

3. Bezrodny M.K., Pismenny E.N., Tuz V.E., Lebed N.L. Experimental study of hydrodynamics of film flow in channels with a grid coating. *Industrial Heat Engineering*. 2009. 31(7), 139-143.
4. Bezrodny M.K., Pismenny E.N., Tuz V.E., Lebed N.L. Analytical model of liquid film rupture during gravitational flow along vertical surfaces with a grid coating. *Industrial Heat Engineering*. 2009. 31(6), 21-27.

Отримано в редакцію 10.05.2018
Прийнято до друку 23.06.2018

Received 10.05.2018
Approved 23.06.2018

УДК 664.8.047

<http://dx.doi.org/10.15673/swonaft.v82i1.999>

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ РОСЛИННОЇ СУМІШІ З СОЇ ТА БАТАТУ

Петрова Ж.О., д.т.н, головний науковий співробітник
Слободянюк К.С., аспірант
Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

Анотація. Постійний попит на сою і соєві продукти як на внутрішньому, так і зовнішньому ринках України зумовив розширення площі посівів під цією рослиною і вона стала одною з найприбутковіших культур, які вирощуються у сільськогосподарських підприємствах. Поліненасичені жирні кислоти, які входять до складу клітинних мембран сої та інших структурних елементів рослинних тканин, виконують в організмі низку важливих функцій, зокрема забезпечують нормальний ріст та обмін речовин, еластичність судин. У зв'язку з існуючою проблемою дефіциту білка в харчуванні людей все більшої актуальності набувають для України дослідження шляхів підвищення економічної ефективності виробництва сої, формування та функціонування ринку сої та продуктів її переробки.

Тепловий вплив – одна з найбільш широко розповсюджених теплотехнологічних операцій в процесах обробки рослинної сировини, а тепловий нагрів з метою зменшення початкового вологовмісту сировини, що обробляється (сушіння) – один із найбільш розповсюджених способів консервування, підготовки і полуфабрикування харчових продуктів. На ряду з перевагами процесу сушіння виникає ряд недоліків процесу, найважливішим з яких, в сучасних умовах, є енерговитрати на виконання процесу. Процес сушіння – один з найбільш енергоємних операцій, він використовує до 25% всієї промислової енергії. Через проблеми в екологічній і енергетичній галузях, включаючи викиди парникових газів, виснаження викопного палива тощо стає надзвичайно важливим зменшення споживання енергії у всіх галузях промисловості.

Створення рослинних композицій, поєднання двох сумісних за біохімічним складом матеріалів (сої та батату), дає можливість знизити енерговитрати на процес сушіння та зберегти біологічно активні речовини в процесі зберігання висушеної сировини. За своїм біохімічним складом батат містить каротиноїди, що є природними стабілізаторами для білків сої і які перешкоджають окисленню її ліпідів. Отже, поєднання цих двох компонентів дозволяє природнім шляхом збільшити термін зберігання сировини. Через відсутність інформації в наукових інформаційних джерелах про вплив режимних параметрів сушіння (t , ϕ , v) на кінетику сушіння соєво – бататної суміші, ця робота спрямована на дослідження процесу сушіння соєво - овочевих композицій з метою інтенсифікації процесу.

Ключові слова: теплотехнологія, білок, соя, сушіння, зберігання.

INTENSIFICATION OF THE PROCESS OF DRYING VEGETABLE COMPOSITION FROM SOY AND BATAT

Petrova Zh.O., Doctor of Engineering., Chief researcher
Slobodyanyuk K.S., post-graduate student

Institute of Technical Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

Abstract. The constant demand for soy and soya products on both the domestic and foreign markets of Ukraine led to the expansion of the area under this plant and became one of the most profitable crops grown in agricultural enterprises. Polyunsaturated fatty acids, which are part of cellular soybean membranes and other structural elements of plant tissues, perform in the body a number of important functions, in particular, provide normal growth and metabolism, elasticity of blood vessels. Due to the existing problem of protein deficiency in people's nutrition, Ukraine is increasingly studying ways to increase the economic efficiency of soybean production, the formation and functioning of the soy market and its processing products.

Thermal effect is one of the most widely used heat engineering operations in the process of processing of plant raw materials, and heat heating in order to reduce the initial moisture content of processed material (drying) - one of the most common methods of preservation, preparation and semi-preparation of food products.

Along with the advantages of the drying process, there are a number of flaws in the process, the most important of which, in modern conditions, is energy costs for the process. The drying process is one of the most energy-intensive operations, it uses up to 25% of all industrial energy. Due to problems in the environmental and energy sectors, including greenhouse gas emissions, fossil fuel depletion, etc., it is becoming increasingly important to reduce energy consumption in all industries.

The creation of plant compositions, a combination of two biochemical compositions (soybeans and sweet potatoes) compatible, makes it possible to reduce energy costs for the drying process and preserve biologically active substances during the storage of dried raw materials. In its biochemical composition, sweet potato contains carotenoids, which are natural stabilizers for soy proteins and prevent the oxidation of its lipids. Consequently, the combination of these two components can naturally increase the shelf life of raw materials. Due to the lack of information in scientific information sources on the influence of regime drying parameters (t , ϕ , v) on the drying kinetics of soybean - vegetable mixture, this work is aimed at studying the process of drying soy and vegetable compositions in order to intensify the process.

Key words: heat-technologies, protein, soy, drying, storage.

Вступ. Соя і соєві продукти є основним джерелом продовольчого і кормового білка, олії та важливим фактором росту економіки багатьох країн світу. [1]. Завдяки високому вмісту жирів, соя в ряді регіонів України є основною олійною культурою. Соя також багата на білок, вміст якого становить до 44%, також до її складу входять 8 незамінних амінокислот [2]. Сільськогосподарські підприємства мають можливість підвищити прибутковість своєї діяльності збільшуючи обсяги виробництва та реалізації сої [1].

Натуральні фітоестрогени, які знаходяться в соєвих продуктах, в першу чергу ізофлавоногеністеїни і дайзеїни, при вживанні дітьми та дорослими не викликають будь-яких наслідків гормональних ефектів. Вони включають в себе декілька класів хімічних з'єднань: ізофлавонони, куместани і лігніни. Ці речовини за своєю структурою нагадують людський гормон естрадіол – найбільш активна форма естрогену [3].

При технологічній переробці сої виникає необхідність регулювати глибину денатурації білка та використовувати більш жорсткі режими гіротермічної обробки для інактивації небажаних ферментів та білків-інгібітору трипсину [4].

Хоча ми й не є жителями спекотних тропічних і субтропічних країн, напевно, кожен із нас чув щонебудь про батат і його корисні властивості. В Україні його називають «солодкою картоплею», але біологічні властивості цих рослин не мають спільних ознак[5]. Хімічний склад батату представлений в таблиці 1 [7].

Батат культурний, *Ipomea batatas* (L.) Lam. - малопоширена в Україні овочева культура, яка є однією з найважливіших та розповсюджених бульбоподібних культур у світовому господарстві. Батат вирощують в більшості тропічних та субтропічних країн земної кулі, а найбільшими виробниками батату є Китай, Індія, Індонезія, Уганда, Нігерія, В'єтнам [6]. Бульби батату вживають в їжу в сирому, вареному, печеному і смаженому вигляді, їх використовують як гарніри до страв з м'яса, додають в каші. З солодких сортів батату виготовляють суфле, повидло, пастилу. Також з бульб батату отримують борошно, цукор, патоку і спирт, молоді листя і стебла після варіння додають в різні салати, а з насіння отримують сурогат кави.

У Китаї батат називають плодом довголіття і вважають, що він здатний попереджувати виникнення онкологічних захворювань, відновлює еластичність судин, стимулює активність печінки і нирок, корисний при грипі як загальнозміцнюючий і вітамінний засіб. Батат має низький глікемічний індекс, тому цей коренеплід безпечний для діабетиків. Таким чином, батат є перспективною культурою для вирощування на території України з подальшим отриманням на його основі продуктів з високою харчовою цінністю [8].

Таблиця 1

Хімічний склад батату : значення на 100 г поживних речовин

	Одиниць	Сировина солодка картопля	Приготована, запечена в шкірі	Приготована, варена без шкірки
Вода	г	72,84	72,84	72,84
Енергія	Ккал	105	103	105
	кДж	439	431	439
Білки	г	1,65	1,72	1,65
Загальна кількість ліпідів (жир)	г	0,30	0,11	0,30
Вуглеводи розчинні	г	24,28	24,27	24,28
Клітковина	г	3,0	3,0	1,8

Таблиця 1(продовження)

Зола	Г	0,95	1,06	0,95
Кальцій Ca	Мг	22	28	21
Залізо Fe	Мг	0,59	0,45	0,56
Магній Mg	Мг	10	20	10
Фосфор P	Мг	28	55	27
Калій K	Мг	204	348	184
Натрій Na	Мг	13	10	13
Цинк Zn	Мг	0,28	0,29	0,27
Мідь Cu	Мг	0,169	0,208	0,161
Марганець Mn	Мг	0,355	0,560	0,337
Селен Se	Мкг	0,6	0,7	0,7
Вітамін С	Мг	22,7	24,6	17,1
Тіамін В ₁	Мг	0,066	0,073	0,053
Рибофлавін В ₂	Мг	0,147	0,127	0,14
Ніацин В ₃	Мг	0,674	0,604	0,64
Пантотенова кислота В ₅	Мг	0,591	0,646	0,532
Вітамін В ₆	Мг	0,257	0,241	0,244
Фолієва кислота, загальна	Мкг	14	23	11
Вітамін В ₁₂	Мкг	0	0	0
Вітамін А, ІУ	0,3 мкг ретинолу	20,063	21,822	17,054
Вітамін А, RE	1 мкг ретинолу	2,006	2,182	1,705
Вітамін Е	мг - АТЕ	0,280	0,280	0,280

Матеріали та методи. Дослідження процесів конвективного сушіння проводили на експериментальному стенді, розробленому в Інституті технічної теплофізики НАН України [9].

Експериментальний стенд [9] складається з системи ізольованих повітря-проводів з пристроями для нагрівання та циркуляції теплоносія, сушильних камер, вимірювальних схем та пристроїв для контролю параметрів процесу та вимірювання величин, які характеризують процес сушіння досліджуваного матеріалу.

Під час переробки рослинної сировини основним показником якості висушеного продукту є максимальне збереження біологічно активних компонентів та функціональної цінності кінцевого продукту. Тому доцільно дослідити і підібрати такі режими сушіння, які не лише дозволили б заощадити енергію, а і дозволили забезпечити бажаний показник якості кінцевої сировини.

Об'єктами дослідження були: попередньо гігротермічно оброблена соя, в'єтнамський батат і український батат сорту «Потат солодкий», та їх соєво – бататні композиції, зі співвідношенням компонентів 1:1.

В'єтнамський батат має вологість 51,6 %, фіолетову шкірку і білу м'якоть. За своєю структурою жорсткий та крихкий. Батат сорту «Потат солодкий» має вологість 88,5%, коричневу шкірку і помаранчевий колір м'якоті, який зобумовлений каротиноїдами. За структурою схожий на звичайну картоплю, але має інший хімічний склад.

Результати досліджень. Соєво-овочеві суміші, як об'єкти сушіння, є складними за своєю структурою, фізико-хімічним та біохімічним складом. Вони поєднують у собі як властивості сої, так і овочів з багатим мінеральним та вітамінним складом та високими поживними властивостями рослинного білка [2]. Каротиноїди, у процесі зберігання соєво-овочевих композицій, допомагають стабілізувати та перешкоджають процесу окиснення білків сої [9]. Для цього було проведено експериментальні дослідження з сушіння соєво-бататної суміші з температурами теплоносія 60°C, результати яких показані на рисунках 1, 2, 3 та 4. Форми кривих сушіння характерні для колоїдних капілярно-пористих матеріалів. Процес сушіння бінарної суміші проходить у другому періоді. З поглибленням зони випаровування всередину матеріалу температура його поверхні підвищується, а швидкість вологовіддачі зменшується. Криві швидкості сушіння показують, що зі збільшенням температури теплоносія інтенсивність зневоднювання зростає. Використання високотемпературного режиму сушіння вище 65-70 °C призводить до руйнування каротину, що містить батат, тому доцільним є використання режиму сушіння при температурі теплоносія 60°C.

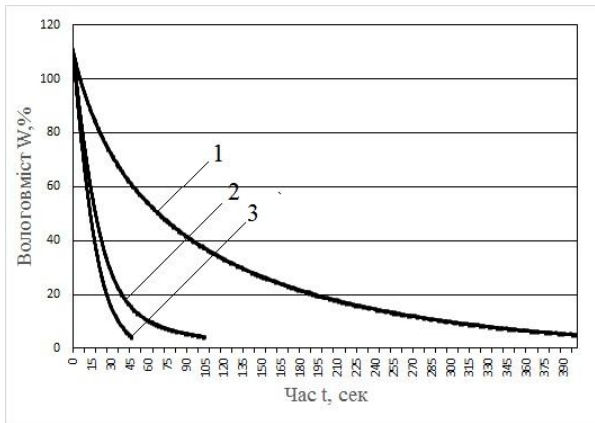


Рис.1. Криві сушіння соєво-бататної суміші при температурі теплоносія 60°C, $\delta = 10$ mm, $W_k = 4$ %; $V = 2,5$ м/с, $d = 10$ г/кг сухого повітря: 1-батат (В'єтнам), 2 – соя, 3-соя-батат (1:1).

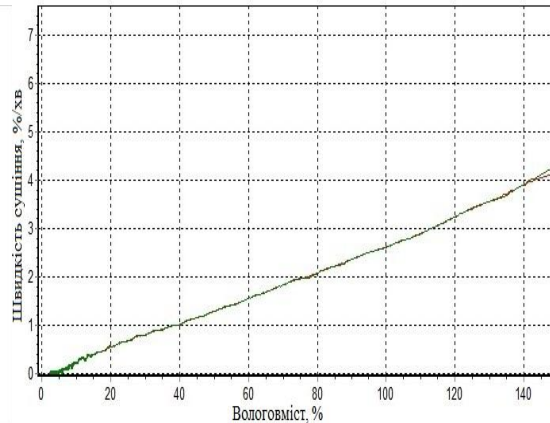


Рис.2. Крива швидкості сушіння соєво-бататної (В'єтнам) суміші при температурі теплоносія 60°C. Режимні параметри $v = 2,5$ м/с, $d = 10$ г/кг с.п.

Криві швидкості сушіння наведені на рисунку 2, 4. З підвищенням температури теплоносія максимальна швидкість сушіння підвищується і зміщується в сторону меншого вологовмісту матеріалу.

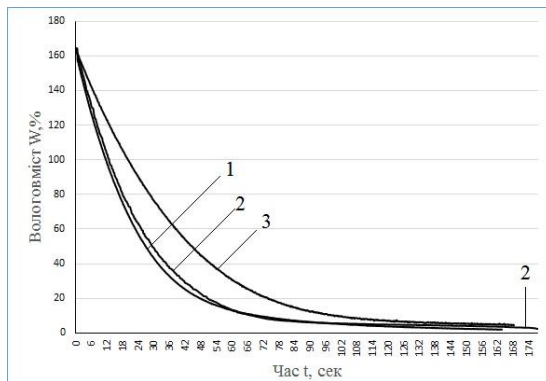


Рис.3. Криві сушіння соєво-бататної суміші при температурі теплоносія 60°C, $\delta = 10$ mm, $W_k = 4$ %; $V = 2,5$ м/с, $d = 10$ г/кг сухого повітря: 1 - соя, 2 – батат (Потат солодкий), 3-соя-батат (1:1).

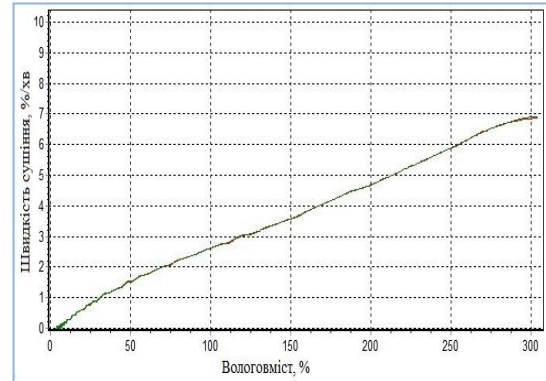


Рис. 4. Крива швидкості сушіння соєво-бататної («Потат солодкий») суміші при температурі теплоносія 60°C. Режимні параметри $v = 2,5$ м/с, $d = 10$ г/кг с.п.

Так при температурному режимі теплоносія 60°C максимальна швидкість сушіння суміші сої з в'єтнамським бататом складає 4,2 %/хв., а максимальна швидкість суміші сої з бататом сорту «Потат солодкий» при температурі 60°C - 6,8%/хв. Така різниця обумовлена біохімічним складом компонентів, можна припустити, що це реакція взаємодії жирів сої з жиророзчинними каротиноїдами батату і потребує додаткових досліджень.

Висновки. Результати досліджень показали, що створені композиції з сої та батату значно інтенсифікують процес сушіння і дозволяють зменшити енерговитрати на процес. При поєднанні сої з в'єтнамським бататом інтенсифікація процесу майже 90%, а у випадку поєднання сої сорту Потат солодкий інтенсифікація – 5%. Така різниця у сушінні обумовлена структурою сировини та біохімічним складом батату.

Література

1. Ільчук М.М. Виробництво сої в Україні та його ресурсне забезпечення на перспективу / Ільчук М.М., Коновал І.А., Колос З.В. // Біоресурси і природокористування. – 2014. - Том 6, №12. – С.131-137.
2. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О. Тепломасообмінні процеси під час одержання каротиноємісних порошків. - Київ: ВД «Академперіодика», 2007.-162 с.
3. Matti J. Tikkanen, Kristiina Wähälä, Sirpa Ojala, Veera Vihma, Herman Adlercreutz Effect of soybean phytoestrogen intake on low density lipoprotein oxidation resistance // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America .1998, Mar 17 - volume 95(6). - pp. 3106–3110.
4. Ганзенко В.В. Соеві боби. Вплив способу, ступеня їх подрібнення і термообробки на технологічні властивості водяних суспензій // Харчова і переробна промисловість. – 2006. - № 10. – С. 24 – 25.
5. Юкало В. Г., Мельничук О. Є., Сельський В. Р. Дослідження хімічного складу сортів батату, які вирощують в Україні // Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. - 2014. - № 1 (70). - С.68-72.
6. Пінчук М.О. Батат - екзотичний овоч / М.О. Пінчук // Паросток. - 2010. - №1 (65) - С. 21- 24.

7. "Sweet Potato." Encyclopedia of Food and Culture. Encyclopedia.com.. 2018, May 5. Електронний ресурс: <http://www.encyclopedia.com>.
8. Кужиль Н.О., Миколай Т.І. Перспективи використання батату у виробництві продуктів оздоровчого призначення // Міжнародна наукова конференція, присвячена 130-річчю Національного університету харчових технологій «Нові ідеї в харчовій науці - нові продукти харчової промисловості» 13-17 жовтня 2014 року. – Київ: НУХТ. - 2014. - С.50.
9. Petrova Zh.O., Slobodianiuk K.S. Energy effective drying modes of soy-vegetable compositions // Ukrainian Journal of Food Science. - 2017. - Volume 5, Issue 1. - P. 150 – 160.

References

1. Pchuk M.M., Konoval I.A., Kolos Z.V.. (2014) Vyrobnystvo soi v Ukraini ta yoho resursne zabezpechennia na perspektyvu. *Bioresursy i pryrodokorystuvannia*. 6(12), 131-137.
2. Sniezhkin Yu.F., Petrova Zh.O. (2007) Teplomasoobminni protsesy pid chas oderzhannia karotylnomysnykh poroshkiv. Kyiv: VD «Akademperiodyka», 162.
3. Matti J. Tikkanen, Kristiina Wähälä, Sirpa Ojala, Veera Vihma, Herman Adlercreutz (1998) Effect of soybean phytoestrogen intake on low density lipoprotein oxidation resistance. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Mar 17 1998, 95(6). 3106–3110.
4. Hanzenko V.V. (2006) Soievi boby. Vplyv sposobu, stupenia yikh podribnennia i termoobrobky na tekhnolohichni vlastyvyosti vodiannykh suspensii. *Kharchova i pererobna promyslovist*. 10, 24 – 25.
5. Iukalo V. H., Melnichuk O. Ye., Selskyi V. R. (2014) Doslidzhennia khimichnoho skladu sortiv batatu, yaki vyroshchuiut v Ukraini. *Naukovyi visnyk Poltavskoho universytetu ekonomiky i torhivli*. 1 (70).68-72.
6. Pinchuk M.O. (2010) Batat - ekzotychnyi ovoch. *Parostok*. 1 (65). 21- 24.
7. (2018) "Sweet Potato." Encyclopedia of Food and Culture. Encyclopedia.com. <http://www.encyclopedia.com>.
8. Kuzhyl N.O., Mykoliv T.I. (2014) Perspektivy vykorystannia batatu u vyrobnystvi produktiv ozdorovchoho pryznachennia. *Mizhnarodna naukova konferentsiia, prysviachena 130-richchiu Natsionalnoho universytetu kharchovykh tekhnolohii «Novi idei v kharchovii nauki - novi produkty kharchovii promyslovosti» 13-17 zhovtnia 2014 roku*. Kyiv: NUKhT, 50.
9. Petrova Zh.O., Slobodianiuk K.S. (2017) Energy effective drying modes of soy-vegetable compositions. *Ukrainian Journal of Food Science*. 5(1),150-160.

Отримано в редакцію 11.05.2018
Прийнято до друку 24.06.2018

Received 11.05.2018
Approved 24.06.2018

УДК 532.517; 532.528

DOI: <http://dx.doi.org/10.15673/swonaft.v82i1.1000>

ВПЛИВ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ КАВІТАЦІЇ НА ЗМІНУ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОКАЗНИКІВ ВОДИ

Авдєєва Л.Ю. д-р техн. наук, с.н.с., Жукотський Е.К., Макаренко А.А.
Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

Анотація. В статті розглянуті питання, пов'язані із виникненням і розвитком явища гідродинамічної кавітації при обробці рідких середовищ. Показана актуальність і можливість практичного використання ефектів, що супроводжують гідродинамічну кавітацію, для інтенсифікації енергоємних процесів у різних галузях промисловості. Проаналізовано механізм інтенсифікуючого впливу дії ефектів кавітації в тепломасообмінних процесах. Описано переваги використання гідродинамічних кавітаторів статичного типу на прикладі сопла Вентури. Наведено результати експериментальних досліджень впливу ефектів гідродинамічної кавітації в соплі Вентури на зміну температурних показників водопровідної води для визначення раціональних гідродинамічних умов проведення процесу обробки. Представлено дані, що характеризують зміни температурних показників водопровідної води з різною початковою температурою в залежності від тривалості проведення процесу для сопел з різним діаметром горловини. Показано, що збільшення тривалості обробки посилює вплив кавітаційних ефектів на матеріал. Встановлено, що зменшення діаметру горловини сопла призводить до підвищення температури зразка в результаті його обробки. Найбільші кавітаційні ефекти виникають при діаметрі горловини сопла Вентури 0,008 м і 0,012 м. Встановлення діафрагми, що перекриває потік на 75% показало додаткове загальне підвищення температури на 3-6 °С, порівняно до отриманих результатів для зразка обробленого в кавітаційному змішувачі без діафрагми. Підвищення температури за рахунок встановлення діафрагми пояснюється посиленням дії кумулятивних ефектів внаслідок гідродинамічної кавітаційної обробки. Аналіз результатів експериментальних досліджень дозволив отримати математичну залежність числа кавітації від швидкості зміни температури за якою можна оцінити ефективність роботи кавітаційного змішувача.

Ключові слова: гідродинамічна кавітація, інтенсифікація масообмінних процесів, гідродинамічний змішувач статичного типу, сопло Вентури