

Деякі теоретичні та практичні підходи до виробництва цукатів на основі рослинної сировини

Непочатих Тетяна Анатоліївна

Харківський торговельно-економічний інститут Київського національного торговельно-економічного університету, кандидат технічних наук, доцент кафедри товарознавства та експертизи якості товарів, доцент, Україна

Анотація. Стаття присвячена вивченню впливу зовнішніх фізичних чинників на прискорення процесу виробництва цукатів. Встановлено, дифузія цукрового сиропу в рослинну сировину здійснюється капілярними силами, тобто силами змочування. На цей процес основний вплив здійснює пористість сировини. Скоротити час приготування цукатів можна шляхом штучного збільшення пористості рослинної сировини або руйнування клітинної оболонки (мембрани) рослинної сировини.

Ключові слова: капіляр, пористість, дифузія, рослинна сировина, цукат.

Вступ

Асортимент цукристих кондитерських виробів представлених на українському ринку, надає споживачам широкі можливості для вибору виробів відповідно з їх індивідуальними смаками, але це в основному такі вироби, як карамель, цукерки та шоколад. Фруктово-ягідні вироби, до яких і належать цукати, виробляються в незначній кількості, що може бути пов'язано з різними причинами.

Аналіз вітчизняної та закордонної літератури показав, що існує дуже багато способів виробництва цукатів, але їх виробництво, особливо в Україні недостатньо розвинене. Наукові розробки, які стосуються виробництва цукатів, відрізняються довготривалими процесами приготування та жорсткими режимами обробки, що погано впливає на якість готової продукції [1-2, 6].

Наукові розробники цукатів частіше обирають наступні шляхи виробництва: використання вторинної рослинної сировини (шкурки свіжі та консервовані, порошки); нарізання різними розмірами і формами; бланшування; уварювання плодів та овочів під тиском; різні варіації із цукровим сиропом (додавання соку інших плодів, білковомісних, цукрозамісних інгредієнтів та ін.); сушіння. Практично у всіх випадках відбувається зниження харчової цінності сировини на кінцевому етапі виробництва.

Підвищення якості цукатів відбувається на етапах підбору сировини, умов зберігання готового продукту, а також на вивченні впливу різних чинників на процес дифузії цукрового сиропу в рослинну сировину. Ця сировина являє собою капілярно-пористе тіло з різними формами зв'язку вологи, що накладає відповідний відбиток на строк їх приготування. Причиною цього є різні форми дифузії цукрового сиропу в рослинні тканини; молекулярна дифузія, що супроводжується об'ємним (молярним) переміщенням цукрового

сиропу і вибіркова дифузія, що викликана осмотичними явищами. При цьому загальне переміщення цукрового сиропу лімітується швидкістю його дифузійного перенесення, який значно менше швидкості молекулярного руху сиропу під дією капілярних сил.

У зв'язку з цим постає завдання дослідження рослинної сировини з метою виявлення найбільш придатної для виробництва цукатів, тобто сировини, яка б мала максимальне значення коефіцієнта молекулярної дифузії й мінімальне вибіркової. Для цього не обов'язково вимірювати швидкість дифузії різних видів сировини, а достатньо визначити їхні фізико-механічні характеристики. З цією метою необхідно визначити фізичні характеристики різних сортів гарбузів та моркви: пористість, густину, клітинну проникність, структурно-механічні властивості та ін.

Плоди й овочі являють собою складні гетерогенні біологічні системи, фізичні та структурно-механічні властивості яких визначаються хімічним складом, видовими особливостями структури, а також такими фізичними параметрами як густина (фізична та істинна), твердість, пористість. З іншого боку плоди й овочі рослинного походження є капілярно-пористими за структурою і колоїдними за природою. Тому їм притаманна наявність міцел порівнянних з мікрокапілярами, у яких волога зв'язана адсорбційними й осмотичними силами, тобто волога, що знаходиться усередині плодів і овочів, має різну енергію зв'язку із скелетом. Найпростішою фізичною моделлю плодів і овочів може служити гетерогенна система, що складається з трьох фазових складових: твердого скелету, рідини (соку), що заповнює порожнечі (міжклітинники), скелету і пароповітряної суміші, що заповнює вільний від вологи об'єм мікрокапілярів. Кожна з фракцій відрізняється індивідуальними фізико-хімічними й структурно-механічними властивостями, що залежать від природи речовини, температури і вмісту вологи. Тверда фаза чи скелет структури рослинної тканини складається з клітковини, вуглеводів, крохмалю, білків, причому концентрація компонентів різна в різних частинах овочів (внутрішні й зовнішні шари моркви відрізняються за фізичними показниками).

Кінетику процесу дифузії цукрового сиропу в рослинну сировину можна розглянути теоретичним шляхом, виходячи з того, що рослинна сировина є капілярно-пористим тілом, і її просочування рідиною є результатом дії капілярних сил (сил змочування).

Результати дослідження

Швидкість підйому рідини (сиропу) по окремому капіляру визначається за формулою (1):

$$\frac{dl}{d\tau} = \frac{\sigma \cos\theta}{4\eta} \times \frac{r}{\ell}, \quad (1)$$

де ℓ – довжина стовпчика рідини в капілярі, м;
 τ – час просочування, с;
 σ – поверхневий натяг рідини, Н/м;
 η – динамічна в'язкість рідини, Па·с;
 θ – кут змочування капіляра, град;
 r – радіус капіляра, м.

Для зручності подальших перетворень введемо позначення (2):

$$\frac{\sigma \cos \theta}{4\eta} = c, \quad (2)$$

де c – константа для обраної пари рослинна сировина-сироп, м/с.

Тоді формула (1) набуває вигляду (3)

$$\frac{d\ell}{d\tau} = c \frac{r}{\ell}. \quad (3)$$

Вирішення цього рівняння за початкової умови $\ell(\tau=0)=0$ дається за формулою (4):

$$\ell = \sqrt{2cr\tau}. \quad (4)$$

У реальному зразку сировини товщиною d присутні капіляри з різними радіусами r_i в інтервалі $r_{\min} \leq r_i \leq r_{\max}$. Враховуючи це, введемо коефіцієнт заповнення α_i капілярів за формулою (5):

$$\alpha_i = \frac{\ell_i}{d} = \frac{1}{d} \sqrt{2cr_i\tau}. \quad (5)$$

На початку процесу просочування ($\tau = 0$) $\alpha_i = 0$ для всіх капілярів, при $\tau > 0$ в зразку є капіляри, частково – $\alpha < 1$ – і повністю ($\alpha = 1$) заповнені рідиною. Відповідний радіус r_m , для якого $\alpha = 1$ (ця умова виконується і для капілярів з $r > r_m$), визначається умовою (6):

$$\alpha_m = \frac{1}{d} \sqrt{2cr_m\tau} = 1. \quad (6)$$

Звідки для r_m отримуємо вираз (7):

$$r_m = \frac{d^2}{2c\tau}. \quad (7)$$

При збільшенні τ величина τ_m зменшується до τ_{\min} . При відомому $\alpha(\tau)$ можна визначити вміст рідини в капілярах (об'ємний вміст) за формулою (8):

$$W_k = \frac{\rho_c}{\rho_i} \times \frac{\Pi}{1-\Pi} \int_{r_{\min}}^{r_{\max}} \alpha(r) f(r) dr, \quad (8)$$

де ρ_c – густина сиропу, кг/см³;

ρ_i – істинна густина рослинної сировини, кг/см³;

Π – об'ємна пористість сировини;

$\alpha(r)$ – визначається формулою (5);

$f(r)$ – диференціальна функція розподілу капілярів (пор) за радіусами.

Враховуючи визначення (7), можна надати формулі (8) такий вигляд:

$$W_k = \frac{\rho_c}{\rho_i} \times \frac{\Pi}{1-\Pi} \times \frac{\sqrt{2c\tau}}{d} \times \int_{r_{\min}}^{r_{\max}} \sqrt{r} f(r) dr + \frac{\rho_c}{\rho_i} \times \frac{\Pi}{1-\Pi} \times \int_{r_{\min}}^{r_{\max}} f(r) dr. \quad (9)$$

За малих τ основний внесок дає перший інтеграл, і в цьому випадку спостерігається рівняння (10):

$$W_k = K \sqrt{\tau}. \quad (10)$$

Така залежність підлягає перевірці експериментальним шляхом. При великих τ W_k прямує до граничного значення (11):

$$W_{гран} = \frac{\rho_c}{\rho_i} \times \frac{\Pi}{1-\Pi}. \quad (11)$$

Наприклад, для гарбуза можна прийняти такі значення $\rho_i = 1400$ кг/м³, $\Pi = 0,28$, а для цукрового сиропу – $\rho_c = 1600$ кг/см³. Тоді формула (11) дає $W_{гран} = 0,44$. Вологість свіжого гарбуза становить 0,85 ... 0,91, природна пористість – 0,12 ... 0,17. Це означає, що гарбуз містить, окрім капілярної, ще й осмотичну вологу, яка міцно пов'язана зі структурою сировини і практично не бере участі в процесі її просочування цукровим сиропом.

Для визначення залежності $W_k(\tau)$ згідно з формулою (9) необхідно знати функцію розподілу капілярів за розмірами – $f(r)$. Її можна визначити за формулою (12):

$$f(r) = \frac{b-c+a \ln r}{r^2} \exp\left(-\frac{a \ln r + b}{r}\right), \quad (12)$$

де a, b – постійні величини, які знаходяться з десорбційної кривої [4].

Тоді,

$$W = W_T \left(-\frac{a \ln r + b}{r} \right), \quad (13)$$

де W_T – значення гігроскопічного вологовмісту.

Для гарбуза $a = 0,948$, $b = 2,365$, $W_T = 0,77$, тоді формула (12) приймає такий вигляд (14):

$$f(r) = \frac{1,42 + 0,948 \ln r}{r^2} \exp \left(-\frac{0,948 \ln r + 2,365}{r} \right), \quad (14)$$

При відомому вигляді $f(r)$ формулу (9) можна звести до виразу (15)

$$W_k = \frac{\rho_c}{\rho_i} \times \frac{\Pi}{1 - \Pi} \left(\frac{1}{\sqrt{r_m}} I_1(r_m) + I_2(r_m) \right), \quad (15)$$

$$\text{де } I_1 = \int_{r_{\min}}^{r_{\max}} \sqrt{r} f(r) dr, \quad I_2 = \int_{r_{\min}}^{r_{\max}} f(r) dr, \quad (16)$$

Інтеграл (16) можна обчислити графічним шляхом з використанням значень Π , ρ_c , ρ_i і для гарбуза з наведеними вище значеннями цих величин результати обчислення наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Розрахункові значення інтегралів I_1 і I_2

$r_m, \text{ нМ}$	$1/r_m, \text{ нМ}^{1/2}$	$I_1, \text{ нМ}^{1/2}$	I_2	$\frac{I}{\sqrt{r_m}}$	$\frac{I}{\sqrt{r_m}} + I_2$	W
100,0	0,01	2,67	0,00	0,27	0,27	0,12
25,0	0,04	2,00	0,20	0,40	0,60	0,26
9,0	0,11	1,30	0,40	0,43	0,83	0,36
3,0	0,32	0,80	0,50	0,46	0,96	0,42
0,5	2,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,44

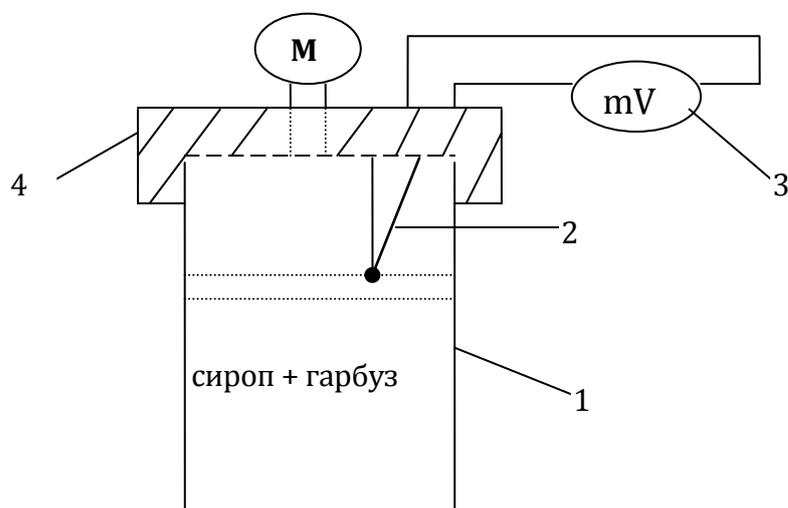
Залежність $W_k(r_m)$ перераховується в $W_k(\tau)$ із використанням (7).

Аналізуючи проведені теоретичні викладки, можна зробити такі висновки:

1. Із формули (9) виходить, що в початковий період просочення сировини цукровим сиропом основний внесок у збільшення вмісту сухих речовин дає перший інтеграл. А тому, такі фізичні характеристики цукрового сиропу, як поверхневий натяг, в'язкість, змочування мають мінімальний вплив на швидкість просочення сировини цукровим сиропом.

2. На другому етапі просочення сировини цукровим сиропом основний внесок в приріст вмісту сухих речовин вносить другий інтеграл, величина якого, як виходить з таблиці 1, спрямовується до одиниці. Тобто, збільшення вмісту сухих речовин у даному випадку, в основному, визначається пористістю сировини і лише незначною мірою на цей процес впливає густина сировини.

Ці теоретичні результати підлягають порівнянню з експериментальними даними. Тому в подальшому було проведено експериментальні дослідження впливу фізичних чинників, а саме тиску атмосферного повітря на кінетику просочування рослинної сировини (гарбуза) цукровим сиропом. Експериментально досліджено вплив надлишкового тиску повітря і його розрідження [3]. Для цього дослідження було виготовлено установку, схема якої наведено на рис. 1.



Примітки: 1 – корпус циліндра; 2 – термопара; 3 – прилад для вимірювання температури сиропу; 4 – кришка установки; 5 – манометр.

Рис. 1. Схема установки для вимірювання надлишкового тиску повітря і температури сиропу:

Результати насичення цукатів цукровим сиропом при тиску $1,5 \times 10^5$ наведено на рис. 2.

В якості рослинної сировини використано зразки гарбуза сорту Мозолевський, які здрібнені на дзиговій овочерізці та висушені змішаним теплопідводом (ЗТП-сушіння) до залишкової вологості 8 ... 10 % (методику ЗТП-сушіння викладено в праці [5]). Зразки гарбуза містилися в ситечко, що занурювалося потім у підігрітий до температури 70 ... 75 °С цукровий сироп при концентрації вода-цукор 1:2 [7]. Дослідження проводились при надлишкових тисках $0,5 \times 10^5$ Па, $1,0 \times 10^5$ П, $1,5 \times 10^5$ Па, які показали що величина надмірного тиску чинить незначний вплив на швидкість просочування капілярів гарбуза цукровим сиропом.

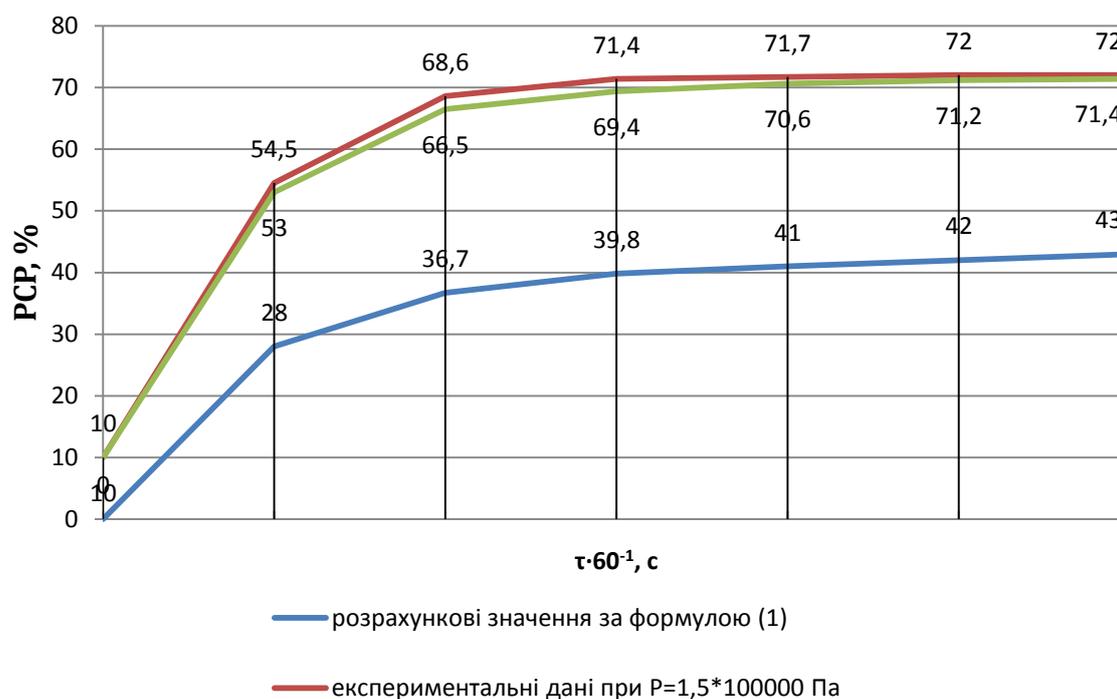


Рисунок 2 – Кінетика вмісту розчинних сухих речовин (РСР) у цукатах під час виробництва за різних умов

Таким чином, результати дослідження (рис. 2) підтверджують теоретичні основи, які викладені вище: дифузія цукрового сиропу в рослинну сировину здійснюється капілярними силами (силами змочування). На цей процес основний вплив здійснює пористість сировини. Скоротити час приготування цукатів можна шляхом штучного збільшення пористості рослинної сировини або руйнування клітинної оболонки (мембрани) рослинної сировини.

Перелік використаних джерел

1. Боровський В. Цукати з овочів та фруктів / В. Боровський, В. Ратушняк, О. Голінько // Харчова і переробна промисловість. – 1995. – № 311. – С. 19-21.
2. Даурский А. Н. Цукаты и подварки: новые технологические решения / А. Н. Даурский [и др.] // Пищевая промышленность. – 1996. – № 2. – С. 5.
3. Захаренко В. А. Влияние физических факторов на формирование качества цукатов / В. А. Захаренко [и др.] // Товары XXI столетия : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 24-25 жовтня 2002 р. : у 2 ч. – Полтава : РВВ ПУСКУ, 2002. – Ч II. – С. 55-57.
4. Захаренко В. А. Нахождение аналитического выражения для кривых сорбции-десорбции сыпучих материалов / В. А. Захаренко // Механика сыпучих материалов : тезисы докладов 5-й Всесоюзной научной конференции, 17-19 сентября 1991 г. – Одесса : [Б. и.], 1991. – С. 65.

5. Погожих Н. И. Основы технологии и теории сушки пищевых материалов смешанным теплоподводом / Н. И. Погожих. – Харьков : [Б. и.], 1997. – 361 с.

6. Способ производства цукатов : авт. св-во 976933 СССР, МКИЗ А23L1/06 / Л. И. Мироненко, О. А. Кремнев, В. Р. Боровский, М. Д. Коросташ, Л. М. Мишнаевский. – № 3251738/28-13 ; заявл. 20.02.81 ; опубл. 30.11.82, Бюл. № 44. – 2 с.

7. Цукати. Технічні умови : ДСТУ 6075:2009 – [Чинний від 2009-01-20]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2010. – 18 с.

© Т. А. Непочатих

Some theoretical and practical approaches to the production of candied fruit based on raw plant materials

Непочатих Тетяна

*Kharkiv Institute of Trade and Economics of Kyiv National University of Trade and Economics,
Associate Professor of Commodity expertise and quality of goods, PhD in Technics, Associate
Professor, Ukraine*

Abstract. This article deals with studying the impact of external physical factors on the acceleration of the process of candied fruit production. It is proved, that the diffusion of sugar syrup into raw plant carried in by capillary forces, or the forces of wetting. The porosity of materials affects this process the most. To reduce cooking time is possible by artificial increasing the porosity of plant material or by the destruction of the cell membrane of the plant material.

Keywords: capillary, porosity, diffusion, plant material, candied fruit.

© Т. Непочатих