

УДК 664.8.047

DOI 10.15673/swonaft.v2i85.2239

КОМПЛЕКСНА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЯ ОДЕРЖАННЯ АНТИОКСИДАНТНОГО БУРЯКОВО-ТОМАТНОГО БАРВНИКУ ТА НАСІННЯ ТОМАТІВ

Петрова Ж.О., д.т.н., ст.н.с., Пазюк В.М., д.т.н., доцент, Самойленко К.М., к.т.н.
Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

Copyright © 2021 by author and the journal «Scientific Works»

This work is licensed under Vthe Creative Commons Attribution International License (CC By).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



Анотація. Сучасні технології, особливо процеси сушіння, є енергозатратними. То ж, основними завданнями при розробці теплотехнології в харчовій промисловості є зменшення витрат енергоносіїв на процес зневоднення. Такі наукові розробки дадуть можливість підвищити рівень енергетичної безпеки держави та конкурентоспроможності національної економіки, зменшити залежність України від імпортованих енергоносіїв в цілому. В зв'язку із поширенням таких хвороб як серцево-судинні захворювання, рак, зміна серцевого м'язу, неправильне перетравлення їжі, послаблення репродуктивної функції основним завданням працівників харчової промисловості є максимально замінити в готових продуктах харчування синтетичні ароматизатори, барвники на натуральні. На сьогоднішній день в Україні недостатньо виробництва рослинної сировини в порошки, що дозволяють зберегти якість вихідної сировини. Сучасні способи отримання порошку зі столового буряка дають можливість зберегти бетанін на рівні 50-70 % у кінцевому продукті. Тому розробка нових методів та удосконалення існуючих технологій сушіння столового буряка з метою отримання натурального барвника є важливою та значущою. Основною сировиною, яка має високий вміст бетаніну з антиоксидантними властивостями є червоний столовий буряк. Ця культура традиційна в харчуванні населення України. Важливим акцентом при переробці методом сушіння антиоксидантної сировини є зниження енергозатрат на процес зневоднення, максимальне збереження біологічно активних речовин та зниження собівартості кінцевого продукту. Користь природних антиоксидантів полягає в тому, що вони здатні вступати в реакції з вільними радикалами, нейтралізуючи їх згубну дію на організм людини. Столовий буряк один із небагатьох культур, до складу якого входить бетанін – продукт ферментативного розпаду холіну, що відіграє важливу роль при обміні речовин в організмі людини. В даній статті висвітлено безвідходну енергоефективну теплотехнологію отримання антиоксидантного буряково-томатного барвнику та насіння томатів. Завдяки використанню м'якоти та шкірки томатів, як натурального стабілізатора бетаніну та двостадійному конвективному сушінню одержуємо якісний насіннєвий матеріал та порошкоподібний натуральний продукт, який завдяки високому вмісту каротиноїдів, пектинів, клітковини, бетаніну, мікро- та мікроелементів може використовуватись в лікувально-профілактичному збалансованому харчуванні. Буряково-томатний антиоксидантний барвник покращує структуру та консистенцію виробів, додає забарвлення продуктам, збільшує їх біологічну та харчову цінність і може знайти широке застосування у виробництві лікувально-профілактичного призначення.

Ключові слова: теплотехнологія, енергоефективність, сушіння, столовий буряк, насіння томатів.

COMPLEX ENERGY EFFICIENT HEAT TECHNOLOGY OBTAINING OF ANTIOXIDANT RED BEETROOT-TOMATO DYE AND TOMATO SEEDS

Zh. Petrova, Doctor of Engineering, Senior researcher, V. Paziuk, Doctor of Engineering, docent,
K. Samoilenko, Ph.D.
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, Kyiv

Abstract. Modern technologies, especially drying processes, are energy consuming. Also, the main tasks in the development of heat technology in the food industry is to reduce energy costs for the dehydration process. Such scientific developments will make it possible to increase the level of energy security of the state and the competitiveness of the national economy, to reduce Ukraine's dependence on imported energy in general.

Due to the spread of diseases such as cardiovascular disease, cancer, changes in heart muscle, poor digestion, impaired reproductive function, the main task of food industry workers is to replace as much as possible in the finished food synthetic flavors, dyes for natural.

Today in Ukraine there is not enough production of vegetable raw materials in powders that allow to preserve the quality of raw materials. Modern methods of obtaining red beetroot powder make it possible to keep betanine at the level of 50-70% in the final product. Therefore, the development of new methods and improvement of existing technologies for drying red beetroot in order to obtain a natural dye is important and significant.

The main raw material, that has a high content of betanine with antioxidant properties is red beetroot. This culture is traditional in the diet of the population of Ukraine. An important emphasis in the processing method of drying antioxidant raw materials is to reduce energy consumption for the dehydration process, the maximum preservation of biologically active substances and reduce the cost of the final product. The benefit of natural antioxidants is that they are able to react with free radicals, neutralizing their harmful effects on the human body. Red beetroot is one of the few crops that contains betanine - a product of enzymatic decomposition of choline, which plays an important role in metabolism in the human body.

This article presents waste-free energy-efficient heat technology for antioxidant red beetroot-tomato dye and tomato seeds. Thanks to the use of tomato pulp and peel as a natural stabilizer of betanine and two-stage convective drying, we obtain high-quality seed material and powdered natural product, which due to the high content of carotenoids, pectins, fiber, betanine, micro- and microelements can be used in therapeutic and prophylactic balanced diet.

Red beet-tomato antioxidant dye improves the structure and consistency of products, gives color to products, increases their biological and nutritional value and can be widely used in the production of therapeutic and prophylactic purposes.

Key words: heat technology, energy efficiency, drying, red beetroot, tomato seeds.

Одним із основних аспектів при сушінні антиоксидантної рослинної сировини є зменшення енергозатрат, оскільки нестача енергетичних ресурсів є актуальною проблемою України. Тому раціональне їх використання одна із основних вимог сьогодення. В процесі літературного огляду виявлено, що відомі способи переробки антиоксидантної рослинної сировини характеризуються або високими енерговитратами та низькою продуктивністю, або великою кількістю відходів та низькою якістю отриманого продукту. Здебільшого закордонними та українськими вченими задля збереження бетаніну досліджується сік столового буряка, що тягне за собою велику кількість відходів, застосовуються енергозатратні методи сушіння. Дослідженням процесів переробки столового буряку займаються в країнах Європи, Азії, Південної Америки [1-4].

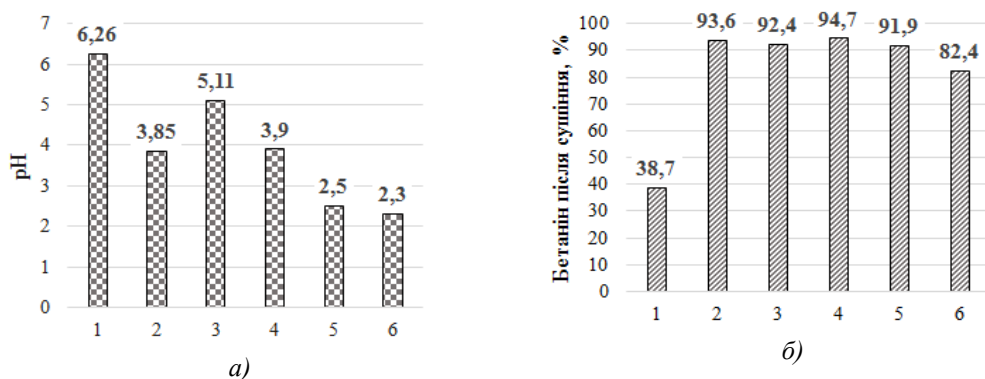
Основна задача – це зберігання природного кольору столового буряка після термічної обробки. Це обумовлено тим, що антоціанові пігменти столового буряку вкрай чутливі сполуки. Вони руйнуються під дією різноманітних факторів: високої температури (вище 65°C), ферментів, кисню повітря, денного світла, важких металів, рН середовища. При жорсткій температурній обробці та взаємодії з повітрям бетанін окислюється змінюючи колір з бордо на жовто-коричневий. При додаванні кислоти реакція йде в зворотну сторону – з жовто-коричневого в червоно бордовий. Додавання до столового буряка рослинної сировини, що містить підвищений вміст органічних кислот (лимон, ревень, томат). В результаті, утворюється потрібне значення рН 3,2-4,0, що є важливою умовою для збереження бетаніну столового буряка як при переробці, так і в процесі зберігання [5-6].

При отриманні насіння з томатів м'якоть потрапляє у відходи та забруднює навколишнє середовище. При використанні відходів томатів для стабілізації бетаніну суттєво зменшується собівартість антиоксидантного барвника та вирішується екологічна проблема утилізації відходів (шкірки та м'якоті томатів), яка становить до 80%.

При розробці теплотехнології отримання антиоксидантного буряково-томатного барвнику важливе значення має попередня підготовка сировини до сушіння та фізико-хімічний контроль якісних характеристик. Були проведені експериментальні дослідження впливу рН середовища на збереження бетаніну під час переробки, впливу органічних кислот рослинної сировини на клітинну оболонку столового буряка, кінетики сушіння антиоксидантної рослинної сировини та вмісту бетаніну антиоксидантної рослинної сировини в кінцевому продукті в залежності від режимів зневоднення.

Як відомо, для збереження бетаніну потрібно кисле середовище. Оскільки рН столового буряка ста-

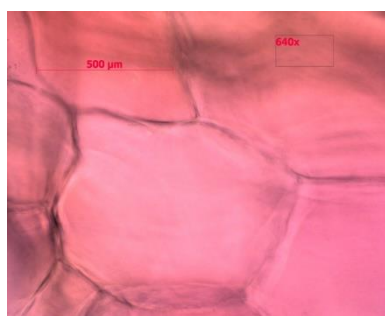
новить 6,26 (рис. 1.а), було застосовано метод купажування для підбору оптимального рН, при якому максимально зберігається бетанін.



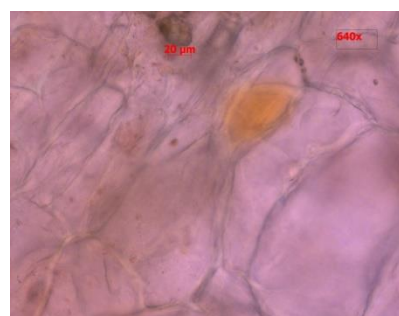
1 - буряк столовий; 2 - буряк гідротермічний; 3 - буряк-томат (4:1); 4 - буряк-томат (3:1); 5 - буряк-томат (2:1); 6 - буряк-томат (1:1)

Рис. 1 – Вплив рН середовища на збереження бетаніну під час переробки антиоксидантної сировини (буряково-томатної)

Метод купажування полягає у поєднанні столового буряка і рослинної сировини з підвищеним вмістом органічних кислот томату у різних співвідношеннях [7-8]. Було визначено рН столового буряка, гідротермічно обробленого та купажованого (буряково-томатного) у різних співвідношеннях (рис. 1 а,б). Найбільш оптимальним для буряково-томатної композиції є співвідношення 3:1, при якому рН становить 3,9 (рис. 1.а), а бетанін зберігається на 94,7 % (рис. 1.б).



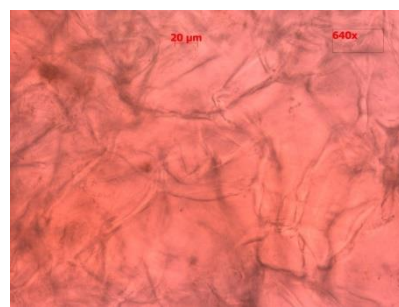
а)



б)



в)



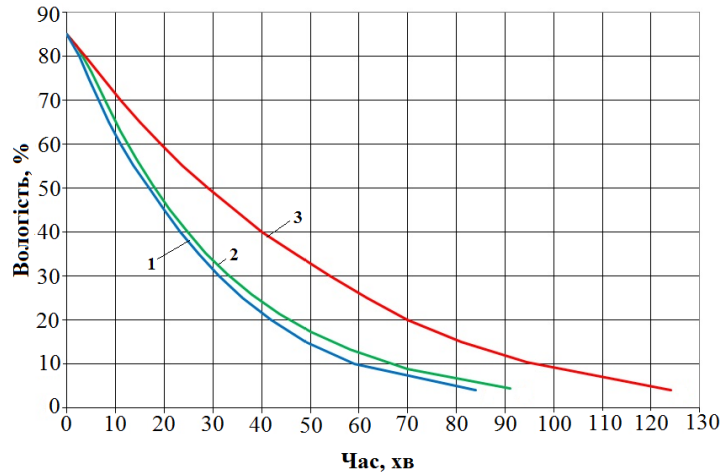
г)

Рис. 2 – Зображення клітини столового буряку а) та буряково-томатної композиції у співвідношенні б) (3:1), в) (2:1), г) (1:1)

Також нами було досліджено механізм стабілізації бетаніну в процесі підготовки до сушіння досліджували за допомогою світлового (оптичного) мікроскопу Axio Imager Z1. Збільшували у 640 разів. На рис. 2 представлені мікроструктурні дослідження зрізів паренхімної тканини столового буряка та буряково-томатної композиції.

На рисунку 2.а. чітко видно округлі випуклі клітини столового буряка, які оточені клітинною мембраною. При співвідношенні складових композиції 3 частини столового буряка та 1 частина томату (рис. 2.б.) оболонки клітини майже неушкоджені, проте спостерігається очевидний вплив органічних кислот томату на оболонку клітини столового буряка. Вона стає витягнутою і збільшується її гранична проникність, і речовини дифундують всередину клітини, змінюючи рН середовища. При співвідношенні 2:1 (рис. 2.в.), відбувається часткове руйнування клітинних оболонок. При співвідношенні компонентів 1:1 (2.г.) повністю зруйновані всі клітинні мембрани, що призводить до витікання соку під час сушіння.

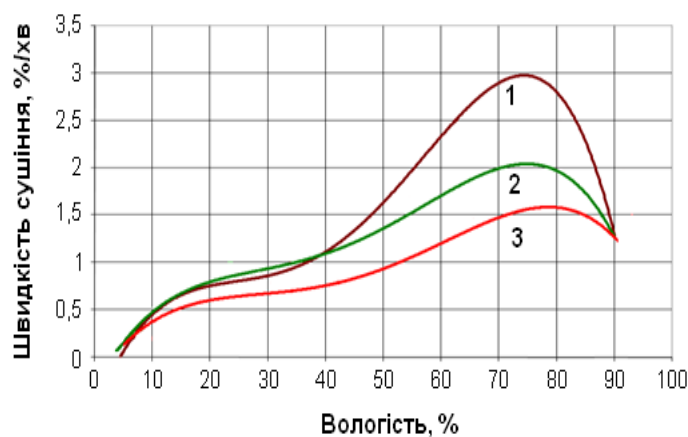
Отже, пошкодити частково клітину, тобто надати їй властивості напівпроникності можна за допомогою створення композиції буряк-томат у співвідношенні 3:1 (рис. 2.б.).



$t = 60^{\circ}\text{C}$, $V = 3,5 \text{ м/с}$, $\delta = 10 \text{ мм}$, $d = 10 \text{ г/кг с. п.}$:
1 – буряк-томат (3:1), 2 – томат; 3 – столовий буряк

Рис. 3 – Вплив компонентів композиції на кінетику процесу сушіння

Дослідження кінетики сушіння антиоксидантної сировини проводились на експериментальному конвективному стенді, з автоматичним збором та обробкою інформації за допомогою розробленої прикладної програми «Sooshka». Було досліджено вплив температури теплоносія на кінетику сушіння буряково-томатної композиції в широкому температурному діапазоні. Із збільшенням температури теплоносія інтенсивність процесу сушіння композиції збільшується [9-10].

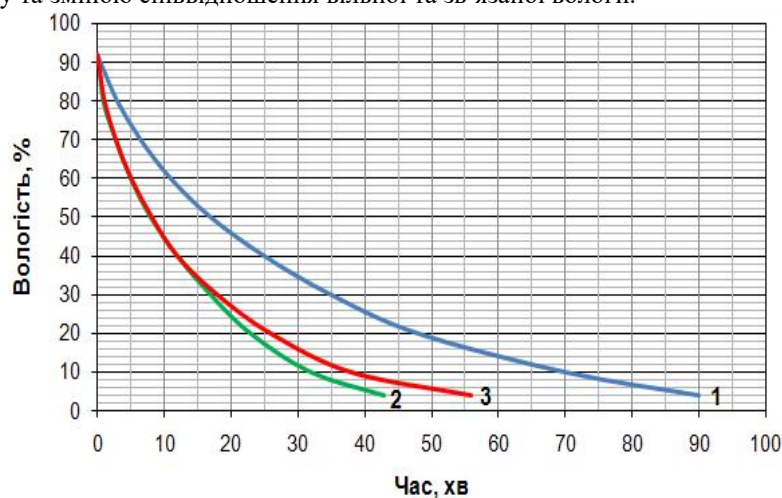


$t = 60^{\circ}\text{C}$, $V = 3,5 \text{ м/с}$, $\delta = 10 \text{ мм}$, $d = 10 \text{ г/кг с. п.}$:
1 – буряк-томат (3:1), 2 – томат; 3 – столовий буряк

Рис. 4 – Вплив компонентів композиції на кінетику процесу сушіння

Досліджено вплив компонентів композиції на кінетику процесу сушіння (рис. 3). Композиція (крива

1) досягає значення кінцевої вологості в 1,5 рази швидше у порівнянні зі столовим буряком (крива 3). З кривих швидкості сушіння компонентів композиції та самої композиції (рис. 4.) видно, що найбільша швидкість у буряково-томатної композиції і складає 3,0 %/хв, швидкість столового буряку становить 2,1 %, найменша у томаті – 1,6 %/хв. Це пояснюється впливом органічних кислот томату на клітинну оболонку столового буряку та зміною співвідношення вільної та зв'язаної води.



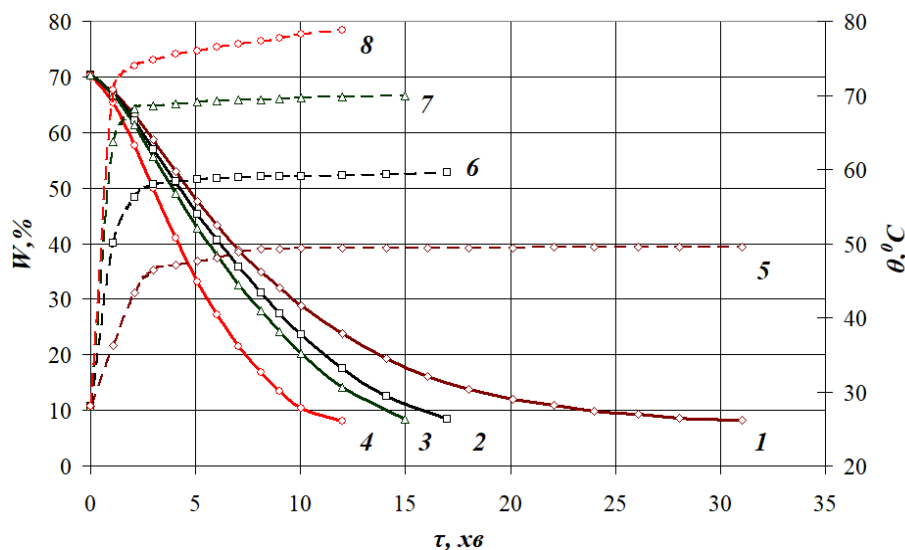
$$V = 3,5 \text{ м/с}, \delta = 10 \text{ мм}, d = 10 \text{ г/кг с. п.}:$$

1 – 60°C; 2 – 100°C; 3 – 100/60°C.

Рис. 5 – Вплив ступеневого режиму сушіння на кінетику процесу сушіння композиції буряк – томат (3:1)

Був розроблений ступеневий режим сушіння (рис. 5), який показує, що відбувається інтенсифікація процесу сушіння майже в 2 р. у порівнянні із режимом сушіння 60 °С, а бетанін при цьому зберігається на рівні 95-97 %.

При сушінні рослинної сировини важливо зберегти якісні характеристики матеріалу. Максимальне значення збереження бетаніну 96,5 % відповідає режиму сушіння 60 °С [5].



$$W_{\Pi} = 70\%, V = 1,5 \text{ м/с}, d = 10 \text{ г/кг с. п.}, \delta = 2 \text{ мм}:$$

1,5 – 50°C, 2,6 – 60 °C, 3,7 – 70°C, 4,8 – 80°C.

Рис. 6 – Вплив температури теплоносія та температури нагрівання матеріалу на тривалість сушіння насіння томату сорту «Сливки»

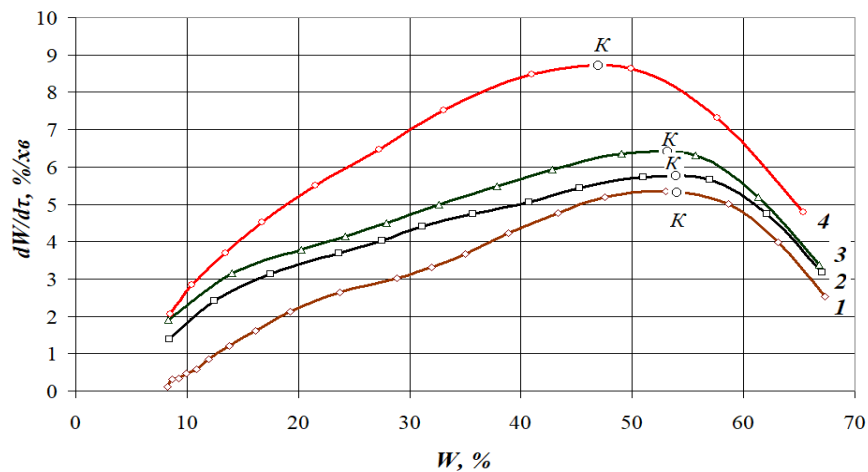
На основі проведених досліджень був розроблений спосіб одержання антиоксидантного буряково-томатного барвнику та насіннєвого матеріалу томатів, який завдяки використанню м'якоті та шкірки томатів, як натурального стабілізатора бетаніну та двостадійному конвективному сушінню дозволяє одержати якісний насіннєвий матеріал та порошкоподібний натуральний продукт.

Насіння томатів не потребує стратифікації і може проростати в плодах дозрілих томатів, тому його потрібно швидко сушити [6].

Сушіння насіння томату на конвективному стенді в елементарному шарі відбувалось від початкової вологості 70 % до 8 %, що при сушінні склало 31 хв. Збільшення температури від 50 до 80°C зменшує тривалість в 2,58 рази (рис. 6).

На термограмах нагрівання насіння томату відбувається від 8 до 12 хв. В режимі сушіння при температурі теплоносія 80°C відбувається видалення вологи та нагрівання на протязі всього процесу сушіння, в інших режимах після прогрівання температура нагрівання майже не змінюється.

Підвищення температури підвищує значення швидкості сушіння, так при температурі теплоносія 80°C швидкість сушіння складає 8,8%/хв. (рис. 7).



$W_n = 70\%$, $V = 1,5$ м/с, $d = 10$ з/кг с. п., $\delta = 2$ мм:

1 – 50°C, 2 – 60°C, 3 – 70°C, 4 – 80°C.

Рис. 7 – Вплив температури теплоносія на швидкість сушіння насіння томату

Насіння томату для кращої схожості доцільно сушити при температурі теплоносія 50°C схожість на 7 день пророщування становить 98% (рис. 8).

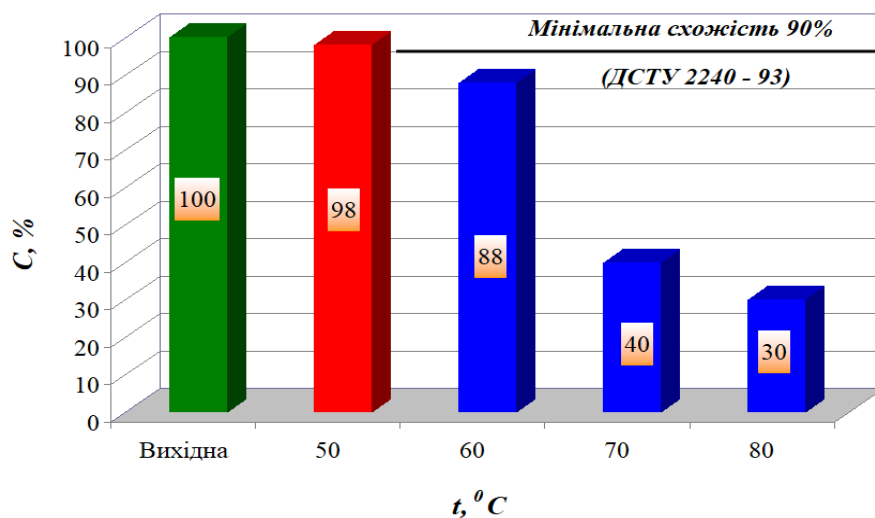


Рис. 8 – Схожість насіння томату сорту «Сливки» на 7 день пророщування від впливу режимів сушіння

Підвищення температури негативно впливає на якісні показники. Так при температурі теплоносія 60°C схожість знижується до 88%, при 70°C – 40%, 80°C – 30%.

Запропонована теплотехнологія одержання антиоксидантного буряково-томатного барвнику та насіннєвого матеріалу томатів дозволяє раціонально консервувати рослинну сировину у вигляді порошку при зниженій собівартості за рахунок використання відходів насіннєвого виробництва (рис. 9).

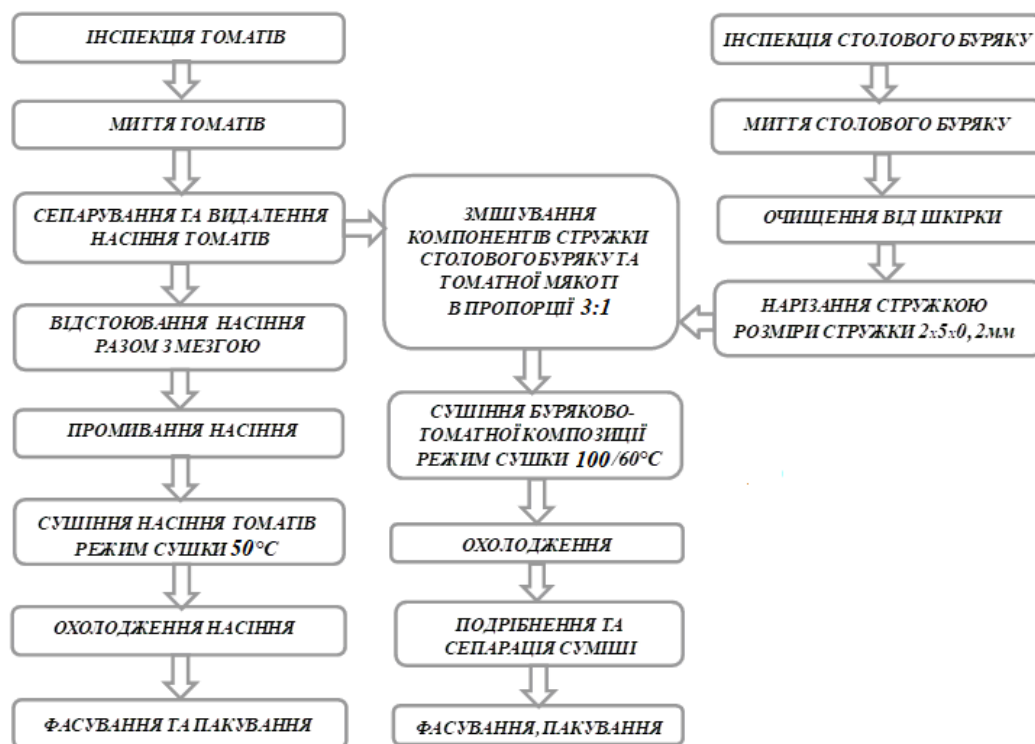


Рис. 9 – Теплотехнологія одержання антиоксидантного буряково-томатного барвнику та насіннєвого матеріалу

Одержаний у такий спосіб продукт, завдяки високому вмісту органічних кислот, не потребує гідротермічної обробки перед сушінням, має підвищені антиоксидантні властивості, високий вміст цинку, який збільшує дію інсуліну в організмі.

Сировину буряк і томати інспектують, миють, видаляють насіння з томатів, очищують від шкірки буряк, після чого нарізаний столовий буряк на стружку 2x5x0,2 мм і відходи томатів змішують в пропорціях 3:1. Відбувається стабілізація бетаніну органічними кислотами томату.

Видалене насіння томату направляється на ферментацію у власному соку при температурі навколишнього повітря 23 - 25°C протягом доби, після цього рідину зливали, а насіння яке залишилось у ємності промивали декілька разів водою.

Сушіння буряково-томатної суміші відбувається при температурі теплоносія 100°C на початковій стадії, потім температуру теплоносія знижували до 60°C, висушений матеріал надходив в зону охолодження, для сушіння насіннєвого матеріалу томатів в сушильній камері встановлюють інший режим зневоднення з температурою теплоносія 45 °C до кінцевої вологості 10 – 12 % з наступним охолодженням.

Температура буряково-томатної суміші при сушінні не перевищує 60°C, що дозволяє отримати продукт високої харчової якості з антиоксидантними властивостями, завдяки бетаніну та лікопіну. Під час сушіння насіннєвого матеріалу температура нагрівання насіння не перевищує 50°C, що дозволяє отримати якісний посівний матеріал вітчизняного виробництва.

Висновки

Отриманий новий комбінований універсальний продукт, збалансований за вмістом вітамінів, мінеральних речовин, клітковини, органічних кислот. Характерною ознакою якого є підвищена кількість бетаніну, що перевищує встановлений рівень для лікувальних препаратів, завдяки клітковині та пектину, які відповідно підвищують термостійкість продукту, збільшуючи при цьому термін зберігання.

Буряково-томатний антиоксидантний барвник покращує структуру та консистенцію виробів, додає забарвлення продуктам, збільшує їх біологічну та харчову цінність і може знайти широке застосування у виробництві лікувально-профілактичного призначення.

Література

1. Sz'ekely D., Ill'es B., Steger-Mate M., Monspart-S'enyi J. (2016) Effect of drying methods for inner parameters of red beetroot (*Beta vulgaris* L.). *Acta Univ. Sapientiae, Alimentaria*, 9, 60-68. <https://doi.org/10.1515/ausal-2016-0006>
2. Duenha, J. L., Cassia, R. (2018). Grasielle Scaramal Effect of pH on the stability of red beet extract (*Beta vulgaris* L.) microcapsules produced by spray drying or freeze drying. *Food Sci. Technol*, Campinas, 38 (1), 72-77. <https://doi.org/10.1590/1678-457x.34316>
3. Kowalski, S. J., Lechtanska, J. M. (2015). Drying of red beetroot after osmotic pretreatment: Kinetics and quality considerations. *Chemical and Process Engineering*, 36 (3), 345-354. <https://doi.org/10.1515/cpe-2015-0024>
4. Mei Ling Ng, Sulaiman R. (2018) Development of beetroot (*Beta vulgaris*) powder using foam mat drying. *Food Science and Technology*, 88, 80-86. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.032>
5. Петрова Ж.О., Снежкін Ю.Ф. Енергоефективні теплотехнології переробки функціональної сировини: монографія. Київ: Наукова думка, 2018, 187 с.
6. Снежкін Ю. Ф., Петрова Ж. О., Пазюк В.М. Енергоефективні теплотехнології виробництва функціональних харчових порошків. Монографія. Вінниця (ВНАУ), 2016. 456 с.
7. Снежкін Ю.Ф., Пазюк В.М., Петрова Ж.О., Самойленко К.М. Ефективні технології сушіння насіння овочів. Монографія. Віддруковано у редакційно-видавничому відділі Вінницького національного аграрного університету, м. Вінниця, 2019. 129 с.
8. Petrova, Zh.O., Paziuk, V.M., Samoilenko, K.M., Chepeliyk, O.P. (2018). Effect of treatment modes on quality and antioxidant properties of tomato and beet processing products. *Ukrainian food journal*. Volume 7, Issue 2, 291-302. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2018-7-2-12>
9. Zh. Petrova, Yu. Sniezkhin, K. Samoilenko (2021) Blending and drying of antioxidant raw materials. Monograph. LLC "Tvory", Vinnitsa, 107.
10. Petrova, Zh.O., Sniezkhin, Yu.F., Hetmaniuk, K.M., Dmytrenko, N.V., Vorontsov, M.Ye. (2014) Intensifying Drying Process with Creation of Functional Plant Compositions. *Ukrainian Food Journal*, 3 (2), 167-174.

Cite as

Петрова Ж.О., Пазюк В.М., Самойленко К.М. Комплексна енергоефективна теплотехнологія одержання антиоксидантного буряково-томатного барвнику та насіння томатів // Наукові праці / Одеська національна академія харчових технологій. Одеса, 2021. Випуск 85, Том 2. С. 102– 109.

Отримано в редакцію 11.05.2021
Прийнято до друку 20.07.2021

Received 11.05.2021
Approved 20.07.2021