

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

Сучасні технології, особливо процеси сушіння, є енергозатратними. То ж, основними завданнями при розробці теплотехнологій в харчовій промисловості є зменшення витрат енергоносіїв на процес зневоднення. Такі наукові розробки – це шлях до конкурентоздатної економіки та енергонезалежності України.

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.

В Україні виробництво овочів переважає над їх вживанням. Переробка за допомогою сушіння та отримання порошкоподібного продукту практично відсутня. 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.

Червоний столовий буряк має високий вміст бетаніну з антиоксидантними властивостями і є традиційним в харчуванні населення України. Оскільки сушіння є енерговитратним процесом, зменшення енергозатрат на процес зневоднення та максимальне збереження біологічно активних речовин та зниження собівартості кінцевого продукту є актуальним.

Користь природних антиоксидантів полягає в тому, що вони здатні вступати в реакції з вільними радикалами, нейтралізуючи їх згубну дію на організм людини. Бетанін – це червоний харчовий барвник, який отриманий зі столового буряка та може використовуватись при виробництві морозива, кондитерських виробів, порошкоподібних безалкогольних напоїв.

В даній статті висвітлено безвідходну енергоефективну теплотехнологію отримання антиоксидантного буряково-томатного барвнику та насіння томатів. Завдяки використанню м'якоті та шкірки томатів, які містять органічні кислоти та відіграють роль стабілізатора барвника під час сушіння із заданими режимами. Одержано 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.

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

Поставка проблеми у загальному вигляді

Одним із основних аспектів при сушінні антиоксидантної рослинної сировини (столовий буряк) є зменшення енерговитрат, оскільки нестача енергетичних ресурсів є актуальною проблемою України. Тому раціональне їх використання одна із основних вимог сьогодення. При зневодненні столового буряку важливими напрямками є не лише зниження енерговитрат, але й запобігання втрати важливих біологічно активних речовин в процесі обробки.

Аналіз останніх досліджень

На основі аналізу літературного огляду виявлено, що існуючі способи переробки столового буряку характеризуються низькою продуктивністю та великою кількістю відходів з високими енерговитратами. Його переробка на харчовий барвник різними способами сушіння досліджується в Україні, Угорщині, Франції, Німеччині, Польщі, Бразилії, Малайзії, Індії та ін. В Угорщині вчені дослідили вплив вакуумного сушіння буряку та збереження біологічно активних речовин [1]. В університеті Маринга (Бразилія) було досліджено вплив рН на стабільність мікрокапсул екстракту червоного буряку та застосовано розпилювальне та сублімаційне сушіння [2]. В Інституті технологій та хімічної інженерії (Польща) досліджено вплив осмотичної дегідратації на стадії підготовки до зневоднення та конвективне сушіння столового буряку [3]. В Інституті досліджень якості харчових продуктів (Малайзія) застосовують метод сушіння з піноутворенням [4]. У більшості цих досліджень за основу покладено отримання бетаніну саме із соку столового буряку. Застосову-

ються енерговитратні методи сушіння (вакуумний, сублімаційний, розпилювальний), а також допоміжні матеріали, такі як ксантанова камедь, мальтодекстрин.

Формулювання цілі статті

Основною метою є – розробка універсальної безвідходної технології отримання антиоксидантного барвника на основі столового буряку з високим вмістом бетаніну та отримання насіннєвого матеріалу томату.

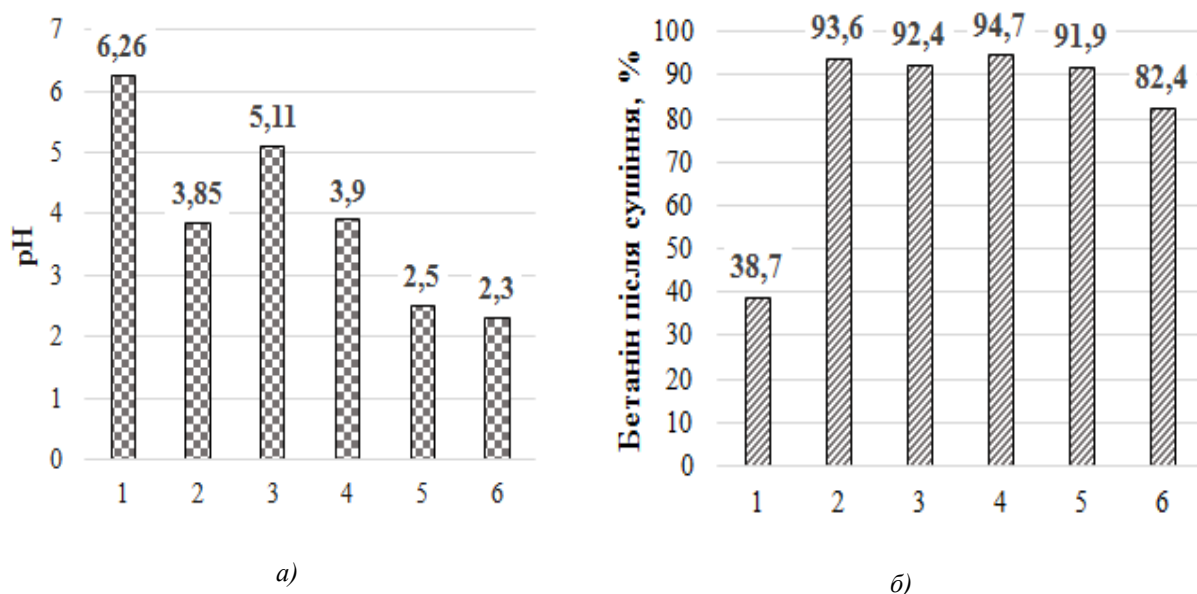
Результати досліджень та обговорення

Актуальним завданням є дослідження стабілізації барвника столового буряку після термічної обробки. Це обумовлено тим, що пігменти столового буряку вкрай чутливі сполуки до рН середовища та температури. При сушінні з високою температурою теплоносія та при контакті з повітрям бетанін столового буряку окислюється та змінює колір від бордового до жовто-коричневого. Якщо додати кислоти, то реакція відбувається у зворотній бік [5]. На стадії підготовки матеріалу до сушіння, додавали до столового буряку рослинну сировину, яка має органічні кислоти (томат). Використовували різні співвідношення досліджуваних матеріалів. Було визначено, що оптимальному значенню рН, відповідає співвідношення складових композиції 3 частини буряку та 1 частина томату [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 барвника важливе значення має попередня підготовка сировини до сушіння та фізико-хімічний контроль якісних характеристик. Були проведені експериментальні дослідження попередньої обробки рослинної сировини до сушіння: вплив рН середовища на збереження бетаніну; стан клітинної оболонки столового буряку під впливом органічних кислот. Досліджено зміну вологовмісту під час сушіння та збереження бетаніну в залежності від режимів зневоднення.

Оскільки рН столового буряку становить 6,26 (рис. 1.а), застосовували метод його купажування з томами для підбору оптимального рН, при якому максимально зберігається бетанін.



1 – столовий буряк; 2 – столовий буряк гідротермічно оброблений; 3 – буряково-томатна композиція (4:1); 4 – буряково-томатна композиція (3:1);

5 – буряково-томатна композиція (2:1); 6 – буряково-томатна композиція (1:1)

Рис. 1 – Збереження бетаніну столового буряку під час переробки в залежності від рН середовища

При дослідженнях був застосований метод купажування, що являє собою змішування столового буряку і томату в різних співвідношеннях [7]. Було визначено рН столового буряку, гідротермічно обробленого та купажуваного (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).

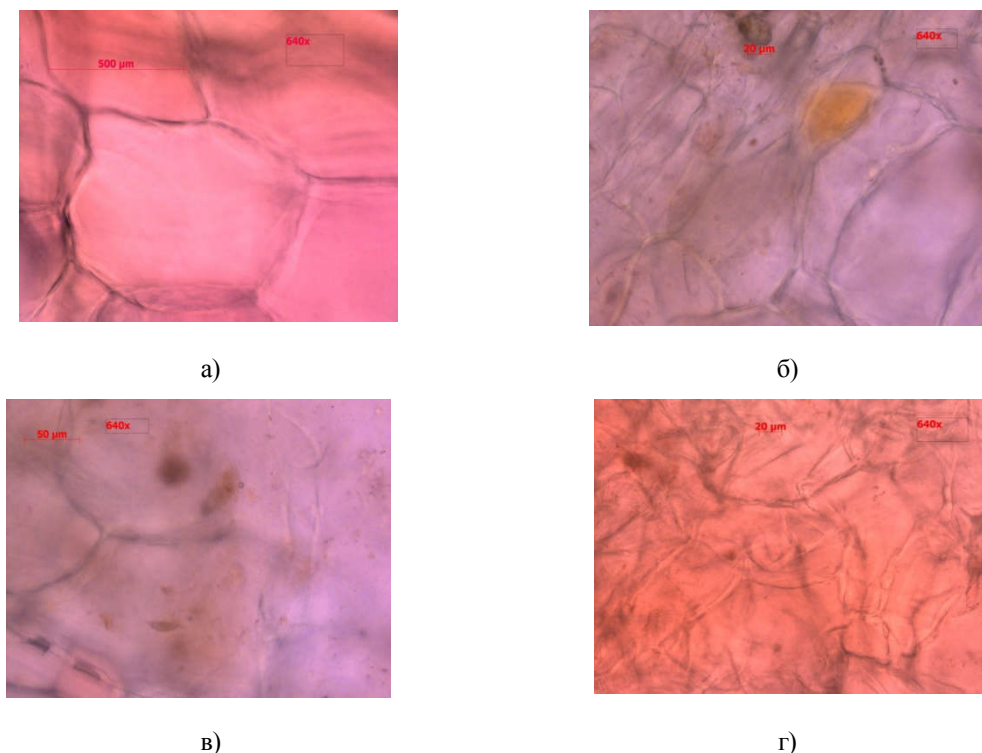
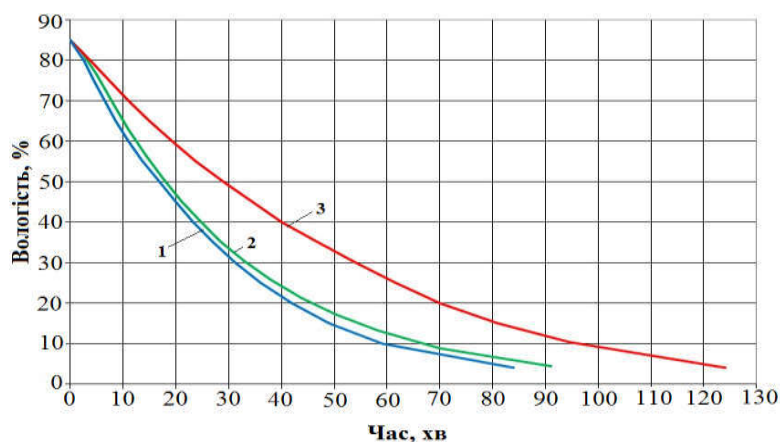


Рис. 2 – Зображення клітини столового буряку а) та буряково-томатної композиції у співвідношенні б) (3:1), в) (2:1), г) (1:1)

При підготовці сировини світловий (оптичний) мікроскоп марки Axio Imager Z1 був використаний для дослідження впливу органічних кислот томату на клітини столового буряку з метою збереження бетаніну. На рисунку 2 представлені мікроструктурні дослідження зрізів паренхімної тканини столового буряку та буряково-томатної композиції.

На рисунку 2.а. показано фотографії клітини чистого столового буряку. При співвідношенні складових композиції 3 частини столового буряку та 1 частина томату (рис. 2.б.) оболонки клітини майже неушкоджені, проте спостерігається очевидний вплив органічних кислот томату клітинну оболонку червоного буряку. При цьому збільшується гранична проникність клітин, що дає можливість речовинам ззовні дифундувати в середину клітин і тим самим змінювати рН середовища. При поєднанні компонентів 2 частини столового буряку та 1 частина томатів відбувається часткове руйнування клітинних оболонок. При співвідношенні компонентів 1:1 (2.г.) спостерігається руйнування майже всіх клітинних мембран. В подальшому, під час сушіння, це призводить до витікання соку та втрати бетаніну [7].

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

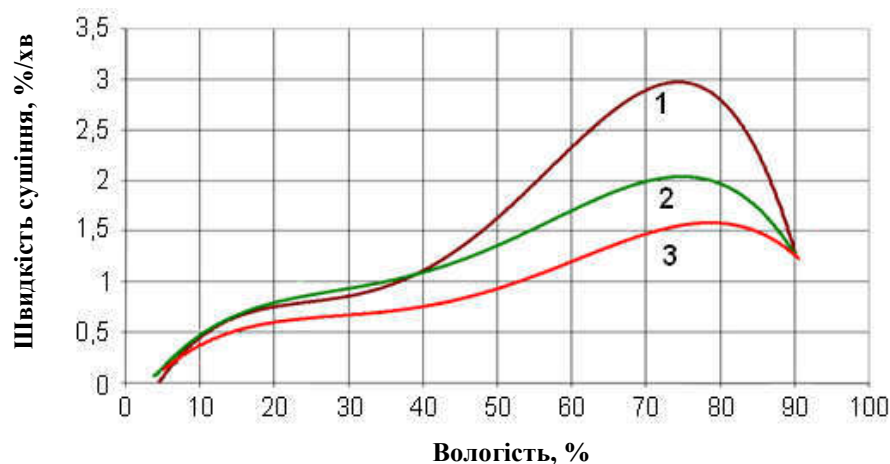


$$t = 60^{\circ}, V = 3,5 \text{ м/с}, \delta = 10 \text{ мм}, d = 10 \text{ г/кг с. п.}:$$

1 – буряково-томатна композиція (3:1), 2 – томат; 3 – столовий буряк

Рис. 3 – Вплив складових компонентів на процес сушіння антиоксидантної сировини

Експериментальні дослідження зміни вологовмісту композиції столового буряка і томату були проведені на конвективному стенді, а саме – досліджено вплив температури теплового агента на процес зневоднення буряково-томатної композиції [8].

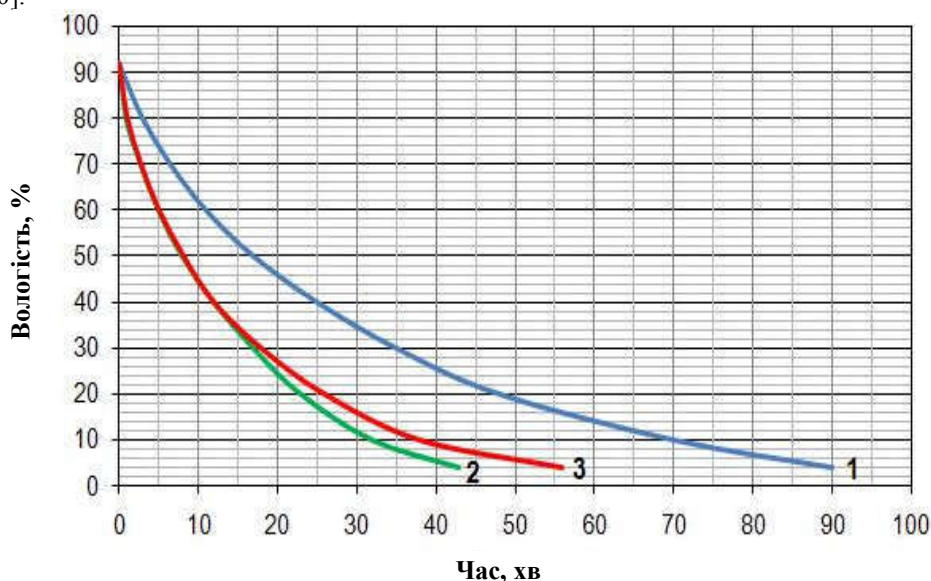


$$t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}, V = 3,5\text{ м/с}, \delta = 10\text{ мм}, d = 10\text{ г/кг с. п.}:$$

1 – буряково-томатна композиція (3:1), 2 – томат; 3 – столовий буряк

Рис. 4 – Залежність швидкості сушіння антиоксидантної сировини від складових композиції

Як видно з рисунку 3, буряково-томатна композиція (поз.1) у порівнянні із столовим буряком (поз. 3), у 1,5 рази швидше досягає кінцевої вологості. На рисунку 4 показано криві швидкості сушіння буряково-томатної композиції, томату та столового буряку. Найбільша швидкість сушіння у буряково-томатної композиції 3,0 %/хв, для столового буряку - 2,1 %/хв, а для томату – 1,6 %/хв. Можемо припустити, що у буряково-томатній композиції під дією органічних кислот томату клітинна оболонка столового буряка стає напівпроникною, змінюється співвідношення зв'язаної та вільної води, змінюється рН середовища, стабілізується бетанін [9, 10].

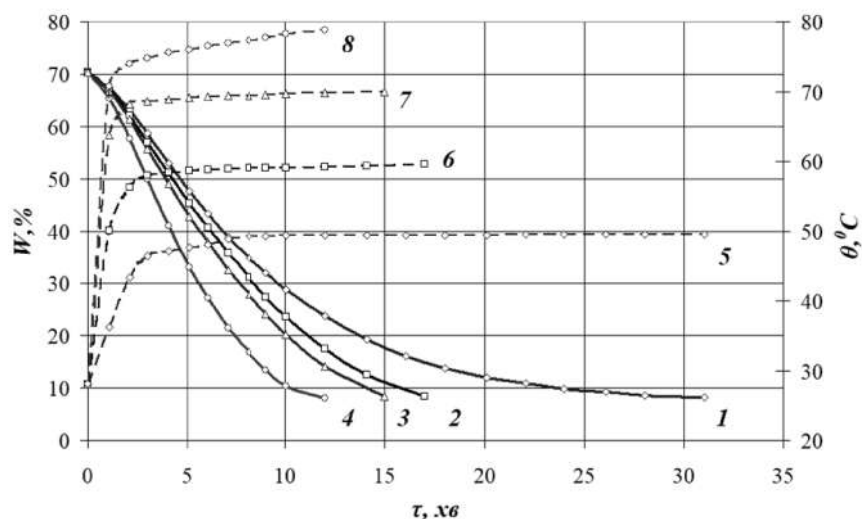


$$V = 3,5\text{ м/с}, \delta = 10\text{ мм}, d = 10\text{ г/кг с. п.}:$$

1 – 60 °C; 2 – 100 °C; 3 – 100/60 °C

Рис. 5 – Вплив двостадійного режиму на кінетику процесу сушіння буряково-томатної композиції (3:1)

Був розроблений двостадійний режим сушіння (рис. 5), під час якого відбувається інтенсифікація процесу в 2 р. При сушінні 60 °C час сушіння становить 90 хв, а при 100/60 °C - 43 хв. При сушінні рослинної сировини важливо зберегти якісні характеристики матеріалу. Розроблена підготовка сировини до сушіння та оптимальний режим 100/60 °C дозволяють зберегти бетанін на 96,5 % [8].



$W_n = 70 \%, V = 1,5 \text{ м/с}, d = 10 \text{ г/кг с. п.}, \delta = 2 \text{ мм}: 1,5 - 50^\circ\text{C}, 2,6 - 60^\circ\text{C}, 3,7 - 70^\circ\text{C}, 4,8 - 80^\circ\text{C}$

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

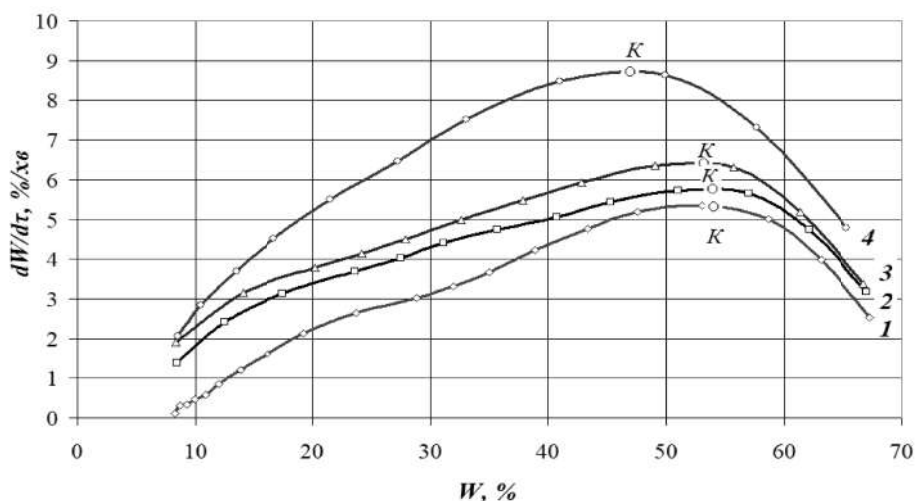
На основі проведених досліджень був розроблений спосіб одержання антиоксидантного буряково-томатного барвнику та насіннєвого матеріалу томатів, який завдяки використанню м'якоті та шкірки томатів, в якості стабілізатора бетаніну та оптимальним режимам сушіння дозволяє одержати якісний насіннєвий матеріал та порошкоподібний натуральний продукт.

Насіння томатів не потребує стратифікації і може проростати в плодах дозрілих томатів, тому його потрібно швидко сушити [9].

Сушіння насіннєвого матеріалу томату в елементарному шарі відбувалось від початкової вологості 70 % до кінцевої 8 % тривалістю 31 хв [10]. 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) [11].



$W_n = 70 \%, V = 1,5 \text{ м/с}, d = 10 \text{ г/кг с. п.}, \delta = 2 \text{ мм}: 1 - 50^\circ\text{C}, 2 - 60^\circ\text{C}, 3 - 70^\circ\text{C}, 4 - 80^\circ\text{C}$

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). Експериментальні дослідження схожості насіннєвого матеріалу проводили згідно ДСТУ 2240-93 [11].

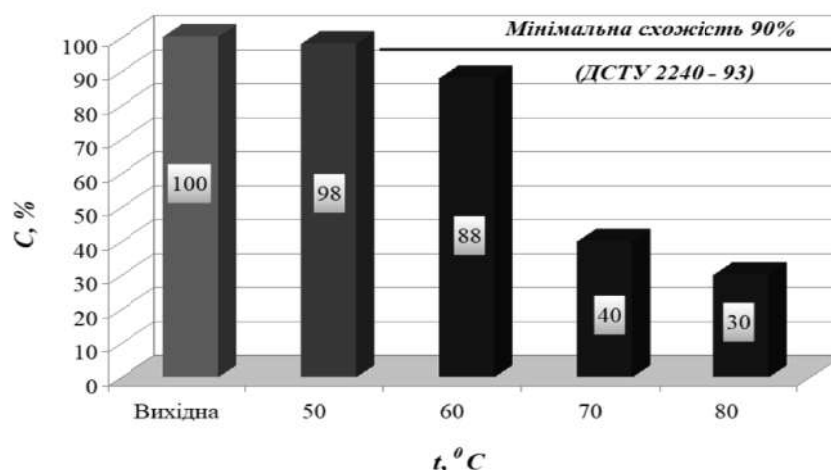


Рис. 8 – Схожість насіння томату сорту «Сливки» на 7 день пророщування від впливу режимів сушіння

Підвищення температури негативно впливає на якісні показники. Так при температурі теплоносія 60°C схожість знижується до 88 %, при 70 °C – 40 %, 80 °C – 30 % [11].

Запропонована теплотехнологія одержання антиоксидантного буряково-томатного барвнику та насіннєвого матеріалу дозволяє раціонально консервувати рослинну сировину у вигляді порошку при зниженій собівартості за рахунок використання відходів насіннєвого виробництва (рис. 9) [11].

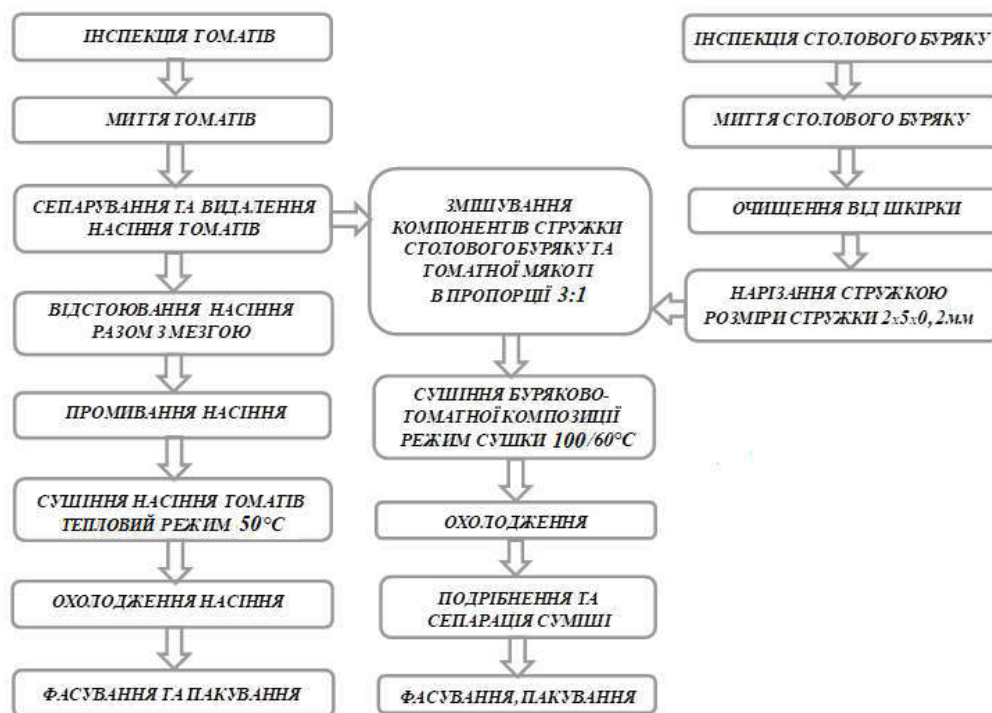


Рис. 9 – Теплотехнологія одержання антиоксидантного буряково-томатного барвнику та насіннєвого матеріалу

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 стружкою столовий буряк 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 [11].

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 [11].

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.

References

1. Székely, D., Ill'és, 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.
2. Duenha, J.L., Cassia, R. (2018). Grasiere 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.
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.
4. Mei Ling Ng, Sulaiman, R. (2018). Development of beetroot (*Beta vulgaris*) powder using foam mat drying. *Food Science and Technology*, 88, 80–86.
5. Petrova, Zh.O., Sniezhkin, Yu.F. (2018) *Enerhoefektyvni teplotekhnolohiyi pererobky funktsional'noyi syrovyny [Energy efficient heat technologies for processing functional raw materials]*. Monograph. Kyiv, Naukova dumka (in Ukrainian).
6. Samoilenko, K.M. (2019). *Intensyfikatsiya teplomasoobminu pry kupazhuvanni ta sushinni antyoksydantnoyi syrovyny [Intensification of heat and mass transfer during blending and drying of antioxidant raw materials]*. Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine. Kyiv (in Ukrainian).
7. Petrova, Zh., Sniezhkin, Yu., Samoilenko, K. (2021) *Blending and drying of antioxidant raw materials*. Monograph. LLC “Tvory”, Vinnitsa.
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, 7 (2). 291–302.
9. Sniezhkin, Yu.F., Petrova, Zh.O., Paziuk, V.M. (2016). *Enerhoefektyvni teplotekhnolohiyi vyrobnytstva funktsional'nykh kharchovykh poroshkiv [Energy efficient heat technologies for the production of functional food powders]*. NASU, Institute of Technical Thermophysics. Vinnytsia: VNAU (in Ukrainian).
10. Sniezhkin, Yu.F., Paziuk, V.M., Petrova, Zh.O., Samoilenko, K.M. (2019). *Efektyvni tekhnolohiyi sushinnya nasinnya ovochiv [Effective technologies for drying vegetable seeds]*. Monograph. Published in the editorial and publishing department of Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia (in Ukrainian).
11. Sniezhkin, Yu.F., Petrova, Zh.O., Paziuk, V.M. (2020) *Teplomasoobminni tekhnolohiyi ta obladnannya otrymannya nasinnyevykh materialiv [Heat and mass transfer technologies and equipment for obtaining seed materials]*. Monograph. LLC “Tvory”, Vinnitsa (in Ukrainian).

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

Petrova Zh., Doctor of Engineering, Senior researcher, Paziuk V., Doctor of Engineering, docent, Samoilenko K., Ph.D.

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, Kyiv

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 are a way to a competitive economy and energy independence of Ukraine.

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.

In Ukraine, vegetable production prevails over its consumption. Processing by drying and obtaining a powdered product is almost absent. Modern methods of obtaining beetroot powder make it possible to keep betanin 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.

Red beetroot have a high content of betanine with antioxidant properties and are traditional in the diet of the population of Ukraine. Since drying is an energy-intensive process, reducing energy costs for the dehydration process and maximum preservation of biologically active substances and reducing the cost of the final product is relevant.

The benefit of natural antioxidants is their ability to react with free radicals, neutralizing their detrimental effects on the human body. Betanine is a red food coloring, derived from red beetroot, and can be used in the production of ice cream, confectionery, and powdered soft drinks.

This article highlights the waste-free energy-efficient heat technology for the production of antioxidant red beetroot-tomato dye and tomato seeds. Due to the use of tomato pulp and peel, which contain organic acids and act as a dye stabilizer during drying with the specified modes. We get 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 nutrition.

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

Список використаної літератури

1. Sz'ekely D., Ill'es B., Steger-Mate M., Monspart-S'enyi J. Effect of drying methods for inner parameters of red beetroot (*Beta vulgaris* L.). *Acta Univ. Sapientiae, Alimentaria*. 2016. № 9. С. 60–68.
2. Duenha, J. L., Cassia, R. 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, Campina*. 2018. Vol. 38. No.1. P. 72-77.
3. Kowalski, S. J., Lechtanska, J. M. Drying of red beetroot after osmotic pretreatment: Kinetics and quality considerations. *Chemical and Process Engineering*. 2015. 36 (3). P. 345-354.
4. Mei Ling Ng, Sulaiman R. () Development of beetroot (*Beta vulgaris*) powder using foam mat drying. *Food Science and Technology*. 2018. No. 88. P. 80-86.
5. Петрова Ж.О., Снежкін Ю.Ф. *Енергоефективні теплотехнології переробки функціональної сировини*: монографія. Київ: Наукова думка, 2018, 187 с.
6. Самойленко К. М. Інтенсифікація тепломасообміну при купажуванні та сушінні антиоксидантної сировини: дис. ... канд. техн. наук : 05.14.06 / НАН України, Ін-т техн. теплофізики. Київ, 2019. 172 с.
7. Zh. Petrova, Yu. Sniezhkin, K. Samoilenko *Blending and drying of antioxidant raw materials*: Monograph. LLC "Tvory", Vinnitsa, 2021. 107 с.
8. Petrova, Zh.O., Paziuk, V.M., Samoilenko, K.M., Chepelyk, O.P. Effect of treatment modes on quality and antioxidant properties of tomato and beet processing products. *Ukrainian food journal*. 2018. Volume 7, Issue 2. P. 291-302.
9. Снежкін Ю. Ф., Петрова Ж. О., Пазюк В.М. *Енергоефективні теплотехнології виробництва функціональних харчових порошків*: Монографія. Вінниця (ВНАУ), 2016. 456 с.
10. 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.
11. Petrova, Zh.O. et al. Intensifying Drying Process with Creation of Functional Plant Compositions. *Ukrainian Food Journal*, 2014. 3 (2), P. 167-174.

Отримано в редакцію 03.04.2021

Прийнято до друку 06.07.2021

Received 03.04.2021

Approved 06.07.2021