

Встановлено значення межі пропорційності σ_n і модуля пружності E_2 насіння ріпаку, що дорівнюють для насіння діаметром 2,0 мм, відповідно, $(14,4 - 22,4) \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$ і $(2,9 - 4,5) \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$

Література

1. Бандура В.М., Бережнюк Д.П. //Зб. наук.пр. ВНАУ. Серія: Технічні науки. Вінниця.: ВНАУ, 2012. – С.30-33.
2. Тимошенко С.П. Теория упругости/ С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер. -М.: Наука, 1979.- 560с.
3. Гринберг Е.Н. Шелушильно-шлифовальные машины крупяного производства/ Е.Н Гринберг. - М.: ЦНИИТЭИлегпищемаш, 1969.- 232 с.
4. Гринзбург И.Е. Технология крупяного производства/ И.Е. Гринзбург. -М.: Колос, 1981.-342 с.

УДК 536.6 : 542.936 : 631.563.2

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРОТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ПАРЕНХІМНИХ ТКАНИН ЯБЛУК НА КІНЕТИКУ СУШІННЯ ТА ТЕПЛОТУ ВИПАРОВУВАННЯ

Снєжкін Ю.Ф., д-р техн. наук, професор,
Михайлик В.А., канд. техн. наук, ст. наук. співр., Дмитренко Н.В.,
Шапарь Р.А., канд. техн. наук, ст. наук. співр.
Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ

У статті наведені результати дослідження впливу попередньої парової обробки паренхімних тканин яблук на кінетику процесу сушіння та теплоту випаровування води.

The impact of pre-treatment of apple tissue by steam on the kinetics of drying and on the heat of water vaporization was studied in the article.

Ключові слова: паренхімні тканини яблука, кінетика сушіння, теплота випаровування.

Зростання виробництва сухих харчових концентратів та харчових порошків потребує підвищення якості продукції та ефективності виробництва шляхом вдосконалення технології сушіння. Великий вміст поліфенолів в тканинах плодів і овочів та висока активність окисних ферментів призводять до їхнього потемніння під час нарізання та подрібнення. Через механічне порушення структури клітин відбувається контакт між раніш роз'єднаними поліфенолами, ферментами та киснем повітря, що призводить до окиснення і зміни структури, що зовні проявляється в зміні їхнього кольору, а в кінцевому результаті – до втрати харчової цінності сировини. Зміна кольору може бути наслідком як ферментативних так і не ферментативних реакцій. В основі ферментативних процесів лежить окиснення поліфенолів – перетворення їх в необоротно окиснені нерозчинні пігменти жовтогарячого, червоного і коричневого кольору. В подрібнених овочах і фруктах, в яких ферменти не інактивовані, можливе окиснення аскорбінової кислоти і руйнація пектинових речовин. Як правило, при обробці рослинної сировини при температурі до 50 °С значні зміни кольору відбуваються за рахунок ферментативних, а при більш високій температурі за рахунок не ферментативних реакцій.

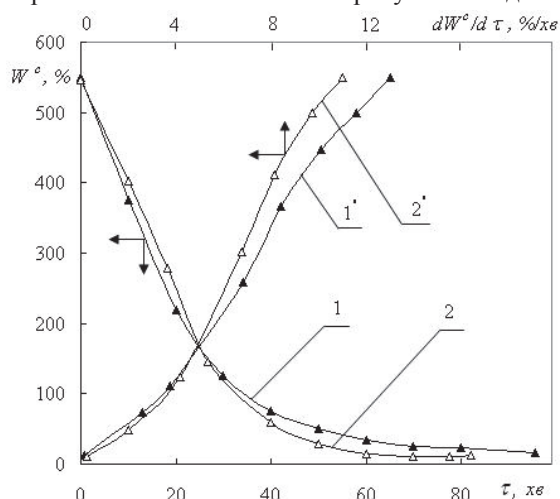
Однією з умов збереження кольору, смаку, запаху, вітамінної активності рослин в процесі сушіння є паротермічна обробка. Під час паротермічної обробки відбуваються складні фізичні, фізико-хімічні, структурні та біохімічні перетворення. Завдяки обробці інактивуються ферменти, припиняються окисні процеси. Повнота інактивації окисних ферментів залежить від тривалості процесу і температури. Також змінюється стан обробленої тканини, вона стає більш м'якою, клітини набухають та витісняють повітря із міжклітинного простору, протоплазма коагулює і відстає від клітинних оболонок, які стають більш проникними. Це покращує вологовіддачу, процес сушіння прискорюється завдяки розрихленню тканини та збільшенню її пористості.

Паротермічна обробка надійно запобігає ферментативному окисненню поліфенолів, але інактивацію ферментів необхідно здійснювати одразу після руйнування рослинних тканин, тому що ферментативні процеси відбуваються швидко. Швидкість окиснення окремих поліфенолів неоднакова, вона відрізняється навіть у різних сортів одного виду плодів. Так, повне окиснення флавоноїдів завершується за 3...5 хв. Швидкість окиснення залежить від виду та сорту рослин. Зерняткові плоди стають коричневими прибли-

зно через 5 хв. після подрібнення. У яблуках сорту „Джонатан” процеси окиснення флавоноїдів йдуть більш енергійно, ніж у сорту „Ренет Симиренко”. Тому режими бланшування різних плодів неоднакові. У тих плодах, де знаходиться лише О-діфенолоксидаза, для інактивації ферментів достатня температура 75...80 °С, а в присутності пероксидази температура інактивації вище 90 °С, бо пероксидаза належить до числа самих термостійких ферментів. В плодах і овочах термостійкість пероксидази відрізняється [1]. Пероксидаза яблук є найменш стійкою до нагрівання. Для інактивації цього ферменту в яблуках досить нагріти їх до температури 80...90 °С протягом 4...5 с.

Не завжди умови максимального зниження ферментної активності співпадають з умовами, необхідними для досягнення максимальної швидкості сушіння. В літературі є суперечливі дані щодо впливу попередньої паротермічної обробки матеріалу на інтенсивність процесу сушіння. За деякими даними [2] попередня паротермічна обробка сприятливо позначається на процесі сушіння і скорочує його тривалість, згідно з іншими, навпаки, збільшує [3].

Мета роботи – визначити вплив термічної обробки водяною парою паренхімних тканин яблук на кінетику сушіння та питому теплоту випаровування води. Дослідження кінетики зневоднення виконані на експериментальному стенді конвективного сушіння [4] з використанням зразків, виготовлених з яблук сорту «Кальвіль сніговий», товщиною 3...4 мм і діаметром 62...65 мм при параметрах сушильного агента: 80 °С, вологовміст 10 г/кг сухого повітря, швидкість 1 м/с. Визначення теплоти випаровування здійснювалось в диференціальному мікрокалориметрі випаровування ДМКВ-1 [5] на зразках яблук сорту «Делікатес» товщиною 2 мм і діаметром 40 мм при 80 °С при швидкості повітря над зразком 0,4 см/с. В калориметрі реалізовано кондуктивно-конвективний спосіб сушіння. Повітря, що поступало в калориметр при визначенні теплоти випаровування води з нативних (свіжих) паренхімних тканин мало вологовміст 4, а термічно оброблених – 8 г/кг сухого повітря. Перед дослідженнями кінетики сушіння на експериментальному стенді зразки нагрівали в атмосфері пару за 20...25 с до 80...85 °С і витримували при зазначеній температурі 20 с. Термічну обробку зразків перед калориметричними дослідженнями проводили в більш жорсткому режимі – в насиченій при атмосферному тиску водяній парі з температурою 99,9 °С.



1, 1' – свіжі; 2, 2' – термічно оброблені;
Рис. 1 – Кінетичні криві конвективного сушіння яблук

Порівняння кінетичних кривих конвективного сушіння (рис. 1) показало, що в перший період сушіння, до вологовмісту 140...160 % (рис. 1, криві 2 та 2'), спостерігається більш низький рівень швидкостей зневоднення термічно оброблених зразків порівняно з необробленими. В другому періоді швидкість сушіння оброблених зразків зростає і перевищує таку для необроблених. В підсумку бажаний вологовміст ($W^c = 6\%$) в термічно оброблених яблуках було досягнуто швидше, ніж в необроблених, процес сушіння скоротився на 15 %.

В калориметрі крім теплоти, яка витрачається на випаровування, синхронно реєструється зміна маси зразка, що дозволяє визначати не тільки поточне значення питомої теплоти випаровування (рис. 2), а і одержувати кінетичні криві зневоднення матеріалу (рис. 3). Отримані значення питомої теплоти випаровування r були приведені до табличних $r_{\text{табл}}$ [6] і представлені у вигляді залежностей безрозмірного параметру $r/r_{\text{табл}}$ від поточного значення відносної вологості матеріалу W (рис.2). Як бачимо, величина теплоти випаровування близька до табличного ($r/r_{\text{табл}} \sim 1$) лише на початку сушіння. Одразу після прогріву матеріалу спостерігається зростання величини $r/r_{\text{табл}}$. Проте для термічно оброблених зразків наростання приведеної теплоти випаровування до певної величини, що залежить від часу обробки, має більш стрімкий, майже балістичний, характер. Подальший хід зневоднення оброблених тканин відбувається майже без зміни кута нахилу кривих. Порівнюючи криві 2 та 3 з кривою 1 видно, що попередня обробка призводить до зменшення тангенсу кута нахилу кривої залежності приведеної теплоти випаровування від поточної вологості, а збільшення часу обробки – до зменшення приведеної теплоти випаровування.

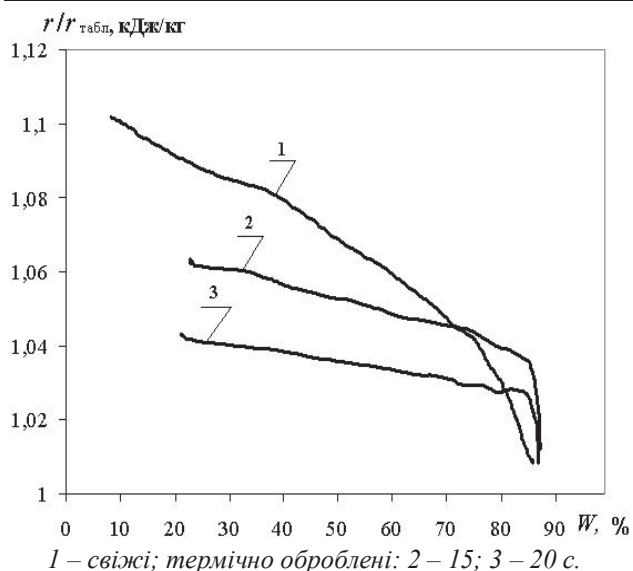


Рис. 2 – Зміна приведеної питомої теплоти випаровування води з паренхімних тканин яблука

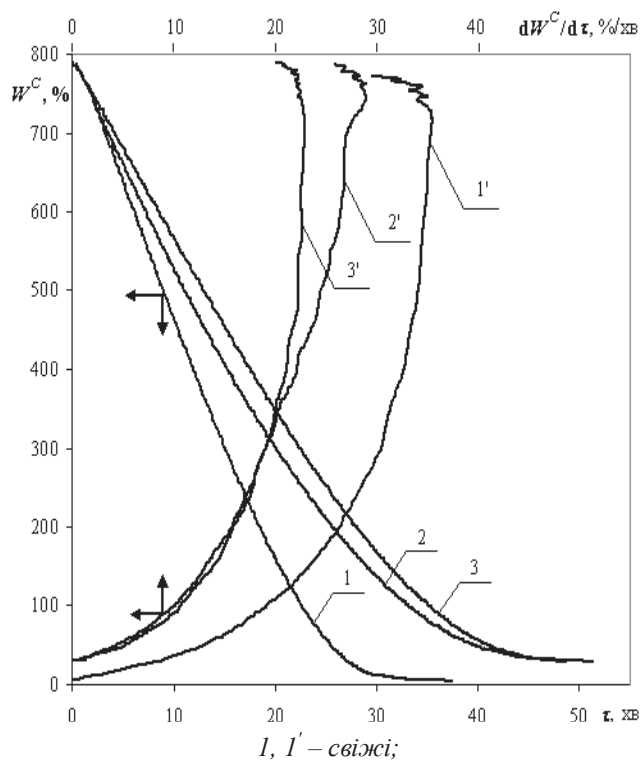


Рис. 3 – Кінетичні криві зневоднення паренхімних тканин яблук в калориметрі

гідратації цукрів [7–10].

Отримане збільшення величини теплоти випаровування води практично з самого початку зневоднення (рис.2) означає, що певна кількість енергії витрачається на розрив водневих зв'язків з сухими речовинами матеріалу вже на початку процесу. Означений експериментальний факт знаходиться в протиріччі з існуючими уявленнями про черговість видалення води з колоїдних капілярно-пористих тіл у процесі сушіння, проте можна припустити, що під час зневоднення частина зв'язаної води спочатку переходить у вільну, яка потім видаляється, причому, швидкість останнього процесу переважає [14].

В процесі зневоднення завдяки перевазі швидкості видалення вільної води над швидкістю падіння питомого вмісту зв'язаної води її фракційний вміст в матеріалі збільшується [8, 9], що призводить до

Теплота випаровування з паренхімних тканин залежить від енергії зв'язку води з розчинними речовинами та біополімерами, що складають кістяк рослинних тканин. При сушінні зменшується об'єм матеріалу, в результаті чого змінюється його мікроструктура і кількість активних центрів, що викликає зміни в водоутримуючій здатності та впливає на величину поточного значення теплоти випаровування [7 – 9]. Аналіз можливих причин зменшення абсолютного значення теплоти випаровування після паротермічної обробки показує, що основним дієвим фактором виступають структурні зміни в рослинних тканинах під впливом температури, які викликають зміни в водоутримуючій здатності тканин [10] та в механізмі переносу води в матеріалі. Останнє підтверджується кінетичними кривими зневоднення зразків в калориметрі (рис. 3). Бачимо, що швидкість видалення води в інтервалі зміни вологовмісту від 775 до 350 % залежить від часу попередньої термічної обробки зразків. І вона тим менша чим більша витримка матеріалу в атмосфері пару. Подальше зневоднення оброблених зразків проходить зі швидкістю, що мало залежить від часу обробки. Суттєва різниця в швидкостях зневоднення нативних і термічно оброблених тканин яблук викликана також і двократною різницею вологовмісту повітря, що поступало в калориметр при дослідженнях.

Паренхімні тканини складаються з безліч клітин, що утворюють тверду каркасну структуру з целюлози і геміцелюлози, скріплених пектиновими речовинами. У клітинному соку в розчинному стані знаходяться вуглеводи, органічні азотисті і без азотисті сполуки та мінеральні речовини. В паренхімних тканинах яблук розчинні вуглеводи представлені в основному глюкозою та фруктозою (~ 58 % до маси сухих речовин). Нерозчинні поліцукриди, такі як геміцелюлози та пектинові речовини, становлять 3,08 та 0,77 % до маси сухих речовин відповідно [11]. Гідратаційна спроможність моноцукрів є достатньо високою [12], а характер гідратації подібний характеру гідратації цукрози [13]. Раніше було показано, що одночасно зі зменшенням вмісту вільної води відбувається зменшення кількості зв'язаної води в розрахунку на сухі речовини матеріалу (питомий вміст зв'язаної води), і це зменшення відбувається відповідно до зміни ступеню

безперервного зростання питомої теплоти випаровування як нативних тканин так і термічно оброблених (рис. 2). Підвищення температури, що відбувається в результаті попередньої термічної обробки паренхімних тканин яблука, може призвести, як це було при термічній обробці паренхімних тканин гарбуза, до руйнування більш слабких молекулярних зв'язків та зниження вмісту зв'язаної води [10]. Останнє відзеркалюється на зменшенні теплоти випаровування (криві 2 та 3).

Вплив фактору часу обробки на питому теплоту випаровування, в даному випадку, напевно пов'язаний з температурою та глибиною структурних змін в матеріалі. Чим більший термін витримки зразка в атмосфері пару тим до більш високої температури нагрівається матеріал і тим більшого руйнування він зазнає [15]. На 15 с обробки температура в середині зразка досягала 99 °С, за наступні 5 с температура підвищувалась майже до температури кипіння води (99.9 °С). Тобто при термічній обробці на протязі 20 с зразок більшу половину часу знаходився при температурах, що значно перевищують температуру денатурації протоплазми клітин і завдають необоротних змін в структурі пектинових речовин та інших біополімерів, чий внесок в водоутримання паренхімних тканин найбільший. Підтвердженням є результати виміру питомої теплоти випаровування води з паренхімних тканин яблука, що були піддані паротермічній обробці на протязі 15 (рис. 2, крива 2) та 20 с (крива 3). Видно, що питома теплота випаровування води з паренхімних тканин витриманих в атмосфері пару на протязі 20 с менша за теплоту, одержану на зразках оброблених протягом 15 с. Очевидно застосована термічна обробка викликала в біополімерах яблук настільки вагомні зміни в структурі водневих зв'язків, що спричинило до зміни питомої теплоти випаровування води.

Висновки

В результаті калориметричних досліджень визначено, що незалежно від того термічно оброблені чи не оброблені паренхімні тканини яблук перед сушінням питома теплота випаровування в процесі зневоднення підвищується. Застосована паротермічна обробка паренхімних тканин яблук сорту «Делікатес» викликала зменшення питомої теплоти випаровування води.

Проведені дослідження показали, що попередня термічна обробка паром паренхімних тканин яблук може призводити як до позитивних, так і негативних змін в кінетиці сушіння. В кожному конкретному випадку необхідно експериментально визначати оптимальні режимні параметри термічної обробки.

Література

1. Заблоцкий Р.В., Грановская Р.Я. Новое в технике и технологии сушки овощей. – М.: ЦНИИТЭИ-пищепром, 1970. – 36 с.
2. Флауменбаум Б.Л. Основы консервирования пищевых продуктов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 272 с.
3. Сушеные овощи и фрукты / Под ред. В.Н. Гуляева. – М.: Пищевая промышленность, 1980. – 190 с.
4. Михайлик В.А., Хавін С.О., Реус І.А.. Експериментальне дослідження кінетики сушіння ріпчастої цибулі // Енергетика, економіка, технології, екологія. Науковий журнал. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». – 2006. – №2. – С. 74-78.
5. 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., Воробйов Л.Й., Боряк Л.А. – Заявка № а200613266 від 15.12.2006.
6. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. Изд. второе, дополненное и переработанное. – М.: Наука, 1972. – 720 с.
7. Михайлик В.А., Давыдова Е.О. Исследование состояния воды в сахаросодержащем растительном сырье при его обезвоживании // Промышленная теплотехника. – 2000. – Т. 22, №5-6. – С.50-54.
8. Снежкін Ю.Ф., Михайлик В.А., Дмитренко Н.В. Динаміка зміни стану води в паренхімних тканинах рослин при сушінні // Промышленная теплотехника. – 2011. – Т.33, №2. – С. 21-26.
9. Дмитренко Н.В., Дубовікова Н.С., Снежкін Ю.Ф., Михайлик В.А., Декуша Л.В., Воробйов Л.Й. Вивчення впливу стану води в харчових рослинних матеріалах на теплоту випаровування. Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій / Міністерство освіти і науки України. – Одеса: 2011. – Вип. 40, – Т.2. – С. 71-75.
10. Михайлик В.А., Дмитренко Н.В., Т.А Михайлик. Влияние термического воздействия на состояние воды в растительных тканях // Промышленная теплотехника. – 2007. – Т. 29, №. 7. – С. 212-217.
11. Химический состав пищевых продуктов. Кн. 2: Справочные таблицы содержания аминокислот, жирных кислот, витаминов, макро- и микроэлементов, органических кислот и углеводов / Под ред. проф., д-ра техн. наук И.М. Скурихина и проф., д-ра мед. наук М.Н. Волгарева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: «Агропромиздат», 1987. – 360 с.

12. Михайлик В.А. Применение термических методов исследования в решении научных и производственных задач энергоэффективности. Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій / Міністерство освіти і науки України. – Одеса: 2007. – Вип. 31, – Т.1. – С. 170-177.
13. Михайлик В.А., Давыдова Е.О., Манк В.В. Исследование гидратации сахарозы методом низкотемпературной сканирующей калориметрии // Термодинамика органических соединений. – Горький, 1989. – С. 76–80.
14. Давыдова Е.О. Воздействие низких температур на состояние свекловичной ткани и её основных компонентов при хранении сахарной свеклы: Дис. ...канд. техн. наук: 05.18.05. – Киев, 1992. – 172 с.
15. Влияние различных способов гидротермической обработки овощей на микроструктуру их тканей / В.С. Баранов, Л.М. Алешина, Т.В. Жубрева, М.И. Гергова // Экспресс-выпуск ЦНИИТЭИпищепром. – М.: ЦНИИТЭИпищепром, 1983. – серия 4, вып. 6. – С. 6-7.

УДК 664.723.047.59

НОВІ КОНСТРУКЦІ СУШАРОК ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ ЗЕРНОПРОДУКТІВ ПРИ ЗМЕНШЕННІ ПИТОМИХ ВИТРАТ ЕНЕРГІЇ

Бурдо О.Г., д.т.н., проф., Безбах І.В., к.т.н., Зиков О.В., к.т.н., Латанський Є.В. асп.
Одеська національна академія харчових технологій

Рассмотрены аппараты на базе термосифонов для сушки. Приведены результаты экспериментальных исследований.

devices on the basis of thermosiphons for drying are considered. Results of experimental researches are presented.

Ключевые слова: термосифоны, пшеница

Для сучасного зерносушіння характерні дві проблеми: високі енерговитрати й забруднення зерна продуктами згорання. Витрати енергії на зерносушіння вищі, ніж енерговитрати при виробництві зерна. Тому доцільно шукати резерви зниження енергетичних витрат у зерносушінні. В Україні в якості сушильного агента використовують суміш топкових газів і повітря. Безпосередній контакт продуктів згорання із зерном погіршує його якість у зв'язку з можливим проникненням у продукт канцерогенних компонентів. Напрямок вдосконалення сушильних технологій є: зниження енергетичних витрат на видалення вологи, забезпечення екологічної безпеки продукту, що висушується, розробка високоефективної зерносушильної техніки. Можливості зниження витрат палива на сушіння не вичерпані й тут є невикористані резерви. Досвід застосування у світовій практиці теплових труб і термосифонів (ТС) дозволяє розраховувати на можливість створення на їхній базі енергоефективних і екологічно безпечних апаратів для термообробки зерна. Тому, розвиток наукової бази про механізми тепло - масообміну в апаратах із ТС і створення на їхній основі сушарок, методик їх розрахунку є актуальним.

Аналіз світової практики сушіння зерна показує, що 10 % всіх енерговитрат припадає на привід вентиляторів, а інші 90 % – на сушіння. Теплова енергія розподіляється в середньому так: на випаровування вологи витрачається 40 %, на нагрівання зерна – 10 %, на нагрівання повітря й пари води до температури сушильного агента – 20 %, і 30 % теплоти втрачається в навколишнє середовище [1]. Значним недоліком сучасних конвективних зерносушарок є викид відпрацьованого теплоносія в атмосферу, що має тепловміст усього лише на 10 – 15 % менше, ніж гаряче повітря, що подається в сушильну камеру. Ефективним шляхом комплексного рішення проблем енергетики й екології при сушінні зерна є використання в технологіях теплових труб. В останні роки в індустріально розвинених країнах намітився значний інтерес до нових високоефективних тепловодів – теплових труб і термосифонів, здатних передати теплоту з питомою потужністю 3 – 6 кВт/м² теплопередаючої поверхні. Оснащення сушарок рекуператором з використанням термосифонів дозволяє знизити витрати первинного теплоносія на 15 – 25 %.