

УДК 66.047

КІНЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУШІННЯ КРАПЕЛЬ ЯБЛУЧНОГО СОКУ ТА КОМПОЗИЦІЙ З МОЛОЧНИМИ БІЛКАМИ

Малецька К.Д., докт. техн. наук, Авдєєва Л.Ю., докт. техн. наук, Турчина Т.Я., канд. техн. наук,
Макаренко А.А., канд. техн. наук

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. М. Капніст 2а, м. Київ, 03680, Україна

<https://doi.org/10.31472/ttpe.3.2022.5>

Досліджено кінетику сушіння яблучного соку, який в розпилювальному сушінні проявляє термопластичні і адгезійні властивості через високий вміст органічних кислот і вуглеводів. Показано позитивний вплив молочних білків в композиції з соком на зміцнення структури часток і їх термостійкість при сушінні.

The kinetics of drying of apple juice, which exhibits thermoplastic and adhesive properties in spray drying due to the high content of organic acids and carbohydrates, has been studied. The positive effect of milk proteins in the composition with juice on strengthening the structure of particles and their heat resistance during drying is shown.

Бібл. 11, рис. 3, табл. 4.

Ключові слова: яблучний сік, крапля, кінетика сушіння, термограма, термопластичність, молочні білки.

Постановка проблеми. Останнім часом на тлі значного погіршення екологічної, техногенної і епідеміологічної ситуації в більшості країн світу, що негативно впливає на якість життя та загальний стан здоров'я населення, зростає попит на продукти оздоровчого, лікувально-профілактичного призначення та на спеціальні (функціональні) добавки з натуральної рослинної сировини. Постає питання ефективного використання великого потенціалу України – фруктово-овочевої, плодово-ягідної та інших видів рослинної сировини для розширення асортименту продуктів оздоровчого призначення для дітей, військових, спортсменів та людей похилого віку.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Серед великого асортименту вітчизняних видів рослинної сировини плоди яблук і яблучний сік, як відомо [1-3], характеризуються значною РР-вітамінною активністю і є джерелом пектину, комплексу вітамінів С і групи В, Е, органічних кислот, цінних мінеральних речовин, зокрема, заліза, кальцію, калію, магнію, фосфору, цинку та інших. Комплекс розчинних пектинових, для яких характерні низькі температури плавлення (75-80°C), та ін. корисних біоактивних речовин, які потрапляють до віджатих з плодів яблук соків, поліпшують обмін речовин в організмі людини та сприяють виведенню отруйних, канцерогенних елементів, важких металів та холестерину. Тому багаті на біоактивні речовини пло-

ди яблук та продукти на їх основі рекомендовані для профілактики різних важких захворювань [1, 2, 4].

У зв'язку з цим в харчовій промисловості зростає попит на різні види продукції з натуральної плодово-ягідної сировини. В якості харчової сировини ця продукція використовується в кондитерських, молочних, кисломолочних, хлібо-булочних і ін. видах виробів для покращення органолептичних характеристик і підвищення біологічної цінності.

Для переробки сировини з високим вмістом термолабільних біологічно активних речовин широко використовується сушіння методом розпилювання. Однак, одержання сухих концентратів з освітлених, неосвітлених соків, а також соків з м'якоттю, методом розпилювання має певні складнощі [5-7]. Це пов'язано з тим, що яблучні соки і пюре містять цілий комплекс органічних кислот (яблучну, лимонну та ін.), які у поєднанні з великою кількістю простих вуглеводів, як показано у таблиці 1, представлених глюкозою, фруктозою та сахарозою, є головними чинниками в'язко-пластичного стану висушуваних часток у нагрітому повітрі в сушильній камері, що призводить до стикання і подальшого налипання їх на гарячі поверхні. Термопластичні (адгезійні) властивості матеріалу в камері розпилювальної сушарки і гігроскопічні – у стані висушених порошків погіршують їх органолептичні і фізико-хімічні показники, знижують вихід продукту, а

також ускладнюють умови їх своєчасного вилучення з камери, сепарації та зберігання у сипкому стані. Зупинки такого енергоємного обладнання, як розпилювальні сушарки, для очищення камери від накопиченого на стінках камери шару продукту негативно впливають на ефективність їх роботи і рентабельність виробництва, знижують собівартість продукції. Для досягнення ефективного сушіння та отримання прийнятного продукту умови сушіння повинні бути оптимізовані [5].

Покращувати умови сушіння дозволяє використання структуруючих добавок різних видів, до яких відносяться білкові продукти різного походження. Як відомо [5, 8-11], білкові продукти із знежиреного молока та підсирної сироватки сприяють управлінню процесами структуроутворення та тепломасопереносу при розпилювальному сушінні складних колоїдних систем з фруктової сировини і дозволяють отримувати високоякісні продукти оздоровчого призначення у порошковій формі. Для підготовки дисперсних систем до сушіння і одержання гомогенної структури композиційних рідких продуктів із заданими властивостями використовуються різні прийоми обробки і обладнання.

В табл. 1 наведено хімічний склад основних використаних складових фруктово-білкових композицій: яблучного соку, сухого знежиреного молока і концентратів підсирної сироватки. Вміст органічних кислот в яблучному соці становить: L-яблучна – не менше 0,3 г/100

мл; лимонна - 0,005-0,015 г/100 мл. Загальний вміст органічних кислот в сухому знежиреному молоці – 1 г/100 мл [12-14].

Створення композицій з «важкосохнучих» продуктів - фруктових соків, що містять органічні кислоти (табл.1), у поєднанні з білками знежиреного молока або підсирної сироватки різного білкового складу, (табл. 1, табл. 2), дає можливість поліпшити структуроутворюючі властивості матеріалу і підвищити його термостійкість при розпилювальному сушінні. Це дозволить не тільки управляти процесами тепломасопереносу при зневодненні та структурно-механічними характеристиками висушених порошків, а й водночас збагатити кінцевий продукт цінними білковими речовинами, що важливо для розширення асортименту високоякісних білкововмісних продуктів оздоровчого призначення вітчизняного виробництва.

Розробка і впровадження інноваційних технологій виробництва якісних композиційних харчових порошків і концентратів з підвищеною біологічною цінністю і вираженими профілактичними, захисними і імуностимулюючими властивостями є своєчасним і актуальним завданням. Проте для його вирішення дані складні за хімічним складом «важкосохнучі» продукти вимагають вивчення кінетики їх сушіння і визначення шляхів покращення структурно-механічних характеристик порошку та підвищення термостійкості матеріалу при сушінні.

Таблиця 1. Хімічний склад яблучного соку, сухого знежиреного молока та концентратів підсирної сироватки у г/100 г продукту

Найменування продукту	Вода	Білки	Жири	Вуглеводи	Зола
Яблучний сік промислового виробництва	88,0	0,1	0,1	9,9	-
Молоко сухе знежирене	4,0	37,9	1,0	49,3	6,8
Концентрат сироватковий білковий (КСБ-УФ)	4,0	55,0	7,4	27,0	6,6
Концентрат сироватковий білковий (КСБ-УФ-ЕД)	3,6	57,0	7,1	30,0	2,3
Сироватка суха демінералізована (СД-ЕД)	4,5	13,0	0,7	80,5	1,3

Таблиця 2 Склад типових сухих концентратів сироваткових білків у % (КСБ)

Продукт	1	2	3	4
Білок у сухому залишку	35	50	65	80
Волога	3,8			
Неочищений білок	36,2	52,1	63,0	81,0
(Nx6.38)				
Чистий білок	29,7	40,9	59,4	75,0
Лактоза	46,5	30,9	21,1	3,5
Зола	7,8	6,4	3,9	3,1
Молочна кислота	2,8	2,6	2,2	1,2

Мета роботи. Дослідити кінетичні характеристики зневоднення крапель яблучного соку та композицій з молочними білками для визначення доцільності їх застосування в якості структуруючих добавок для одержання порошкової форми продуктів оздоровчого призначення на основі яблучного соку методом розпилювання.

Матеріали та методи досліджень

- концентрат яблучного соку (далі КЯС) з вмістом сухих речовин 78% згідно з ДСТУ ISO 8128-2:2014 «Сік яблучний, концентрати соків яблук і напої, що містять сік яблука. Визначення вмісту патуліну. Частина 2. Метод з використанням тонкошарової хроматографії (ISO 8128-2:1993, IDT)»;

- яблучне пюре (далі – ЯП) згідно з ДСТУ 8639:2016 «Пюре-напівфабрикати фруктові. Загальні технічні умови»;

- сухе знежирене молоко (далі – СЗМ) згідно з ДСТУ 4273:2015 «Молоко та вершки сухі. Загальні технічні умови»;

- концентрат сироваткового білку (далі – КСБ) WPC-80 з вмістом білка не менше 80%, одержаний методом ультрафільтрації підсирної сироватки у виробництві твердих сирів (виробник Milkiland, Островія, Польща) або згідно з ДСТУ 4458:2005. «Концентрати білкові молочні. Технічні умови».

Підготовка рідких композицій до розпилювального сушіння: змішування, диспергування та гомогенізація суміші вихідних білкових компонентів та фруктово-ягідної сировини (соків) здійснювалась на дослідно-промисловому роторно-пульсаційному апараті (РПА) циліндричного типу, розроблений в ІТТФ НАН України, число обертів $n=3000$ об/хв., варіант збірки - статор-ротор-статор з міжциліндровим просвітом - $0,5...0,8$ мм.

Експериментальний стенд для дослідження кінетики сушіння одиничних крапель рідких систем у потоці нагрітого теплоносія [6].

Масова частка сухих речовин в рідкому продукті визначалася за ДСТУ 7804:2015 «Продукти переробляння фруктів та овочів. Методи визначення сухих речовин або вологи».

Результати наукових досліджень.

Дослідження кінетики сушіння крапель яблучного соку різного вмісту сухих речовин проводились в системі «крапля-парагазове середовище» на експериментальному стенді в потоці нагрітого до температури $T_n=135$ °C і 170 °C теплоносія (повітря), при цьому розмір крапель рідких композицій, що навішувались на спай термопари, складав $\delta_0 \approx 1,5 \cdot 10^{-3}$ м.

Отримані при проведенні досліджень термограми $T_k=f(\tau)$, наведені на рис. 1, показують динаміку зміни температури краплі у часі в залежності від вмісту сухих речовин та температури теплоносія. Для крапель яблучного соку з $C_0=14,0\%$ (рис. 1, а) характерно протікання процесу зневоднення у два періоди: випарювальному та сушильному, які на термограмах поділені критичною крапкою кр.1. У випарювальному періоді, який розпочинається одразу після незначного за часом періоду прогрівання краплі, процес випарювання вологи з вільної поверхні краплі відбувається при температурі краплі, близькій до температури вологого термометру: $T_k \approx T_{m.t} = 41...44$ °C ($T_n=135$ °C) та $T_k \approx T_{m.t} = 51...56$ °C ($T_n=170$ °C).

Сушильний період для даного продукту складається з трьох стадій: кіркоутворення (відрізок між критичними крапками кр.1 та кр.2), кипіння (поміж крапками кр.2 та кр.3) та стадії досушування (від критичної крапки кр.3 і до виходу температури краплі на температуру теплоносія $T_k=T_n \approx \text{const}$).

В стадії кіркоутворення зміна температури краплі T_k протікає за параболічною кривою, що переходить у лінійну залежність від часу, яка є постійною вели-

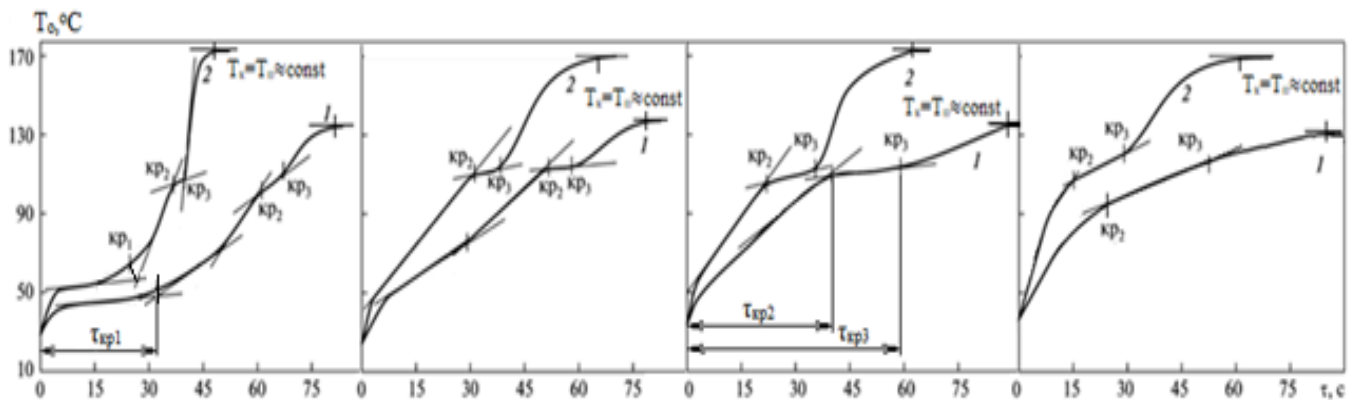


Рис. 1. Термограми сушіння крапель яблучного соку при температурі теплоносія:

1 – $T_n=135$ °C; 2 – $T_n=170$ °C та вмісті сухих речовин: а) $C_0=14,0\%$ б) $C_0=29,0\%$; в) $C_0=37,0\%$; г) $C_0=53,0\%$

чиною $(dT_k/d\tau)_{\text{крк}} = \text{const}$ і визначає темп прогрівання краплі у цій стадії. До речі, для соку з $C_o = 14,0\%$ за результатами розрахункової обробки термограм визначено найбільший темп прогрівання крапель у стадіях кіркоутворення та досушування, а стадія кипіння – найкоротша за решту соків.

Для яблучного соку з $C_o = 29,0\%, 37,0\%; 53,0\%$ (рис. 1 б, в, г) характер термограм змінюється. За відсутністю випарювального періоду процес кіркоутворення в умовах швидкого зростання інтегральної температури краплі відбувається безпосередньо після прогрівання краплі. Це можна пояснити лімітуючою дією її поверхневого шару, в якому концентрація розчинних речовин швидко зростає.

Ця особливість призводить до підвищення в'язкості та погіршення паропровідних властивостей біополімерної поверхневої оболонки, що ускладнює дифузійний процес вологопереносу крізь неї через зростання градієнту її опору. Як наслідок, незалежно від температури теплоносія при збільшенні вмісту сухих речовин у соку закономірно відбувається скорочення стадії кіркоутворення і збільшення стадій кипіння та досушування. Так, за даними таблиці 3, отриманими при обробці термограм сушіння крапель яблучного соку різного вмісту сухих речовин (рис. 1), тривалість процесу зневоднення крапель яблучного соку до крапки кр.2 ($\tau_{\text{кр.2}}$) визначається темпом їх прогрівання у стадії кіркоутворення $(dT_k/d\tau)_{\text{крк}}$ і суттєво зменшується для крапель з більшим вмістом розчинних речовин і, тим більш, при підвищенні температури теплоносія від 135°C до 170°C . При цьому значення високого темпу прогрівання (табл. 3) крапель первинного соку (14%) означає високу вірогідність негативного теплового впливу на термолабільні складові продукту, хоч і короткочасного.

Згідно даних табл. 3 для крапель соків з $C_o = 29\%$ і 53% характерно скорочення відносної тривалості процесу зневоднення до крапки кр.3 до рівня значень $\tau_{\text{кр3}}/\tau_{\text{заг}} \leq 0,73$ при $T_n = 135^\circ\text{C}$ та $\tau_{\text{кр3}}/\tau_{\text{заг}} \leq 0,58$ при $T_n = 170^\circ\text{C}$ ще в більшій мірі. Тобто у відносних значеннях тривалість стадії досушування відповідно зростає, при чому при температурі теплоносія $T_n = 170^\circ\text{C}$ значно більше, як показано на рис.2 (крива 2).

Процес сушіння краплі з найбільшою концентрацією сухих речовин ($C_o = 53\%$) протікає з найбільшим серед концентрованих (рис. 1, б, в) темпом прогрівання краплі в стадії кіркоутворення завдяки більшій інтенсивності виділення сухої фази на її поверхні і наросування її товщини в глибину краплі. Утворення щільної непроникливої оболонки на поверхні крапель

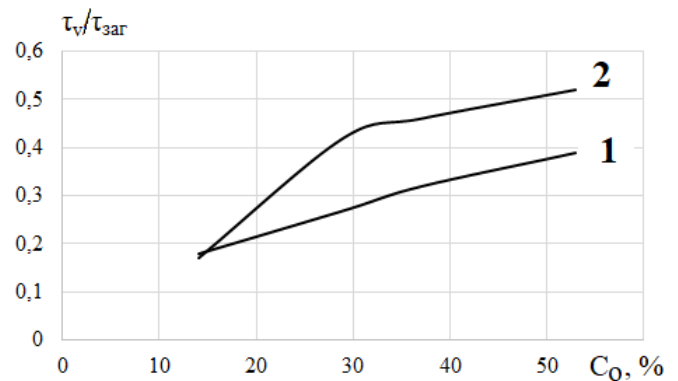


Рис. 2. Залежність відносної тривалості стадій досушування крапель яблучного соку від вмісту сухих речовин при температурі теплоносія: 1 – $T_n = 135^\circ\text{C}$; 2 – $T_n = 170^\circ\text{C}$

цього продукту ($C_o = 53\%$) при температурі теплоносія $T_n = 170^\circ\text{C}$ (рис. 1, г) призводить до значного подовження тривалості як стадії кипіння ткип (табл. 1), так і стадії досушування (від кр.3 і до завершення процесу) (рис. 2). При цьому збільшується вірогідність прояву адгезійних якостей краплі із термопластичними властивостями через цілком ймовірний підвищений залишковий вологовміст. Крім того, при такому темпі прогрівання крапель є вірогідність негативних фізико-хімічних перетворень цінних речовин продукту, що висушується.

При дослідженні фізичного стану висушених крапель яблучного соку було встановлено, що незалежно від вмісту сухих речовин висушені краплі (частки) у потоці теплоносія перебували у в'язко-пластичному стані, піддавались деформації, руйнуванню, проявляли адгезійні властивості. Отже, починаючи зі стадії кіркоутворення (кр.1-кр.2), у стадії кипіння і до завершення стадії досушування (кр.3 – $T_k \approx T_n$), температурно-вологісний стан поверхні краплі сприяв прояву термопластичних властивостей краплею матеріалу, що містить комплекс вуглеводів і органічних кислот. Саме цим обумовлюються адгезійність часток при стиканні з поверхнею стінок камери або стелі. Після охолодження такі частки твердішали.

Таким чином, для продуктів, що містять велику кількість органічних кислот та вуглеводів, скорочення процесу зневоднення крапель до крапки кр.3 до значень $\tau_{\text{кр3}}/\tau_{\text{заг}} \leq 0,6 \dots 0,7$ і відповідного збільшення стадії досушування до значень $\tau_v/\tau_{\text{заг}} \geq 0,3 \dots 0,4$ може свідчити про високу вірогідність утворення відкладень на стінках камери з ознаками адгезійних налипань порошкового продукту.

Таблиця 3. Кінетичні характеристики процесу зневоднення крапель яблучного соку

$T_n, ^\circ\text{C}$	135	170	135				170			
$C_o, \%$	$(dT/d\tau)_{\text{крк}}$		$\tau_{\text{кр.2}}, \text{с}$	$\tau_{\text{кип}}, \text{с}$	$\tau_{\text{кр.3}}, \text{с}$	$\tau_{\text{кр.3}}/\tau_{\text{заг}}$	$\tau_{\text{кр.2}}, \text{с}$	$\tau_{\text{кип}}, \text{с}$	$\tau_{\text{кр.3}}, \text{с}$	$\tau_{\text{кр.3}}/\tau_{\text{заг}}$
14,0	3,03	4,9	61,5	6,5	68,0	0,82	37,0	3,0	40,0	0,83
29,0	1,65	2,22	49,5	7,5	57,0	0,73	30,0	7,0	37,0	0,58
37,0	1,48	2,82	40,0	10,0	60,0	0,68	22,0	13,0	35,0	0,54
53,0	2,96	5,55	25,0	27,0	52,0	0,61	15,0	14,0	29,0	0,48

Виявленні особливості кінетики сушіння крапель яблучного соку дозволяють спрогнозувати виникнення низки ускладнень при розпилювальному сушінні:

- низький вихід порошку через утворення відкладень і налипання продукту на стінках камери,
- погіршення органолептичних характеристик через руйнування термолабільних складових соку при сушінні,
- підвищена вологість порошку, грудкування через гігроскопічність та малий термін зберігання.

Усі ці прогнози були підтверджені при апробації процесу розпилювального сушіння яблучного соку на експериментальній розпилювальній сушарці ІТТФ НАН України РЦ-1,3, що свідчило про необхідність застосування спеціальних харчових добавок, здатних підвищити міцність структури каркасу та паропровідні властивості висушуваних часток.

Результати наведених експериментальних досліджень показали, що з метою збереження біоактивних речовин яблучної сировини при розпилювальному сушінні доцільно розробляти композиції на їх основі з додаванням спеціальних харчових добавок. Такі добавки мають бути виключно природного походження, а їх фізико-хімічні характеристики мають сприяти зменшенню прояву термопластичних і адгезійних властивостей в розпилювальній сушарці та гігроскопічності порошоків.

Вплив молочних білків на характер термограм сушіння яблучно-білкових композицій. В якості структуруючих добавок до яблучного соку використовувались молочні продукти: сухе знежирене молоко (СЗМ) та концентрат підсирної сироватки (КСБ).

На основі концентрату яблучного соку (КЯС), який виробляється вітчизняними консервними підприємствами з вмістом сухих речовин $C_{\text{с.р.}} \geq 78\%$, та продуктів, що містять молочний білок: СЗМ або КСБ були підготовлені композиції із співвідношення складових – 2:1 за сухими речовинами.

Дослідження кінетики сушіння крапель яблучно-білко-вих композицій з вмістом сухих речовин $C_o = 32...35\%$ проводились за аналогічних умов в системі «крапля-парагазове середовище» на експериментальному стенді в потоці нагрітого до температури $T_n = 135^\circ\text{C}$ теплоносія. Отримані термограми сушіння крапель яблучно-білкових композицій (криві 2, 3, 4), а також для порівняння крапель упареного до вмісту сухих речовин $C_o = 35\%$ яблучного соку без добавок (крива 1) та яблучного пюре (ЯП) з введеним крохмалем, вміст сухих речовин якого через складні реологічні властивості складав лише $C_o = 14\%$ (крива 5), наведені на рис. 3.

Аналіз наведених термограм дозволяє стверджувати, що в разі зневоднення крапель яблучно-білкових композицій (рис. 3, криві 2, 3, 4) темп прогрівання крапель в стадії кіркоутворення зменшується у порівнянні з темпом прогрівання крапель яблучного соку (рис. 3, крива 1), але у порівнянні з композицією ЯП+крохмаль (рис. 3, крива 5) цей показник збільшується у 1,5...2,0 рази.

Крім цього, за візуальними спостереженнями та характером термограм (криві 2, 3, 4) структуруючі добавки (молочні білки) сприяють покращенню умов протікання і стабілізації процесу вологовидалення, а також відсутності прояву термопластичних та адгезійних властивостей висушуваними частками.

Цікаво було відмітити найбільше скорочення стадії кипіння при зневодненні краплі композиції КЯС+КСБ (крива 2) з миттєвими стрімкими деформаційними коливаннями поверхневої оболонки краплі. Коливання температури краплі у стадії кипіння на термограмі з подальшим її зростанням викликаний тим, що на момент виходу температури краплі на рівень $\geq 100^\circ\text{C}$ структура поверхневого шару досягає такої щільності, при якій процес вологовидалення гальмується. Подальше зростання градієнту тиску водяної пари на поверхні розділу фаз призводить до роздування і навіть розривів поверхневої оболонки з викидами водяної пари, при

цьому температура краплі падає на декілька градусів (крива 2). Як бачимо, введення концентрату сироваткового білку сприяло утворенню більш крихкої і менш еластичної структури поверхневого шару краплі у порівнянні з краплями КЯС+СЗМ (крива 3).

Як видно з характеру термограм, білки знежиреного молока проявляли більш пластичні властивості, що сприяло стабільному протіканню стадії кипіння при зневодненні цих зразків (криві 3, 4) без розривів поверхневої кірочки і занадто великих деформативних змін форми крапель.

Як відомо [5,7], на момент завершення стадії кипіння (крапка кр.3) крапля містить максимальну гігроскопічну вологу, яка визначає температурно-вологісний стан краплі на виході з факелу розпилу у «пристінній зоні» камери розпилювальної сушарки. А як видно на рис.3, темп прогрівання крапель композицій з білками (криві 2, 3, 4) у стадії досушування більший за темп прогрівання краплі яблучного соку, що свідчить про покращення структуруючих та паропровідних властивостей поверхневого шару цих крапель (часток) і покращення умов їх висушування, і як наслідок, зниження вірогідності прояву термопластичних і адгезійних властивостей. Дослідження фізичного стану висушених часток показали, що частки мали міцну структуру і не проявляли термопластичних і адгезійних властивостей ні в потоці гарячого теплоносія, ні після охолодження поза його межами.

за характером термограм процес зневоднення ЯП з крохмалем (крива 5) відрізнявся від решти композицій більш рівномірним видаленням вологи без деформаційних змін форми та розмірів крапель при

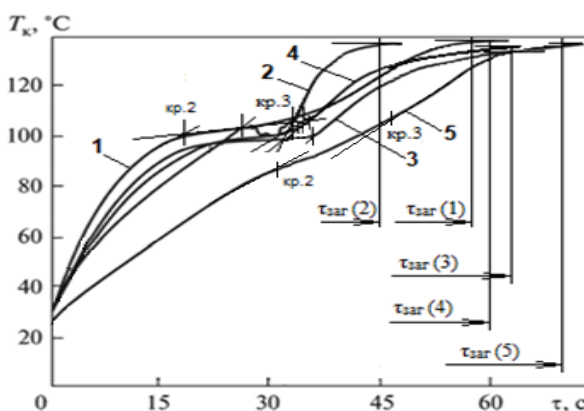


Рис. 3. Термограми сушіння крапель композицій на основі яблучного соку та пюре:

1 – КЯС; 2 – КЯС+КСБ; 3 – КЯС+СЗМ;
4 – КЯС+СЗМ+глюкоза; 5 – ЯП+крохмаль

значно меншому (у 2,5 рази у порівнянні з КЯС) темпі їх прогрівання впродовж усього часу зневоднення, що сприяло зниженню термічного впливу на термолабільні речовини висушуваного продукту завдяки структуруванню поверхневої кірочки висушуваної частки мікрочастинками нерозчинних фракцій клітковини та волокон плода яблука.

з усіх зразків найменший загальний час сушіння належить композиції яблучного соку з білками сироватки (крива 2), однак це може бути пов'язано і з розривами кірочки під час стадії кипіння і викидів водяної пари. За результатами розрахунків (табл. 4) значення відносної тривалості стадії досушування для крапель яблучного соку та яблучно-білкових композицій з СЗМ (криві 1, 3, 4) достатньо близькі і складають $\tau_v/\tau_{\text{заг}}=0,38-0,41$, а для композиції КЯС+КСБ (крива 2) значення відносної тривалості стадії досушування зменшилось до $\tau_v/\tau_{\text{заг}}=0,27$, що свідчить про більшу ефективність білків КСБ у процес структурування поверхневого шару висушуваних часток. Отримання сухої міцної структури часток яблучного соку з введеними білками без ознак адгезійності доводить доцільність їх використання для покращення умов сушіння термопластичного матеріалу – яблучного соку – як об'єкту розпилювального сушіння.

Результати досліджень показали доцільність використання молочних білків як структуруючих добавок при розробці нових композиційних продуктів оздоровчого призначення на основі фруктових соків. Для більш ефективного вирішення питань структуроутворення та термостійкості матеріалу при сушінні пропонується застосування комплексу білків знежиреного молока та концентрату сироваткового білку, перший з яких своєю еластичністю сприяє уникненню розтріскування кірочки висушуваної частки в стадії кипіння, а другий сприятиме більшому збереженню цінних термолабільних складових соку за рахунок зниження темпу прогрівання крапель в стадіях кіркоутворення і досушування.

Таблиця 4 Кінетичні характеристики процесу зневоднення крапель яблучного соку, яблучно-білкових композицій та яблучного пюре з крохмалем при $T_n=135^\circ\text{C}$

№ ПП	Склад Композиції	Со, %	$\tau_{\text{кр.3}}, \text{с}$	$\tau_{\text{кр.3}}/\tau_{\text{заг}}$
1.	КЯС	35	35	0,62
2.	КЯС+КСБ	32	33	0,73
3.	КЯС+СЗМ		37	0,59
4.	КЯС+СЗМ+ + глюкоза	34	36	0,60
5.	ЯП+крохмаль	14	47	0,67

Отже, поєднання фруктових соків з молочними білками дозволяє управляти кінетикою процесу сушіння, структурно-механічними характеристиками отриманих методом розпилювання порошків, корегувати їх органолептичні властивості, сприяти підвищенню їх термостійкості та збереженню цінних біоактивних складових при сушінні.

Висновки. Проведені дослідження дозволили встановити кінетичні характеристики зневоднення крапель термопластичного матеріалу – яблучного соку і композицій з молочними білками. За результатами досліджень встановлено доцільність створення композицій з яблучного соку та молочних білків (КСБ та СЗМ), які забезпечують покращення структуруючих і паропровідних властивостей матеріалу при сушінні, за рахунок чого можна отримувати порошкові продукти мінімальної кінцевої вологості, здатні до тривалого зберігання у сипкій формі. Поєднання яблучного соку з молочними білками в єдиній композиції сприяє зміцненню каркасу часток та підвищенню термостійкості матеріалу при розпилювальному сушінні, а за рахунок покращення структурно-механічних характеристик забезпечує більший вихід та високу якість порошкового продукту.

Встановлено доцільність застосування в композиціях з яблучним соком комплексу білків знежиреного молока та підсирної сироватки, перший з яких своєю еластичністю сприятиме уникненню розтріскування кірочки висушеної частки при сушінні, а другий – більшому збереженню цінних термолабільних складових соку за рахунок зниження термічної дії на продукт.

ЛІТЕРАТУРА

1. Vidović S., Horecki A.T., Vladić J., Šumić Z., Gavarić A., Vakula A.: Chapter 2 - Apple, Editor(s): Charis M. Galanakis, Valorization of Fruit Processing By-products, Academic Press, 2020, P. 17-42. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817106-6.00002-2>.
2. Aayush K., McClements D. J., Sharma S., Sharma R., Pal Singh G., Sharma K., Oberoi K.: Innovations in the development and application of edible coatings for fresh and minimally processed Apple, Food Control, 2022, V. 141. 109188, <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109188>.
3. Murakonda S., Patel G., Dwivedi M.: Characterization of engineering properties and modeling mass and fruit fraction of wood apple (Limonia acidissima) fruit for post-harvest processing, Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 2022. V.21. Is.4. P. 267-277, <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.09.005>
4. Clare M. Hasler: Functional Foods: Benefits, Concerns and Challenges - A Position Paper from the American Council on Science and Health, The Journal of Nutrition, 2002. V.132, Is.12. P. 3772–3781, <https://doi.org/10.1093-/jn/132.12.3772>
5. Долинский А. А., Малецкая К. Д.: Распылительная сушка: в 2-х т. Т. 1. Теплофизические основы. Методы интенсификации и энергосбережения. Киев: Академперіодика, 2011. 376с.
6. Xiao Dong Cheng: Heat-Mass Transfer and Structure Formation During Drying of Single Food Droplets. Drying Technology. 2004. V.22, Is. 1-2. P. 179-190. <https://doi.org/10.1081/DRT-120028226>
7. Долинський А.А., Турчина Т.Я., Жуковський Е.К. Сучасні методи впливу на структуруючі властивості складних матеріалів як об'єктів розпилювального сушіння. Микро- и наноуровневые процессы в технологиях ДИВЭ. Тематический сборник статей. Киев: Академперіодика, 2015. С. 351-358.
8. Pinto G., Illiano A., Caira S., Addeo F., Ferranti P., Amoresano A. Old and New Technological Processes to Produce Ingredients From New Sources: Characterization of Polyphenols Compounds in Food and Industrial Wastes, Reference Module in Food Science, Elsevier, 2022, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823960-5.00025-1>.
9. Daniele da Silva Bastos, Maria do Pilar Gonçalves, Cristina Tristão de Andrade, Kátia Gomes de Lima Araújo, Maria Helena Miguez da Rocha Leão: Microencapsulation of cashew apple (Anacardium occidentale, L.) juice using a new chitosan–commercial bovine whey protein isolate system in spray drying, Food and Bioproducts Processing, 2012. V.90 Is.4. P. 683-692, <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.04.005>.
10. Coelho Pinheiro M.N., Madaleno R.O., Castro Luis M.M.N.: Drying kinetics of two fruits Portuguese cultivars (Bravo de Esmolfe apple and Madeira banana): An experimental study, Heliyon, 2022. V. 8, Is. 4, e09341, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09341>.
11. Ismail Tontul, Ayhan Topuz, Spray-drying of fruit and vegetable juices: Effect of drying conditions on the product yield and physical properties, Trends in Food Science & Technology. 2017. V. 63, P. 91-102, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.03.009>.
12. Grande F., Charrondiere U.R.: Food composition data 2021, Reference Module in Food Science, Elsevier, 2022, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821848-8.00039-1>.
13. Химический состав пищевых продуктов: справочник / под ред. И. М. Скурихина, М. Н. Волгарева. 2-е изд., перераб. и доп. М: Агропромиздат, 1987. 360 с.
14. Souci S.W., Fachmann W., Kraut H.: Food composition and nutrition tables, 7th revised and completed edition. Stuttgart: Medpharm GmbH Scientific Publ. 2008. 1300 p.

KINETIC CHARACTERISTICS OF DRYING DROPLETS OF APPLE JUICE AND COMPOSITIONS BASED ON THEM WITH MILK PROTEINS

Maletska K.D., Avdieieva L.Yu. Turchyna T.Ya., Makarenko A.A.

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Marii Kapnist Str., Kyiv, 036057, Ukraine

<https://doi.org/10.31472/ttpe.3.2022.5>

Recently, the demand for concentrates and dry powders from natural fruit and berry raw materials has been growing in the food industry. Spray drying is a method that is widely used to increase the shelf life of food products. However, obtaining dry concentrates from clarified, unclarified juices, as well as juices with pulp, by the spraying method has certain difficulties. This is due to the fact that apple juices and purees contain a complex of organic acids (malic, citric, etc.) in combination with a large number of simple carbohydrates. These substances are the main factors of the viscoplastic state of the dried particles in the heated air in the drying chamber. Thermoplastic (adhesive) properties of the material to be dried in the chamber of the spray dryer and hygroscopic in the state of dried powders complicate the conditions for their timely removal from the chamber, separation, unloading, and storage. As a result, the presence of such properties worsens the organoleptic and physicochemical characteristics of dry powders, reduces product yield, and also complicates the operating conditions of drying equipment. The use of structuring additives of various types, which include protein products of various origins, contributes to the improvement of drying conditions. The aim of the work was to study the kinetic characteristics of dehydration of drops of apple juice and compositions with milk proteins in order to determine the feasibility of their use as structuring additives for the preparation of powdered health products based on apple juice by spraying.

The research results showed the expediency of using a complex of skim milk proteins and whey protein concentrate as structuring additives. It has been proven that their use improves the structuring and vapor-conducting properties of the material during drying, due to which it is possible to obtain powder products with minimal final moisture while preserving valuable bioactive components.

References 11, tables 4, figures 3.

Keywords: apple juice, drop, drying kinetics, thermogram, thermoplasticity, milk proteins.

1. Vidović S., Horecki A.T., Vladić J., Šumić Z., Gavarić A., Vakula A.: Chapter 2 - Apple, Editor(s): Charis M. Galanakis, Valorization of Fruit Processing By-products, Academic Press, 2020, P. 17-42. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817106-6.00002-2>.

2. Aayush K., McClements D. J., Sharma S., Sharma R., Pal Singh G., Sharma K., Oberoi K.: Innovations in the development and application of edible coatings for fresh and minimally processed Apple, Food Control, 2022, V. 141. 109188, <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109188>.

3. Murakonda S., Patel G., Dwivedi M.: Characterization of engineering properties and modeling mass and fruit fraction of wood apple (*Limonia acidissima*) fruit for post-harvest processing, Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 2022. V.21. Is.4. P. 267-277, <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.09.005>

4. Clare M. Hasler: Functional Foods: Benefits, Concerns and Challenges - A Position Paper from the American Council on Science and Health, The Journal of Nutrition, 2002. V.132, Is.12. P. 3772-3781, <https://doi.org/10.1093/jn/132.12.3772>

5. Dolinskii A. A., Maletska K. D.: [Spray drying: T. 1. Thermophysical fundamentals. Methods of intensification and energy saving]. Kyiv: Akadempriodika, 2011. 376 p. (in Rus)

6. Xiao Dong Cheng: Heat-Mass Transfer and Structure Formation During Drying of Single Food Droplets. Drying Technology. 2004. V.22, Is. 1-2. P. 179-190. <https://doi.org/10.1081/DRT-120028226>

7. Dolinskii A. A., Turchyna T.Ya., Zhukotskii E.K. [Modern methods of influencing the structuring properties of complex materials as objects of spray drying.] Mikro- i nanourovnevye processy v tehnologiyah DIVE. Tematicheskij sbornik statej [Micro- and nanolevel processes in DPEI technologies. Thematic collection of articles]. Kyiv: Akadempriodika, 2015. P. 351-358. (in Ukr.)

8. Pinto G., Illiano A., Caira S., Addeo F., Ferranti P., Amoresano A. Old and New Technological Processes to Produce Ingredients From New Sources: Characterization of Polyphenols Compounds in Food and Industrial Wastes, Reference Module in Food Science, Elsevier, 2022, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823960-5.00025-1>.

9. Daniele da Silva Bastos, Maria do Pilar Gon-çaves, Cristina Tristão de Andrade, Kátia Gomes de Lima Araújo, Maria Helena Miguez da Rocha Leão: Microen-capsulation

of cashew apple (*Anacardium occidentale*, L.) juice using a new chitosan–commercial bovine whey pro-teín isolate system in spray drying, *Food and Bioproducts Processing*, 2012. V.90 Is.4. P. 683-692, <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.04.005>.

10. *Coelho Pinheiro M.N., Madaleno R.O., Castro Luis M.M.N.*: Drying kinetics of two fruits Portuguese cultivars (Bravo de Esmolfe apple and Madeira banana): An experimental study, *Heliyon*, 2022. V. 8, Is. 4, e09341, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09341>.

11. *Ismail Tontul, Ayhan Topuz*, Spray-drying of fruit and vegetable juices: Effect of drying conditions on the product yield and physical properties, *Trends in Food Science & Technology*. 2017. V. 63, P. 91-102, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.03.009>.

12. *Grande F., Charrondiere U.R.*: Food composition data 2021, Reference Module in Food Science, Elsevier, 2022, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821848-8.00039-1>.

13. *Skurihin I. M., Volgareva M. N.* [Chemical composition of food products: a guide]. Moscow: Agropromizdat, 1987. 360 p. (in Rus)

14. *Souci S.W., Fachmann W., Kraut H.*: Food composition and nutrition tables, 7th revised and completed edition. Stuttgart: Medpharm GmbH Scientific Publ. 2008. 1300 p.

Отримано 11.07.2022

Received 11.07.2022