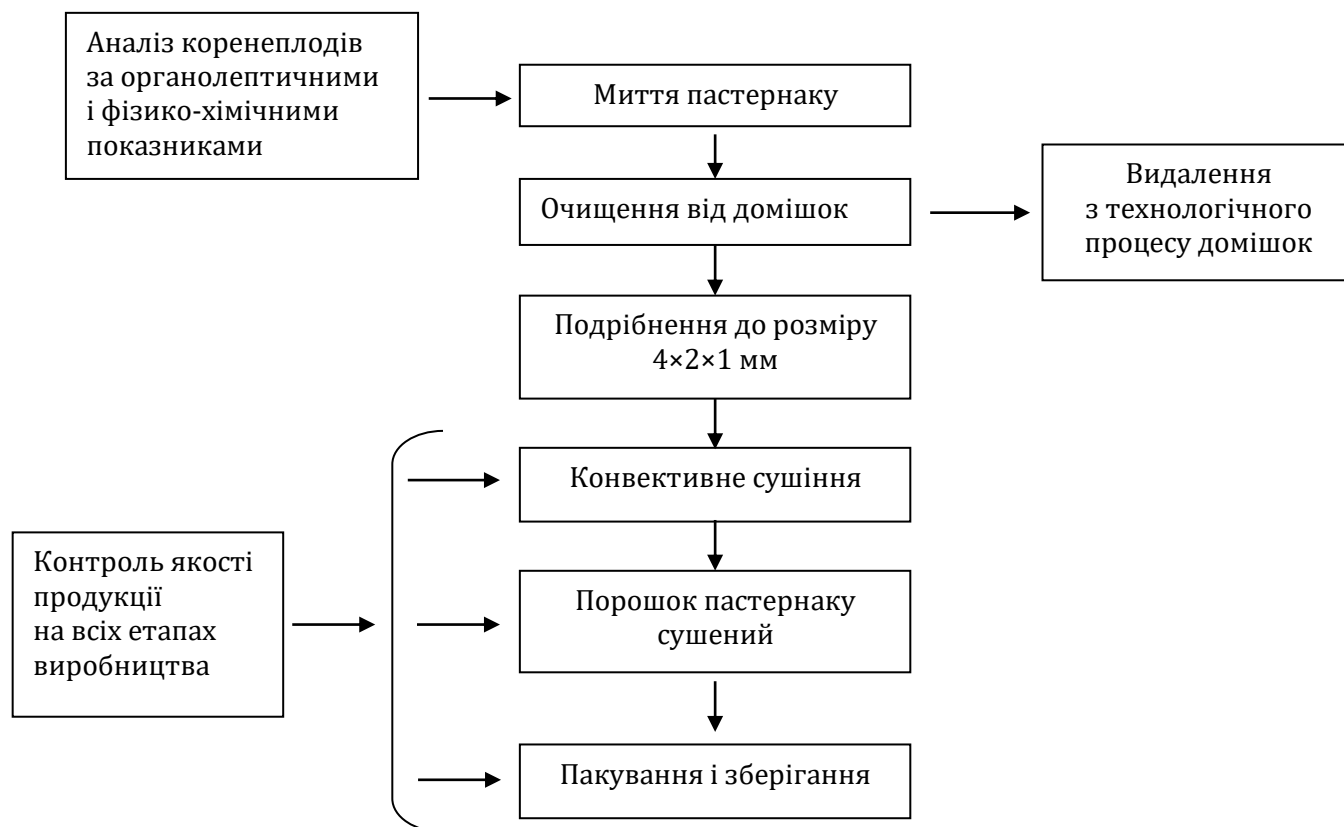


Рис. 3. Технологічна схема отримання порошку пастернаку сушеного

Варто відзначити, що найважливішим є сушіння. Отриманий сушений коренеплід пастернаку подрібнювали до дрібнодисперсної фракції та отримали порошок, результати органолептичної оцінки якого наведено в таблиці.

Таблиця

Органолептичні показники порошку коренеплодів пастернаку сушеного

Показник	Характеристика продукту
Зовнішній вигляд	Рівномірні частки світло-кремового – кремового кольору
Запах	Властивий пастернаку, без сторонніх запахів
Смак	Солодкуватий
Вологість, %	2,3
Масова частка домішок, %, не більше	0,3

За органолептичними показниками порошок отриманий з коренеплодів пастернаку відповідає загальним вимогам до якості і може бути використаним у виробництві харчових продуктів.

Висновки

Оптимальним є конвективне сушіння подрібнених коренеплодів пастернаку (розмір часток 4×2×1 мм) за температури 60 °С і швидкості руху теплоносія 2,5 м/с. Досліджено зміни, що відбуваються в коренеплоді за сушіння та визначено основні температурні точки, за яких видаляється гігроскопічна і зв'язана вода (60–168 °С), часткового плавлення цукрів (176–188,5 °С), повне плавлення цукрів та утворення золи (205–225 °С). Визначено за значенням енергії активації зразку структурну гомогенність та вміст домішок під час сушіння. Показано, що за температури 192 °С відбувається найбільше накопичення продуктів розкладу сполук.

Розроблено технологічну схему отримання порошку з коренеплодів пастернаку та визначено, що вихід пастернаку сушеного становить 23–24 %. Отриманий порошок із коренеплодів пастернаку відповідає показникам якості за органолептичними показниками і може використовуватись у виробництві харчових продуктів.

Використана література

1. Снежкін Ю. Ф., Петрова Ж. О. Нові харчові продукти в екології харчування. *Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування* : тези доповідей I Міжнародного конгресу (м. Львів, 28–29 травня 2009 р.). Львів, 2009. С. 75–76.
2. Роїк М. В., Кузнєцова І. В. Вплив конвективного сушіння на зберігання листків стевії. *Науковий вісник НУБіП України. Сер. : Агронія*. 2015. Вип. 210, Ч. 1. С. 235–240.
3. Капрелянц Л. В., Іоргачова К. Г. Функціональні продукти. Одеса : Друк, 2002. 289 с.
4. Сарафанова Л. А. Современные пищевые ингредиенты. Особенности применения. Санкт-Петербург : Профессия, 2009. 208 с.
5. Атаназевич В. И. Сушка зерна. Москва : ДеЛи принт, 2007. 479 с.
6. Косачев В. С., Кошевой Е. П., Михневич А. Н., Миронов Н. А. Зависимости для описания теплообмена в слое. *Известия ВУЗов. Пищевая технология*. 2008. № 2–3. С. 82–83.
7. Шевцов С. О. Научное обеспечение энергосберегающих процессов сушки и тепловлажностной обработки пищевого растительного сырья при переменном теплоснабжении : дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.12 / ФГБОУ ВПО «Воронежский гос. ун-т инженерных технологий». Воронеж, 2015. 488 с.
8. Лыков А. В. Теория сушки. Москва : Энергия, 1968. 472 с.
9. Van De Verde K., Kiekens P. Thermal degradation of flax: The determination of kinetic parameters with thermogravimetric analysis. *J. Appl. Polym. Sci.* 2002. Vol. 83, Iss. 12. P. 231–243. doi: 10.1002/app.10229
10. Стеблева О. П., Кашкина Л. В., Кулагин В. А. Термический анализ кавитационно-активированного углеродного материала. *SibFU Journal. Engineering & Technologies*. 2003. Vol. 1. P. 56–60.
11. Титок В. В., Шостак Л. М., Лайновская И. В. и др. Термогравиметрический анализ льноволокна. *Клеточные ядра и пластиды растений: биохимия и биотехнология* : тезисы докладов Международной конференции (г. Минск, 26–28 мая 2004 г.). Минск, 2004. С. 267–271.

References

1. Sniezhkin, Yu. F., & Petrova, Zh. O. (2009). New food products in the nutrition ecology. Environmental Protection. In *Enerhooshchadnist. Zbalansovane pryrodokorystuvannia: tezy dopovidei I Mizhnarodnoho konhresu* [Energy saving. Balanced using of natural resources: abstracts of the I International Congress] (pp. 75–76). May 28–29, 2009, Lviv, Ukraine. [in Ukrainian]
2. Roik, M. V., & Kuznietsova, I. V. (2015). Effect of convective drying on stevia leaves storage. *Naukovij visnik NUBIP Ukraini. Seria Agroniia* [Scientific Herald of NULES of Ukraine. Series: Agronomy], 210(1), 235–240. [in Ukrainian]
3. Kapreliants, L. V., & Iorhachova, K. H. (2002). *Funktsionalni produkty* [Functional products]. Odesa: Druk. [in Ukrainian]
4. Sarafanova, L. A. (2009). *Sovremennye pishchevye ingredienty. Osobennosti primeneniya* [Modern food ingredients: Application features]. St. Petersburg: Professiya. [in Russian]
5. Atanazevich, V. I. (2007). *Sushka zerna* [Drying of grain]. Moscow: DeLi Print. [in Russian]
6. Kosachev, V. S., Koshevoy, E. P., Mikhnevich, A. N., & Mironov, N. A. (2008). Functional connections for the description of heat transfer in the layer. *Izvestia vysshih uchebnykh zavedenij. Pishvaâ tehnologiâ* [Proceedings of the higher educational institutions. Food Technology], 2–3, 82–83. [in Russian]
7. Shevtsov, S. O. (2015). *Nauchnoe obespechenie energosberegayushchikh protsessov sushki i teplovlazhnostnoy obrabotki pishchevogo rastitel'nogo syr'ya pri peremennom teplodovode* [Scientific support of energy-saving processes of drying and heat-moisture processing of food feedstock at variable heat supply] (Dr. Techn. Sci. Diss.). Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia. [in Russian]
8. Lykov, A. V. (1968). *Teoriya sushki* [The theory of drying]. Moscow: Energiya. [in Russian]
9. Van De Verde, K., & Kiekens, P. (2002). Thermal degradation of flax: The determination of kinetic parameters with thermogravimetric analysis. *J. Appl. Polym. Sci.*, 83(12), 231–243. doi: 10.1002/app.10229
10. Stebleva, O. P., Kashkina, L. V., & Kulagin, V. A. (2003). Thermal analysis of cavitation activated carbon material. *SibFU Journal. Engineering & Technologies*, 1, 56–60. [in Russian]
11. Titok, V. V., Shostak, L. M., Laynovskaya, I. V., Leont'ev, V. N., & Khotyleva, L. V. (2004). Thermogravimetric analysis of flax fibre. In *Kletochnye yadra i plastidy rasteniy: biokhimiya i biotekhnologiya: tezy dokladov Mezhdunarodnoy konferentsii* [Cell nuclei and plastids of plants: biochemistry and biotechnology: abstracts of the Int. Conf.] (pp. 267–271). May 26–28, 2004, Minsk, Belarus. [in Russian]

УДК 635.1/8, 664-4

Хареба Е. В., Петрова Ж. А., Кузнецова И. В. Технологические аспекты сушения корнеплодов пастернака // Новітні агротехнології. 2018. № 6. URL: <http://jna.bio.gov.ua/article/view/165267>.

¹Институт овощеводства и бахчеводства НААН Украины, ул. Институтская, 1, пос. Селекционное, Харьковский р-н, Харьковская обл., 62478, Украина

²Институт технической теплофизики НАН Украины, ул. Желябова, 2, г. Киев, 03057, Украина

³Национальная академия аграрных наук Украины, ул. Омеляновича-Павленко, 9, г. Киев, 02000, Украина, e-mail: ingaV@ukr.net

Цель. Усовершенствование технологии получения пастернака сушеного для дальнейшего использования в пищевой промышленности. **Методы.** Сушку пастернака проводили путём использования чистого воздуха ($d = 10$ г/кг сухого воздуха) конвективным способом при температуре теплоносителя 60 °С и скорости его движения $2,5$ м/с. Структурные изменения, которые происходили в веществах корнеплода пастернака сушеного под действием температуры, изучали с использованием дифференциального сканирующего калориметра QDSC-20 Thermo Fisher SCIENTIFIC. **Результаты.** Представлено результаты исследований по технологии получения порошка с корнеплодов пастернака, которая включает: очистку и нарезку корнеплодов, их сушку конвективным способом, упаковки и хранения порошка. Исследован процесс конвективной сушки измельченных корнеплодов пастернака и определен оптимальный режим для промышленного производства. Изучены структурные изменения, происходящие в корнеплодах во время сушки. **Выводы.** Установлено, что оптимальным режимом конвективной сушки измельченных корнеплодов пастернака являются: размер частиц $4 \times 2 \times 1$ мм, температура 60 °С и скорости движения теплоносителя $2,5$ м/с. Определены основные температурные точки, в которых удаляется гигроскопическая и связанная вода (60 – 168 °С), частичного плавления сахаров (176 – $188,5$ °С), полное плавления сахара и образования золы (205 – 225 °С). Показано, что при температуре 192 °С происходит наибольшее накопление продуктов распада соединений. Разработана технологическая схема получения порошка из корнеплодов пастернака и определено, что выход пастернака сушеного составляет 23 – 24 %.

Ключевые слова: корнеплод пастернака; технология; сушка; качество.

UDC 635.1/8, 664-4

Khareba, O. V.¹, Petrova, Zh. O.², & Kuznietsova, I. V.³ (2018). Technological aspects of drying parsnip roots. *Novitni agrotehnologii* [Advanced agritechologies], 6. Retrieved from <http://jna.bio.gov.ua/article/view/165267>. [in Ukrainian]

¹Institute of Horticulture and Melons, NAAS of Ukraine, 1 Instytutaska St., Selektiine, Kharkiv district, Kharkiv region, 62478, Ukraine

²Institute of Technical Thermophysics, NAS of Ukraine, 2 Zheliabova St., Kyiv 03057, Ukraine

³National Academy of Agricultural Sciences of Ukraine, 9 Omelianovycha-Pavlenka St., Kyiv, 02000, Ukraine, e-mail: ingaV@ukr.net

Purpose. The purpose of this study was to improve the technology of obtaining dried parsnip for further use in the food industry. **Methods.** Drying parsnip was carried out by the convection method using clean air (moisture content 10 g/kg) at a heat carrier temperature of 60 °С and an airflow rate of 2.5 m/s. The structural changes occurred in dried parsnip root under the effect of temperature were studied using the differential scanning calorimeter QDSC-20 Thermo Fisher SCIENTIFIC. **Results.** The article presents research results on the technology of obtaining parsnip root powder from parsnip roots. The technology includes cleaning and crushing roots, drying the mass by the convection method, packing and storage of the powder. The process of convection drying of crushed parsnip roots was explored and the optimum parameters of processing were determined. Structural changes occurring in the roots during drying were studied. **Conclusions.** The optimal parameters of convective drying of crushed parsnip roots are the following: the particle size $4 \times 2 \times 1$ mm, the temperature of 60 °С and the airflow rate of 2.5 m/s. The main temperature points of relieving hygroscopic and bound water (60 – 168 °С), partial melting of sugars (176 – 188.5 °С), complete melting of sugars and ash formation (205 – 225 °С) were determined. The most significant accumulation of decomposition products occurs at a temperature of 192 °С. A process chart for the production of powder from parsnips ensuring the yield of dried parsnip from 23 to 24 % was developed.

Keywords: parsnip root; technology; drying; quality.

Надійшла / Received 11.10.2018
Погоджено до друку / Accepted 30.10.2018