ною 0,5 мм він становить 50%, для плівки товщиною 1,0 мм – 60 %, 2,0 мм – 180 %. Із представлених на рис. 1 графічних залежностей слідує, що збільшення товщини шару призводить до збільшення тривалості процесу сушіння. При збільшенні товщини шару з 0,5 мм до 2,0 мм тривалість сушіння до визначеного вологовмісту збільшується чотири рази,

В наступній серії експериментів визначали залежність кінетики сушіння напівфабрикату на основі знежиреного молока з використанням екстракту кореня солодки від температури сушильного агенту.

На рисунку 2 наведена залежність кінетики сушіння сушіння напівфабрикату від температури сушильного агенту, так як вона є основним параметром, що здійснює вирішальний вплив на тривалість процесу та якість сухого продукту. Температуру сушильного агенту підтримували на рівні 40…60 °С.

Критична точка, що характеризує перехід від періоду постійної швидкості до періоду падаючої швидкості сушіння визначається вологовмістом напівфабрикату на основі знежиреного молока з використанням екстракту кореня солодки 45 – 95 %, причому менше значення критичного вологовмісту відповідає більшому значенню температури сушильного агенту. Встановлено, що збільшення тривалості періоду постійної швидкості відповідає більшій температурі сушильного агенту та складає 360 – 720 с.

Таким чином, аналіз кривих сушіння та швидкості сушіння показує, що підвищення температури теплоносія до 60 ºС веде до збільшення тривалості періоду постійної швидкості та підвищує швидкість сушіння.

Висновок. З вище наведеного можна зробити висновок, що раціональними параметрами сушіння напівфабрикату на основі знежиреного молока з використанням екстракту кореня солодки є температура сушильного агенту 60 ºС і товщина плівки рівна, або менша 0,5 мм., а матеріалом інертних тіл може бути фторопласт.

Література

1. Экспертиза молока и молочных продуктов. Качество и безопасность [Текст] : учеб.-справ. пособие / Н. И. Дунченко, А. Г. Храмцов, И. А. Макеева, И. А. Смирнова и др.; под общ. ред. В. М. Позняковского. — Новосибирск : Сиб. унив. изд-во, 2007. — 477 с. ил. — (Экспертиза пищевых продуктов и продоволь-ственного сырья). - ISBN-10: 5-94087-042-2. - ISBN-13: 978-5-94087-042-5.
2. Технология молочных продуктов / Г.Н.Крусь, Л.В. Чекулаева, Г.А. Шалыгина, Т.К. Ткаль. – М.: Агропромиздат, 1988. – 310 с.
3. Гніцевич, В.А. Технологія молочно-рослинного напівфабрикату для солодких страв та його властивості [Текст] / В.А. Гніцевич, Н.В. Вольнова (ДонНУЕТ) тематичний збірник наукових праць „Обладнання та технології харчових виробництв” – 2010. –Вип. 25. – С. 64-69.
4. Дідух, Н.А. Використання коренів солодки голої у виробництві молочних продуктів оздоровчого призначення [Текст] / Н.А. Дідух, С.І. Вікуль // Молочна промисловість. – 2006. - №4. - С. 38-40.
5. Атаназевич, В.И. Сушка пищевых продуктов. Справочное пособие [Текст] / В.И. Атаназевич. – М.: Узд-во ДеЛи, 2000, - 294с.
6. Касьянов, Г.И. Особенности технологии атмосферной и сублимационной сушки [Текст] / Г.И. Касьянов, Г.В. Семенов // Сб. трудов междунар. научно-практ. конф. Ч. IV. – Краснодар:КНИИХП, 2000.
7. Бурыкин А.И. Особенности работы виброконвективных сушилок А.И. Бурыкин, В.Н. Крадинов // Молочная промышленность, 1983. №7. С. 11-14

УДК 631.362:635.001.5

СУШІННЯ НАСІННЯ ГАРБУЗА В СУШАРЦІ ПСЕВДОЗРІДЖЕНОГО ШАРУ

Поперечний А.М., д.т.н., професор, Корнійчук В.Г., к.т.н., доцент, Подзіраєв О.Г.
Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського
м. Донецьк

У статті наведено результати досліджень з визначення впливу технологічних параметрів на кінетику сушіння насіння гарбуза в сушарці псевдо зрідженого шару.

The results of studies on the influence of process parameters on the kinetics of drying pumpkin seeds in drier pseudo liquid layer.

Ключові слова: кінетика сушіння, насіння гарбуза, температура, швидкість повітря, вологовміст.

Серед овочевих культур в харчуванні особливе місце займає гарбуз. У гарбузі містяться солі калію, фосфору, заліза, міді, цинку, вітаміни С, В, В1, В2, В6, Е, каротин та інші біологічно активні речовини (БАР). Він широко використовується для харчових і кормових цілей, є сировиною для консервної, кондитерської та вітамінної промисловості [1,2]. Це корисна культура за харчовою цінністю, але її споживання залишається на низькому рівні.

Плоди гарбуза складаються з м'якоті, плаценти, насіння і шкірки, співвідношення яких за масою приблизно наступне: м'якоть – 70 %, плацента – 15 %; насіння – 5 %; шкірка – 10 %.

У харчовій галузі м'якоть гарбуза в основному використовується для приготування купажованих соків, дитячого харчування, гарбузового порошку і інших продуктів.

Насіння гарбуза вживають як самостійний продукт. З них виробляють олію, муку, яка є білково-вітамінним комплексом [3].

Висушене насіння гарбуза містить: білки-30 %; жири -49 %; вуглеводи - 10,5 %; клітковина - 1,7 %.

Приблизно 75 % жирів в насінні гарбуза складають моно і полі ненасичені жири. Насіння гарбуза багате мінералами марганцю і магнію. Марганець бере участь у численних обмінних процесах, захищає клітини від окислювального пошкодження, в той час як магній важливий для здоров'я кісток, серця і судин.

Крім того, гарбузове насіння є хорошим джерелом фосфору, заліза, міді, вітаміну К і цинку. Насіння в менших кількостях містить кальцій, калій, селен, фолієву кислоту і ніацин, вітаміни групи В, Е, РР.

Завдяки унікальному поєднанню амінокислот, вітамінів, мікроелементів та інших корисних речовин насіння гарбуза допомагають в лікуванні багатьох захворювань.

Вживання насіння гарбуза благотворно впливає на діяльність серцевого м'яза, а гарбузова олія сприяє зміцненню кровоносних артерій.

Масло з насіння гарбуза за своїм складом є одним з найбагатших масел рослинного походження.

Поки мало вивчені товарна якість і харчова цінність плодів гарбуза різних сортів, значно застаріла і нормативно-технічна документація, яка передбачає тільки органічну оцінку гарбуза і не враховує хімічні показники, що характеризують споживчі та технологічні властивості культури [2].

Використання гарбуза може бути комплексним: шкірка - сільське господарство; насіння і плацента - харчова та медична галузі.; м'якоть - харчова та медична галузь, біотехнології, косметологія.

Завдяки своїм властивостям - гарбуз має великий експортний потенціал. Тому його посівні площі постійно зростають і для вирощування гарбуза необхідно мати якісний насіннєвий матеріал.

Оскільки стійкість сирого насіння обмежена, то його потрібно сушити до кінцевої вологості 6-7%.

Насіння та насінники овочевих культур сушать зазвичай природним способом на стелажах, асфальтованих майданчиках і безпосередньо в полі. Таке сушіння вимагає великих витрат ручної праці, багато часу і коштів, не гарантує якісного збереження насіння, особливо при несприятливих погодних умовах. Для сушіння насіння овочевих культур використовують інколи універсальні сушарки конвеєрного та барабанного типу.

Досвід використання конвеєрної універсальної сушарки типу СГ1К показав, що вона громіздка, не забезпечує якісного сушіння насіння овочевих культур, а конструкція потребує значної модернізації.

Основні недоліки барабанної сушарки - мала продуктивність і незначне видалення вологи (6-8 %) за пропуск через барабан, що викликає необхідність багаторазового пропуску (4-6 разів) насіння через сушарку. Крім того, сушарка практично не придатна для сушіння насінників і насіння деяких інших культур.

Труднощі в створенні ефективних сушарок обумовлені специфічними властивостями насіння овочевих і баштанних культур, несприятливими для сушіння.

Досвід експлуатації камерних і лоткових сушарок показав досить високу ефективність та придатність їх для сушіння насіння і насінників практично всіх вирощуваних в країні овочевих і баштанних культур. Ці установки прості в експлуатації, забезпечують збереження і підвищення посівних якостей насіння в порівнянні з природним сушінням.

Насіння гарбуза, крім високої початкової вологості (50-70 %) характеризуються тенденцією до злипання і утворення кірки при сушінні. Це уповільнює процес сушіння, змушує проводити часте перемішування насипу насіння і завантажувати його в сушарку невеликим шаром від 0,05 до 0,15-0,20 м.

Тому камерні і лоткові сушарки, при сушінні насіння гарбуза, малопродуктивні і не завжди забезпечують рівномірне сушіння насіння.

На основі вище наведеного нами запропоновано проводити сушіння насіння гарбуза в сушарках псевдо зрідженого шару.

Впровадження в промисловість методу сушіння в псевдозрідженому шарі показало перспективність його застосування в поточних лініях по виробництву багатьох продуктів, так як він дає можливість підвищити ефективність сушильної апаратури і продуктивність праці.

Накопичений в області псевдозрідження досвід свідчить про те, що крім деяких загальних аеродинамічних закономірностей кожен матеріал має специфічні особливості. У найбільшій мірі це відноситься до матеріалів рослинного походження. Наявність поверхневої вологи, високий вологовміст, структура і форма плодів і насіння створюють великі труднощі при аналітичному дослідженні явищ гідродинаміки псевдо зрідженого шару на основі наявних, явно недостатніх, а найчастіше і відсутніх літературних даних.

Метою роботи є дослідження процесу сушіння насіння гарбуза в псевдозрідженому шарі.

Складність кінетичних розрахунків процесів сушіння обумовлена складністю явищ, що спостерігаються: внутрішня міграція вологи в матеріалі, дифузія її з поверхні в потік сушильного агента, супутні фізико-хімічні перетворення (дегідратація, подолання капілярних сил, фазові переходи), одночасне протікання теплопереносу, поведінка одиничної насінини в масі насіння, що висушується. По цій причині до даного часу зберігає своє значення експериментальне вивчення процесів сушіння. Слід зазначити, що в даний час відсутня єдина методика точного розрахунку, яка могла б надійно лягти в основу проектування промислової сушильної установки. Тому етапові промислового проектування повинен передувати етап лабораторного експерименту.

Враховуючи вимоги, пропоновані до насіннєвого матеріалу [4] в наших дослідженнях температура насіння гарбуза не перевищувала 45 ° С. Тому вплив технологічних параметрів (температури теплоносія t і його швидкості V) на кінетику процесу сушіння насіння гарбуза в псевдозріджуваному шарі вивчали в слідуючому діапазоні технологічних параметрів: t = 30-40 0С, V=3-4 м/с). Нижня границя швидкості теплоносія визначалась початком процесу псевдо зрідження.

Насіння гарбуза складається з: шкаралупи, ядра і плівки. Ці складові мають різні теплофізичні, структурно-механічні та масовологообмінні характеристики. Основними теплофізичними характеристиками, що визначають теплообмінні властивості гарбузового насіння, є теплоємність, коефіцієнти теплопровідності і температуропровідності. Ці характеристики, визначають швидкість протікання процесів нагрівання та охолодження, різними для окремого насіння і насіннєвої маси, але в обох випадках залежать насамперед від розмірів насіння, їх вологості, хімічного складу, олійності і температури.

В спеціальній літературі даних про ці характеристики для насіння майже не наведено. Стосовно насіння гарбуза, то ці дані зовсім відсутні. В науковій та практичній літературі насіння гарбуза, соняшника розглядається як однорідний продукт без виділення його складових. В зв`язку з цим нами проведено ряд експериментальних досліджень по визначенню таких важливих для практики та теорії процесу сушіння характеристик насіння гарбуза, як вологість і вологовміст окремих його складових.

Після виділення з плодів на поверхні гарбузового насіння зберігається навколоплідна плівка, яка ускладнює сушіння. Видаляють плівку відмиванням насіння із застосуванням барботажа.

Нами були визначені вологість та вологовміст вихідної сировини та кінцевого продукту після сушіння. Оскільки плівку відмивали перед початком дослідів, то нами в подальшому визначались характеристики продукту, який складається з шкарлупи та ядра.

На рис. 1– рис. 5 приведені типові криві кінетики процесу сушіння гарбузового насіння, та окремо його шкарлупи і ядра.

Як видно з графічних побудов, характер основних закономірностей сушіння насіння гарбуза дозволяє зробити наступні висновки. Процес видалення вологи протікає практично в два періоди - при постійній і падаючій швидкостях, ділянки яких чітко визначаються на кривій видалення вологи 1 і кривій швидкості процесу сушіння. Початкова стадія процесу – період прогрівання матеріалу – на графіку не спостерігається. У першому періоді постійної швидкості видаляється в основному вільна волога, зменшення вологості відповідає лінійному в часі законові. Критична точка, що характеризує перехід від періоду постійної швидкості до періоду падаючої швидкості сушіння, визначається вологовмістом насіння гарбуза в межах 38...50%, причому положення цієї точки залежить від прийнятого режиму сушіння.

Тривалість періоду постійної швидкості складає близько (15–27).102 с., тобто приблизно 20–30% загальної тривалості процесу сушіння до вологовмісту 6...8 %, швидкість видалення вологи в цьому періоді досягає 3·10–2 – 6·10–2 %/с.

На рис. 1– рис. 2 наведена залежність кінетики сушіння насіння гарбуза у псевдо зрідженому шарі від температури сушильного агенту, так як вона є одним з основних параметрів, що здійснює вирішальний вплив на тривалість процесу (особливо у першому періоді) та якість продукту. Встановлено, що підвищення температури теплоносія веде до зменшення тривалості періоду постійної швидкості сушіння, а також до збільшення частки цього періоду в загальній тривалості процесу.

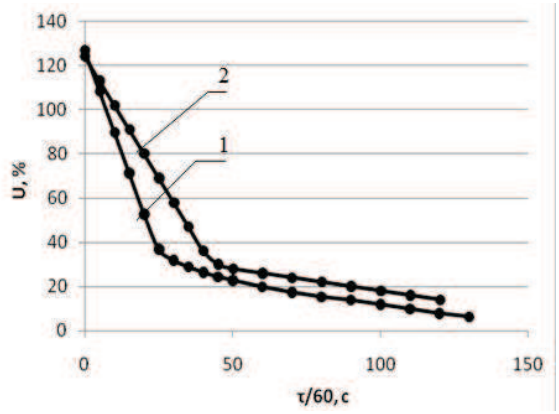

Рис. 1 – Криві сушіння насіння гарбуза при різних температурах: t=40 ºС; 2- t=30 ºС. V= 4м/с

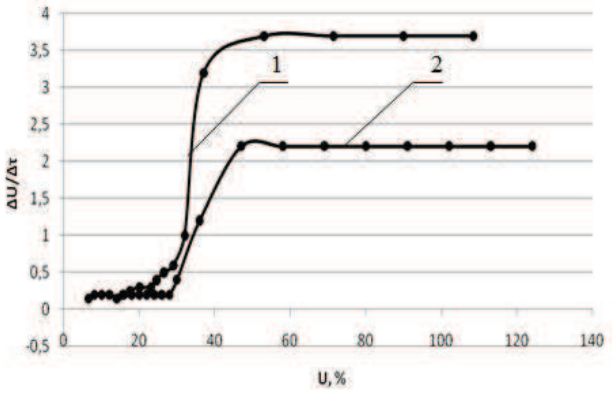

Рис. 2 – Залежність швидкості сушіння насіння гарбуза від темп-ри: t=40 ºС; 2- t=30 ºС. V= 4м/с

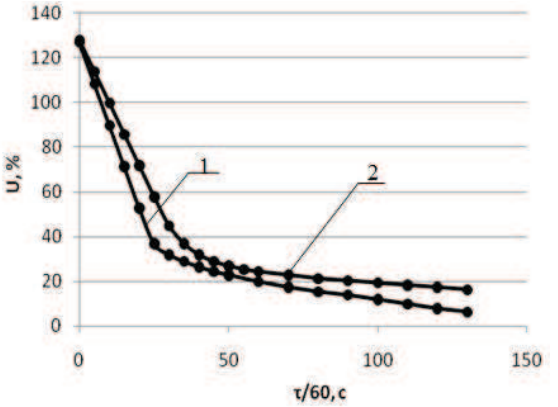

Рис. 3 – Криві сушіння насіння гарбуза при різних швидкостях сушильного агенту: V= 4м/с; 2- V= 3м/с; t=40 ºС

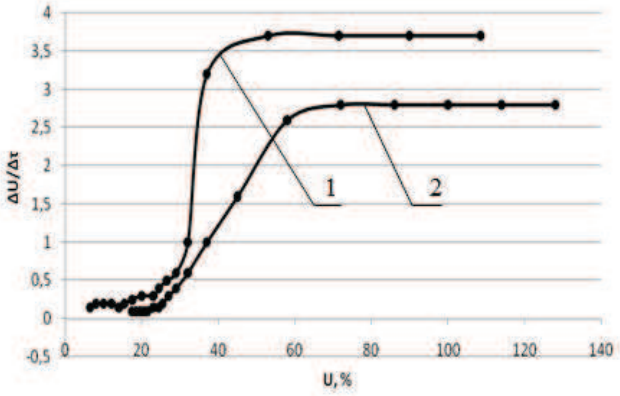

Рис. 4 – Залежність швидкості сушіння насіння гарбуза від швидкості сушильного агенту: V= 4м/с; 2- V= 3м/с; t=40 ºС

З точки зору економічності, процес сушіння доцільно вести при можливо більш високих температурах теплоносія. Підвищення температури сушильного агенту, що надходить у шар, приводить, за інших рівних умов, до збільшення продуктивності установки, зменшення її габаритів, зниження питомої витрати теплоносія, тобто до зниження питомої витрати електроенергії. Підвищення швидкості теплоносія також веде до зменшення тривалості періоду постійної швидкості сушіння, а також до збільшення частки цього періоду в загальній тривалості процесу. Але цей параметр обмежений виносом насіння за межі сушильної камери, а також збільшенням питомих витрат енергії.

Залежність середньої швидкості сушіння від швидкості сушильного агента суттєво помітна в початковий період сушіння, що зв'язаний із зовнішньою дифузією вологи з поверхні матеріалу. До кінця процесу вплив зміни швидкості сушильного агента зменшується. Це свідчить про те, що в міру зменшення вологи в матеріалі переважає внутрішня дифузія вологи, на яку зміна швидкості теплоносія впливає мало.

На рис.5, рис.6 наведені дані по зміні швидкості сушіння шкарлупи і ядра насіння гарбуза у псевдо зрідженому шарі при температурах t=40 оС , t=30 оС і швидкості теплоносія V= 3м/с. Зміна температурного режиму сушіння впливає тільки на інтенсивність випаровування вологи та тривалість процесу; характер кривих сушіння зостається ідентичним для кривих насіння гарбуза. Слід відмітити, що шкарлупа має більш високий вологовміст в порівнянні з ядром, так як вона більш гігроскопічна і не містить гідрофобних речовин. Період постійної швидкості шкарлупи менш тривалий, чим період постійної швидкості ядра (для t=40 0С,V=4 м/с період постійної швидкості шкарлупи 11.102 с, а період постійної швидкості ядра 27.102 с). Швидкість видалення вологи в цей період для шкарлупи майже в десять раз більша ніж для ядра.

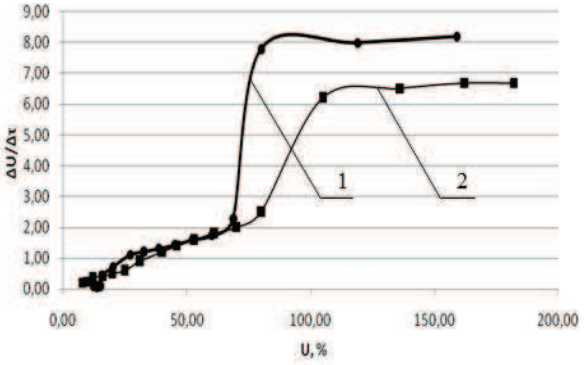

Рис. 5 – Швидкість сушіння шкарлупи насіння гарбуза при різних температурах: 1-t=40 ºС; 2- t=30 ºС і швидкості теплоносія V= 3м/с

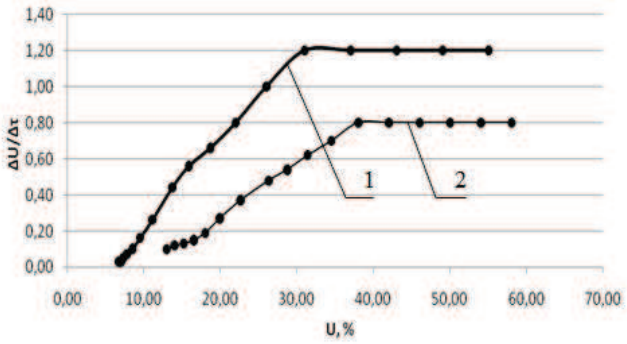

Рис. 6 – Швидкість сушіння ядра насіння гарбуза при різних температурах: 1-t=40 ºС; 2- t=30 ºС і швидкості теплоносія V= 3м/с

Криві кінетики сушіння свідчать, що весь процес ділиться на два періоди. Перший період характеризується постійною швидкістю сушіння, коли вологовміст продукту змінюється за лінійним законом.

Тривалість процесу сушіння насіння гарбуза буде можна описати рівнянням:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = \frac{U_n - U_к}{tg(-\sigma)} + \frac{1}{K} \cdot ln \frac{U_{кп} - U_p}{U_2 - U_p}$$

де Uп — початковий вологовміст продукту, який надходить на сушіння, %;

Uк — критичний вологовміст продукту, %;

τ_1 — тривалість першого періоду сушіння, відповідна тривалості сушіння продукту до критичного вологовмісту, с;

τ_0 — початковий момент сушіння ($\tau_0 = 0$), с.;

Uкп — критичний приведений вологовміст; К – коефіцієнт сушіння.

Наведена формула визначення тривалості сушіння насіння гарбуза дає змогу розрахувати тривалість процесу до потрібного заданого кінцевого вологовмісту.

Висновок.

Досліджено кінетику сушіння насіння гарбуза у псевдозрідженому шарі в залежності від температури і швидкості сушильного агенту.

Визначено раціональні параметри процесу. В результаті дослідження кінетики сушіння насіння гарбуза можна рекомендувати наступні показники і раціональні режими: температура сушильного агента – 40°С; швидкість повітря 4,0 м/с на початку процесу 3 м/с в кінці процесу. Одержані результати по кінетиці сушіння будуть враховані при проектуванні промислової сушарки для насіння овочевих і баштанних культур.

Література

1. 1. Скрипніков Ю. Г. Технологія вирощування, зберігання і переробки гарбуза / Ю. Г. Скрипніков, В. Ф. Вінницька. - Мічурінськ: Міч ДФУ, 2002-20 с.
2. 2. ГОСТ 7975-68. Тыква продовольственная свежая.
3. 3. Скрипніков Ю. Г. Використання гарбуза для виробництва консервів / Ю. Г. Скрипников, М. Ю. Коровкіна / / Праці ВДАУ, - 2003-Т.2-С. 115-116.
4. 4. Рекомендации по сушке семенников и семян овощных культур.Научно-технический отдел ВИМ. Москва. 1977-32с.