

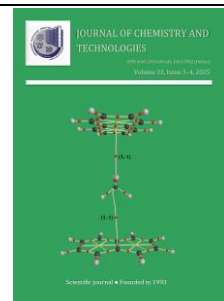


Journal of Chemistry and Technologies

pISSN 2663-2934 (Print), ISSN 2663-2942 (Online).

journal homepage: <http://chemistry.dnu.dp.ua>

editorial e-mail: chem.dnu@gmail.com



UDC 664.8.047

DETERMINATION OF RATIONAL DRYING REGIMES OF TOMATO POMACE AND THEIR OPTIMAL POWDER FRACTION FOR FUNCTIONAL ENRICHMENT OF FOOD PRODUCTS WITH LYCOPENE

Olena V. Petrenko*, Volodymyr O. Potapov, Victoria V. Evlach, Evgen N. Yakushenko, Mykola M. Tsurkan

State Biotechnology University, 44, Alchevskih St., Kharkiv, 61002, Ukraine

Received 12 March 2025; accepted 17 July 2025; available online 20 October 2025

Abstract

Based on the conducted research, the optimal drying modes of tomato pomace were selected, which fully meet the technological requirements. The dispersion of the powder obtained from dried tomato pomace was investigated and the particle size was determined. The optimal grinding modes of tomato pomace were established to obtain different powder fractions, which must be taken into account when obtaining them. It was established that tomato pomace powder has acceptable organoleptic indicators, and they are also a convenient commercial form that can be promising for a number of technologies in the food industry and restaurant catering establishments. In particular, as a functional ingredient for enriching food products with lycopene. The swelling of the powder obtained from dried tomato pomace was studied for different fractions (coarse, medium and fine fractions). The moisture-holding capacity of different fractions was determined and the moisture absorption coefficient was calculated. Based on experimental data, technological modes of the process of obtaining powder from tomato pomace were selected: drying at a temperature of 80 °C for 120 min., grinding duration 30 s, average particle size $(30...50) \cdot 10^{-6}$ m.

Keywords: tomato pomace; lycopene; drying; grinding; tomato pomace powder; functional ingredient.

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ РЕЖИМІВ СУШІННЯ ТОМАТНИХ ВИЧАВКІВ ТА ЇХ ОПТИМАЛЬНОЇ ПОРОШКОПОДІБНОЇ ФРАКЦІЇ ДЛЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ЗБАГАЧЕННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ЛІКОПІНОМ

Олена В. Петренко, Володимир О. Потапов, Вікторія В. Євлаш, Євген М. Якушенко, Микола М. Цуркан

Державний біотехнологічний університет, вул. Алчевських, 44, Харків 61002, Україна

Анотація

На основі проведених досліджень обрані оптимальні режими сушіння томатних вичавків, що повністю задовольняють технологічним вимогам. Досліджена дисперсність порошку, отриманого з висушених томатних вичавків, та визначено розмір частинок. Встановлені оптимальні режими подрібнення томатних вичавків для отримання різних фракцій порошку, що необхідно враховувати під час їх отримання. Встановлено, що порошок томатних вичавків має прийнятні органолептичні показники, також вони є зручною товарною формою, яка може бути перспективною для низки технологій у харчовій промисловості та закладів ресторанного харчування. Зокрема, як функціональний інгредієнт для збагачення харчових продуктів лікопіном. Досліджене набухання порошку, отриманого з висушених томатних вичавків, для різних фракцій (крупнодисперсної, середньодисперсної та дрібної фракції). Визначена вологовтримуюча здатність різних фракцій та розрахований коефіцієнт вологопоглинання. На основі експериментальних даних обрані технологічні режими процесу отримання порошку з томатних вичавків: сушіння за температури 80 °C протягом 120 хв., тривалість подрібнення 30 с середній розмір частинок $(30...50) \cdot 10^{-6}$ м.

Ключові слова: томатні вичавки; лікопін; сушіння; подрібнення, порошок томатних вичавок, функціональний інгредієнт.

*Corresponding author: e-mail: elenalion71@gmail.com

© 2025 Oles Honchar Dnipro National University;

doi: 10.15421/jchemtech.v33i3.324647

Вступ

Відмова від використання дикорослих рослин у харчуванні, яка закономірно виникає із розвитком урбанізованої цивілізації, долучається до збіднення складу раціону та виникнення метаболічних порушень [1–8]. Тому зростає увага до використання рослинної сировини як для створення лікарських препаратів і біологічно активних добавок, так і для збагачення складу харчових продуктів, у т. ч. функціональних. Включення рослинної сировини до складу готової продукції є актуальним як в аспекті стандартизації продукції та верифікації її ефектів, так і в аспекті прийнятності та зручності для багатьох сучасних споживачів.

Перспективною сировиною для харчової галузі є вичавки з томатів – побічні продукти виробництва консервів з томатів, до них відносяться насіння та відходи, що одержують після обробки і пресування використовуваних відходів від протиральних машин. Ці відходи складають до 6.5 % від загальної ваги томатів. До складу томатних вичавок входять, (% до сировини): пульпа до 4.9, оболонки 0.6; судинні волокна, плодоніжки, подрібнені насіння і оболонки 0.4. В насінні томатів міститься 27–30 % жиру, 25–35 % азотистих і 11–18 % безазотистих екстрактивних речовин, 2.5–5.8 % мінеральних речовин і 12–25 % целюлози. Оболонки томатів містять до 10 % вологи, близько 70 % целюлози, 5 % пектинових речовин, 5.4 % білків, 3.3 % жиру, 6.5 % золи і 2.5 % каротину.

Одним з основних показників якості сушеного продукту є збереження біологічно активних речовин. Величина втрат цих речовин визначається хімічними реакціями, що протікають у продукті в процесі сушіння. Швидкість цих реакцій збільшується з підвищенням температури матеріалу. Під час конвективного сушіння температура сушильного агенту і температура матеріалу в процесі сушіння практично рівні, що накладає обмеження на можливості інтенсифікації процесу шляхом підвищення температури сушильного агенту. Слід зазначити, що швидкість протікання хімічних реакцій залежить не тільки від величини температури, але й від часу її дії. Тому, в деяких сушильних установках температурний вплив на матеріал зменшується шляхом введення осцилюючих режимів – короткочасне перебування матеріалу в зоні високої температури з наступним його переміщенням у зону низької температури [1–9; 12]. Однак реалізація таких процесів обмежується технічною складністю і малою універсальністю стосовно виду сировини, що висушується.

Результати та їх обговорення

Хімічний склад томатних вичавок по ряду показників близький до вихідної сировини (табл. 1). Вичавки відрізняються підвищеним вмістом клітковини і водорозчинних вітамінів (вітаміни B1, B6 і вітаміни групи C), а також геміцелюлози, протопектину, целюлози і білків.

Table 1

Chemical composition of tomato pomace

Таблиця 1

Хімічний склад томатних вичавок	
Показники	в % на суху речовину
Вуглеводи	8.17
Білки	31.60
Жири	3.00
Клітковина	16.78

Проблема виробництва продуктів харчування, збагачених різними біологічно активними добавками, надзвичайно актуальна в умовах економічної й екологічної кризи. Вона призвела до збільшення захворюваності населення, причиною якого значним чином є існування деформації харчових раціонів. Фрукти, ягоди й овочі є

одним з основних джерел життєво важливих для людини органічних речовин – вітамінів, мінеральних речовин, пектину й ін. Споживання фруктів, а особливо ягід, носить сезонний характер, тому більшу частину року їх споживають у консервованому вигляді. Недоліком промислової переробки плодів (стерилізація, пастеризація, гомогенізація,

механічна обробка й ін.) є руйнування й окиснювання вітамінів, ароматичних та інших БАР, крім того – великий рівень відходів. Потреба в фруктово-ягідній продукції для дитячого харчування в Україні задовольняється не більше ніж на 20 %.

Виробництво порошків дозволяє реалізувати безвідхідні процеси переробки сільськогосподарської продукції, що є одним із перспективних шляхів раціонального використання сільськогосподарської сировини. На порошки можна переробляти нестандартну продукцію, оскільки порошок має низьку вологість (5...8 %), і в ньому майже цілком припиняються біохімічні процеси, що збільшує тривалість збереження порошків у 2–3 рази відносно тривалості збереження свіжої сировини [11; 12].

Одним із способів збереження і подальшої переробки томатних вичавок є сушіння до кінцевої вологості 8...14 %. Відомо, що томати сухі і проміжної вологості мають високу біологічну цінність, антиоксидантну активність і імунізаційні властивості. В сушених помідорах у висококонцентрованому вигляді знаходяться БАР: визначено вміст лікопіну, β -каротину, вітаміну С, поліфенолів і флавоноїдів. Залежно від сорту томатів вміст лікопіну становить від 5 до 50 мг/кг і зазвичай корелює з інтенсивністю червоного забарвлення плоду.

Лікопін – це каротиноїдний пігмент, що визначає забарвлення плодів деяких рослин, наприклад, томатів, гуави, кавуна. Лікопін є нециклічним ізомером бета-каротину, не розчинний у воді. Захищає частини рослини від сонячного світла і окисного стресу [10]. В клітинах рослин лікопін виступає як попередник всіх інших каротиноїдів, включаючи бета-каротин.

Лікопін зазвичай існує в чотирьох формах: агрегатні клітини, окремі клітини, вільні хромопласти, ендогенні ліпідні краплі. В клітинах моркви та томатів лікопін існує в вигляді мікрокристалів у хромопластах.

Лікопін не синтезується в людському організмі, він надходить тільки з їжею. Основним аліментарним джерелом є томати – до 80 % від загального споживання лікопінвмісних продуктів. Лікопін термічно стійкий: уварювання, упарювання, сушіння приводить до його концентрування в кінцевому продукті. Так, якщо в свіжих помідорах міститься до 50 мг/кг, то в кетчупі – вже до 140 мг/кг, а в томатній пасті – до

1500 мг/кг. Високий вміст в м'якоті та шкірці томатів лікопіну дозволяє збагачувати їм інші харчові продукти.

Основна функція лікопіну в людському організмі – антиоксидантна. Зниження окисного стресу уповільнює розвиток атеросклерозу, а також забезпечує захист ДНК, що може запобігати мутагенезу і канцерогенезу. Лікопін є найсильнішим каротиноїдом-антиоксидантом, присутнім в крові людини. Споживання лікопіну, а також харчових продуктів, збагачених лікопіном, приводить до ймовірного зменшення маркерів окисного стресу в людини.

На сьогодні вченими проведений ряд досліджень впливу лікопіну на етіологію і патогенез ряду неінфекційних захворювань. Проведено більше 100 досліджень з профілактики онкологічних захворювань за допомогою лікопіну або лікопінвмісних харчових продуктів. Встановлено, що ризик розвитку деяких видів раку обернено пропорційний вмісту в крові (або добового споживання) лікопіну. Такі висновки можна зробити щодо раку простати. Зокрема, лікопін може затримати або запобігти переростанню простатичної інтраепітеліальної неоплазії в рак передміхурової залози (РПЗ), і існує зворотна залежність між лікопіном і простат-специфічним антигеном. Показано, що підвищене споживання лікопіну пов'язано зі зменшенням ризику РПЗ.

В результаті мультицентрового дослідження EURAMIC в 10 європейських країнах була проведена оцінка співвідношення між антиоксидантним статусом людини та захворюваністю на гострий інфаркт міокарда. З усіх вивчених показників (альфа-каротин, бета-каротин і лікопін) тільки рівень лікопіну був доведений як захисний фактор. Крім того, показано, що високий рівень сироваткового лікопіну асоціюється зі зниженим ризиком гострого коронарного синдрому, інсульту, атеросклерозу, зниженням систолічного артеріального тиску і поліпшенням профілю ліпідів сироватки крові. В іншому дослідженні [10] було показано, що лікопін значно зменшує пошкодження ДНК, а також знижує продукти оксидативного ушкодження гуанінових основ ДНК.

Згідно з рекомендаціями ВОЗ по рівню споживання харчових і біологічно активних речовин, слід вживати близько 5 мг лікопіну на добу, верхній допустимий рівень споживання – 10 мг на добу. Однак в Україні, в

зв'язку з кліматичними особливостями регіону, більшість рослинних джерел лікопіну характеризується його низькими концентраціями. Крім того, з сирих продуктів лікопін не всмоктується, а особливості місцевої кухні передбачають вживання томатів переважно в сирому вигляді (салати). Таким чином, нагальною проблемою є збагачення харчового раціону українців лікопіном.

На сьогодні на ринку в достатній кількості присутні харчові продукти, збагачені каротиноїдами, однак лікопінвмісна харчова продукція практично відсутня, тому актуальною проблемою є розробка технології даного виду продуктів, у т. ч. функціональних.

Отриманий природний лікопін може бути використаний у вигляді порошкоподібних концентратів для збагачення харчових продуктів як масового, так і профілактичного призначення: безалкогольних напоїв і коктейлів, молочних і кисломолочних продуктів, сирних мас, фруктових і овочевих консервів, хлібобулочних та кондитерських виробів.

Експериментально доведена можливість створення продукту, збагаченого антиоксидантами, в тому числі лікопіном (5.4–7.2 мг/кг), за рахунок впровадження подрібнених розморожених або сублімованих насіння і шкірки томатів [10; 16–25].

Споживання оливкової олії першого віджиму і араганового масла в поєднанні з лікопіном томатів робить позитивний вплив на сироваткові концентрації індикаторних ферментів печінки (АЛТ, АСТ і лужної фосфатази) і сприяє підвищенню концентрації лікопіну в печінці, що покращує антиоксидантну ємність і функціональні параметри тканини печінки [8–10].

Перспективним напрямком у створенні функціональних продуктів, збагачених лікопіном, є розробка так званих «фітнеспродуктів», до яких відносяться різноманітні фруктові батончики. Зокрема, розроблені трикомпонентні батончики (томати, банани, папайя) з вмістом лікопіну 1.4–4.0 мг [10].

В експериментальному дослідженні, проведеному на щурах, доведено, що споживання томатної пасти, збагаченої лікопіном, приводить до пригнічення окисного стресу, індукованого N-нітрозодіетіламіном [8–20]. Застосування екстракту томатів, збагаченого лікопіном,

викликало зниження концентрацій біохімічних маркерів окисного стресу, гіпоксії, ангіогенезу і метастазування в дослідях на 37 мишах [10].

Порошок із сушених вичавок томатів використовуються в якості добавок у пшеничне борошно. Крім високого рівню вмісту лікопіну в хлібі, виготовленого з такого борошна, відзначені задовільні смакові якості і фізико-хімічні властивості [9–11]. Також продукти переробки томатів включаються в технологію виробництва локшини: додавання лікопіну в інкапсульованому вигляді приводить до мінімальних втрат (1.66 %) у процесі кулінарної обробки в порівнянні з додаванням вільного лікопіну, де втрати досягають 38.8 % [10]. Незважаючи на те, що томатні соуси містять високі рівні лікопіну в порівнянні зі свіжими або приготованими томатами, вони також додатково збагачуються лікопіном і є функціональними продуктами, які сприяють зниженню концентрацій ліпопротеїдів низької густини в сироватці і підвищення загальної антиоксидантної активності плазми [10].

Метою даної роботи є розробка технології отримання порошку з томатних вичавків із оптимальними технологічними характеристиками (дисперсність, органолептичні показники, набухання, вологовтримуюча здатність та режими процесу сушіння) для подальшого використання в харчовій промисловості та закладах ресторанного господарства.

Експериментальна частина

Об'єкт дослідження – раціональні режими сушіння та подрібнення томатних вичавків.

Предмет дослідження – порошок висушених томатних вичавків.

Томатні вичавки піддавали конвективному сушінню до остаточного вологовмісту не більше 7 %, далі подрібнювали на лабораторному млині з такими параметрами: час подрібнення – 30×60^2 с; інтенсивність помелу – 1000 об./хв.

Дисперсність порошку, отриманого з висушених томатних вичавків, визначали стандартним методом ситового аналізу за ISO 3310-1. Ситовий аналіз здійснювали просіюванням проб матеріалу через набір стандартних сит, розмір отворів яких послідовно зменшується зверху вниз, в результаті чого матеріал розділяється на

фракції [25–33]. Точну наважку масою випробуваного порошку не менш 50 г поміщали на верхнє сито і закривали кришкою. Просівали за допомогою коливальних рухів зі швидкістю 300 ± 15 об/хв (за одночасного його струшування вздовж осі з частотою 180 ± 10 ударів за хвилину) протягом 20 хв. Після розсіву зібрані з кожного сита фракції зважують з точністю 0.01 г і визначають масовий вміст кожної фракції у відсотках щодо загальної маси аналізу.

Набухання порошку, отриманого з висушених томатних вичавок, визначали наступним чином [25–27]: наважку масою 1 г змішували в мірному циліндрі з дистильованою водою, доводили об'єм суміші до 5 мл і залишали на 24 год для набухання, після чого вимірювали об'єм набряклого продукту (мл), коефіцієнт набухання розраховували за формулою (мл/г):

$$H = V/m,$$

де V – об'єм набряклого матеріалу в циліндрі, мл;

m – маса наважки, г.

Вологовтримуючу здатність, в %, визначали центрифугуванням набряклої наважки порошку, отриманого з висушених

томатних вичавок, за 3000 об/хв протягом 15 хв [16].

Коефіцієнт вологопоглинання розраховували за формулою:

$$B = 100 \frac{c-b}{a},$$

де c – маса центрифужної пробірки, г;

b – маса центрифужної пробірки з набряклим порошком, г;

a – наважки порошку, г.

Кількість води та сухих речовин у зразках порошку томатних вичавків визначали шляхом висушування в сушильній шафі за температури 80°C до постійної маси в попередньо висушених бюксах.

Для дослідження кінетики сушіння зразків використовували функціональні ємності з об'ємом завантаження 250 г, які розміщували в сушильній камері. В якості сушильного агента використовували повітря з температурами: 60°C , 70°C , 80°C і постійною швидкістю потоку. Зважуванням визначали зміну маси продукту, після чого визначали кількість сухих речовин і знаходили вміст води в заданий проміжок часу.

На рис. 1 наведена кінетика конвективного сушіння томатних вичавків (залежності вмісту води від часу висушування за різних температур). Як видно з рис. 1, тривалість сушіння залежить від температури та змінюється в інтервалі від 120 до 180 хв.

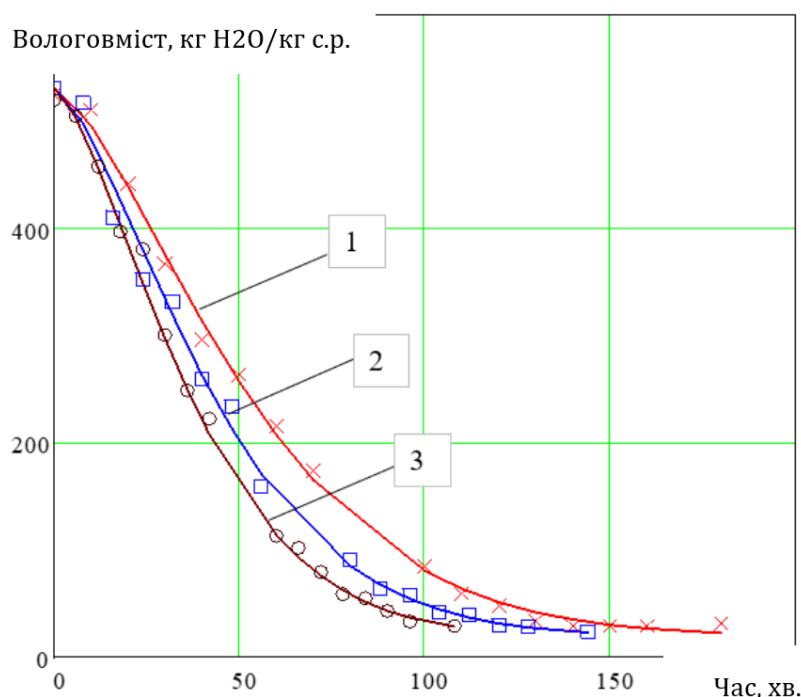


Fig. 1. Kinetics of convective drying of tomato pulp: 1 – 60°C ; 2 – 70°C ; 3 – 80°C

Рис. 1. Кінетика конвективного сушіння томатних вичавків: 1 – 60°C ; 2 – 70°C ; 3 – 80°C

Також з рис. 1 видно, що швидкість видалення вологи від початкової до 220 % зменшується практично в 2 рази. З графіку наглядно видно, що швидкість видалення вологи за температури 60, 70 та 80°C значно відрізняються. Найтриваліший час сушіння спостерігається за температури 60 °C та складає 180 хв. Такий вид залежності швидкості сушіння від вмісту вологи характерний для інтенсивних способів сушіння капілярно-пористих тіл [11–12; 17–19] і свідчить про досить інтенсивний процес сушіння напівфабрикату.

Таким чином, дослідження показали, що збільшення температури сушильного агенту приводить до скорочення тривалості сушильного процесу. За раціональними параметрами був обраний режим сушіння томатних вичавків за температури 80 °C протягом 120 хв, що повністю задовольняє технологічним вимогам.

Подрібнювання сушених томатних вичавок проводили на лабораторному млині з такими параметрами: тривалість подрібнення 10 с,

30 с, 60 с, 90 с та інтенсивності обертів 1000 об/хв.

Для дослідження дисперсності порошку, отриманого з висушених томатних вичавків, нами був застосований метод ситового аналізу та визначений розмір частинок. Спочатку порошок поділяли на фракції, як було зазначено вище, та методом мікроскопіювання з використанням мікрометр-окуляра визначали розміри частинок.

Відсоткове співвідношення частинок різного розміру визначали за формулою:

$$Q_i = \frac{N_i}{\sum N} \times 100\%.$$

Для апроксимації кривих використовували функцію вигляду:

$$f(x) = a_1 \times x \times \exp(a_0 + a_2 \times x^2).$$

За допомогою послідовних операцій та формул у середовищі програми Mathcad оброблені отримані дані і побудовані криві розподілу частинок порошку томатної вичавки – рис. 2.

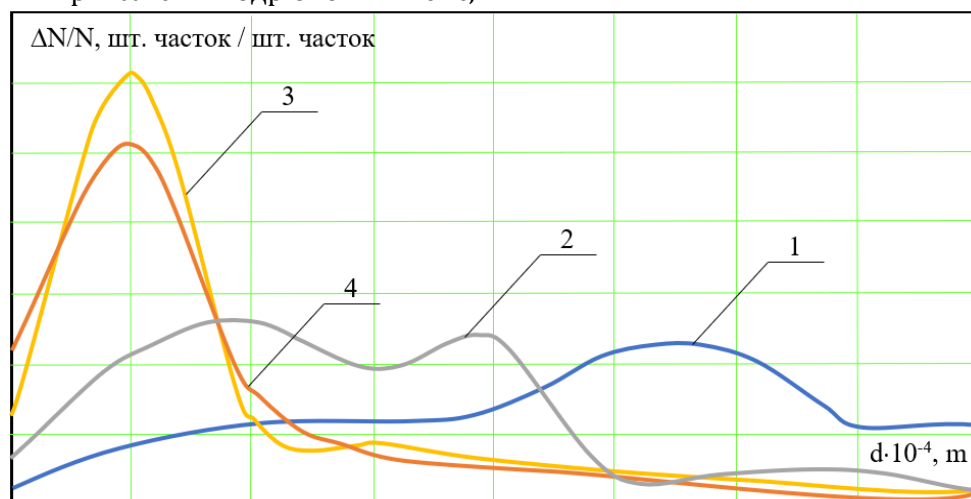


Fig. 2. Distribution of particles of crushed tomato pulp powder by diameter during grinding, s:

1 – 10; 2 – 30; 3 – 60; 4 – 90

Рис. 2. Розподіл частинок подрібненого порошку томатних вичавків за діаметрами протягом подрібнення, с: 1 – 10; 2 – 30; 3 – 60; 4 – 90

Отримана функція досить точно описує експериментальні дані та, найголовніше, точно припадає на експериментальні максимуми кривих на рис. 2, що дало змогу визначити за допомогою неї найімовірний

розмір частинок подрібнених томатних вичавків.

Фракційний склад (за дисперсністю) подрібненого порошку томатних вичавків наведено в таблиці 2.

Table 2

Fractional composition (by dispersion) of crushed tomato pulp powder

Таблиця 2

Фракційний склад (за дисперсністю) подрібненого порошку томатних вичавків									
Номер фракції	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Дисперсність, 10 ⁻⁶ м	5...10	10...20	20...30	30...40	40...50	50...60	60...70	70...90	90...100

Частинки порошку томатних вичавків умовно поділено на фракції: дрібнодисперсну – розмір частинок $(10...30) \cdot 10^{-6}$ м, середньої дисперсності – $(30...50) \cdot 10^{-6}$ м та крупнодисперсну – $(50...100) \cdot 10^{-6}$ м. Як видно з рис. 2, криві розподілу частинок під час сушіння мають яскраво виражені піки крупнодисперсної фракції в ході подрібнення протягом 10 с. що складає 72 %, від загальної кількості. За тривалості подрібнення 30 с основна фракція представлена середнім розміром частинок $(30...50) \cdot 10^{-6}$ м та складає 65 %.

Зі збільшенням тривалості подрібнення з 30 с до 60 с розмір частинок становить: основна фракція $(10...30) \cdot 10^{-6}$ м, складає 65 %.

Під час збільшення тривалості подрібнення з 60 с до 90 с дрібна фракція переважає $(10...30) \cdot 10^{-6}$ м та складає 70 %.

Встановлено, що для отримання крупної фракції $(50...100) \cdot 10^{-6}$ м необхідний час подрібнення 10 с, середньої фракції – $(30...50) \cdot 10^{-6}$ м 30 с та дрібнодисперсної – $(10...30) \cdot 10^{-6}$ м – 60 с, що необхідно враховувати в процесі їх отримання.

Досліджені органолептичні показники порошоків томатних вичавків з метою подальшого використання в технологіях кулінарної продукції. Органолептичні показники характеризували за такими показниками: зовнішній вигляд, колір, запах, смак, консистенція. Результати досліджень наведені в таблиці 3. Видно, що порошок томатних вичавків має сприйнятливі органолептичні показники, також вони є зручною товарною формою, яка може бути перспективною для низки технологій у харчовій індустрії.

Table 3

Organoleptic characteristics of tomato juice powders

Таблиця 3

Органолептичні показники порошоків томатних вичавків	
Показник	Характеристика
Зовнішній вигляд	Однорідний без сторонніх включень
Смак	Властивий сушеним томатам, без сторонніх присмаків
Запах	Властивий сушеним томатам, виражений, без сторонніх запахів
Колір	Від світло-червоного до червоного
Консистенція	Однорідна дрібнодисперсна сипка маса

В таблиці 4 наведений загальний хімічний склад томатного порошку, отриманого з томатних вичавків, та томатного порошку з цільних томатів. У 100 г томатного порошку

також міститься 80 мкг каротиноїдів, у тому числі 35 мкг Р-каротину і 42 мкг лікопіну, і 352 мкг аскорбінової кислоти.

Table 4

Total chemical composition of tomato powder, %

Таблиця 4

Загальний хімічний склад томатного порошку, %							
Продукт	Вода	Жир	Білок	Зола	Вуглеводи	Пектин	Клітковина
Порошок томатний з вичавків (результати досліджень)	3.1	0.43	12.9	8.9	58.2	1.2	16.5
Порошок томатний (контроль)	4–7	0.1–0.4	10–12	7–10	40 - 57	0.8	8.7

Досліджене набухання порошку, отриманого з висушених томатних вичавків, для різних фракцій (крупнодисперсної, середньодисперсної та дрібної). Набухання порошку, отриманого з висушених томатних вичавків, визначали наступним чином [30–33]: наважку масою 1 г змішували в мірному циліндрі з дистильованою водою, доводили об'єм суміші до 5 мл і залишали на 24 год для набухання, після чого вимірювали об'єм набряклого продукту (мл), набухання

розраховували за відповідною формулою. Результати досліджень набухання порошку, отриманого з висушених томатних вичавків для різних фракцій, наведено на рис. 3. За результатами досліджень встановлено, що найбільший коефіцієнт набухання притаманний дрібній фракції, але й крупнодисперсна та середньодисперсна фракції характеризуються доброю здатністю до набухання.



Fig. 3. Results of research on the swelling of powder obtained from dried tomato pomace for different fractions
Рис. 3. Результати досліджень набухання порошку, отриманого з висушених томатних вичавків, для різних фракцій

Вологовтримуючу здатність різних фракцій (крупнодисперсної, середньодисперсної та дрібної), визначали центрифугуванням набряклої наважки порошку, отриманого з висушених томатних вичавків, за 3000 об/хв протягом 15 хв [25–35], коефіцієнт вологопоглинання розраховували за відповідною формулою. Результати розрахунків коефіцієнту вологопоглинання наведено на рис. 4. Встановлено що найкращому показнику вологопоглинання відповідає дрібна фракція.

Однією з найбільш важливих характеристик томатного порошку є його відновлення, тобто здатність вбирати вологу і наближатися за властивостями до натуральної овочевої сировини. Експериментально визначали ступінь відновлення томатного порошку за різних дозувань води (від 1:1 до 1:8), для

найкращого п використання в виробництві різних продуктів.

Тривалість набухання порошку становила 30 хв. Виходячи з хімічного складу томатного порошку, після внесення його в продукт у кількості 10 % в гідратованому вигляді, в 100 г продукту міститиметься 0.22 г харчових волокон. Це не задовольняє повністю добову потребу людини, але свідчить про підвищення функціональності продукту. Додатково функціональними компонентами є лікопін, каротиноїди, макро- і мікроелементи, вітаміни.

На основі експериментальних даних обрані технологічні режими процесу отримання порошку з томатних вичавків, блок-схема якого представлена на рис. 5: сушіння за температури 80 °C протягом 120 хв., тривалість подрібнення 30 с, середній розмір частинок $(30...50) \cdot 10^{-6}$ м.

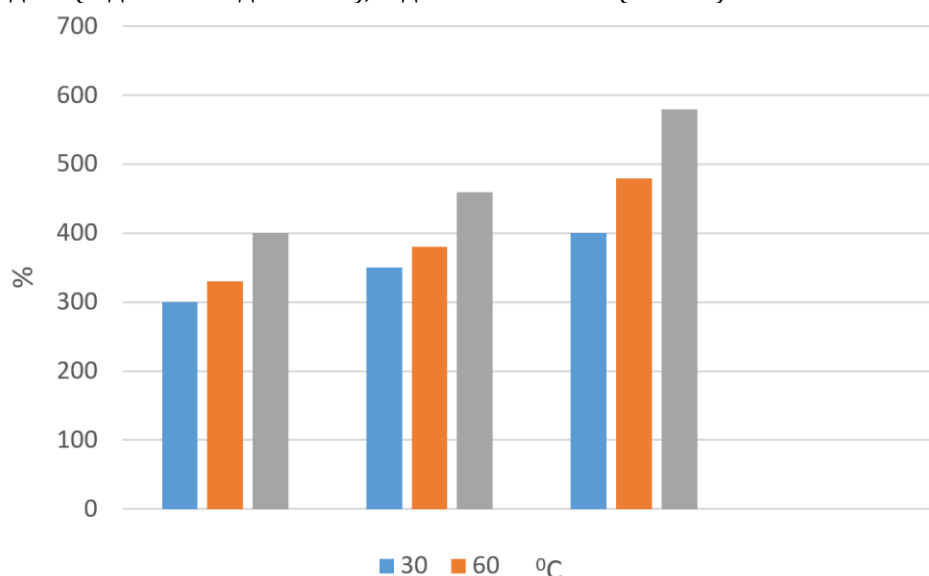


Fig. 4. Results of calculating the moisture absorption coefficient of powder obtained from dried tomato pomace for different fractions

Рис. 4. Результати розрахунку коефіцієнта вологопоглинання порошку, отриманого з висушених томатних вичавків, для різних фракцій



Fig. 5. Flowchart of tomato powder production
Рис. 5. Блок-схема отримання томатного порошку

Висновки

На основі проведених досліджень встановлено, що збільшення температури сушильного агенту приводить до скорочення тривалості сушильного процесу. Обрано оптимальний режим сушіння томатних вичавків: температура 80 °C; тривалість процесу 120 хв, що повністю задовольняє технологічним вимогам.

Методом ситового аналізу досліджена дисперсність порошку, отриманого з висушених томатних вичавків, та визначений розмір частинок. Встановлено, що для отримання крупної фракції $(50...100) \cdot 10^{-6}$ м необхідний час подрібнення 10 с, середньої фракції $(30...50) \cdot 10^{-6}$ м – 30 с та дрібнодисперсної $(10...30) \cdot 10^{-6}$ м – 60 с, що необхідно враховувати під час їх отримання.

Встановлено, що порошок томатних вичавків має прийнятні органолептичні

показники, також вони є зручною товарною формою, яка може бути перспективною для низки технологій у харчовій промисловості та закладах ресторанного харчування.

Досліджено набухання порошку, отриманого з висушених томатних вичавків, для різних фракцій (крупнодисперсної, середньодисперсної та дрібної). Встановлено, що найбільший коефіцієнт набухання притаманний дрібній фракції, але крупнодисперсна, середньодисперсна фракції теж характеризуються доброю здатністю до набухання.

Досліджена вологовтримуюча здатність різних фракцій (крупнодисперсної, середньодисперсної та дрібної) та розраховані коефіцієнти вологопоглинання. Встановлено, що найкращому показнику вологопоглинання відповідає дрібна фракція.

Reference

- [1] Snezhkin, Yu. F., Shapar, R. O., Gusarova, O. V. (2021). [Reduced energy intensity of heat technologies in the production of dried products]. *Energy and energy efficiency have been reinvented in the 21st century: materials of the XXII International Scientific and Practical Conference*, 885–889. (In Ukrainian)
- [2] Snezhkin, Yu. F., Pazyuk, V. M., Petrova, Zh. O. (2021). [Improved energy efficiency of drying grain crops]. *Energy and energy efficiency have been rediscovered in the 21st century: materials of the XXII International Scientific and Practical Conference*, 860–864. (In Ukrainian)/
- [3] Snezhkin, Yu. F. (2022). [New technologies and methods of heat and power supply in municipal energy: Transcript of the speech at the meeting of the Presidium of the National Academy of Sciences of Ukraine on June 5, 2022]. *Visnik Nacional Noi Akademii Nauk Ukraini*, (11), 46–53. (In Ukrainian) <https://doi.org/10.15407/visn2022.11.046>
- [4] Petrova, Zh.O., Pazyuk, V. M., Novikova, Y.P., Petrov, A. I. (2022). *Research on the processing of peat into composite fuel*. In M. S. Painted (Eds.), *Sustainable Development: Environmental Protection. Energy*
- [5] Geletukha, G. G., Zheliezna, T. A., Kucheruk, P. P., Drahnev, S. V. (2023). Analysis of prospective directions for using Ukraine's biomass potential for energy. *Thermophysics and Thermal Power Engineering*, 45(2), 77–86. <https://doi.org/10.31472/ttpe.2.2023.9>
- [6] Petrova, Z., Sniezkin, Y., Paziuk, V., Novikova, Y., Petrov, A. (2021). Investigation of the Kinetics of the Drying Process of Composite Pellets on a Convective Drying Stand. *Journal of Ecological Engineering*, 22(6), 159–166. <https://doi.org/10.12911/22998993/137676>
- [7] Kirilenko, O. V., Snezhkin, Yu. F., Basok, B.I., Bazeev, E.T. (2022). Energy of Ukraine: current scenarios for renewal and development. *Visnik Nacional Noi Akademii Nauk Ukraini*, (9), 22–37. <https://doi.org/10.15407/visn2022.09.022>
- [8] National Council for the Recovery of Ukraine from the War. (2022). [Draft of the Post-War Recovery and Development Plan for Ukraine. Working group "Audit of losses incurred as a result of the war"]. (In Ukrainian). <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/audit-of-war-damage.pdf>

- [9] National Council for the Recovery of Ukraine from the War. (2022). [Draft of the Post-War Recovery and Development Plan for Ukraine. Working group "Energy security"]. (In Ukrainian). <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/energy-security.pdf>
- [10] Kushnir O.V. (2020) Action of phytohormone analogs and tebuconazole retardant in the growth process, morphogenesis and yield of sweet pepper: *abstract... cand. Ph.D. S.-G. Sciences*.
- [11] Yakushenko, E.N., Zhyla, V.I. (2024). The influence of the heat and mass transfer parameter on the average integral temperature during the drying process. *Proceeding of the Conference*. 53–59.
- [12] Yakushenko, E.N. (2014). [Improvement of energy efficiency in the process of drying grape peels in a mass exchange module with conductive heat input], *abstract of... cand. tech. Sciences*. (In Ukrainian).
- [13] [Preparation for the heating period under martial law.] (2022). USAID seminar materials. (In Ukrainian)
- [14] National Council for the Recovery of Ukraine from the War. (2022). [Draft of the Post-War Recovery and Development Plan for Ukraine. Working group "Construction, urban planning, modernization of cities and regions of Ukraine"]. (In Ukrainian) <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/construction-urban-planning-modernization-of-cities-and-regions.pdf>
- [15] Kyrylenko, O. V., Basok, B. I., Baseyev, Ye. T., Blinov, I. V. (2020). Power industry of Ukraine and realities of the global warming. *Tekhnichna Elektrodynamika*, (3), 52–61. <https://doi.org/10.15407/techned2020.03.052>
- [16] Basok, B. I., Butkevych, O. F., Dubovskyi, S. V. (2021). Technical and economic aspects of decarbonisation prospects assessing of the interconnected power system of Ukraine. *Tekhnichna Elektrodynamika*, (5), 55–62. <https://doi.org/10.15407/techned2021.05.055>
- [17] [Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine]. (In Ukrainian)/ <https://www.slideshare.net/rstofficial/ltrs10082022pdf>
- [18] Blueprint for the Reconstruction of Ukraine. (2022). Centre for Economic Policy Research. London. <https://cepr.org/about/news/blueprint-reconstruction-ukraine>
- [19] Energy Efficiency 2021. (2021). IEA. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/9c30109f-38a7-4a0b-b159-47f00d65e5be/EnergyEfficiency2021.pdf>
- [20] Basok, B. I., Bazyeev, Ye. T., Kuraieva, I. B. (2021). Adaptation of municipal heat energy to climate change. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.*, (4), 60–75. <https://doi.org/10.15407/visn2021.04.060>
- [21] Geyets, V. M., Kyrylenko, O. V., Basok, B. I., Baseyev, Ye. T. (2020). Energy Strategy: Projections (Review). *Sci. Innov.*, 16(1), 3–14. <https://doi.org/10.15407/scine16.01.003>
- [22] Gusarova, O. V. (2020). [Intensification of heat and mass transfer during the consumption of apple chips], *Abstract of the dissertation of a candidate of technical sciences, ITTF NASU*. (In Ukrainian) <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28554.08644>
- [23] Snezhkin, Y., Petrova, Z., Paziuk, V., Telnikov, Y., Vyshnevskiy, V., Malaschik, N. (2023). Energy-efficient chamber dryer with thick alloy heating elements. *Energy Technologies & Resource Saving*, 75(2), 85–95. <https://doi.org/10.33070/etars.2.2023.07>
- [24] Thamkaew, G., Sjuholm, I., Galindo, F. G. (2021). A review of drying methods for improving the quality of dried herbs. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(11), 1763–1786.
- [25] Nayak, P., Kumar, T., Gupta, A. K., Joshi, N. U. (2020). Peppermint a medicinal herb and treasure of health. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 1519–1528.
- [26] Nasr, A. (2020). *Antioxidant Properties of Oven and Microwave Dried Ginger (Zingiber officinale)*, Master's thesis, University. <https://doi.org/10.13140/RG.2>
- [27] Galangal Root in the Carpathians <http://karpatyua.org.ua/koren-kalgana-v-karpatax.htm> (date of applying 02.02.21).
- [28] Lin, X., Xu, J.-L., Sun, D.-W. (2020). Evaluating drying feature differences between ginger slices and splits during microwave-vacuum drying by hyperspectral imaging technique. *Food Chemistry*, 332, 127407. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127407>
- [29] Namkanisorn, A., Murathathunyaluk, S. (2020). Sustainable drying of galangal through combination of low relative humidity, temperature and air velocity. *Energy Reports*, 6(2), 748–753. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.11.150>
- [30] Husarova, O., Shapar, R., Sorokova, N. (2020). *Intensification of heat and mass transfer during the convective drying of apple to low final moisture*. In *Theoretical and Practical Aspects of the Development of the European Research Area*. Riga, Latvia: Baltija Publishing. <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-53-2-52>
- [31] Rudobashta, S. P., Kartashov, Ĭ. M., Zueva, G. A. (2020). Mathematical modeling of the process of convective drying of materials taking into account their shrinkage. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 93(6), 1394–1401.
- [32] Avdieieva, L., Zhukotskyi, E., Dekusha, H., Ivanov, S. (2021). Analysis of the existing methods and specific features of drying shiitake mushrooms. *Food Science and Technology*, 15(3), 94–107. <https://doi.org/10.15673/fst.v15i3.2118>
- [33] Hu, L., Bi, J., Jin, X., Qiu, Y. (2021). Study on the rehydration quality improvement of shiitake mushroom by combined drying methods. *Foods*, 10, 769. <https://doi.org/10.3390/foods10040769>
- [34] Maftoonazad, N., Dehghani, M. R., Ramaswamy, H. S. (2022). Hybrid microwave-hot air tunnel drying of onion slices: Drying kinetics, energy efficiency, product rehydration, color, and flavor characteristics. *Drying Technology*, 40, 966–986. <https://doi.org/10.1080/07373937.2020.1841790>
- [35] Mierzwa, D., Szadzińska, J. (2023). An investigation of the use of microwaves and airborne ultrasound in the convective drying of Kale: Process efficiency and product characteristics. *Sustainability*, 15(23), 16200. <https://doi.org/10.3390/su152316200>
- [36] Subramaniam, S., Shunshun, J., Zhang, Z., Pu, J. (2021). Impact of post-harvest processing or thermal dehydration on physiochemical, nutritional and sensory quality of shiitake mushrooms. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20, 2560–2595. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12738>