

MODELING OF CHAMPIGNON STIPE DRYING PROCESS

T. Roman, O. Mazurenko, O. Kubaychuk, N. Vovkodav

National University of Food Technologies

Key words:

Champignon
Protein
Drying process
Specific evaporation heat
Humidity
Temperature
Model

ABSTRACT

The problem of champignons drying has been investigated in this article. The optimum temperature for drying is the temperature at which the final product has the best taste and retains the maximal quantity of nutrients. The research was conducted using the method of simultaneous thermal analysis. It was established experimentally that the optimum temperature for the stipes and caps of champignons vary significantly. The models of drying fungi stipes at different fixed temperatures have been developed. The drying process of fungi stipes at optimum temperature has been modeled.

Article history:

Received 01.08.2015
Received in revised form
09.09.2015
Accepted 20.09.2015

Corresponding author:

N. Vovkodav

E-mail:

vovkodavn@ukr.net

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ НІЖОК ПЕЧЕРИЦІ

Т.О. Роман, О.Г. Мазуренко, О.О. Кубайчук, Н.І. Вовкодав

Національній університет харчових технологій

У статті вивчається задача сушіння грибів печериць. Оптимальною температурою для сушіння вважається температура, за якої кінцевий продукт має найкращі смакові якості і зберігає максимум поживних речовин. Дослідження проводилися за методом синхронного теплового аналізу. Експериментально встановлено, що оптимальні температури для ніжки та шапки суттєво відрізняються. Побудовано моделі процесу сушіння ніжок грибів печериць при різних фіксованих температурах. Змодельовано процес сушіння ніжок грибів за оптимальної температури.

Ключові слова: печериця, протеїн, процес сушіння, питома теплота випаровування, вологість, температура, модель.

Постановка проблеми. Їстівні гриби завжди займали одне з чільних місць у раціоні людини. Виробництво грибів є високорентабельним бізнесом, оскільки дозволяє отримувати значно вищий вихід товарної продукції з 1 м² порівняно з іншими галузями сільського господарства.

Цінність грибів визначається їх енергетичним виходом, вмістом пластичних речовин (білків, вуглеводів, жирів), вітамінів, макро- та мікроелемен-

тів. Калорійність 100 г свіжих печериць невисока і коливається в межах 175—380 ккал. Суха речовина становить лише 10 %, а решта 90 % — вода. В середньому близько половини сухої речовини становить протеїн, який на 70—80 % засвоюється організмом здорової людини. Харчова цінність плодівих тіл печериць визначається вмістом незамінних та умовно незамінних амінокислот: лізину, треоніну, валіну, лейцину, ізолейцину, триптофану, цистеїну, метіоніну, тирозину та фенілаланіну.

До складу плодового тіла входять різні види вуглеводів: дисахариди (трегалоза), моносахариди (глюкоза, галактоза), полісахариди (глікоген), аміноцукри (глюкозаміни). З високомолекулярних біополімерів важливим є хітин (N-ацетилглюкозаміна) один із структурних компонентів клітинних стінок грибів.

Біологічна цінність міцелію печериць визначається індексом незамінних амінокислот і коливається в межах 72,9—98,6 (згідно з EAA index). Лімітуючими амінокислотами вважають метіонін, цистин, лейцин, ізолейцин. Біологічна цінність становить 67,8—95,8 (згідно з BV FAO). Амінокислотний показник коливається в межах 36,0—90,0. Індекс поживності 22,2 (згідно з N FAO).

До хімічного складу плодового тіла входять вітаміни: тіамін (B₁), рибофлавін (B₂), ніацин (PP), піридоксин (B₆), біотин (H), аскорбінова кислота (C), фолієва кислота (Bg). Велику цінність мають плоді тіла через вміст у них макро- та мікроелементів, що повністю забезпечують потребу людського організму. Особливо важливим і дефіцитним мікроелементом у тілах печериць вважають наявність селену (Se). В табл. 1 наведено хімічний склад, у табл. 2 — вміст вітамінів плодівих тіл печериць за П.А. Сичовим [6].

Таблиця. 1. Загальний хімічний склад плодівих тіл печериць, г/100г сухої речовини

Основні компоненти	Свіжі плоди	Сушені
Білок (№ 6.25)	23,9—48,3	40,0
Білок (Nx4.38)	21,6—39,0	27,8
Жири	1,0—6,8	3,9
Вуглеводи	24,5—62,0	52,6
Клітковина	6,0—10,4	6,6
Зола	7,0—12,0	15,7
Енергетична цінність (ккал)	175,0—380,0	337,0

Таблиця. 2. Вміст вітамінів у плодівих тілах печериць, мг/100г сухої речовини

Вітаміни	Вміст
Водорозчинні	
Тіамін (B ₁)	0,5—1,4
Рибофлавін (B ₂)	1,9—5,0
Ніацин (PP)	36,0—57,0
Піридоксин (B ₆)	0,1—2,4
Біотин (H), мкг	1,62
Аскорбінова кислота (C)	13,0—140,0
Пантотенова кислота (B ₅)	17,0—27,0
Фолієва кислота (Bg)	0,27—0,33
Жиророзчинні	
Ергостерол	0,23
Токоферол (E)	1,6

У тканинах плодового тіла вміст замісних і незамінних амінокислот неоднаковий. Уміст вивчених незамінних амінокислот збільшується від ніжки до м'якшу шапинки та гіменофору. Гіменіальний шар містить усі інші амінокислоти.

Мета статті. Побудувати та дослідити модель процесу сушіння ніжок грибів печериці за оптимальної температури.

Методика експерименту. Найкращим і найбільш простим способом заготівлі грибів є сушіння. При правильно підібраних параметрах процесу (температура сушіння та кінцева вологість продукту) досягається висока якість продукції, зберігаються поживні речовини в грибах, також вони мають приємні аромо-смакові властивості.

Процес сушіння шапинок і ніжок відрізняється через різницю в щільності тканин, що було підтверджено експериментально.

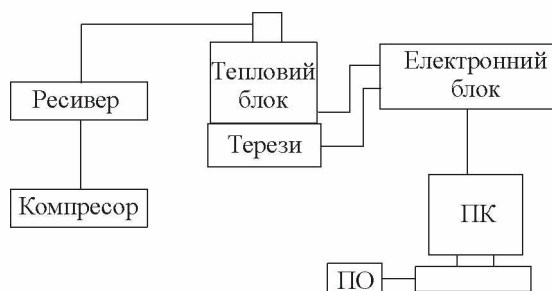


Рис. 1. Структурна схема ДМКВ-1

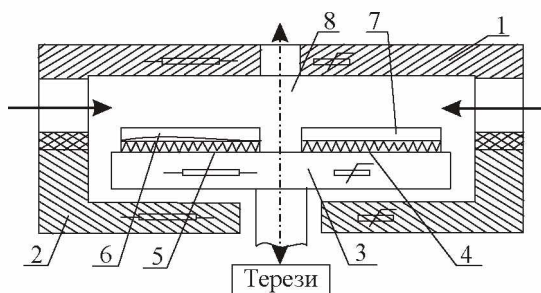


Рис. 2. Принципова схема ДМКВ-1: 1, 2 — верхній і нижній термостатовані блоки; 3 — калориметрична платформа з основним електронагрівником; 4, 5 — перетворювачі теплового потоку; 6 — комірка з пробю дослідного матеріалу; 7 — комірка з еталоном; 8 — робоча камера

При сушінні конвективний теплообмін супроводжується випаровуванням, тому при теплових розрахунках процесів і апаратів необхідна інформація про взаємний вплив масообміну й теплообміну. Одним із сучасних методів визначення питомої теплоти випаровування є метод синхронного теплового аналізу (СТА), який поєднує в собі калориметричний і термогравіметричний аналізи [1, 2].

Установка ДМКВ-1 (рис.1), яку було розроблено в Інституті технічної теплофізики НАН України спеціально для таких досліджень [3], поєднує в собі можливості калориметрії і термогравіметрії.

Для експериментів використовували тонкі (товщиною ~ 1 мм) зрізи тканин плодового тіла гриба печериця. Сушіння зразків проводили при температурі 40 °С, 50 °С, 60 °С, 70 °С, 80 °С, швидкості повітря 0,8 см/с та його вихідному вологовмісті 8,5 г/кг. Реєстрація теплових потоків і зміни маси зразка в процесі сушіння здійснювалася безперервно. Сушку зразків закінчували при досягненні ними рівноважної вологості. Масу сухих речовин визначали шляхом досушування зразків у калориметрі при температурі 105 °С до постійної маси. Символи: r — теплота випаровування, кДж/кг·К; w — вологість, %; t — температура, °С

Результати та їх обговорення. Експериментальним шляхом було встановлено, що сушіння ніжок печериці слід проводити за температури близької до 55,5 °С. У цьому випадку вдається отримати кінцевий продукт найвищої якості. Важливо, спираючись на дані експерименту, побудувати та дослідити залежність питомої теплоти випаровування q від вологості w за умови незмінності тиску при оптимальній температурі $t_{opt} = 55,5^\circ\text{C}$.

Таблиця. 3. Експериментальні дані

w	$t=40^\circ\text{C}$		$t=50^\circ\text{C}$		$t=60^\circ\text{C}$		$t=70^\circ\text{C}$		$t=80^\circ\text{C}$	
	№	q	№	q	№	q	№	q	№	q
90	1	-	10	2312,543	19	2504,689	28	2488,682	37	2554,57
80	2	2384,241	11	2370,252	20	2522,752	29	2473,116	38	2427,263
70	3	2436,458	12	2375,187	21	2517,814	30	2485,81	39	2448,882
60	4	2404,34	13	2370,683	22	2525,58	31	2491,289	40	2455,055
50	5	2350,197	14	2342,402	23	2529,526	32	2495,634	41	2454,306
40	6	2339,62	15	2332,178	24	2535,228	33	2499,237	42	2449,356
30	7	2320,267	16	2364,088	25	2555,63	34	2497,199	43	2442,061
20	8	2318,088	17	2404,279	26	2602,527	35	2498,988	44	2434,88
15	9	2324,571	18	2423,46	27	2547,823	36	2498,466	45	2434,086

У ході експерименту фіксувалося п'ять рівнів температури 40 °С, 50 °С, 60 °С, 70 °С, 80 °С. Відповідно до цього існує п'ять різних процесів сушіння. Для кожного процесу вимірювалась питома теплота випаровування при даному рівні вологості w (табл. 3). Перевірялася статистична гіпотеза [4] про те, що вибірки для кожного температурного режиму сушіння взяті з одного розподілу. Оскільки об'єми вибірок малі ($n = 9$) і немає підстав вважати, що дані розподілені нормально, використовувались непараметричні тести Вілкоксона і тест знаків. Обидва тести дали подібні результати: гіпотеза відхиляється на рівні значущості $\alpha = 0,05$ для всіх пар змінних. Отже, статистично йдеться про п'ять різних процесів.

Після побудови діаграм розсіювання у STATISTICA [5] можна зробити припущення про те, що для отримання адекватної регресійної моделі потрібно зробити перетворення залежної змінної :

$$w \mapsto \begin{cases} w^\lambda, & \lambda \neq 0 \\ \log w, & \lambda = 0. \end{cases}$$

За допомогою програми *Box-Tidwell* оцінено максимальну ймовірність для параметра перетворення λ , тому варто розглянути перетворення $w \mapsto w^2$. Ще

кращого результату апроксимації можна досягти, використовуючи поліноміальну регресію виду $y = b_0 + b_1x + b_2x^2$. На кожному з рис. 3—7 зображено криву регресії та її аналітичний вигляд, 95 % довірчий інтервал (пунктир). Якість моделей можна оцінити за табл. 4. Дійсно, всі коефіцієнти є значущими на рівні $\alpha = 0,05$.

З рис. 6 і 7 видно, що характер перебігу процесу сушіння різко змінюється (квадратична функція, що апроксимує експериментальні дані, змінює напрямок опуклості). Враховуючи, що $t_{opt} = 52,5$, дані експерименту при 70 °C та 80 °C використовувати для оцінювання залежності питомої теплоти випаровування q від вологості w при оптимальній температурі не варто (табл. 5).

Таблиця 4. Якість побудованих моделей при фіксованих температурах

Модель	R^2	p -знач b_0	p -знач b_1	p -знач b_2	Нормальність залишків
40 °C	0,982	0,000	0,039	0,005	так
50 °C	0,918	0,000	0,004	0,005	так
60 °C	0,954	0,000	0,004	0,010	так
70 °C	0,974	0,000	0,009	0,001	так
80 °C	0,840	0,000	0,004	0,004	так

Таблиця 5. Дані для побудови моделі сушіння за оптимальної температури

Модель	b_0	b_1	b_2
40 °C	2347,993	-2,504	0,055
50 °C	2520,989	-7,688	0,082
60 °C	2680,726	-5,039	0,039

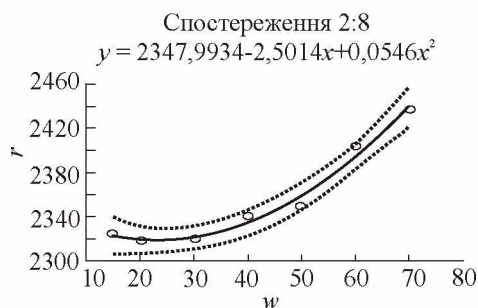


Рис. 3. Сушіння при температурі 40 °C

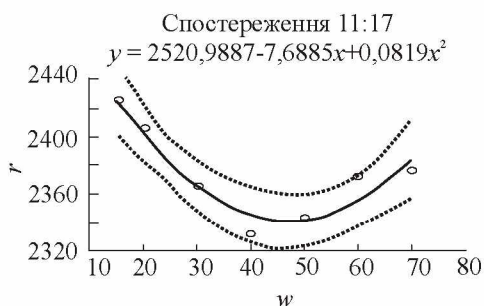


Рис. 4. Сушіння при температурі 50 °C

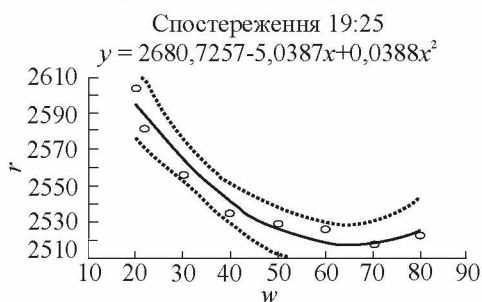


Рис. 5. Сушіння при температурі 60 °C

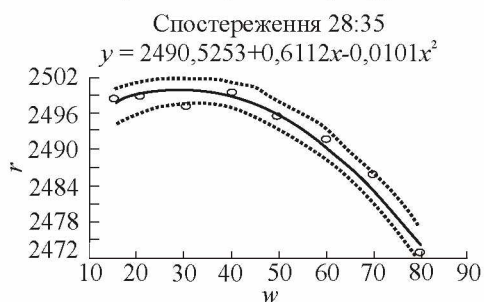


Рис. 6. Сушіння при температурі 70 °C

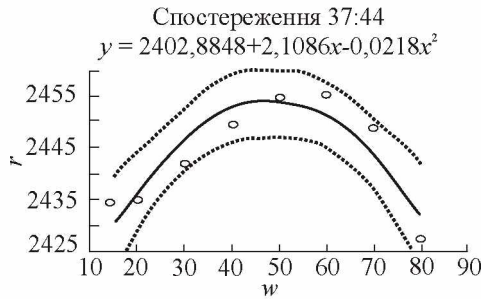


Рис. 7. Сушіння при температурі 80 °С

Далі, скориставшись результатами табл. 5, побудуємо лінійні залежності, $b_0=f_0(t)$ $b_1=f_1(t)$ та $b_2=f_2(t)$. $b_0 = 1684,738 + 16,637 \cdot T$ і при $t_{opt} = 55,5$, маємо $b_0 = 2608,071$. Виявляється, що лінійні парні регресії $b_1=f_1(t)$ та $b_2=f_2(t)$ є незначущими. У цих випадках, найкращою оцінкою є відповідне вибіркове середнє. Тобто $b_1 = -5,077$ і $b_2 = 0,058$.

Отже, шуканою моделлю є $q = 2608,071 - 5,007w + 0,058w^2$, відповідний 95 % довірчий інтервал для коефіцієнта b_0 такий: $b_0 \in [2560,196; 2655,946]$.

Висновки

Встановлено, що процеси сушіння ніжок печериці в діапазоні температур від 40 °С до 70 °С подібні, а при високих температурах (≥ 70 °С) характер процесу змінюється. Запропоновано залежність питомої теплоти випаровування від вологості при оптимальній температурі сушіння за умови незмінності тиску.

Література

1. Сима́тос Д. Применение дифференциального термического анализа и дифференциальной сканирующей калориметрии при изучении воды в пищевых продуктах / Д. Сима́тос, М. Фоур, И. Бонжур, Коуч М. // Вода в пищевых продуктах. Под ред. Р.Б. Докуорта. — М.: Пищевая промышленность, 1980. — С. 156—170.
2. Дмитренко Н.В. Вивчення впливу стану води в харчових рослинних матеріалах на теплоту випаровування / Н.В. Дмитренко, Н.С. Дубовікова, Ю.Ф. Снежкін, В.А. Михайлик, Л.В. Декуша, Л.І. Воробійов // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. — 2011. — Вип. 40, т. 2. — С. 71—75.
3. Патент України № 84075 МПК G01N 25/26, G01N25/28. Калориметричний пристрій для визначення питомої теплоти випаровування вологи і органічних рідин з матеріалів / Снежкін Ю.Ф., Декуша Л.В., Дубовікова Н.С., Грищенко Т.Г., Воробійов Л.Й., Боряк Л.А. — Заявка № а200613266 від 15.12.2006.
4. Михайленко В.М., Кубайчук О. О., Теренчук С. А. Теорія ймовірностей, ймовірнісні процеси та математична статистика. — К.: Вид-во Європейського університету, 2007. — 163 с.
5. Оленко А.Я. Комп'ютерна статистика. К.: ВПЦ «Київський університет», 2007. — 174 с.
6. Сичев П.А. Біологічні та морфологічні особливості двоспорового шампінйона. Системи вирощування [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://shampinionov.net>.

МОДЕЛЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ НОЖЕК ШАМПИНЬОНОВ

Т.А. Роман, А.Г. Мазуренко, О.А. Кубайчук, Н.И. Вовкодав

Национальный университет пищевых технологий

В статье изучается задача сушки грибов шампиньонов. Оптимальной температурой для сушки считается температура при которой конечный продукт имеет наилучшие вкусовые качества и сохраняет максимум питательных веществ. Исследования проводились по методу синхронного теплового анализа. Экспериментально установлено, что оптимальные температуры для ножки и шапочки существенно разнятся. Смоделированы процессы сушки ножек грибов шампиньонов при различных температурах. Построена модель процесса сушки ножек шампиньонов при оптимальной температуре.

Ключевые слова: шампиньон, протеин, процесс сушки, удельная теплота испарения, температура, модель.