

Рис. 5 – Влияние характера энергоподвода на величину коэффициента массоотдачи

По серии опытов сделаны следующие выводы:

— повышение мощности МВ энергии в 3 раза увеличивает выход экстрактивных веществ из кофейного шлама более чем в 2 раза, уменьшает продолжительность процесса экстрагирования на 33 % и энергоёмкость процесса производства экстрактов кофе на 53 % из кофейного сырья;

— с уменьшением толщины слоя обрабатываемого продукта с 27 до 8 мм, уменьшается время экстрагирования из кофейного шлама в 2,5 раза;

— увеличение объёмного расхода экстрагента в 3 раза сокращается время экстрагирования в 2 раза.

Выводы. Микроволновой способ подвода энергии при экстрагировании является мощным фактором интенсификации массопереноса. Применение МВ-поля в конструкциях экстракторов способно на порядок повышать значения коэффициента массоотдачи, в разы сокращать продолжительность процесса.

Литература

1. Нахмедов Ф.Г. Технология кофепродуктов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 184 с.
2. Бурдо О.Г., Ряшко Г.М. Экстрагирование в системе «кофе- вода». – Одесса, 2007. – 176 с.
3. Бурдо О.Г., Пищевые нанозерготехнологии. – Херсон, 2013. – 294 с.

УДК 664.8.047.014

ТЕПЛОМАСООБМІННІ ПРОЦЕСИ ПРИ СУШІННІ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СИРОВИНИ

Снєжкін Ю.Ф., д-р техн. наук, професор, Петрова Ж.О., д-р техн. наук, пров. наук. співр.,

Пазюк В.М., канд. техн. наук, ст. наук. співр.

Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

У статті наведені дослідження щодо сушіння антиоксидантної сировини на основі моркви та рослинних компонентів.

The article presents research on drying antioxidant-based raw carrots and vegetable ingredients.

Ключові слова: антиоксидантна сировина, сушіння, збереження каротиноїдів.

Зневоднення рослинних матеріалів – один з найважливіших технологічних етапів, який суттєво умовляє якість готової продукції. Рослинні комбіновані композиції як об'єкти сушіння є складними за своєю структурою, фізико-хімічним та біохімічним складом. Вони поєднують у собі властивості зернових, овочів і фруктів з багатим мінеральним та вітамінним складом та високими поживними властивос-

тями рослинного білка. Вміст рослинного білка надає їм особливі властивості зі збереженням та кращим засвоюванням каротиноїдів [1].

Основою антиоксидантних композицій є каротиноїди, які в організмі людини перетворюються в жиророзчинний вітамін А (ретинол). Для засвоєння та перетворення каротину у вітамін А дуже важливе значення має форма, в якій каротин та супутні йому речовини вводяться в організм. Каротин, який вводиться в організм у вигляді зневоднених рослинних препаратів або екстрактів, значно краще засвоюється, якщо одночасно вживати жири [2]. Внаслідок цього, очевидно, раціональним є використання зневодненої каротиновмісної сировини разом із жирами.

Тому доцільним було створення таких каротиновмісних композицій, які б містили в собі повний комплекс каротиноїдів, ліпідів та білків. Цим вимогам відповідає такі рослини, як овес, соя, горох і селе-ра та їх композиції з морквою.

Дослідження кінетики процесу сушіння антиоксидантної сировини на основі моркви проводили на експериментальному конвективному стенді з системою автоматичного збору та обробки інформації [3].

Детальніше розглянемо кінетику сушіння на прикладі горохово-морквяної композиції у діапазоні температури теплоносія від 60 до 100 °С, які показані на рис. 1.

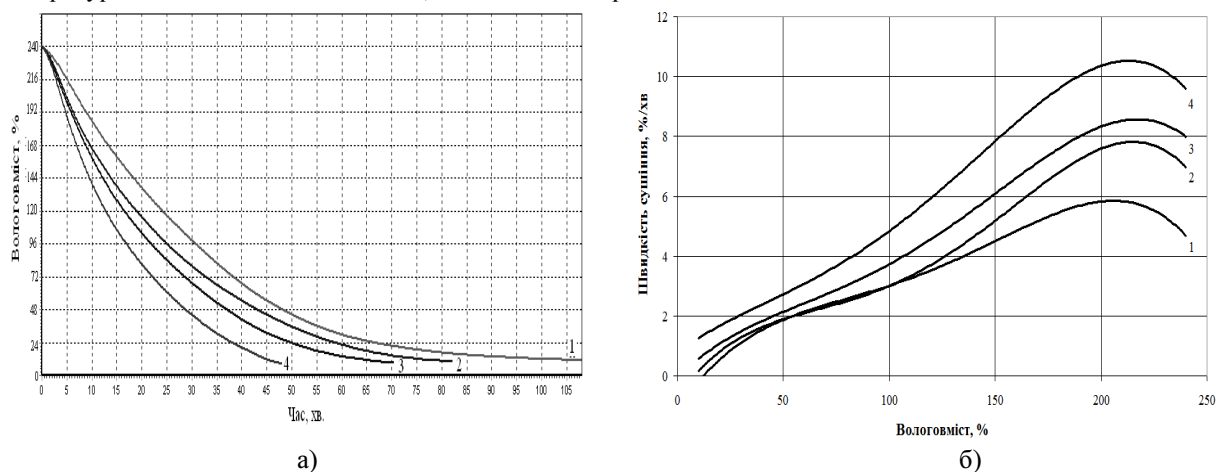


Рис. 1 – Вплив температури теплоносія на кінетику процесу сушіння (а, б) горохово-морквяної композиції (1:2) в шарі при $\delta = 10$ мм, $V = 3,5$ м/с; $d = 10$ г/кг с. п.: 1 – 60 °С, 2 – 70 °С, 3 – 80 °С, 4 – 100 °С

На рис. 1 представлено тривалість сушіння матеріалу в режимі теплоносія 100 °С. Як видно, вона зменшується в 2,25 разу в порівнянні з тривалістю процесу при 60 °С.

В міру поглиблення зони випаровування всередину матеріалу температура його поверхні підвищується, а швидкість вологовіддачі зменшується. Криві швидкості сушіння показують, що із збільшенням температури теплоносія інтенсивність зневоднювання зростає. З підвищенням температури теплоносія максимальна швидкість сушіння підвищується і зміщується в сторону більшого вологовмісту матеріалу. Так, при температурі теплоносія 100 °С максимальна швидкість становить 10,5 %/хв, що в 1,75 разу більше за максимальну швидкість при температурі 60 °С (рис. 1,б).

На рис. 2 представлено зміну температури матеріалу в шарі 10 мм у процесі сушіння, для чого в середину центральної частини зразка вводилась хромель-копелева термопара товщиною 0,25 мм. Інтенсивність прогрівання матеріалу вища при температурі 100 °С і при тривалості 48 хв становить 92 °С, що в 1,7 разу вище за температуру 60 °С.

Вибір режиму сушіння залежить від якісних показників горохово-морквяної суміші, яка оцінювалась за відсотком збереження каротиноїдів. Як показали проведені дослідження, температура теплоносія впливає на якість висушеного матеріалу (табл. 1).

Таблиця 1 – Вплив температури теплоносія на збереження каротиноїдів в горохово-морквяній суміші

Температура, °С	Швидкість, м/с	Шар, мм	Каротиноїди (% збереження)
60	3,5	10	88,5
70	3,5	10	97,9
80	3,5	10	92,7
100	3,5	10	52

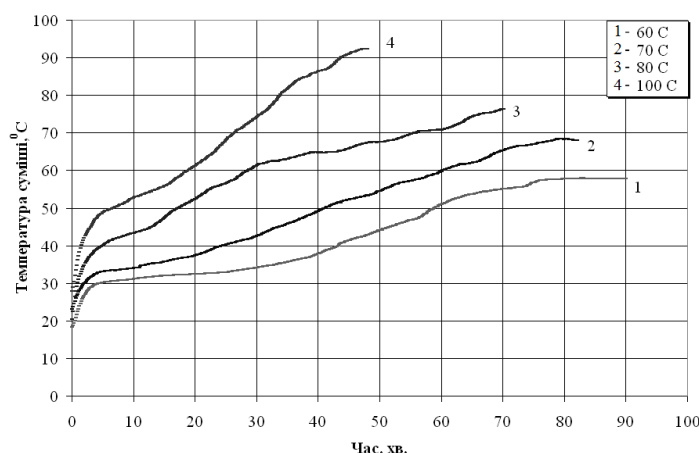


Рис. 2 – Вплив температури теплоносія на зміну температури в середині шару горохово-морквяної композиції (1:2) при $\delta = 10$ мм, $V = 3,5$ м/с; $d = 10$ г/кг с. п.: 1 – 60 °C, 2 – 70 °C, 3 – 80 °C, 4 – 100 °C

При температурі 100 °C каротиноїди у горохово-морквяній композиції зберігаються лише на 52 % (табл. 1). Температура 60 °C також призводить до втрат каротиноїдів. Ефективною температурою сушіння горохово-морквяної композиції є температура теплоносія 70 °C, при якій на 97,9 % зберігаються каротиноїди, як і чистої моркви.

Подальші дослідження залежності кінетики сушіння від швидкості та товщини шару горохово-морквяної суміші проводили при температурі теплоносія 70 °C, яка найкраще зберігає нативні властивості сировини (рис. 3,4).

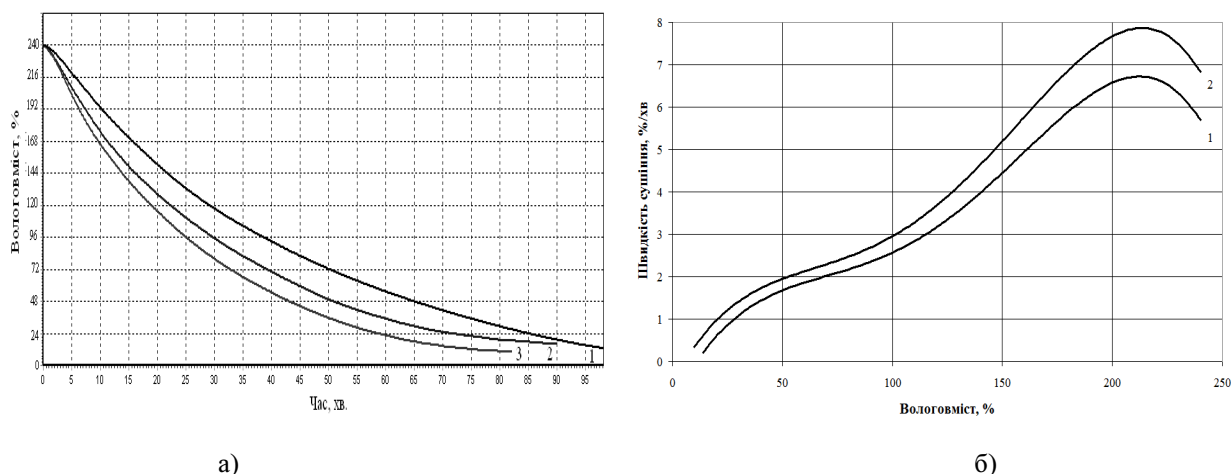


Рис. 3 – Вплив швидкості теплоносія на кінетику процесу сушіння горохово-морквяної композиції (1:2) в шарі $\delta = 10$ мм, $t = 70$ °C; $d = 10$ г/кг с. п.: 1 – 1,5 м/с, 2 – 2,5 м/с, 3 – 3,5 м/с

Збільшення швидкості сушіння теплоносія від 1,5 м/с до 3,5 м/с прискорює процес сушіння горохово-морквяної суміші і зменшує тривалість сушіння на 15%, що значно поступається впливу температури теплоносія (рис. 3,а).

Процес сушіння горохово-морквяної суміші проходить у періоді падаючої швидкості сушіння, з підвищенням швидкості теплоносія значення максимальної швидкості сушіння збільшується. Так, збільшення швидкості теплоносія від 2,5 до 3,5 м/с збільшує значення швидкості сушіння в 1,17 разу (рис. 3,б).

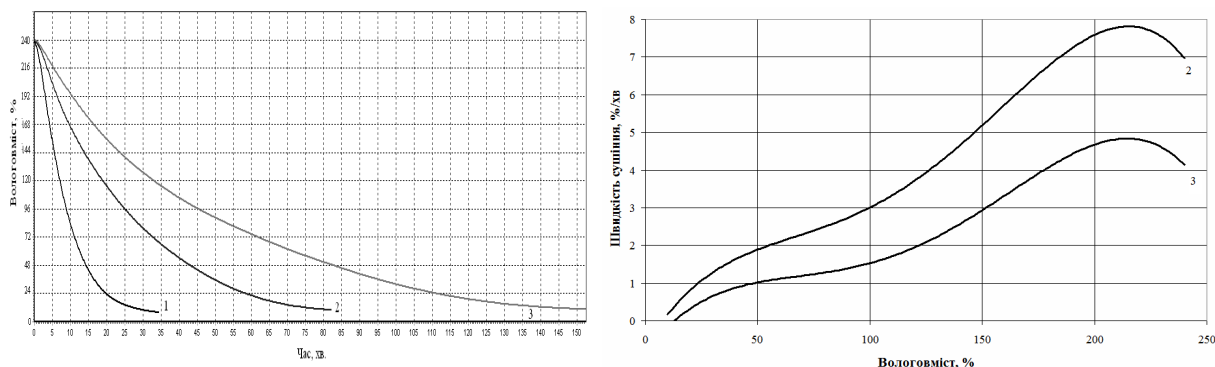
Зміна швидкості теплоносія не лише інтенсифікує процес сушіння, але й підвищує збереження каротиноїдів на 6,6% (табл. 2).

Таблиця 2 – Вплив швидкості теплоносія на збереження каротиноїдів у горохово-морквяній композиції

Швидкість, м/с	Температура, °С	Шар, мм	Каротиноїдів (% збереження)
1,5	70	10	91,3
2,5	70	10	94,6
3,5	70	10	97,9

Це можна пояснити тим, що при швидкості теплоносія 3,5 м/с, завдяки інтенсивності процесу, відбувається мінімальне окиснення каротиноїдів. При швидкості теплоносія 1,5 м/с процес іде повільніше і каротиноїди частково окиснюються. Виходячи з проведених досліджень ефективна швидкість теплоносія під час сушіння каротиновмісного матеріалу становить 3,5 м/с.

Наступним фактором, який впливає на кінетику процесу сушіння, є товщина шару матеріалу (рис. 4).



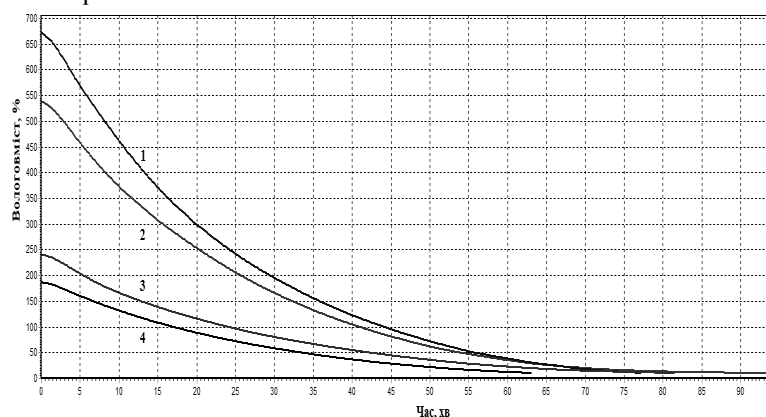
**Рис. 4 – Вплив товщини шару горохово-морквяної композиції (1:2) на процес сушіння $t = 70^{\circ}\text{C}$; $V = 3,5$ м/с; $d = 10$ г/кг с. п.:
1 – 2 мм, 2 – 10 мм, 3 – 20 мм**

Кінетику процесу сушіння розглядали в оптимальному режимі сушіння: при температурі 70°C та швидкості теплоносія 3,5 м/с в шарі товщиною 2, 10 та 20 мм.

Збільшення товщини шару значно збільшує тривалість сушіння горохово-морквяної суміші. Так, сушіння матеріалу при товщині шару 20 мм від вологовмісту $W = 240\%$ до $W = 10\%$ займає 152 хв, що більше в 1,83 рази за тривалість сушіння при товщині шару 10 мм і в 4,4 рази – в шарі 2 мм (рис. 4,а).

Процес сушіння горохово-морквяної суміші проходить в періоді падаючої швидкості сушіння. Максимальна швидкість сушіння в шарі 10 мм становить 7,8 %/хв, що в 1,62 рази більше за шар 20 мм (рис. 4,б).

Порівняння кінетики сушіння антиоксидантної сировини на основі моркви при температурі теплоносія 70°C представлено на рис. 5.



1 – селера – морква; 2 – морква; 3 – горох – морква 4 – овес – морква

Рис. 5 – Порівняння кінетики сушіння антиоксидантів на основі моркви при температурі 70°C $V = 3,5$ м/с; $\delta = 10$ мм; $d = 10$ г/кг с. п.

Криві сушіння антиоксидантної сировини на основі моркви та інших рослинних компонентів мають характерний для колоїдних капілярно-пористих матеріалів вигляд.

З наведених даних на рис. 5 видно, що при початковому вологовмісті $W_n^c = 670$ % селеро-морквяної композиції (крива 1) сушіння відбувається впродовж 77 хв. Морква має (крива 2) менший вологовміст $W_n^c = 540$ %, проте тривалість сушіння більша 82 хвилини. Створення композицій рослинної сировини інтенсифікує процес сушіння в 1,1 – 1,3 рази.

Порівнюючи якісні показники композиційних антиоксидантних сумішей, можна зробити висновок, що вони краще зберігають каротиноїди, ніж морквяний порошок після гіротермічної обробки на 7,3 – 9,6 % (табл. 3).

Таблиця 3 – Вплив температури теплоносія на збереження каротиноїдів в антиоксидантних сумішах на основі моркви

Назва антиоксидантного порошку	Температура теплоносія, °С	Каротиноїди (% збереження)
Морквяний (після гіротермічної обробки)	60	84,1
	70	88,3
	80	84,6
	100	21,5
Горохово-морквяний	60	88,5
	70	97,9
	80	92,7
	100	52
Селеро-морквяний	60	87,7
	70	95,6
	80	91,1
	100	33,2
Вівсяно-морквяний	60	86,9
	70	95,7
	80	89,9
	100	29

Це можна пояснити тим, що вміст у композиційних сумішах білка, жиру, ефірних масел забезпечує стабілізацію каротиноїдів при оптимальних режимних параметрах на 95,7 – 97,9 %.

Висновки

Як показали дослідження з кінетики процесу сушіння, створення композицій рослинної антиоксидантної сировини інтенсифікують процес сушіння в порівнянні з моносировиною в 1,1 – 1,3 рази.

Розроблені композиції забезпечують високий відсоток збереження каротиноїдів у композиціях на основі моркви на рівні 95,7 – 97,9 % при температурі теплоносія 70 °С, що краще за морквяний порошок на 7,3 – 9,6 %.

Література

1. Снежкін Ю.Ф. Теплообмінні процеси під час одержання каротиновмісних порошоків / Ю.Ф. Снежкін, Ж.О. Петрова. – К.: Академперіодика, 2007. – 162 с.
2. Снежкін Ю.Ф. Безвідходна технологія отримання каротиновмісної пасти / Ю.Ф. Снежкін, Ж.О. Петрова, Т.О. Михайлик, // Труды Международной научно-практической конференции школы-семинара «Повышение энергетической эффективности пищевых и химических производств». Одесса: – 2007.
3. Снежкін Ю.Ф. Теплонасосна зерносушарка для насінневого зерна / Ю.Ф. Снежкін, В.М. Пазюк, Ж.О. Петрова, Д.М. Чалаев. – К.: Поліграф-Сервіс, 2012. – 154 с.