

АКТИВНІСТЬ ВОДИ ВИСУШЕНИХ ЯГІД ЛОХИНИ (VACCINIUM CORYMBOSUM L.)

Петрова Ж.О., д.т.н., с.н.с., Слободянюк К.С., к.т.н., Кузнєцова І.В., д.с.-г.н., с.н.с.,
Граков О.П., аспірант, Вишневіська Т.А., м.н.с.
Інститут технічної теплофізики НАН України, м.Київ

Анотація. З кожним роком зростає вирощування та площі під насадження лохини. Лохина високоросла (*Vaccinium corymbosum* L.) через лікувальну та профілактичну здатність набула популярності у харчуванні населення України. Переробка ягід лохини для зберігання відбувається переважно заморожуванням, рідше – сушінням. Останнє обумовлено тривалістю процесу, оскільки застосовуються низькотемпературні режими зневоднення та наявністю воскового нальоту на шкірці ягід. Віск запобігає псуванню свіжих ягід лохини під час зберігання. Але суттєво перешкоджає її переробці. Крім того, ягоди лохини мають високий вміст вологи 81-87 %. Зменшення вологості шляхом зневоднення знижує активність патогенних мікроорганізмів, підвищує безпеку і подовжує терміни зберігання харчових продуктів. Водночас це призводить до зміни смакових якостей. У цьому напрямі одним з ключових питань є показник, що впливає на структурні властивості продукту, термін зберігання і залежить від природи та кількості компонентів розчинних у водній фазі продукту, а також від способів оброблення сировини, напівфабрикатів продуктів тощо. Відповідно, вирішальним є значення показника «активність води» (a_w), від значення якого залежить не тільки формуючий показник продукту але й розвиток мікроорганізмів.

На основі попередньо проведених досліджень впливу способу попередньої обробки на кінетику сушіння лохини в залежності від різних режимних параметрів теплоносія було вперше визначено показник активності води висушених ягід. Обґрунтовано, що на показник активності води має вплив вміст таких сполук як білок, жирні речовини, цукри, флавоноїди, антоціани, барвні сполуки тощо. Вперше виявлено вплив режимних параметрів теплоносія конвективного та комбінованого (обробка інфрачервоним випромінюванням з одночасною конвекцією) при різній температурі теплоносія, який показав зміну значень коефіцієнта показника активності води для лохини сушеної. Розраховано коефіцієнти показника активності води та показано значний вплив проведення процесу сушіння на якість готового продукту. Отримані значення коефіцієнта показника активності води можуть бути використані для оцінки якості зберігання висушених ягід лохини та порошку з них.

Ключові слова: лохина, сушіння, активність води, інфрачервоне випромінювання, конвекція.

Постановка проблеми. Лохина високоросла (*Vaccinium corymbosum* L.), або ягідник щитковий, або вакциніум щитковий; народні назви: боровиця, яфіра, буяхи – одна з лідируючих ягід, що користується високим споживчим та експортним потенціалом. Багаті на флавоноїди ягоди *V. corymbosum* володіють потенційною здатністю обмежувати розвиток і тяжкість деяких видів раку та судинних захворювань, включаючи атеросклероз, ішемічну хворобу, інсульт і нейродегенеративні захворювання, старіння [1, 2]. Також лохина містить різноманітні БАП з такими біологічними властивостями, як антиоксидантні, протипухлинні, протівірусні, антинейродегенеративні та протизапальні [1, 2, 3]. Саме через вищеописану лікувальну та профілактичну здатність, *Vaccinium corymbosum* L. набула популярності у харчуванні населення України.

З кожним роком зростає вирощування та площі під насадження лохини. Але через неможливість повної реалізації ягід, залишки продукції доцільно переробляти. Листя та ягоди лохини – цінна сировина для виготовлення лікарських засобів. Зрілі плоди заготовляються у липні – серпні переважно заморожуванням, рідше – сушінням. Останнє обумовлено довготривалістю процесу, оскільки застосовуються низькотемпературні режими зневоднення та наявністю воскового нальоту на шкірці ягід. Щільний наліт сформований винятково з аморфного воску, що виникає в результаті злиття кристалів [2]. Між вкритими віском фрагментами є мережа мікротріщин, що мають гладкий шар кутикули і рідко розподілені структури кристалічного воску [2, 4, 5]. Цей віск запобігає псуванню свіжих ягід лохини під час зберігання. Але суттєво перешкоджає її переробці. Крім того, ягоди лохини мають високий вміст вологи 81-87 %.

Провідну роль в життєдіяльності природнього світу має вода, яка як основний компонент клітин всіх живих організмів, в різних кількостях і формах, що міститься в сільськогосподарських рослинах і тваринах, в продовольчій сировині і готових харчових продуктах. У живих організмах вміст і стан вологи регулюється природними законами, які перешкоджають її використанню патогенними мікроорганізмами [6]. Як відомо, харчові продукти мають показник активності води, який залежить від складу сировини. Тому виникає питання щодо штучного регулювання кількості і стану води. Зменшення вологості знижує активність патогенних мікроорганізмів, підвищує безпеку і подовжує терміни зберігання харчових продуктів. Водночас це

призводить до зміни смакових якостей [7]. У цьому напрямі одним з ключових питань є показник, що впливає на структурні властивості продукту, термін зберігання і залежить від природи та кількості компонентів розчинних у водній фазі продукту [8], а також від способів оброблення сировини, напівфабрикатів продуктів тощо [9]. Відповідно, вирішальним є значення показника «активність води» (a_w), від значення якого залежить не тільки формуючий показник продукту але й розвиток мікроорганізмів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оскільки градієнт значень активності води продукту і відносної вологості навколишнього середовища є рушійною силою масового обміну за різних термічних та гідротермічних процесах, а також при зберіганні, дані щодо показника активності води оброблених продуктів є актуальними для обґрунтування оптимальних режимів технологічних процесів [10]. Відомі дослідження, які присвячені визначенню показника a_w , таких вчених Hazelton J. L., Desrochers J. L., Walker, C.E. [11], Reed K.A., Sims Ch. A., Gorbet D.W., Keefe S.F. [12], Manohar R.S. і Rao P.H. [13] Hayashi et al. [14], Puzenko et al. [15], Dashnau et al. [16], Kataoka et al. [17], Tanaka M. [18], Towey et al. [19], та інших.

Визначено a_w [20] в таких харчових продуктах як: фрукти (0,97), яйця (0,97), борошно (0,80), джем (0,82–0,94) м'ясні вироби. Такі харчові продукти як сухе молоко, крекери та інстант-продукти мають значення показника активності води в межах 0,35–0,5, що зазвичай виявляють таку властивість як крихкість структури [21]. Červenka L. et al. [20], Schmidt S.J. [22] вивчали вплив a_w на розвиток мікроорганізмів у харчових продуктах та визначили наступні межі для: бактерій $a_w = 0,75–0,98$; дріжджів $a_w = 0,62–0,90$; мікроміцетів $a_w = 0,60–0,88$. Отже, показник активності води впливає на якість та зберігання харчового продукту.

Даний показник введено в нормативні показники у стандарти і інші нормативні документи багатьох держав. З 2007 р. в Україні введений в дію ДСТУ ISO на використання показника «активність води» для визначення якості і безпеки продуктів харчування і кормів. Відомими є так звані бар'єрні технології [23] на виробництво цілого ряду продуктів, спрямовані забезпечити безпечність і якість продуктів зі збільшеним терміном зберігання. Дослідження показника активності води сушених ягід лохини в наукових літературних джерелах відсутні.

Постановка завдання. Контролюючи функціонально-технологічні показники продукту, зокрема, показник активності води, можна прогнозувати його здатність до зберігання, що дозволить створити «карти стабільності» харчових продуктів і визначити оптимальні умови їх зберігання. Також показник a_w можна використовувати як критерій для розрахунку температури пастеризації/стерилізації широкого асортименту консервованої продукції (наприклад, низькоокислотні та підкислені соки), що відповідає вимогам промислової стерильності, при максимальному збереженні харчової цінності. Отже, a_w – це ще і важіль маніпуляцій температурою для підбору або розрахунку режиму стерилізації при заданому рН. Враховуючи, що показник активності води був визначеним для низки харчових продуктів, актуальним залишається визначення даного показника для лохини яка є перспективною функціональною сировиною у виробництві широкого спектру харчових продуктів.

Метою досліджень було дослідити показник активності води лохини, сушеної за різних технологічних параметрів обробки.

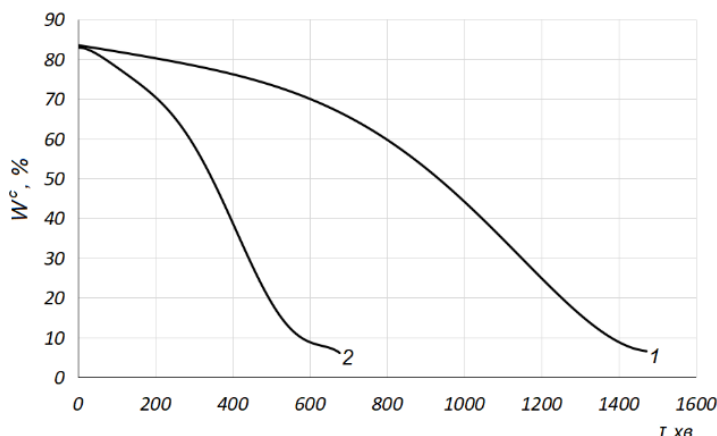
Визначали показник активності води за методикою викладеною в ISO 18787:2017 [24] для 7 зразків лохини сушеної.

Вимірювання термодинамічних показників усіх зразків лохини сушеної здійснювали на приладі Hygrolab-2 (Rotronic, Швейцарія) за температури 18–20 °C з точністю вимірювання 1,5 %, 0,3 °C 0,005 од. $a_w + 1.5\%$ від значення.

Виклад основного матеріалу дослідження. Нами раніше досліджувався вплив попередньої підготовки на загальну тривалість конвективного зневоднення ягід лохини в залежності від режиму її проведення [25]. З одного боку під тепловим впливом можливе часткове видалення речовин воскового нальоту, зміна його структури та властивостей. З іншого боку під дією теплоти можлива механічна деформація, що призводить до мікро–тріщин та часткового відшарування шкірки від м'якоті, що сприяє утворенню шляхів для переміщення вологи. Також можливий гідроліз речовин, що цементують клітини шкірки. Таким чином, гігротермічна обробка може як пришвидшувати сушіння, так і сповільнити його з подальшим зростанням енергетичних витрат.

Нами була апробована гігротермічна обробка, яка передбачає бланшування ягід лохини водяним розчином харчової соди. Дослідним шляхом було встановлено, що такий спосіб попередньої обробки має подовжує загальну тривалість зневоднення. Замість очікуваного скорочення тривалості спостерігалось сповільнення вологовидалення. Тому, у подальших дослідженнях даний спосіб обробки лохини не використовувався.

Дослідження кінетики сушіння ягід лохини без обробки та після гігротермічної обробки виконувались з постійними режимними параметрами теплоносія (повітря) $t=70$ °C, $v=2$ м/с, $d=10$ г/кг с.п. Застосування гігротермічної обробки дозволило зменшити кількість воску на лохині і тим самим скоротити загальну тривалість процесу зневоднення відносно необроблених ягід [25].



1 – $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\tau=1599,6\text{ хв}$); 2 – $t = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\tau=689,25\text{ хв}$)

Режимні параметри теплоносія: $v = 3\text{ м/с}$, $d=10\text{ г/кг с.п.}$ 1 шар.

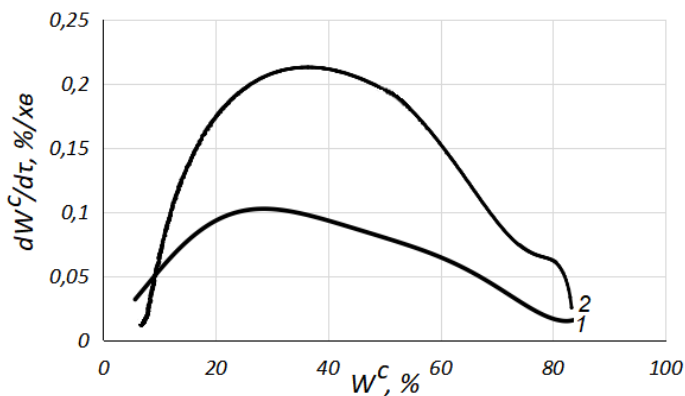
Рис. 1 – Кінетика сушіння гіротермічно оброблених ягід лохини в залежності від температури теплоносія

На рисунку 1 представлено криві сушіння $W^c = f(\tau)$, які показують вплив температури теплоносія на загальну тривалість зневоднення гіротермічно оброблених ягід лохини в залежності від режимних параметрів теплоносія $v = 3\text{ м/с}$, $d=10\text{ г/кг с.п.}$

Дослідження виконували на експериментальному конвективному стенді розробленому в ІТТФ НАНУ. Ягоди розташовувалися на ситцевому піддоні сушильної камери в 1 шар. Зневоднення проводили до досягнення зразками залишкової вологості $W_3^c = 6\%$.

Дослідження впливу температури теплоносія на кінетику сушіння гіротермічно обробленої лохини показали, що при тривалості зневоднення при температурі теплоносія $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ становила $\tau = 1599,6\text{ хв}$, а при $t = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $\tau = 689,25\text{ хв}$.

Після проведеного регресійного аналізу графіків залежності $W^c(\tau)$ виконувалося диференціювання в програмному забезпеченні Advanced Grapher. Отримано графіки залежності швидкості сушіння $dW^c/d\tau$, $\%/хв$ від середньої вологості матеріалу W^c , $\%$ (рис. 2).



1 – $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2 – $t = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$

Режимні параметри теплоносія: $v = 3\text{ м/с}$, $d=10\text{ г/кг с.п.}$ 1 шар.

Рис. 2 – Зміна швидкості сушіння гіротермічно оброблених ягід лохини в залежності від температури теплоносія

Збільшення температури теплоносія від 60 до $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ дозволяє скоротити загальну тривалість сушіння гіротермічно оброблених ягід лохини на 57% . З рисунку 2 криві швидкостей сушіння гіротермічно оброблених ягід лохини додатково підтверджують, що температура теплоносія $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ пришвидшує швидкість зневоднення зразків. Проте високотемпературний режим теплоносія не забезпечує збереження властивостей нативної сировини, про що свідчив колір, смак та запах висушеного матеріалу.

Також нами раніше виконувались експериментальні дослідження з використанням інфрачервоного джерела з тепловим потоком 3800 Вт/м^2 , яке нагрівало поверхню ягід лохини, які не мали попередньої обробки. Нагрів інфрачервоним випромінюванням (ІЧВ) тривав протягом 10 хв з одночасним сушінням при режимних параметрах теплоносія (повітря) $t=60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v=3\text{ м/с}$, $d=10\text{ г/кг с.п.}$ Було встановлено, що застосування ІЧ-випромінювання потужністю 100 Вт дозволяє зменшити кількість воску на ягодах лохини відносно гіротермічної обробки і тим самим скоротити загальну тривалість процесу зневоднення в $1,2$ рази [25].

Отримані зразки лохини сушеної розтирали в порцеляновій ступці. Наважку зразку масою 0,5 г перекладали в спеціальний бюкс та здійснювали вимірювання показника активності води.

В дослідженнях використовували лохину висушену згідно наступних режимних параметрів теплоносія (табл. 1).

Таблиця 1

Параметри сушіння лохини

Зразок	Спосіб оброблення перед сушінням	Температура, °C	Швидкість руху теплоносія, м/с	Залишкова вологість, %
1	бланшування	80	3	5,69
2	бланшування	70	2	3,00
3	бланшування	60	3	3,41
4	бланшування	80/60	3	3,32
5	оброблена ІЧВ 70 Вт з конвекцією 50 °C	60	3	6,00
6	без обробки	70	2	9,30
7	оброблена ІЧВ 100 Вт з конвекцією 60 °C	60	3	12,62

Вивчали зміну a_w для висушеної лохини, для визначення впливу режиму сушіння на даний показник, і відповідно, на якість продукту, що дасть змогу прогнозувати терміни зберігання харчового продукту. В таблиці 2 представлено показники активності води. Слід відміти, що значення ентальпії різні для зразків лохини сушеної, що вказує на вплив співвідношення концентрацій компонентів ягід, що відповідно, впливає на енергію активації сполук.

Було встановлено [20], що важливе значення має ступінь зв'язку води з компонентами. Вода, що має міцніший зв'язок менше здатна підтримувати процеси, які призводять до псування. Найвищою ентальпія є для зразка 6, де ягоди висушувались за високої температури (80 °C). Будь яка зміна в структурі ягід за сушіння призводить до зниження ентальпії. Зокрема, пом'якшення структури та послаблення зв'язків між вуглеводами і білками, флавоноїдами, антоціанами тощо. Зразок 7 має найнижче значення ентальпії – 36,64 Дж/г. Даний зразок отриманий шляхом конвективного сушіння свіжої ягоди лохини. В той же час як зразок 6 був отриманий шляхом бланшування свіжих ягід з наступним конвективним сушінням. Отже, включення процесу бланшування збільшує кількість утворених барвних сполук та інших сполук за дії високих температур. Відповідно, показник a_w є однаковим для обох зразків, що вказує на не залежність даного показника від енергії проходження хімічних реакцій в ягодах лохини та впливу інших компонентів таких як: флавоноїдів, антоціанів, мікро- і макроелементів тощо. Також перетворення для зразків 1 і 2, які мають майже однакові значення показника активності води але високу різницю між значенням ентальпії. Найбільше відрізняється з усіх зразок 4, який має найбільше значення показника активності води (0,548) та відносно низьке значення ентальпії (36,94 Дж/г). Такий зразок отриманий за умов сушіння при температурі 60 °C, що вказує на вплив процесів розкладання сполук ягід за тривалої дії більш низьких температур.

Активність води продукту визначає її здатність до випаровування з продукту відносно здатності до випаровування чистої води за цієї ж температури [26].

Таблиця 2

Термодинамічна характеристика лохини сушеної (n=3, p≤0.05)

№	Показник	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3	Зразок 4	Зразок 5	Зразок 6	Зразок 7
1	Ентальпія, Дж/г	37,19	36,78	36,96	36,94	37,61	37,67	36,64
2	Питомий вологовміст, г/кг	7,06	6,98	7,09	7,24	7,31	7,23	7,03
3	Співвідношення концентрацій компонентів суміші, г/кг	7,11	7,02	7,14	7,29	6,98	7,29	7,08
4	Концентрація парів при насиченні, г/м ³	16,34	16,17	16,08	15,70	16,15	16,39	15,92
5	Парціальний тиск водяного пару, гПа	11,30	11,77	11,16	11,58	11,10	11,58	11,24
6	Тиск насиченого пару види, гПа	22,05	21,80	21,67	21,23	21,76	22,11	21,45
7	Активність води (a_w)	0,513	0,512	0,523	0,548	0,538	0,524	0,524

Відповідно, на зміну показника a_w за змін температур сушіння має вплив саме структури сполук ягід, в яких завдяки іонним зв'язкам, гідрофобним і водневим зв'язкам та Ван-дер-Ваальсовим силам відбувається взаємодія вологи продукту з такими сполуками як вуглеводи та білок [27]

Окрім впливу на хімічні реакції і розвиток мікроорганізмів, показник активності води впливає на текстуру продуктів [26]. Традиційно застосування методів подовження строків зберігання продуктів, в основі яких зниження вмісту вологи досягається шляхом концентрування або дегідратації, має глибокі наукові основи [26]. Як відомо [27], такі речовини як цукор і кухонна сіль знижують показник a_w в продукті. Зокрема, в насиченому розчині цукру при 20 °С показник активності води становить 0,864, а кухонної солі - 0,753 [26].

Відомий вплив способу обробки сировини та напівфабрикатів на значення показника активності вологи [27]. Значення показника активності води для зразків лохини сушеної знаходиться в діапазоні вище 0,5, що свідчить про слабку крихкість та про вплив жирових речовин на даний показник, який практично не зв'язує воду.

Активність води згідно теорії Ван-Лаара [13, 14]:

$$a_1 = (1 - x) \cdot e^{\frac{U_0 \cdot x^2}{k \cdot T}}, \quad (1)$$

де (1-x) - мольна частка води;

x – мольна частка компоненту;

U_0 – енергія взаємообміну (середнє збільшення енергії однієї молекули при заміні іншою молекулою),

Дж;

k - постійна Больцмана, Дж/к;

T- температура, К.

Коефіцієнт активності води можна розрахувати за формулою:

$$\gamma_1 = e^{\frac{U_0 \cdot x^2}{k \cdot T}}, \quad (2)$$

Після логарифмування з рівняння (2) отримано рівняння (3):

$$\ln \gamma_1 = \frac{U_0 \cdot x^2}{k \cdot T}, \quad (3)$$

За експериментальними даними щодо активності води (табл. 2) розраховано коефіцієнт показника активності, а потім з рівняння (3) були визначені значення $-\frac{U_0}{k \cdot T}$ і представлені в таблиці 3.

Таблиця 3

Значення коефіцієнта показника активності води для лохини сушеної

Зразок	$-\frac{U_0}{k \cdot T}$
1	61,98
2	70,69
3	70,34
4	70,38
5	69,13
6	69,02
7	70,96

Відомо, що чим вище значення показника активності води сполук продукту і більше значення коефіцієнту активності води $-\frac{U_0}{k \cdot T}$, то тим нижчим буде консервуючий ефект компонентів продукту. З даних таблиці 2 і 3 видно, що найбільшим є коефіцієнт показника активності води для зразків 2, 3, 4 і 7, та які мають середнє значення показника активності води. Це показує стабілізуючу здатність продукту для інших харчових компонентів. Отже, значення $-\frac{U_0}{k \cdot T}$ може бути використано для оцінки якості зберігання висушених ягід лохини та порошку з них.

Висновки. Вперше визначено показник активності води для сушених ягід лохини за різних технологічних параметрів сушіння. Значення показника активності води знаходиться в межах 0,5-0,6. За загальною класифікацією лохина сушена відноситься до харчових продуктів із низькою вологістю.

Обґрунтовано, що на показник активності води має вплив вміст таких сполук як білок, жирові речовини, цукри, флавоноїди, антоціани, барвні сполуки тощо.

Вперше виявлено вплив режимних параметрів теплоносія конвективного та комбінованого (обробка інфрачервоним випромінюванням з одночасною конвекцією) при різній температурі теплоносія, який показав зміну значень коефіцієнта показника активності води для лохини сушеної. Найкращого значення набувають зразки оброблені бланшуванням та висушені при температурі теплоносія 60, 70 та 80/60 °С, а також

інфрачервоним короткотривалим випромінюванням 100 Вт з одночасною конвекцією ($t_{\text{теплоносія}} = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Розраховано коефіцієнти показника активності води та показано значний вплив проведення процесу сушіння на якість готового продукту – зразки лохини виявляють стабілізуючу здатність для харчових систем, що сприяє подовженню терміну зберігання харчових продуктів, вироблених з такими ягодами.

References

- Migas, P., Cisowski, W., & Dembińska-Migas, W. (2005). Isoprene derivatives from the leaves and callus cultures of *Vaccinium corymbosum* var. Bluecrop. *Acta Poloniae Pharmaceutica*, 62(1), 45-51.
- Stremoukhov, O. O. (2021). Farmakohnostichne vivchennya listya ta plodiv lokhini dlya stvorennya novikh likars'kikh zasobiv : dis. na zdobuttya nauk. stupenya doktor filosofiyi : 22, 226 : zakhist 20.12.2021 / nauk. ker. O.M. Koshoviy. Kharkiv: Natsional`niy farmatsevtichniy universitet. 290 s.
- Kolichev, I. O., Krasnikova, T. O., Koshoviy, O. M. (2014). Rozrobka parametriv standartizatsiyi listya lokhini visokorosloyi // Materiali Ukrayins`koyi naukovopraktichnoyi konferentsiyi / Natsional`niy farmatsevtichniy universitet. Kharkiv: NFaU. S. 110.
- About metabolic syndrome // American Heart Association: [Website]. URL: <https://www.heart.org/en/health-topics/metabolic-syndrome/about-metabolicsyndrome> (viewed on: 12.02.2019).
- Takeshita, M., Ishida, Y.-i., Akamatsu, E., Ohmori, Y., Sudoh, M., Uto, H., Tsubouchi, H., & Kataoka, H. (2009b). Proanthocyanidin from Blueberry Leaves Suppresses Expression of Subgenomic Hepatitis C Virus RNA. *Journal of Biological Chemistry*, 284(32), 21165-21176. <https://doi.org/10.1074/jbc.m109.004945>.
- Fennema, O. (1996). *Water and ice : Food Chemistry*. Marcel Dekker.
- Levine, H., Slade, L., & Karel, M. (1988). *Moisture Management in Food Systems / Center for Professional Advancement*.
- Scott, W., Mrak, E., & Stewart, G. (1957). Water relations of food spoilage microorganisms. *Advances in Food Research*, 7, 83-127.
- Kress-Rogers, E., & Christopher, J. B. B. (2001). *Instrumentation and sensors for the food industry*. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9781855736481>.
- Leung, H. (1987). Influence of water activity on chemical reactivity. *Water activity: Theory and application to food* (p. 27-53). Marcel Dekker.
- Hazelton, J. L., DesRochers, J. L., & Walker, C. E. (2003). BISCUITS, COOKIES, AND CRACKERS | Chemistry of Biscuit Making. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (p. 533-539). <https://doi.org/10.1016/b0-12-227055-x/00105-x>.
- Reed, K. A., Sims, C. A., Gorbet, D. W., & O'Keefe, S. F. (2002). Storage water activity affects flavor fade in high and normal oleic peanuts. *Food Research International*, 35(8), 769-774. [https://doi.org/10.1016/s0963-9969\(02\)00073-x](https://doi.org/10.1016/s0963-9969(02)00073-x)
- Sai Manohar, R., & Haridas Rao, P. (1999). Effects of water on the rheological characteristics of biscuit dough and quality of biscuits. *European Food Research and Technology*, 209(3-4), 281-285. <https://doi.org/10.1007/s002170050494>
- Hayashi, Y., Puzenko, A., & Feldman, Y. (2006). Slow and fast dynamics in glycerol–water mixtures. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 352(42-49), 4696-4703. <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2006.01.113>
- Puzenko, A., Hayashi, Y., & Feldman, Y. (2007). Space and time scaling in glycerol–water mixtures. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 353(47-51), 4518–4522. <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2006.12.122>
- Dashnau, J. L., & Vanderkooi, J. M. (2007). Computational Approaches to Investigate How Biological Macromolecules Can Be Protected in Extreme Conditions. *Journal of Food Science*, 72(1), R001-R010. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00242.x>
- Kataoka, Y., Kitadai, N., Hisatomi, O., & Nakashima, S. (2011). Nature of Hydrogen Bonding of Water Molecules in Aqueous Solutions of Glycerol by Attenuated Total Reflection (ATR) Infrared Spectroscopy. *Applied Spectroscopy*, 65(4), 436-441. <https://doi.org/10.1366/10-06183>
- Tanaka, M., Sato, K., Kitakami, E., Kobayashi, S., Hoshiba, T., & Fukushima, K. (2014). Design of biocompatible and biodegradable polymers based on intermediate water concept. *Polymer Journal*, 47(2), 114-121. <https://doi.org/10.1038/pj.2014.129>
- Towey, J. J., & Dougan, L. (2011). Structural Examination of the Impact of Glycerol on Water Structure. *The Journal of Physical Chemistry B*, 116(5), 1633-1641. <https://doi.org/10.1021/jp2093862>
- Cervenka, L., Brožková, I., & Vyřasová, J. (2006). Effects of the principal ingredients of biscuits upon water activity. *Effects of the principal ingredients of biscuits upon water activity. Journal of Food and Nutrition Research*, 45(1), 39-43.
- Sereno, A. M., Hubinger, M. D., Comesana, J. F., & Correa, A. (2001). Prediction of water activity of osmotic solutions. *Journal of Food Engineering*, 49, 103-114.
- Schmidt, S. J. (2004). Water and solids mobility in foods. *Advances in Food and Nutritional Research*, 48, 1-101. DOI: 10.1016/S1043-4526(04)48001-2

23. Lyaystner L. Bar`ernye tekhnologii: kombinirovannye metody obrabotki, obespechivayushchie stabil`nost`, bezopasnost` i kachestvo produktov pitaniya: perevod s anhl / za red. L. Lyaystner, H. Hould. M: VNII myasnoy promyshlennosti im. V.M. Horbatova, 2006. 236 s.
24. ISO 18787:2017 Food stuffs - Determination of water activity. Publication date: 2017-11. P. 9.
25. Petrova, Z., Slobodianiuk, K., & Grakov, O. (2023). Determining the influence of pre-preparation of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) on the total duration of drying. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (11 (122)), 83-90. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.276097>
26. Tsukanov M. F., Chernomorets A. B. Tekhnolohicheskie aspekty pokazatelya «aktivnost` vody» i eho rol` v obespechenii kachestva produktsii obshchestvennoho pitaniya // Tekhniko-tekhnolohicheskie problemy servisa. 2010., vip. 1 T. 11. S. 58-63.
27. Miyazaki, M. R., Hung, P. V., Maeda, T., & Morita N. (2006). Recent advances in application of modified starches for breadmaking. Trends in Food Science & Technology. Vol.17. P. 591-599.

WATER ACTIVITY OF DRIED BLUEBERRIES (*VACCINIUM CORYMBOSUM* L.)

**Petrova Z.O., Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher,
Slobodianiuk K.S., Ph.D., Senior Researcher,
Kuznietsova I. V., Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher,
Grakov O.P., graduate student, Vyshnievska T.A.**

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

Abstract. Every year, cultivation and areas under blueberry plantations are increasing. Blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) has gained popularity in the nutrition of the population of Ukraine due to its medicinal and prophylactic properties. Blueberry berries are processed for storage mainly by freezing, less often by drying. The latter is due to the long duration of the process, as low-temperature dehydration regimes are used and the presence of a wax coating on the skin of the berries. Wax prevents fresh blueberry berries from spoiling during storage. But it significantly hinders its processing. In addition, blueberries have a high moisture content of 81-87 %. Reducing humidity through dehydration reduces the activity of pathogenic microorganisms, increases safety and extends the shelf life of food products. At the same time, it leads to a change in taste qualities. In this direction, one of the key issues is an indicator that affects the structural properties of the product, the shelf life and depends on the nature and amount of components soluble in the aqueous phase of the product, as well as on the methods of processing raw materials, semi-finished products, etc. Accordingly, the value of the "water activity" indicator is decisive (a_w), the value of which depends not only on the forming indicator of the product, but also on the development of microorganisms. On the basis of previously conducted studies of the influence of the pretreatment method on the kinetics of blueberry drying, depending on the different regime parameters of the heat carrier, the indicator of water activity of dried berries was determined for the first time. It is substantiated that the content of such compounds as protein, fatty substances, sugars, flavonoids, anthocyanins, color compounds, etc., affects the indicator of water activity. For the first time, the effect of mode parameters of the convective and combined heat carrier (infrared radiation treatment with simultaneous convection) at different temperatures of the heat carrier was revealed, which showed a change in the values of the coefficient of the water activity indicator for dried blueberries. The coefficients of the water activity indicator were calculated and the significant influence of the drying process on the quality of the finished product was shown. The obtained values of the coefficient of the water activity indicator can be used to evaluate the storage quality of dried blueberry berries and their powder.

Key words: blueberry, drying, water activity, infrared radiation, convection.

Список використаної літератури

1. Migas P. , Cisowski W. , Dembińska-migas W. Isoprene derivatives from the leaves and callus cultures of *Vaccinium corymbosum* var. Bluecrop // *Acta Poloniae Pharmaceutica*. 2005., No. 1 Vol. 62. P. 45-51.
2. Стремоухов О. О. Фармакогностичне вивчення листя та плодів лохини для створення нових лікарських засобів : дис. на здобуття наук. ступеня доктор філософії : 22, 226 : захист 20.12.2021 / наук. кер. О.М. Кошовий. Харків: Національний фармацевтичний університет, 2021. 290 с.
3. Количев І. О., Краснікова Т. О., Кошовий О. М. Розробка параметрів стандартизації листя лохини високорослої // Матеріали Української науково-практичної конференції / Національний фармацевтичний університет. Харків: НФаУ, 2014. С. 110.
4. About metabolic syndrome // American Heart Association: [Website]. URL: <https://www.heart.org/en/health-topics/metabolic-syndrome/about-metabolicsyndrome> (viewed on: 12.02.2019).
5. Proanthocyanidin from Blueberry Leaves Suppresses Expression of Subgenomic Hepatitis C Virus RNA / M. Takeshita et al. *Journal of Biological Chemistry*. 2009. Vol. 284, no. 32. P. 21165-21176. URL:

- <https://doi.org/10.1074/jbc.m109.004945> (date of access: 19.05.2023).
6. Fennema O. Water and Ice : Food Chemistry / editor. by Owen Fennema. New York: Marcel Dekker, 1996. 1069 p.
 7. Levine H., Slade, L., Karel, M. Moisture Management in Food Systems / Center for Professional Advancement. – 1988.
 8. Scott W., Mrak E., Stewart G. Water relations of food spoilage microorganisms // *Advances in Food Research*. 1957., No. 1 Vol. 7. P. 83-127.
 9. Rodel W., Kress-Rogers E., Brimelow C. Water activity and its measurement in food // *Instrumentation and Sensors for the Food Industry: 2nd edition* Woodhead / editor. by Erika Kress-Rogers, Christopher J.B. Brimelow. Cambridge, 2001. P. 453-483.
 10. Leung H. L. Influence of water activity on chemical reactivity // *Water activity: theory and application to food*. New York: Marcel Dekker, 1987. P. 27-53.
 11. Hazelton J. L., Desrochers J. L., Walker C. E. BISCUITS, COOKIES, AND CRACKERS: Encyclopedia of food science and nutrition. Amsterdam, New York: Academic Press, 2003. 533-539 c. (Chemistry of Biscuit Making).
 12. Storage water activity affects flavor fade in high and normal oleic peanuts / Reed K. A. et al. // Storage water activity affects flavor fade in high and normal oleic peanuts. *Food Research International*. 2002, Vol. 35 (8). P. 769-774.
 13. Manohar R. S., Rao P. H. Effects of water on the rheological characteristics of biscuits dough and quality of biscuits // *European Food Research and Technology*. 1999. № 209. P. 281-285.
 14. Hayashi Y. , Puzenko A. , Feldman Y. Slow and fast dynamics in glycerol-water mixtures // *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2006. № 209. P. 281-285. doi: 10.1016/j.jnoncrysol.2006.01.113
 15. Puzenko A. , Hayashi Y. , Feldman Y. Space and time scaling in glycerol–water mixtures // *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2007. № 353. P. 4518-4522. doi: 10.1016/j.jnoncrysol.2006.12.122
 16. Dashnau J. L., Vanderkooi J. M. Computational Approaches to Investigate How Biological Macromolecules Can Be Protected in Extreme Conditions // *Journal of Food Science*. 2007., No. 72 Vol. 1. P. R1–R10. doi: 10.1111/j.1750-3841.2006.00242.x
 17. Nature of Hydrogen Bonding of Water Molecules in Aqueous Solutions of Glycerol by Attenuated Total Reflection (ATR) Infrared Spectroscopy / Y. Kataoka et al. *Applied Spectroscopy*. 2011. No. 4 Vol. 65. P. 436-441. URL: <https://doi.org/10.1366/10-06183>
 18. Design of biocompatible and biodegradable polymers based on intermediate water concept / M. Tanaka et al. *Polymer Journal*. 2014. No. 2 Vol. 47. P. 114-121. URL: <https://doi.org/10.1038/pj.2014.129>
 19. Towey J. J., Dougan L. Structural Examination of the Impact of Glycerol on Water Structure // *The Journal of Physical Chemistry B*. 2011. No. 5, Vol. 116. P. 1633-1641. URL: <https://doi.org/10.1021/jp2093862>
 20. Cervenka L. , Brožková I. , Vytřasová J. Effects of the principal ingredients of biscuits upon water activity // *Journal of Food and Nutrition Research*. 2006., No. 45 Vol. 1. P. 39-43.
 21. Prediction of water activity of osmotic solutions / Sereno A. M. et al. // *Journal of Food Engineering*. 2001. № 49. P. 103-114. URL: [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00221-1](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00221-1)
 22. Schmidt S. J. Water and solids mobility in foods // *Advances in Food and Nutritional Research*. 2004. № 48. P. 1-101.
 23. Ляйстнер Л. Барьерные технологии: комбинированные методы обработки, обеспечивающие стабильность, безопасность и качество продуктов питания: перевод с англ / за ред. Л. Ляйстнер, Г. Гоулд. М: ВНИИ мясной промышленности им. В.М. Горбатова, 2006. 236 с.
 24. ISO 18787:2017 Food stuffs - Determination of water activity. Publication date: 2017-11. P. 9.
 25. Petrova, Z., Slobodianiuk, K., Grakov, O. (2023). Determining the influence of pre-preparation of blueberries (*vaccinium corymbosum* L.) on the total duration of drying. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023., No. 11 (122) Vol. 2, P. 83–90. URL: DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.276097>
 26. Цуканов М. Ф., Черноморец А. Б. Технологические аспекты показателя «активность воды» и его роль в обеспечении качества продукции общественного питания // *Технико-технологические проблемы сервиса*. 2010., вип. 1 Т. 11. С. 58-63.
 27. Recent advances in application of modified starches for breadmaking. // Miyazaki M. R. et al. *Trends in Food Science & Technology*. 2006., V.17. P. 591-599.

Отримано в редакцію 22.05.2023
Прийнято до друку 26.09.2023

Received 22.05.2023
Approved 26.09.2023