

ОПТИМІЗАЦІЯ СУШІННЯ КОРЕНІВ ЦИКОРІЮ

Проаналізовано існуючі технології сушіння продукції рослинництва взагалі та обрано раціональну для коренів цикорію зокрема. Запропоновано конструкцію установки для дослідження оптичних характеристик коренів цикорію. На основі залежності проникаючої здатності коренів цикорію від довжини хвилі максимуму енергії випромінювання встановлено раціональні параметри ІЧ-випромінювача для сушіння коренів цикорію. Досліджено параметри температурного поля коренів цикорію залежно від температури і тривалості опромінення.

Постановка проблеми

Цикорій кореневий – цінна харчова, кормова та лікарська рослина, яка використовується в харчовій промисловості та в медицині й високо цінується на світовому ринку. Цінність його визначається вмістом в коренеплодах інуліну (16...24 %), що належить до незасвоєваних вуглеводів і є надзвичайно важливим в процесах травлення (перешкоджає всмоктуванню холестерину, сприяє виведенню токсичних речовин і радіонуклідів) [3, 4, 8]. Виходячи із досліджень [5], в середньому в Україні повинно вирощуватися і перероблятися для потреб населення не менше 47000 тонн цикорію на рік, проте рівень виробництва значно нижчий, що зумовлює його високу собівартість.

Одним зі шляхів зниження собівартості є зниження енерговитрат. Традиційно цикорій надходить на харчові підприємства у сушеному вигляді – сушіння є обов'язковим етапом переробки коренів цикорію та займає близько 30 % всіх енерговитрат при переробці. Саме тому необхідне вдосконалення й впровадження у виробництво нових ресурсозберігаючих технологій сушіння.

Аналіз останніх досліджень

Відомо, що одним із ефективних способів зберігання продукції рослинництва є сушіння. У сушених продуктах на 80–90 % зберігаються вітаміни й біологічно цінні речовини, а загальні витрати на зберігання зменшуються у 4–10 разів, порівняно зі зберіганням у свіжому або замороженому вигляді [7].

Традиційно сушіння цикорію проводять у конвективних сушарках СПК-4Г-45, СПК-90, КСА-80, ПКС-40, питомі витрати енергії в яких складають від 1,8–3,0 кВт/кг [7, 8]. Окрім конвективної, для сушіння рослинної продукції можуть біти застосовані наступні технології:

- високо- або надвисокочастотна (питомі енерговитрати 1,6–1,8 кВт/кг);
- сублімаційна (питомі енерговитрати 2,7–3 кВт/кг);
- інфрачервона (питомі енерговитрати 0,9–1,2 кВт/кг);
- кондуктивна (питомі енерговитрати 1,6–1,8 кВт/кг) [7].

Оскільки енерговитрати є одним із визначальних факторів економічної ефективності сушильних установок, то для сушіння коренів цикорію було обрано інфрачервону технологію. З огляду на забезпечення фізико-хімічних якостей продукції інфрачервона технологія має також свої переваги – при такому способі сушіння зберігається до 90 % вітамінів і елементів, корисних для організму людини [1, 2].

Але разом з тим, питання проектування високоефективних ресурсозберігаючих технологій та обладнання для теплової обробки продуктів ІЧ-випромінюванням ще недостатньо формалізоване. З аналізу літературних джерел [1, 2] видно, що на процес сушіння за ІЧ-технологіями суттєво впливають спектральні характеристики продуктів, тому підвищення ефективності сушіння можливо завдяки формалізації зв'язків між параметрами продукції та техніко-технологічними показниками сушильного обладнання. Для інженерних розрахунків процесу сушіння коренів цикорію інфрачервоним випромінюванням і вибору найбільш раціональної продукції ІЧ-сушарки необхідно встановити динаміку терморадіаційних характеристик продукту в різних умовах опромінення, а також встановити ступінь проникності теплової енергії.

Об'єкт та методика досліджень

Об'єктом досліджень є динаміка зміни оптичних характеристик коренів цикорію під впливом ІЧ-випромінювання.

Нагрівання променями ІЧ-діапазону забезпечує інтенсифікацію багатьох технологічних процесів, підвищує якість продуктів й створює сприятливі умови для автоматизації контролю і регулювання процесу. Для успішного впровадження обробки матеріалів ІЧ-випромінюванням необхідно дослідити оптичні властивості матеріалів. Це обумовлено тим, що при термообробці матеріалів тепловою радіацією джерела випромінювання слід обирати таким чином, щоб спектральні характеристики випромінювачів співпадали зі спектральними характеристиками продуктів, що обробляються. Однією з найважливіших характеристик є оптична проникність продукту. Тому необхідно дослідити залежність глибини проникнення променів ІЧ-спектра від довжини хвилі випромінювання. Для цього на базі кафедри вищої математики і загальнотехнічних дисциплін ЖНАЕУ була створена дослідна установка, функціональна схема якої показана

на рисунку 1. За продукт (5) використовували нарізані й вкладені в один шар пластинки коренів цикорію сорту Уманський-95 товщиною: $1\pm 0,5$; $2\pm 0,5$; $3\pm 0,5$; $5\pm 0,5$; $7\pm 0,5$ та $10\pm 0,5$ мм. Як генератор випромінювання (2) були узяті випромінювачі з різними спектральними характеристиками: кварцові лампи КИ-220-1000 з довжиною хвилі максимуму випромінювання 1 мкм; спіралі на керамічній трубці з довжиною хвилі максимуму випромінювання 2,5 мкм; ТЕН з довжиною хвилі максимуму випромінювання 3,9 мкм. Приблизне значення довжини хвилі максимуму випромінювання визначалось за законом Віна [2]:

$$\lambda = \frac{2866 \cdot 10^{-6}}{T},$$

де T – температура випромінювача.

Температура випромінювача визначалася за його паспортними даними. Відстань між генератором і продуктом встановлювалась на значенні 100 мм. Для зменшення розсіювання генератор випромінювання оснащений конусною діафрагмою (4), виконаною із алюмінію. Як датчик енергії випромінювання в установці використовували фотоелемент (6), (ПЧ-фотрезистор).

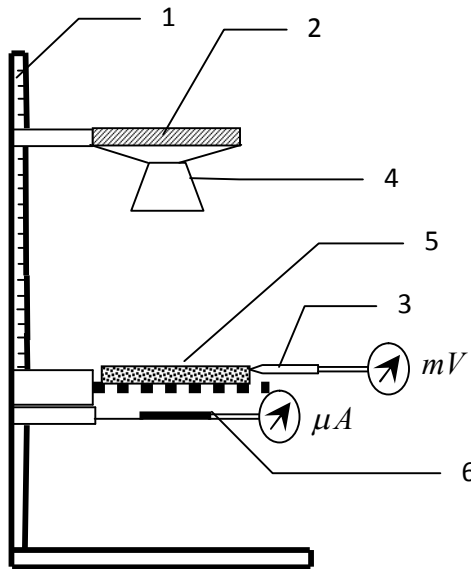


Рис. 1. Установа для досліджень оптичних характеристик коренів цикорію: 1 – стійка зі шкалою; 2 – генератор випромінювання; 3 – термопара з мілівольтметром; 4 – конусна діафрагма; 5 – дослідний продукт (корені цикорію); 6 – фотоелемент з вимірювальним пристроєм

Виміри фіксувалися багатофункціональними електровимірювальними приладами М890G, один з яких був з'єднаний з виводами термопари, а інший – з

фотоелементом (6). Решітка зі зразками продукту (2) встановлена на поворотному кронштейні. Вимірювання частини променевого потоку, що падає на продукт, проводили без встановлення решітки з продуктом між випромінювачем і фотоелементом. Потім поворотом кронштейна решітка (2) встановлювалась між випромінювачем і фотоелементом (6), визначалась частина випромінювання, яка пройшла крізь продукт. Для зменшення похибки на розсіювання приймач енергії випромінювання (6) повинен знаходитись якомога ближче до зразка.

Величину пропускнуої здатності продукту визначали зі співвідношення:

$$D = \frac{q_x}{q_0 + q_r},$$

де q_0 – доля променевого потоку, що падає на продукт;

q_R – доля променевого потоку, що відбивається від продукту;

q_x – доля променевого потоку, що пройшла крізь продукт.

Результати досліджень

Результати досліджень представлено у вигляді залежності оптичного пропускання від товщини шару продукту для різної довжини хвилі максимуму енергії випромінювання (рис. 2). Експериментальні дані показують, що проникаюча здатність коренів цикорію збільшується при зменшенні довжини хвилі. Той факт, що при проходженні випромінювання крізь шар продукту товщиною 2 мм спостерігається суттєве зниження оптичного пропускання, говорить про те, що значна частина енергії випромінювання поглинається саме цими шарами речовини. Причому, при проходженні крізь продукт товщиною 2 мм оптичне пропускання випромінювань з довжиною хвилі $\lambda_{\max} = 1$ мкм зменшується на 43 %, а оптичне пропускання випромінювань з $\lambda_{\max} = 2,5$ мкм та $\lambda_{\max} = 3,9$ мкм – на 15 %. Оскільки внутрішній перенос тепла та його дія на молекулярну структуру капілярно-пористих тіл вивчені все ще недостатньо, можна зробити припущення про те, що найінтенсивніше поглинання енергії випромінювання тканинами продукту відбувається на товщині 1–2 мм. Таким чином відбувається прискорене підсушування верхніх шарів, утворення скоринки, підгоряння, руйнування структури речовини, а все це негативно впливає на якісні показники кінцевого продукту. З огляду на це можна зробити припущення, що при використанні випромінювачів з $\lambda_{\max} = 1$ мкм існує ризик нерівномірного просушування матеріалу.

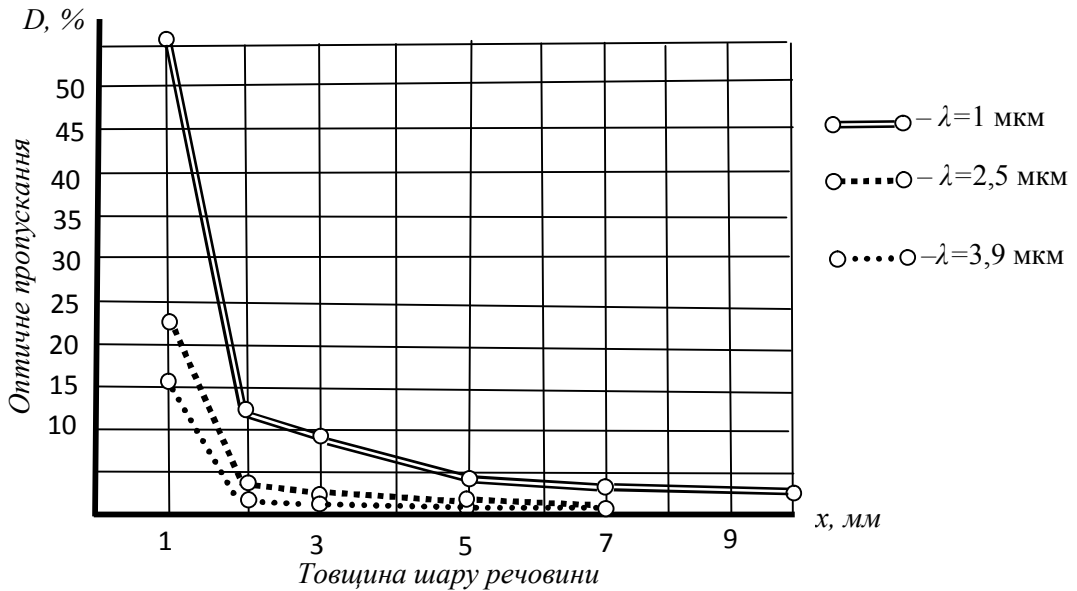


Рис. 2. Залежність оптичного пропускання коренів цикорію від товщини шару продукту для різних довжин хвиль

Зацікавленість викликає аналіз температурного поля вологого матеріалу при ІЧ-випромінюванні. Для дослідження температурного поля до комплексу установки (рис. 1) додали мідь-константанові термопари ТМКн-2-2, що виготовлені з дроту діаметром 0,15 мм. На решітку були покладені пластинки коренів цикорію товщиною 10 мм, а термопари розміщували в середині шматочків на глибині 2, 5, 7 і 10 мм від поверхні. Зміну ЕРС фіксували комбінованим приладом типу М890G. Градування термопар проводили за допомогою лабораторного термометра з ціною поділки 1 °С.

Шматочки коренів цикорію опромінювали вище вказаними випромінювачами, а за допомогою термопар фіксували температуру на різній глибині продукту через проміжки часу у 5, 10, 20 і 40 хвилин. Результати дослідження показано у вигляді графіків (рис. 3). Відстань від джерела випромінювання до продукту складала 100 мм.

Аналіз графічних залежностей (рис. 3) вказує на те, що випромінювач КИ-220-1000 з довжиною хвилі максимуму випромінювання 1 мкм створює досить потужне теплове поле на глибині 1–2 мм і починає інтенсивно прогрівати продукт з перших же хвилин взаємодії. На двадцятій хвилині опромінювання температура досягає 110 °С, що порушує фізико-хімічний склад коренів, виникає загроза підгорання продукту. Значний температурний градієнт, що спрямований протилежно градієнту вологовмісту, уповільнює переміщення вологи з внутрішніх шарів до

поверхневих, що також негативно впливає на структурно-механічні властивості продукту. Окрім того, згідно з [5], при підвищенні температури коренів цикорію до 200 °С вміст інуліну в них знижується у 2,5 рази, що негативно впливає на поживні якості продукту, цінність якого в основному і полягає в наявності інуліну.

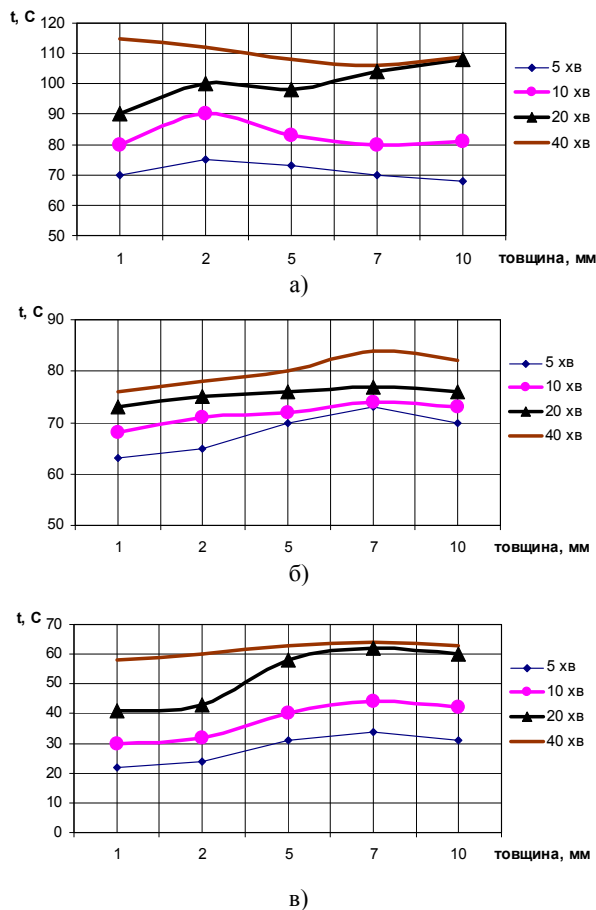


Рис. 3. Динаміка зміни температурного поля цикорію кореневого залежно від товщини продукту і довжини хвилі випромінювання:
а) $\lambda = 1$ мкм; б) $\lambda = 2,5$ мкм; в) $\lambda = 3,9$ мкм

Випромінювачі з довжиною хвилі максимуму енергії випромінювання 2,5 і 3,9 мкм більш “м’яко” впливають на продукт (рис. 3, б і 3, в), тому, з огляду на якість отриманого продукту, більш доцільним є використання випромінювачів саме цього діапазону. Разом з тим, використання випромінювачів з довжиною хвилі максимуму енергії випромінювання 2,5 і 3,9 мкм дозволить зменшити енерговитрати на 15–20 %.

Висновки

Проведено аналіз існуючих технологій сушіння плодоовочевої продукції та обрано для сушіння коренів цикорію кореневого ІЧ-технологію.

Розроблено установку для визначення оптичних характеристик і температурного поля при тепловій обробці харчових продуктів ІЧ-випромінюванням.

Запропоновано методику визначення пропускну здатності і температурного поля коренів цикорію при обробці продукту методами теплової радіації.

Встановлено, що зі збільшенням довжини хвилі максимуму енергії випромінювання проникаюча здатність коренів цикорію зменшується.

Встановлено, що для сушіння за ІЧ-технологіями використання випромінювачів із довжинами хвиль максимуму енергії випромінювання 2,5 мкм і 3,9 мкм є більш доцільним, ніж використання випромінювача із $\lambda_{\max} = 1$ мкм.

Подальші дослідження

Задачею подальших досліджень стає розгляд питання про застосування перервного радіаційно-конвективного ІЧ-опромінення коренів цикорію. В цьому плані велике значення мають експериментальні дослідження їх узагальнення.

Література

1. *Лебедев П.Д.* Сушка инфракрасными лучами / *П.Д. Лебедев.* – М. : Госэнергоиздат, 1955. – 431 с.
2. *Гинзбург А.С.* Инфракрасная техника в пищевой промышленности / *А.С. Гинзбург.* – М. : Пищевая промышленность, 1966. – 407 с.
3. *Пащенко Л.* Добавьте до рецептуры цикорий / *Л. Пащенко, І. Жарікова, В. Пащенко* // Харчова і переробна промисловість. – 2006. – № 8–9. – С. 11–12.
4. *Фомина О.В.* Применение цикория и продуктов его переработки в технологии хлебопекарского производства [Электронный ресурс] / *О.В. Фомина* // Студенческая наука – экономике России: V межрегиональная науч. конф. – Ставрополь, 2005. – <http://www.ncstu.ru>.
5. *Чепурной И.П.* Производство инулина и его производных [Электронный ресурс] / *И.П. Чепурной* // Проект, бизнес-план. – Ставрополь, 2007. – Режим доступа: <http://ipchepurnoy.narod.ru/Inulin.html> (16.09.09). – Загл. с экрана.
6. *Гуляев В.Н.* Технология пищевых концентратов / *В.Н. Гуляев.* – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 196 с.
7. *Гуляев В.Н.* Сушеные овощи и фрукты / *В.Н. Гуляев.* – М. : Пищевая промышленность, 1980. – 187 с.
8. *Яценко А.А.* Цикорий корнеплодный / *А.А. Яценко, А.В. Корниенко, Т.П. Жужжалова.* – Воронеж : ВНИИСС, 2002. – 135 с.