

УДК 664.854

APPLICATION OF MICROWAVE RADIATION FOR FOOD DRYING

V. Schutyuk

National University of Food Technologies

Key words:

Microwave drying
Convection
Vacuum
Fluid status
Food
Dehydration

Article history:

Received 16.01.2015
Received in revised form
15.02.2015
Accepted 28.02.2015

Corresponding author:

V. Schutyuk
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

Microwave drying of plant products is a promising method for producing products of higher quality for less time. High power of microwave dryers significantly reduces drying time, but sometimes it leads to carbonization. In this paper, the analysis of current state of microwave drying of food products in combination with other common ways of dehydration in the laboratory has been conducted. The author presents the results of laboratory drying of apples, carrots and plums using convective, microwave and combined microwave and convective drying methods.

ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОХВИЛЬОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ СУШІННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

В.В. Шутюк

Національний університет харчових технологій

Мікрохвильове сушіння продуктів рослинного походження — перспективний спосіб отримання якіснішої продукції за коротший час. Висока потужність мікрохвильових сушарок значно скорочує тривалість сушіння продукції, але призводить до її обвуглювання. У статті проаналізовано сучасний стан використання мікрохвильового випромінювання для сушіння харчових продуктів у комбінаціях з іншими поширеними способами зневоднення в лабораторних умовах. Наведено результати лабораторних досліджень сушіння яблук, моркви і слив конвективним, мікрохвильовим і комбінованим мікрохвильовим з конвективним способами.

Ключові слова: мікрохвильове сушіння, конвекція, вакуум, псевдозрідений стан, харчові продукти, дегідратація.

Постановка проблеми. Зневоднення розглядається як один із головних способів зберігання продукції за стійких і безпечних умов, оскільки сухі продукти мають значно більший строк придатності, ніж свіжі овочі та фрукти [14].

Крім того, висушені продукти набагато привабливіші як інгредієнти для використання в подальшому виробництві. Ринок зневоднених харчових продуктів розвивається в усьому світі та має стійку тенденцію до збільшення. Наприклад, ринок сухих овочів, супів швидкого приготування і морських водоростей в Японії в 1998 р. оцінювався в 7,8 млн дол. США [4], у Європі в 1999 р. ринок зневоднених продуктів — в 260 млн дол. США [7]. Світове виробництво родзинок становить 600 тис. т, у тому числі в Сполучених Штатах Америки — 300 тис. т, у Туреччині — 190 тис. т [5].

Такі способи сушіння, як конвективний, вакуумний і сублімаційний, мають високі енергетичні характеристики у період спадної швидкості сушіння. Завдяки застосуванню мікрохвильового оброблення на стадії досушування можна значно поліпшити енергетичні показники сушильних установок. Переваги мікрохвильового сушіння, порівняно з іншими способами, такі:

- значно більша швидкість процесу;
- однорідне нагрівання матеріалу по всьому об'єму з меншими температурними градієнтами;
- ефективність енергетичного перетворення;
- краще і гнучкіше керування процесом;
- потреба в меншій площі сушіння;
- можливість селективного нагрівання;
- поліпшення якості готової продукції;
- можливість впливу на фізичні й хімічні зміни.

Лабораторні дослідження, на відміну від теоретичних засад, показують неоднорідність розподілу мікрохвильового поля, що спричиняє нерівномірний розподіл температури в матеріалі [9]. Тривалий вплив мікрохвильової дії призводить до збільшення температури у місцях з вищою концентрацією сухих речовин, внаслідок чого відбувається перегрівання й обвуглювання. Для подолання цієї проблеми можна використовувати комбіноване сушіння, тобто застосовувати мікрохвильове випромінювання з іншими способами.

Мета дослідження. Проаналізувати сучасний стан використання мікрохвильового випромінювання для сушіння харчових продуктів у комбінаціях з іншими поширеними способами зневоднення в лабораторних умовах.

Виклад основного матеріалу. *Комбінований спосіб мікрохвильового і сублімаційного сушіння.* Застосування одночасно двох способів — мікрохвильового і сублімаційного сушіння (МСС) надає можливість значно зменшити тривалість проведення процесу та витрати енергії порівняно з характеристиками звичайної сублімаційної сушарки [2]. Так, експериментальні дослідження з сублімаційного сушіння фруктів, городини, твердих супів і морепродуктів показали, що використання мікрохвильового нагрівання, крім зменшення тривалості процесу й поліпшення енергетичних показників, значно підвищує якість готових продуктів. Гнучкість застосування мікрохвильового оброблення за рахунок використання різної потужності дає змогу отримувати різноманітні вироби без значного переналаштування режимів сушіння.

Результати досліджень з МСС бананів показують, що скорочення тривалості сушіння й поліпшення енергетичних показників залежать обернено про-

порційно від ступеня їх стиглості [8]. У процесі досліджень також виявлено, що основні зміни вмісту крохмалю і цукрів, структури тканин, кольору відбуваються під час основного періоду сушіння. Отже, у процесі основного періоду сушіння найбільше погіршуються якісні характеристики бананових чипсів. Характерні зміни відбуваються і під час сушіння яблучних чипсів [1]. Проводилися досліди з МСС екструдованого реструктурованого композиту картоплі та яблука, який розглядається як нова закуска майбутнього. Тривалість сушіння капусти сумісним способом майже вдвічі менша з високою якістю продукту (у тому числі кольору і текстури).

Дослідження МСС шарів картоплі показують, що попереднє оброблення іонами кальцію та відбілювання значно поліпшують процес сушіння [11]. Іони кальцію, всмоктуючись у тканину, змінюють її діелектричні властивості й сприяють інтенсифікації процесу сушіння. Перебіг процесу МСС також поліпшують попереднє ультразвукове оброблення й покриття нанорозмірним сріблом морського огірка.

Комбінований спосіб мікрохвильового і вакуумного сушіння. Мікрохвильове і вакуумне сушіння (МВС) — технологія, що не тільки має переваги високочастотного нагрівання (швидке нагрівання, висока продуктивність, добра керованість) [3], а й знижує температуру випаровування води внаслідок зниження тиску середовища в сушарці. Використання цього способу також надає можливість збільшити коефіцієнт розширення й поліпшити текстуру готової продукції.

Більшість досліджень МВС зосереджується на фруктах і овочах, які потребують регідративної відновлюваності кінцевого продукту. Проте такий самий метод можна застосовувати до інших харчових продуктів. Прогнозовано інтенсивність процесу сушіння скибочок картоплі пропорційно залежить від вищої потужності мікрохвильового поля й нижчого тиску. Однак ефект зміни тиску під час МВС менш значний, ніж зміна потужності мікрохвильового поля.

Якісні показники порівнювались на основі зміни вмісту вітаміну С, хлорофілу, ступеня стискування й об'єму після регідратації, кольору, текстури і мікроструктури. Результати свідчать про не набагато нижчі показники продукції, висушеної МВС за температури середовища нижче 0 °С, але значно вищі, ніж висушеної гарячим повітрям [6]. Інші дослідження підтверджують, що зменшення початкового вмісту вологи продукту та збільшення потужності мікрохвильового поля сприяють збільшенню коефіцієнта розширення та шорсткості й поліпшують його зовнішній вигляд. Крім того, перспективним є використання МВС з іншими способами сушіння.

Мікрохвильове сушіння у псевдозрідженому стані. Для гранульованих продуктів, креветок, ячменю і кавових зерен у харчовій промисловості часто використовують сушіння у псевдозрідженому стані [10]. Цей спосіб має значні переваги щодо якості готового продукту та інтенсивності процесу, але водночас низькі енергетичні показники сушарки за рахунок високого потенціалу відпрацьованого сушильного агента. Дослідження показали, що використання мікрохвильового сушіння в псевдозрідженому стані (МСПС) дає змогу значно знизити початкову температуру сушильного агента за рахунок використання мікрохвильового випромінювання та вирівняти поширення

електромагнітного поля в усьому об'ємі матеріалу, оскільки продукт перебуває у псевдозрідженому стані. Використання МСПС вважають ефективним способом вирішення проблеми взаємоусунення недоліків двох складових способів.

Вплив МСПС на якісні показники готового продукту було вивчено на прикладі сушіння кубиків моркви та картоплі [12]. Оцінювали рівномірність висушування матеріалу, зміну кольору виробу, відношення повторної гідратації, вміст β -каротину і вітаміну С, а також витрати енергії. Колір виробів МСПС дуже однорідний. Відношення повторної гідратації морквяних частин майже не відрізнялось від сублімаційного сушіння. Крім того, втрати β -каротину і вітаміну С найменші у разі застосування МСС, а під час МСПС і МВС їх взагалі не спостерігались. Проте витрати енергії за МСС найвищі. Спосіб МСПС розроблено недавно, проте він набув значного поширення, про що свідчить значна кількість наукових праць.

Комбінований спосіб мікрохвильового і конвективного сушіння. Конвективне сушіння гарячим повітрям — найпоширеніший ефективний спосіб зберігання швидкопсувних харчових продуктів. Оскільки на сушіння гарячим повітрям витрачається багато часу (рис. 1) і воно має низький коефіцієнт корисної дії [13], то перспективним є використання комбінованих способів сушіння — конвективного у поєднанні з іншими способами. Однією з найвдаліших комбінацій є використання мікрохвильового і конвективного сушіння (МКС). У результаті МКС повітряним потоком швидше видаляється волога, випарена під дією мікрохвильового випромінювання, що значно інтенсифікує процес сушіння. Мікрохвильова складова дає змогу в процесі сушіння уникнути ущільнення і розтріскування продукту, не допустити місцевого перегрівання. В результаті МКС готовий продукт набуває однорідної структури та вищої якості.

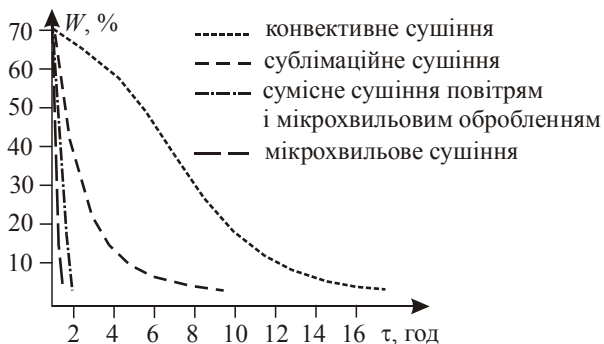


Рис. 1. Принциповий графік залежності зміни вологовмісту W харчових продуктів від часу сушіння мікрохвильовим і конвективним способами у різних комбінаціях

З іншого боку, МКС має вищі капітальні та експлуатаційні витрати порівняно з конвективним способом, але надає можливість отримати продукцію з нижчим вмістом води [1]. З енергетичної точки зору, використання МКС доцільне у двох основних режимах: *посилення* — коли вміст води в сушильному агенті досягає своєї критичної точки і фронт випарювання починає переміщуватись у гаряче повітря; *досушування* — коли вміст води в матеріалі настільки низький, що конвективне сушіння неефективне. Третій можливий режим МКС полягає у використанні мікрохвильового поля для підігрівання матеріалу перед сушінням.

Проведені на кафедрах технології консервування, машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв Національного університету харчових технологій досліди з визначення кінетики сушіння яблук, слив і моркви підтвердили доцільність комбінування двох способів (рис. 2).

Досліди з сушіння конвективним способом проводилися в сушильній шафі DNG-9035A з об'ємом камери 30 л та максимальною споживаною потужністю 850 Вт. Сушарка дає змогу забезпечити температуру сушильного агента в діапазоні +5...300 °С з дискретністю її завдання 0,1 °С та стабільністю ± 1 °С. Для мікрохвильового оброблення використовувалась модернізована мікрохвильова піч Scarlett SC-1701 з робочим об'ємом 17 л і максимальною потужністю НВЧ-випромінювача 700 Вт. Установка має шість рівнів регулювання потужності НВЧ-випромінювача та можливість подавати в камеру нагріте повітря з сушильної шафи DNG-9035A для спільного процесу сушіння.

Для дослідів використовували яблука сорту Симиренко, які зберігались за температури 5 °С. В усіх експериментах використовували яблука однієї партії протягом певного періоду часу. Через ефект дозрівання для експериментів вибирали тверді яблука, які промивали і нарізали (діаметр 0,02 м, товщина 0,005 м). Сливи брали заморожені без кісточок сорту Угорка, які зберігались за температури (-20 ± 2) °С. Для дослідів сливи розморожувались до температури 20 °С. Моркву сорту Абако типу Шантанне, зберігали за температури 5 °С. Перед сушінням її мили і нарізали кружечками (діаметр 0,02 м, товщина 0,005 м).

Температура сушильного агента в усіх дослідах становила (65 ± 2) °С, а потужність мікрохвильового поля — 250 Вт. Витрати сушильного агента становили $(0,001\pm 0,0002)$ м³/с з початковими температурою (19 ± 1) °С та відносною вологістю 40...45 % повітря. Початковий вміст сухих речовин в яблуках сорту Семеренко становив 13,5 %, сливах сорту Угорка — 13 %, моркві сорту Абако — 18 %. Сушіння здійснювалось до рекомендованої кінцевої вологості згідно з відповідними технічними умовами (для яблук не більше як 20 %, слив — 25 % і моркви — 14 %).

Дослідження кінетики сушіння плодів (яблук і слив) і коренеплоду (моркви) показали, що тривалість МКС у всіх випадках значно менша порівняно з традиційним конвективним способом. Так, для яблук різниця в тривалості сушіння двома способами становить близько 800 хв, моркви — 150 хв і слив — 200 хв. З огляду на відносно незначну різницю в тривалості сушіння слив було проведено додаткові дослідження, які передбачали сушіння в дві стадії: перша — конвективний спосіб до вологовмісту 30 %; друга — мікрохвильове досушування. Двостадійний спосіб сушіння виявився ефективним і майже нівелював різницю в часі порівняно з МКС. Крім того, було досягнуто отримання чорносливу з меншим вологовмістом порівняно з конвективним способом.

Використання тільки мікрохвильового сушіння для яблук, слив і моркви значно скорочує тривалість процесу, але якість отриманої продукції погіршується за рахунок часткового обуглювання тканин. У даному випадку однією з основних причин, яка впливає на якість сушеної продукції, є необхідність зміни потужності НВЧ-випромінювача, зумовленої періодичністю роботи установки. НВЧ-випромінювач лабораторної установки має дискретне шести-

позиційне регулювання потужності, що не може в достатній мірі забезпечити необхідну зміну режиму сушіння.

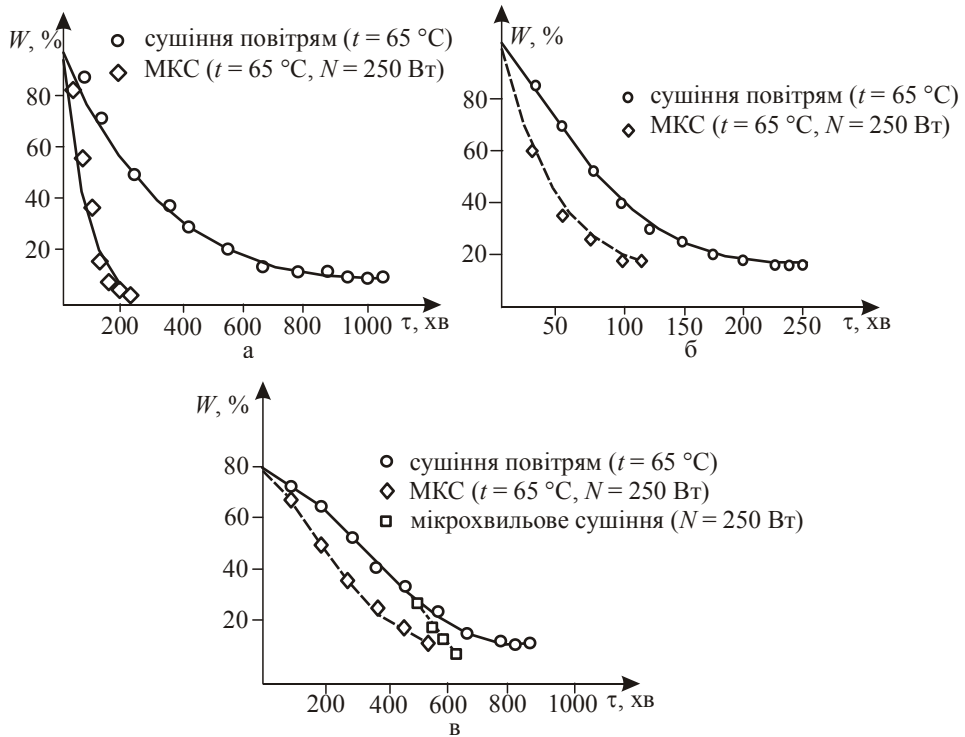


Рис. 2. Графік залежності зміни вологовмісту W під час сушіння мікрохвильовим і конвективним способами у різних комбінаціях: а — яблук; б — моркви; в — слив

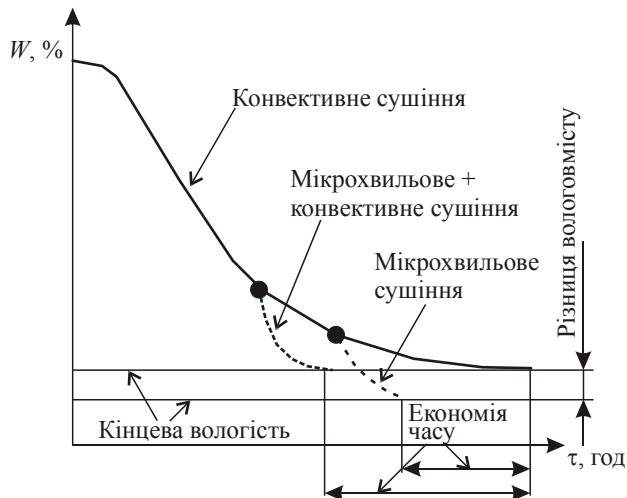


Рис. 3. Принциповий графік залежності зміни вологовмісту харчових продуктів під час сушіння мікрохвильовим і конвективним способами у різних комбінаціях

Отже, одне із основних завдань дослідження МКС овочів і фруктів полягає у визначенні початку періоду спадної швидкості сушіння, коли потрібно переходити від конвективного на мікрохвильове сушіння або використовувати сумісно два методи для досушування продукту (рис. 3). Використання на стадії досушування тільки мікрохвильового методу дає змогу досягти значно нижчого вмісту вологи в кінцевому продукті. Режими сушіння для конкретних харчових продуктів індивідуальні й залежать від багатьох чинників, які потребують додаткових досліджень.

Висновки

Застосування мікрохвильового поля для сушіння харчових продуктів надає унікальні можливості в розвитку сучасних сушильних технологій. Головною перевагою поєднання різних способів сушіння з мікрохвильовим є значне зменшення тривалості сушіння харчових продуктів. Гнучке керування температурою процесу сушіння також сприяє значному поліпшенню якості продукції.

Досліди, проведені на кафедрі технології консервування Національного університету харчових технологій, підтвердили перспективність використання комбінованого мікрохвильового і конвективного способів сушіння яблук, моркви і слив. Використання окремо мікрохвильового сушіння для цих плодів доцільне на початковій стадії, коли продукти містять значну кількість вологи і немає потреби в значній зміні потужності НВЧ-випромінювача, а також на кінцевій стадії, коли треба досягти меншої кінцевої вологості продукції або скоротити тривалість процесу у період падаючої швидкості сушіння. Проте більшість розглянутих наукових досліджень з мікрохвильового сушіння проводились у лабораторіях і потребують подальших досліджень, особливо для промислового використання.

Література

1. *Advanced drying technologies/* Authors, Tadeusz Kudra, Arun S. Mujumdar/ 2009 CRC Press Taylor & Francis Group, 446.
2. *Ang T.K., Ford J.D., Pei D.C.T.* Microwave freeze-drying of food: A theoretical investigation // *International Journal of Heat and Mass Transfer.*— 1977.— 20 (5). — P. 517—526.
3. *Drouzas A.E., Schubert, H.* Microwave application in vacuum drying of fruits// *Journal of Food Engineering.* — 1996. — 28. — P. 203—209.
4. *Duan X., Zhang M., Mujumdar A.S., Wang S.* Microwave freeze drying of sea cucumber (*S. japonicus*) // *Journal of Food Engineering.* — 2010. — 96 (4). — P. 491—497.
5. *FAS Online.* World raisin situation and outlook. Available at: <http://www.fas.usda.gov/htp2/circular/2000/00-07/raisin.htm> (2002).
6. *Hu Q.G., Zhang M., Mujumdar A.S., Xiao G.N., Sun J.C.* Performance evaluation of vacuum microwave drying of edamame in deep-bed drying// *Drying Technology.* — 2007. — 25 (4). — 731—736.
7. *Japan Statistics Bureau.* Japan Statistical Yearbook; Management and Coordination Agency, Government of Japan: Tokyo, Japan, 2000.
8. *Jiang H., Zhang M., Mujumdar A.S.* Microwave freeze-drying characteristics of banana crisps // *Drying Technology*, in press.
9. *Roussy G., Abderrahim B., Thiebaut J.-M.* Temperature runaway of microwave irradiated materials // *Journal of Applied Physics.* — 1987. — 62 (4). — P. 1167—1170.
10. *Sakamon D., Rungtip T., Ampawan T.* Hydrodynamic behavior of a jet spouted bed of shrimp // *Journal of Food Engineering.* — 2006. — 74. — P. 345—351.

11. Wu G.C., Zhang M., Mujumdar A.S. Effect of calcium ion and microwave power on structural and qualitative changes in drying of apple slices. *Drying Technology*. — 2010. — 28 (4). — P. 517—522.
12. Yan W.Q., Zhang M.; Huang L.L., Tang J., Mujumdar A.S., Sun J.C. Study on optimization of puffing characteristics of potato cubes by spouted bed drying enhanced with microwave// *Journal of the Science of Food and Agriculture*. — 2010. — 90 (8). — P. 1300—1307.
13. Zhang M., Jiang H., Lim R. Recent Developments in Microwave-Assisted Drying of Vegetables, Fruits, and Aquatic Products—Drying Kinetics and Quality Considerations// *Drying Technology*. — 2010 — 28. — P. 1307—1316.
14. Zhang M., Tang J., Mujumdar A.S., Wang S. Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables// *Trends in Food Science & Technology*. — 2006. — 17. — P. 524—534.

ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ СУШКИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

В.В. Шутюк

Национальный университет пищевых технологий

Микроволновая сушка продуктов растительного происхождения — перспективный способ получения качественной продукции за более короткое время. Высокая мощность микроволновых сушилок значительно сокращает продолжительность сушки продукции, но приводит к ее обугливанию. В статье проанализировано современное состояние использования микроволнового излучения для сушки пищевых продуктов в комбинациях с другими распространенными способами обезвоживания в лабораторных условиях. Приведены результаты лабораторных исследований сушки яблок, моркови и слив конвективным, микроволновым и комбинированным микроволновым с конвективным способами.

Ключевые слова: микроволновая сушка, конвекция, вакуум, псевдосжиженное состояние, пищевые продукты, дегидратация.