

## Дослідження процесу вакуумного низькотемпературного смаження *Pleurotus eryngii*

**Анотація.** Гриби споживаються через їх поживні речовини та терапевтичні біологічно активні сполуки, історично використовувалися в медицині, а представники роду *Pleurotus* є їстівними видами які багаті харчовими волокнами, вітамінами, мікро- та макроелементами, вуглеводами. Мета – теоретично обґрунтувати вакуумне смаження шматочків гливи, отримати хрусткий продукт з оптимальними споживчими характеристиками. В процесі дослідження використано методи вакуумного низькотемпературного смаження, органолептичного дослідження, ортогонального тесту, однофакторного та статистичного аналізу. Проаналізовано чинники, що впливають на якість вакуумного смаження гливи: час попереднього сушіння, температуру та час смаження. Описано та проаналізовано зв'язок показників вмісту олії та сенсорної оцінки. Були визначені оптимальні технологічні параметри смаження у вакуумі. *Pleurotus eryngii* товщиною 2 мм були повністю інактивовані в умовах проварювання протягом 90 с при 80 °С, і протягом 10 с при 90 °С і 100 °С. Якщо відбувається тривале варіння, текстура гливи стає м'якою, погано піддається подальшій обробці під вакуумом при низькій температурі. Тому, з метою економії виробничої енергії та зменшення втрати смаку і поживних речовин, було обрано приготування при 80 °С протягом 90 с. Зазначено, що обробка *Pleurotus eryngii* мальтодекстрином перед смаженням у вакуумі, зменшує вміст олії після смаження, забезпечує однорідну структуру, гарний смак і хрусткість продукту. Було отримано оптимальні параметри: зрізи по 2 мм, масова частка мальтодекстрину 15 %, тривалість ультразвукової обробки 15 хв. Описано вплив на сенсорну оцінку основного і вторинного порядку: температура смаження > час попереднього сушіння > час смаження. Було зазначено конкретні параметри, за яких продукт отримає найкращі сенсорні показники, а саме: смаження 10 хв, попереднє сушіння 20 хв, температура смаження 90 °С. Було проаналізовано фактори впливу на вміст олії: час попереднього сушіння > час смаження > температура смаження. Було встановлено, що продукт може отримати найменший вміст олії за умови попереднього сушіння 30 хв, температури смаження 80 °С протягом 10 хв. Практична цінність дослідження полягає у визначених оптимальних умовах досліджуваного процесу: час попереднього сушіння гарячим повітрям 20 хв, температура смаження 80-90 °С, час смаження 10 хв, ступінь вакууму смаження 0,08-0,09 МПа

**Ключові слова:** глива; якість; однофакторний тест; ортогональний тест; сенсорна оцінка; бланшування; олія

### Вступ

Смаження свіжого *Pleurotus eryngii* – це новий спосіб вживання, який додатково задовольняє потреби різних споживачів. Водночас, смаження відіграє важливу роль у покращенні якості їжі. Після обсмажування форма зменшується і стає твердою та крихкою. На поверхні поступово утворюється шар золотисто-жовтого кольору, виділяючи неповторний аромат смаженої їжі, що є хрусткою і смачною.

А. Pérez-Montes *et al.* (2021) в своїй роботі зазначили, що застосування їстівних грибів у харчовій промисловості пояснюється їх фізико-хімічним складом та економічною доступністю. *Pleurotus eryngii* багатий на бактерії, хрусткий і ніжний за текстурою, білого кольору, має унікальний мигдальний аромат і смак морського вушка, тому його називають мигдальним грибом-вушком. Його батьківщиною є Південна Європа, Північна Африка та Центральна Азія.

Харчова цінність грибів залежить від умов їх вирощування. За даними F. Ayimbila & S. Keawsompong (2023), вміст білка коливається від 18 до 37 %. В дослідженнях J. Raman *et al.* (2021) вміст білків, вуглеводів та харчових волокон становив 15,4-28,6 %, 61,3-84,1 %, 33,3 %

відповідно. Вчені H. El-Ramady *et al.* (2022) дійшли висновку, що у кожних 100 г сушеного *Pleurotus eryngii* міститься 11,95-35,5 % білків, 39,85-63,03 % вуглеводів, 36,78 г загального цукру, 1,06-7,50 % жирів, 6,20-28,29 % харчових волокон, 2,97-10,7 % золи, що підходить для діабетиків та людей похилого віку:

*Pleurotus eryngii* багатий на поживні речовини. Він містить багато білків, вуглеводів, а також багато вітамінів і мінеральних елементів. Він має хрусткий і ніжний смак, проявляє ефект зниження рівня цукру в крові, зниження рівня жиру в крові, запобігання раку, підвищення імунітету, антиоксидантні, антибактеріальні та антивікові ефекти, а також проти втоми і старіння. Відповідно аналізу A. González *et al.* (2020), білок *Pleurotus eryngii* містить 18 видів амінокислот, а вміст 8 видів незамінних амінокислот людського організму становить 42,0% від загальної кількості амінокислот, що відповідає еталонній моделі білка, запропонованій продовольчою та сільськогосподарською організацією, всесвітньою організацією охорони здоров'я. Дослідження на мишах, яке провели вчені Y. Zhao *et al.* (2020), показало зниження маси тіла тварин при вживання *Pleurotus eryngii*. В оглядовій статті S.K. Dubey *et al.* (2019) проаналізовано використання грибів під час лікування діабету та ожиріння. Цю думку підтвердили в своїх дослідженнях також J. Ślusarczyk *et al.* (2021). Вони звернули увагу на полісахариди, які проявляють імунорегуляторні та протипухлинні властивості, активуючи імунну систему організму. Наразі більшість грибів є свіжими продуктами харчування, а невелику частину переробляють на сушені (Fang *et al.*, 2021). При цьому вчені J.-W. Bai *et al.* (2023) значну увагу приділяють вивченню методів та умов сушіння: сушіння гарячим повітрям, інфрачервоне сушіння, мікрохвильове сушіння.

Технологія вакуумного низькотемпературного смаження, на думку D. Yang *et al.* (2020), в основному відноситься до використання принципу зниження температури кипіння води у вакуумі під негативним тиском та використання рослинної олії з сильною антиокислювальною здатністю як середовища для досягнення процесу смаження та зневоднення в умовах низьких температур. У порівнянні зі звичайним смаженням під тиском, воно може краще зберігати початковий колір, смак і поживні речовини матеріалу, і в той же час може зменшити ступінь деградації окислення олії та утворення канцерогенів. Крім того, легко сформувати пухку і пористу структуру та хрусткий смак.

Свіжий *Pleurotus eryngii* має надзвичайно високий вміст води і м'які та ніжні тканини. Після процесів захисту кольору, бланшування та занурення, вміст вологи в тканинах ще більше збільшиться через руйнування деяких тканинних клітин. Якщо вакуумне смаження проводиться безпосередньо, високий вміст води призведе до високого вмісту олії в продукті; якщо вакуумне смаження проводиться після обробки заморожуванням, хоча це корисно для площинності продукту, це призведе до збільшення вмісту олії. A. Ren *et al.* (2018) вважають, що кристали льоду, які утворюються при заморожуванні, зроблять структуру продукту вакуумного смаження більш пухнастою. Під час процесу вакуумного смаження кристали льоду безпосередньо випаровуються, тому продукт матиме певний ефект розширення, але простір, утворений розширенням, буде замінений масляною фазою, що спричинить високий вміст олії в продукті. Дослідження J.R. Barbosa *et al.* (2020) показало, що вакуумне смаження проводиться безпосередньо після заморожування. В цей час різниця температур між матеріалом і жиром велика, а структура матеріалу після заморожування більш рихла, що сприяє проникненню масляної фази, що також призводить до високого вмісту олії в продукті.

Зазвичай вважається, що існує два способи адсорбції жиру в процесі вакуумного смаження: один – контакт і адсорбція жиру з поверхнею матеріалу; інший – заміна водної фази на масляну в процесі масообміну під час вакуумного смаження. Чим більший поверхневий натяг, тим важче олії адсорбуватися продуктом, що підтверджено дослідженнями J. Zhang & L. Fan (2021). Для першого методу адсорбції поверхневий натяг матеріалу можна змінити, щоб зменшити адсорбцію олії, наприклад, додавши поверхнево-активну речовину. Для другого методу мета зменшення адсорбції олії може бути досягнута за рахунок зменшення простору водної фази. Зазвичай для зменшення вмісту олії використовують метод збільшення вмісту розчинних твердих речовин і зменшення вмісту вологи перед смаженням.

Мета роботи полягала у створенні теоретичної основи для контролю якості вакуумного смаження хрустких скибочок гливи у вакуумі.

### Матеріали та Методи

Під час дослідження було використано технологію вакуумного низькотемпературного смаження для обробки шматочків *Pleurotus eryngii*, просочення та попереднє сушіння гарячим повітрям – для збільшення вмісту сухих речовин та зменшення вмісту вологи з метою зменшення вмісту олії в продукті. За допомогою однофакторного тесту було досліджено вміст вологи та олії в скибочках *Pleurotus eryngii* під час смаження у вакуумі, а також визначено відповідний діапазон випробувань для проведення ортогонального тесту. Вміст вологи, вміст олії та сенсорна оцінка були використані як індикатори для визначення оптимальних параметрів смаження та параметрів знежирення під час процесу вакуумного низькотемпературного смаження скибочок *Pleurotus eryngii*.

Були використані наступні прилади та обладнання: електронні ваги TP-200D (виробник: Xiangyi Balance Instrument Equipment Co., Ltd.); VF-40C Вакуумна фритюрниця (виробник: Zhong Shan VK Vacuum Machinery Co., Ltd.); НН-S масляна баня з постійною температурою (виробник: Jiangsu Jintan Huanyu Scientific Instrument Factory); SZT-06A Жиромір (виробник: Suzhou Tianwei Instrument Co., Ltd.); Сушильна шафа типу 101-2 (виробник: Шанхайський експериментальний приладобудівний завод); KQ-50B Ультразвуковий очищувач (виробник: Kunshan Ultrasonic Instrument Co, Ltd.).

Послідовність дослідження була наступною: (1) Вибирається свіжий, без гнилі та механічних пошкоджень, вимитий у проточній воді *Pleurotus eryngii*. (2) *Pleurotus eryngii* після миття розрізається на частини і нарізається поздовжньо, товщина скибочок - близько 2 мм. (3) Нарізані скибочки *Pleurotus eryngii* поміщаються в гарячу воду для бланшування, фіксується час поміщення. Виймаються відразу після бланшування і швидко охолоджуються проточною водою. (4) Охолоджені шматочки *Pleurotus eryngii* поміщаються в розчин мальтодекстрину певної концентрації для занурення за допомогою ультразвуку. Після замочування, шматочки *Pleurotus eryngii* виймаються, поверхнева волога висушується. (5) Оброблені шматочки *Pleurotus eryngii* поміщаються в сушильну шафу для попередньої сушки при певній температурі. (6) Попередньо висушені скибочки *Pleurotus eryngii* поміщаються в герметичний контейнер і ставиться в герметичне місце. (7) Вмикається пристрій для смаження у вакуумі та встановлюється температура смаження, час смаження та час зняття олії. Нагрівається пальмова олія до заданої температури, скибочки *Pleurotus eryngii* поміщаються на решітку для смаження, закривається контейнер для смаження, який поміщається в камеру для смаження, дверцята камери для смаження закриваються, після чого вмикається вакуумний насос для вакуумування. Коли ступінь вакууму досягає приблизно 0,08-0,09 МПа, опускається контейнер для смаження у вакуумі. (8) Після закінчення процесу смаження, рівень масла в контейнеру для смаження піднімається. Контейнер для смаження знежирюється під вакуумом. Після знежирення вмикається двигун і вакуумний насос, відкривають вакуумний клапан, щоб здути повітря, і виймається експериментальний продукт. (9) Обираються хрусткі цілі скибочки *Pleurotus eryngii* з рівномірною текстурою для пакування в азотному середовищі.

З метою запобігання реакції потемніння скибочок *Pleurotus eryngii*, під час попереднього сушіння гарячим повітрям та процесу вакуумного обсмажування, було проведено відбілювання та ферментативну обробку. Наявність активності пероксидази використовується як індикатор того, чи повністю зруйнований фермент. Для того, щоб визначити взаємозв'язок між температурою і часом бланшування та активністю пероксидази, *Pleurotus eryngii* було розрізано на скибочки товщиною близько 2 мм і проведено бланшування у воді при 60 °С, 70 °С, 80 °С, 90 °С, 100 °С. Скибочки гриба виймалися через 2 с, 5 с, 10 с і 15 с і тестувалися тестовим розчином 2-метоксифенолу. Якщо колір скибочок *Pleurotus eryngii* не змінився, це означало, що вони були повністю інактивовані.

Обробка занурення шматочків *Pleurotus eryngii* проводилася перед вакуумним низькотемпературним смаженням. Використано просочення за допомогою ультразвуку для

сприяння просоченню. Використовуючи ультразвукове просочення з товщиною зрізу 2 мм як фіксований параметр, було вивчено вплив концентрації мальтодекстрину та співвідношення матеріал-рідина на вміст твердої речовини в шматочках *Pleurotus eryngii*. У кожній групі були відібрані шматочки *Pleurotus eryngii* після бланшування, і два фактори – концентрація мальтодекстрину та співвідношення матеріалу до рідини – були використані для вивчення зміни вмісту твердої речовини в 2 мм шматочках *Pleurotus eryngii* після бланшування. Концентрація просочення становила 10 %, 15 %, 20 %, 25 %; співвідношення матеріал-рідина – 5 мл/г, 10 мл/г, 15 мл/г, 20 мл/г для однофакторного експерименту. Різниця в якості була використана для визначення вмісту твердої речовини в шматочках *Pleurotus eryngii* після занурення і для визначення оптимальних параметрів процесу занурення.

Перед вакуумним низькотемпературним смаженням скибочки *Pleurotus eryngii* проходять певну попередню сушку, яка може належним чином зменшити вміст вологи в грибних скибочках і зменшити заміну водної фази на масляну в процесі вакуумного смаження, що може ефективно зменшити вміст олії в продуктах після швидкого вакуумного смаження. Для того, щоб вивчити вплив процесу попереднього сушіння на якість шматочків *Pleurotus eryngii*, шматочки *Pleurotus eryngii* товщиною близько 2 мм після бланшування та занурення піддавалися сушінню на гарячому повітрі при температурі 60 °C, 70 °C та 80 °C відповідно. Після оцінки, вміст вологи, колір і деформація шматочків *Pleurotus eryngii* оцінювалися як індикатори і вимірювалися кожні 10 хвилин для визначення оптимальних параметрів процесу попереднього сушіння.

Для того, щоб вивчити вплив температури смаження на вміст олії в продукті та сенсорну якість, умови попереднього сушіння були встановлені для сушіння при 60 °C протягом 20 хвилин, час смаження у вакуумі – 10 хвилин, ступінь вакууму – 0,08-0,09 МПа, температура смаження – 70 °C, смаження проводилося при 80 °C, 90 °C, 100 °C та 110 °C, швидкість знежирення – 350 об/хв, а час знежирення – 10 хвилин. Кожного разу, коли для однофакторного тесту було відібрано 100 г шматочків *Pleurotus eryngii*, було визначено вміст олії та води в кінцевому продукті, а також сенсорно оцінено продукт.

Умови вакуумного смаження мають великий вплив на колір, хрусткість, жирність, смакові характеристики, форму зовнішнього вигляду та інші якості *Pleurotus eryngii* (Табл. 1). Беручи час попередньої сушки гарячим повітрям, температуру смаження у вакуумі та час смаження у вакуумі як фактори, відповідний рівень кожного фактора, визначений відповідно до однофакторного тесту, приймається як рівень ортогонального тесту, а ортогональний тест L9 призначений для визначення остаточного процесу смаження у вакуумній олії.

**Таблиця 1.** Критерії та методи сенсорної оцінки

Оцінка	Колір	Хрусткість	Жирність	Смакові характеристики	Форма	Загальне сприйняття
0-2	Жовтувато-коричневий, сильне побуріння	Твердіше або м'якше	Високий вміст олії, жирний смак	Немає аромату <i>Pleurotus eryngii</i> або аромат <i>Pleurotus eryngii</i> дуже сильний, важко сприймається	Ціле скручене, сильно зламане, а явище обпалення серйозне	Дуже погано
3-4	Жовтий з сильним побурінням по краях	Генерал	Підвищений вміст олії, жирна поверхня	Запах <i>Pleurotus eryngii</i> не є очевидним	Зрізи <i>Pleurotus eryngii</i> більш дегенеровані та злегка обгорілі	Недостатньо
5-6	Жовтий, з легким підрум'яненням	Хрустка скоринка	Трохи вищий вміст олії	Загальні	Скибочки <i>Pleurotus eryngii</i> згорнуті навколо	Звичайно
7-8	Світло-жовтий	Відносно хрустка	Помірний вміст олії	<i>Pleurotus eryngii</i> має очевидний аромат	Скибочки <i>Pleurotus eryngii</i> злегка скручені	Добре

9-10	Світло-жовтий, однорідний колір	Дуже хрусткі	Низький вміст олії, відсутність відчуття жирності	<i>Pleurotus eryngii</i> має чіткий і помірний смак і легко сприймається	Зрізи <i>Pleurotus eryngii</i> цілі, без скручування	Чудово
------	---------------------------------	--------------	---	--	--	--------

**Джерело:** власна розробка авторів

З метою вивчення впливу часу знежирення після вакуумного обсмажування на вміст олії в скибочках *Pleurotus eryngii* було проведено тест на знежирення скибочок *Pleurotus eryngii*, обсмажених відповідно до оптимальних умов вакуумного обсмажування, методом відцентрового обертання. Швидкість знежирення відцентровим обертанням вакуумного обладнання для смаження встановлена на рівні 350 об/хв. Після вакуумного обсмажування відцентрове ротаційне знежирення проводилося протягом 2 хв, 4 хв, 6 хв, 8 хв, 10 хв, 12 хв, визначався та аналізувався вплив часу знежирення на вміст олії в *Pleurotus eryngii*. Для організації та аналізу тестових даних використовувався Excel 2010, а лінійна діаграма була побудована за допомогою програми Origin 9.0.

### Результати та обговорення

У Таблиці 2 показано вплив різних температур і часу бланшування на активність пероксидази в шматочках *Pleurotus eryngii*. Видно, що пероксидаза інактивується при ошпарюванні 60 °C протягом 60 с і 70 °C протягом 30 с після 30 с в середині грибних зрізів, але активність на крайовому епідермісі все ще є. Це може бути пов'язано з тим, що пероксидаза в епідермісі гриба є активною, що в свою чергу може бути пов'язано з розподілом поліфенольних субстратів у різних частинах *Pleurotus eryngii* та різною активністю поліфенолоксидази. Пероксидаза *Pleurotus eryngii* була повністю інактивована ошпарюванням при 80 °C протягом 90 с, 90 °C і 100 °C протягом 10 с. Однак, якщо час бланшування занадто довгий, текстура *Pleurotus eryngii* стає м'якою. Враховуючи необхідність енергозбереження у виробництві та зменшення втрат смакових поживних речовин, параметр процесу бланшування визначено на рівні 80 °C, бланшування – протягом 90 с. Результати цього дослідження узгоджуються з даними A. Ren *et al.* (2022). Авторами запропоновано бланшувати в киплячій воді при 100 °C протягом 3 хв. У роботі P. Piyalungka *et al.* (2019) практично встановлено, що із збільшенням температури (90-110 °C) та тривалості обсмажування (10-30 хв) вміст олії, твердість і потемніння зразків зросли.

**Таблиця 2.** Вплив різної температури та часу бланшування на пероксидазну активність *Pleurotus eryngii*

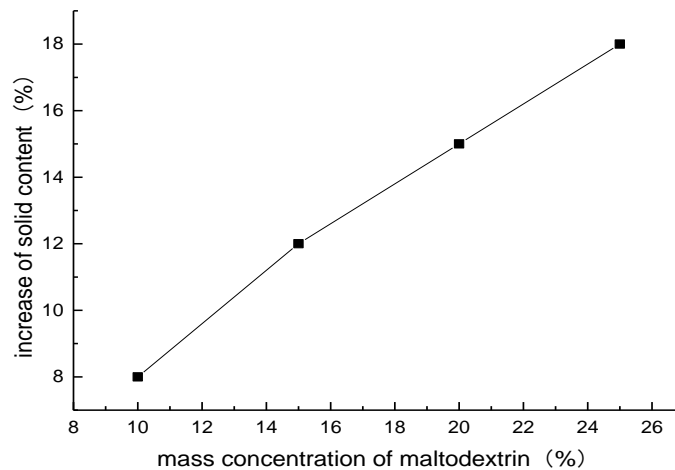
Час (с) / Температура	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
60	++	++	++	++	++	+	+	+	+	+	+	+
70	++	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
80	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-
90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Примітка:** «++» – загальна зміна кольору; «+» – зміна кольору країв; «-» – зміна кольору

**Джерело:** власна розробка авторів

Просочення пластівців *Pleurotus eryngii* перед вакуумним смаженням може не тільки збільшити вміст сухої речовини в *Pleurotus eryngii*, але і зменшити вміст вологи перед вакуумним смаженням, щоб зменшити вміст олії в кінцевому продукті за рахунок зменшення водної фази. У той же час, це також сприяє збереженню площинності продукту, а також може підвищити хрусткість скибочок *Pleurotus eryngii* і отримати кращу сенсорну якість. Крім того, покращуючи смак, вона також покращує якість скибочок *Pleurotus eryngii*, ефективно знижуючи витрати, що узгоджується з думками M. Kidoń & J. Grabowska (2021) та J. Zhu *et al.* (2022).

Для визначення впливу концентрації мальтодекстрину на вміст сухих речовин у *Pleurotus eryngii*, було обрано нарізані та бланшовані скибочки (товщиною 2 мм, бланшовані при 80 °C протягом 90 с), вагою 30 г, занурені на 15 хв за умови співвідношення матеріалу та рідини 1:5. Вміст сухих речовин у скибочках *Pleurotus eryngii* змінюється залежно від солоду. Такі ж явища спостерігали T.-V.-L. Nguyen *et al.* (2023), досліджуючи вплив різного вмісту мальтодекстрину (0, 6, 7, 5, 9 і 10,5 г/100 г м'якоти) на швидкість сушіння м'якоти авокадо, а також J.W. Siccama *et al.* (2021), демонструючи технологію сушки концентрату спаржі. Залежність зміни масової частки декстрину показана на Рисунку 1.

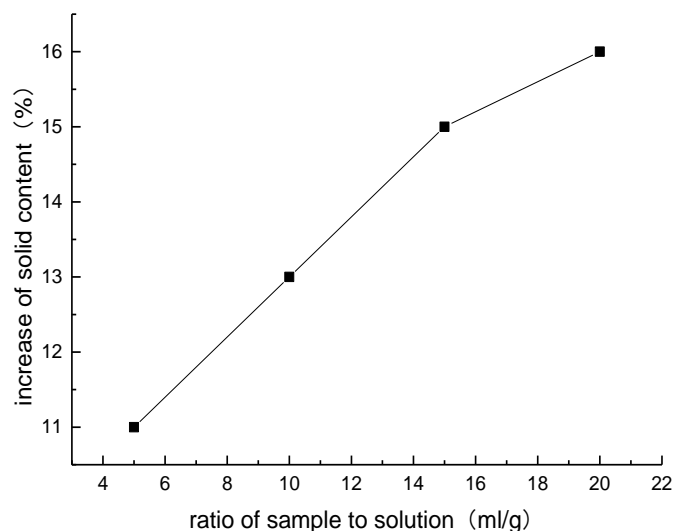


**Рисунок 1.** Вплив концентрації мальтодекстрину на вміст сухих речовин

**Джерело:** власна розробка авторів

З наведеного вище рисунка видно, що в певному діапазоні концентрація мальтодекстрину може підвищити вміст твердої фази в скибочках *Pleurotus eryngii*. Чим вища масова частка просочувального розчину, тим більше зростає вміст сухої речовини, але коли масова частка просочувального розчину перевищує 15 %. У той час солодкість мальтодекстрину є відносно великою, що маскує оригінальний смак *Pleurotus eryngii*, тому ідеально обрати мальтодекстрин з масовою часткою 15 % в якості просочувального розчину. S. Lachowicz *et al.* (2020) підтвердили позитивний вплив додавання мальтодекстрину на рівні 15 % під час підготовки до вакуумного сушіння фруктів, соку та вичавок ягід Саскату.

Для визначення впливу співвідношення матеріал-рідина на вміст твердої фази в *Pleurotus eryngii*, було обрано нарізані та бланшовані скибочки (товщиною 2 мм, бланшовані при 80 °C протягом 90 с) вагою 30 г, занурені у мальтодекстрин з концентрацією 15 % на 15 хвилин, після чого вміст сухих речовин у скибочках *Pleurotus eryngii* буде змінюватись. Залежність зміни співвідношення рідини показано на Рисунку 2.



**Рисунок 2.** Вплив співвідношення зразка до розчину на вміст твердої фази

Джерело: власна розробка авторів

З Рисунок 2 видно, що чим більше масове співвідношення пластівців *Pleurotus eryngii* до просочувальної рідини, тим вища ефективність просочення, а коли співвідношення просочувальної рідини перевищує 15 мл/г, вміст сухих речовин збільшується повільно. Тому масове співвідношення шматочків *Pleurotus eryngii* до просочувального розчину солодового декстрину було визначено на рівні 15 мл/г. А. Ren *et al.* (2018) повідомили, що чіпси з грибів шиікате, нарізані товщиною 6 мм та замочені в 50 % розчині мальтодекстрину, призвели до смаженого у вакуумі продукту з найвищим індексом ефективності дегідратації, найнижчим вмістом олії та вищими сенсорними показниками.

Комплексно враховуючи вищезазначені результати випробувань, визначено оптимальні параметри процесу занурення скибочок *Pleurotus eryngii* перед вакуумним низькотемпературним обсмажуванням, які виглядають наступним чином: товщина шматочків *Pleurotus eryngii* – 2 мм, масова частка мальтодекстрину – 15 %, просочення за допомогою ультразвуку протягом 15 хвилин, при якому співвідношення матеріал-рідина становить 15 мл/г. Розроблений алгоритм узгоджується з результатом, повідомленим J. Zhang *et al.* (2021). Шматочки *Pleurotus eryngii* після бланшування та занурення виймають і висушують, щоб висушити поверхневу вологу, а потім піддають тесту на попереднє висушування гарячим повітрям (Табл. 3).

**Таблиця 3.** Вплив різної температури та часу сушіння на вміст вологи та зовнішній вигляд *Pleurotus eryngii*

Час висихання, хв	Температура сушіння 60 °С		Температура сушіння 70 °С		Температура сушіння 80 °С	
	Вміст вологи, %.	Зовнішній вигляд	Вміст вологи, %.	Зовнішній вигляд	Вміст вологи, %.	Зовнішній вигляд
10	80.9	Без зміни кольору, без усадки	79.2	Без зміни кольору, без усадки	79.0	Без зміни кольору, без усадки
20	77.9	Без зміни кольору, без усадки	77.2	Колір не змінюється, злегка стискається	75.4	Не змінює колір, не дає усадки
30	72.7	Колір майже не змінюється, злегка стискається	68.0	Невелика зміна кольору та усадка	64.5	Деякі кольори змінюються, усадка більш серйозна

40	/	Колір майже не змінюється, зменшується	/	Деякі кольори змінюються і зменшуються	/	Колір сильно змінюється і відбувається серйозна усадка
----	---	--	---	--	---	--

**Примітка:** оскільки колір і форма скибочок *Pleurotus eryngii* після сушіння протягом 40 хвилин зазнали очевидних змін, він не придатний для смаження, а вміст вологи не вимірювався.

**Джерело:** власна розробка авторів

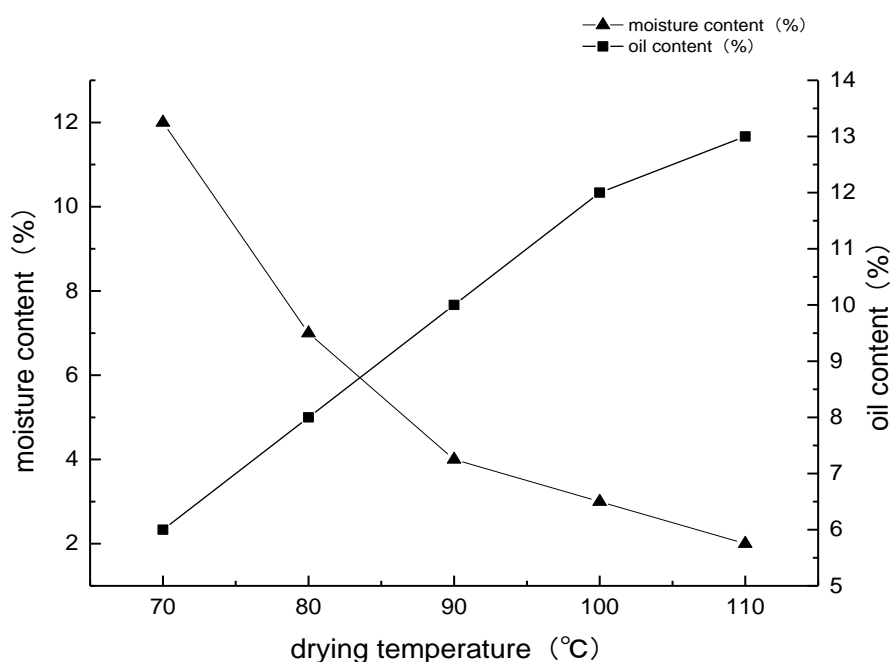
З Таблиці 3 видно, що зі збільшенням часу сушіння, вміст вологи в шматочках *Pleurotus eryngii* поступово зменшується. Шматочки *Pleurotus eryngii*, попередньо висушені гарячим повітрям при 60 °С, можуть ефективно затримати деформацію та зміну кольору скибочок *Pleurotus eryngii* під час процесу попереднього висушування, забезпечуючи при цьому швидкість зневоднення, що може мінімізувати процес вакуумного обсмажування. Шматочки *Pleurotus eryngii* сильно деформуються, стискаються та твердіють. Скибочки *Pleurotus eryngii*, висушені при температурі 60 °С, не можуть зменшитися, і немає очевидної зміни кольору. Ефект попереднього сушіння гарячим повітрям є найкращим.

Для дослідження впливу температури обсмажування на вміст олії, води та сенсорну якість продукту, 100 г нарізаних скибочок *Pleurotus eryngii* товщиною 2 мм бланшувалися та занурювалися, а умови попереднього сушіння встановлювалися на 60 °С протягом 20 хв та вакуумувалися. Після закінчення вакуумного обсмажування, проводилося відцентрове знежирення за умови швидкості обертання 350 об/хв, вимірювався вміст олії та води в продукті, а також була проведена сенсорна оцінка продукту, яка базується на загальній оцінці в 60 балів. Стандартна сенсорна оцінка, а також результати вмісту вологи та олії в продукті наведені в Таблиці 4 та показані на Рисунку 3.

**Таблиця 4.** Результати сенсорної оцінки шматочків *Pleurotus eryngii* з різною температурою обсмажування

Температура	Колір	Текстура	Жирне відчуття	Смак	Форма	Прийняття	Оцінка
70	8	4	7	5	8	5	37
80	9	8	8	7	8	8	48
90	7	8	7	7	7	8	44
100	7	8	7	7	7	8	44
110	6	8	6	6	7	7	40

**Джерело:** власна розробка авторів





### Рисунок 3. Вплив температури смаження на вміст води та олії в *Pleurotus eryngii*

Джерело: власна розробка авторів

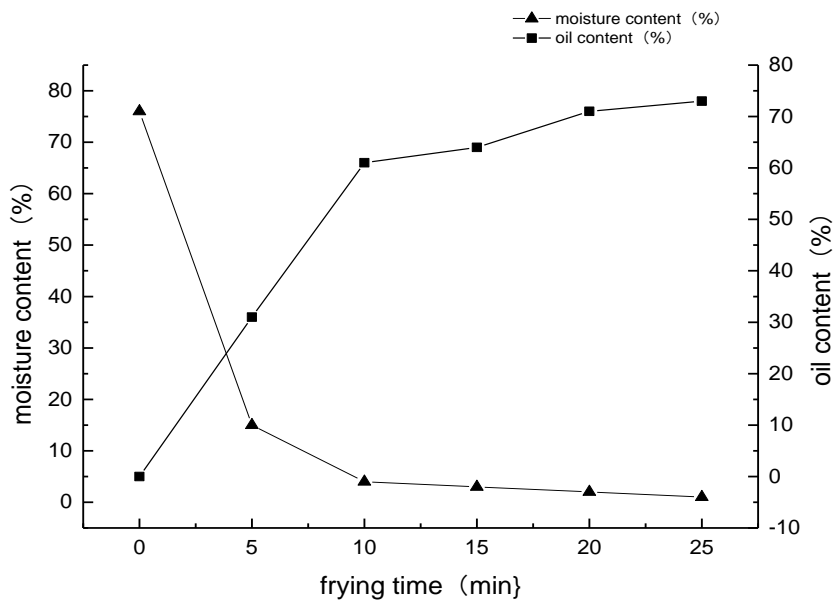
Видно, що за однакових умов часу попереднього сушіння гарячим повітрям, ступеня вакууму та часу обсмажування у вакуумі, температура обсмажування впливає на вміст води та олії в *Pleurotus eryngii*. Чим вища температура обсмажування, тим нижчий кінцевий вміст води в продукті, і чим вищий вміст олії, ці два показники обернено пропорційні. При температурі смаження нижче 90 °C вміст води в продукті перевищує 7%; при температурі смаження 100 °C вміст олії в продукті становить 43,23 %, а при температурі 110 °C вміст олії становить 44,86 %. Значних змін у вмісті олії не спостерігається. Крім того, з Таблиці 4 видно, що при температурі смаження від 80 °C до 100 °C, сенсорні оцінки продуктів перевищують 44 бали, і видно, що при температурі олії від 80 °C до 100 °C можна отримати кращу сенсорну якість. Важливість органолептичних показників у своїй роботі відмітили M.R. Hilapad *et al.* (2020), зазначивши, що смажені шматочки гриби протягом 20-35 хвилин характеризуються вищими балами (6,85-7,79). Схожі висновки отримали і A. Shah *et al.* (2020), аналізуючи вплив вакуумного смаження на шматочки цибулини. Авторами встановлено залежність температур і тривалості вакуумного смаження: 30, 25 і 20 хвилин при 80, 90 і 100 °C, відповідно. Це дослідження показало, що колір і текстура чіпсів були оптимальними саме при 90 °C. А в результаті досліджень I. Izham *et al.* (2022) становлено, що оптимальними змінними процесу для обробки грибів є 110 хвилин сушіння гарячим повітрям при температурі 75 °C. Досягнуто найбільший індекс бажаності – 0,648.

Для того, щоб дослідити вплив часу обсмажування на вміст олії, води та сенсорну якість продукту, 100 г нарізаних скибочок *Pleurotus eryngii* товщиною 2 мм бланшувалися та занурювалися, а температура попереднього сушіння гарячим повітрям становила 60 °C. Сенсорна оцінка базується на загальній оцінці в 60 балів. Критерії сенсорної оцінки та результати вмісту води та олії в продукті наведені в Таблиці 5 та на Рисунку 4.

**Таблиця 5.** Результати сенсорної оцінки шматочків *Pleurotus eryngii* з різним часом обсмажування

Час смаження	Колір	Текстура	Жирне відчуття	Смак	Форма	Прийняття	Оцінка
5	8	2	8	3	8	3	32
10	7	8	7	7	7	8	44
15	7	8	7	7	7	8	44
20	6	9	6	8	6	7	42
25	4	9	4	6	4	5	32

Джерело: власна розробка авторів



**Рисунок 4.** Вплив тривалості смаження на вміст води та олії в *Pleurotus eryngii*

Джерело: власна розробка авторів

Для того, щоб зберегти хрустку скоринку і здатність продукту до зберігання після обсмажування, зазвичай потрібно, щоб його вологість була нижчою за 8 %. З Рисунок 4 видно, що вміст олії зростає швидше перед смаженням 10 хвилин (з 1,88 % до 35,8 %), а після 10 хвилин вміст олії зростає повільніше, і вміст олії має тенденцію до стабілізації після 20 хвилин. У той же час, вміст води різко знизився до 5 хвилин (з 77,9 % до 13,6 %), і вміст води знизився до 3,93 % протягом 5 хвилин. Через 10 хвилин зниження стало стабільним. Видно, що вміст води впав нижче 7 % при смаженні протягом 15 хвилин. Тому, щоб досягти безпечного вмісту води, вміст олії є найнижчим. Підтвердження подібного можна знайти у роботі A. Ren *et al.* (2018), де дослідники статистично підтвердили, що попередня обробка значно вплинула на колір чіпсів з грибів шиїтаке ( $p < 0,05$ ).

Крім того, як видно з Рисунок 4, процес зневоднення скибочок *Pleurotus eryngii*, обсмажених у вакуумі при низькій температурі, можна розділити на три стадії. Перша стадія триває від 0 до 5 хв. В цей час відбувається прискорене сушіння. Вода всередині шматочків *Pleurotus eryngii* швидко закипає під впливом негативного тиску і високої температури, і витікає з внутрішніх тканин *Pleurotus eryngii* у вигляді пари. Вміст води в шматочках *Pleurotus eryngii* значно зменшується, і вода, що випаровується в цей час, це переважно вільна вода в зовнішньому шарі. Друга стадія – стадія рівномірного зневоднення. Ця стадія відбувається приблизно через 5-10 хвилин. В цей час вода, що переливається, це в основному вільна вода, яка дифундує з внутрішнього шару в зовнішній. На швидкість зневоднення впливає швидкість дифузії води, тому швидкість зневоднення залишається в основному стабільною. Третя стадія настає через 15 хвилин, і вміст води в шматочках *Pleurotus eryngii* на цій стадії залишається практично незмінним. На цій стадії лише невелика кількість зв'язаної води продовжує випаровуватися, тому зміна вмісту води є дуже малою. На третьому етапі вологість змінюється дуже мало. Продовження смаження призведе лише до погіршення кольору і смаку продукту та зайвих витрат енергії.

Зміна вмісту олії з часом смаження в основному поділяється на два етапи. Перший етап – це період від 0 до 10 хв. В цей час вміст олії збільшується з 1,88 % до 35,8 %. Через 15 хвилин більша частина вільної води випаровується, швидкість зневоднення стає повільною, і всі масляні фази замінюють водну фазу. Швидкість також стає повільнішою, тому вміст олії в основному стабілізується і досягає рівноваги. Зменшення вмісту олії узгоджувалося з дослідженнями A. Ren *et al.* (2022). Автори підтвердили, що механізм зменшення поглинання олії за допомогою ультразвукового осмосу полягав у попередній обробці ультразвуком перед

смаженням у вакуумі. Це створило високий тиск пари в структурі зразків знижуючи поглинання олії під час смаження.

У процесі вакуумного низькотемпературного смаження температура смаження, час смаження та ступінь вакууму мають великий вплив на якість продукту. У цьому тесті фіксований ступінь вакууму знаходиться в діапазоні 0,08-0,09 МПа, а ортогональний тест розроблений відповідно до трьох факторів, які впливають на якість смажених у вакуумі шматочків *Pleurotus eryngii*, температури і часу смаження. Вакуумне низькотемпературне смаження є ортогональним. Рівень, обраний для випробування, наведено в Таблиці 6.

**Таблиця 6.** Фактори умов процесу вакуумного смаження

Рівень	Фактор		
	Час висихання, хв	Температура обсмажування, °С	Час смаження, хв
1	10	80	10
2	20	90	15
3	30	100	20

Джерело: власна розробка авторів

Вміст олії та сенсорна якість скибочок *Pleurotus eryngii*, отриманих шляхом вакуумного низькотемпературного смаження, пов'язані зі сприйняттям продуктів споживачами. Відповідно до критеріїв сенсорної оцінки в Таблиці 1, дев'ять груп ортогональних тестів були оцінені для визначення вмісту олії в кожній групі, і був проведений аналіз діапазону сенсорної оцінки та вмісту олії. Результати ортогонального тесту та процесу вакуумного смаження наведені в Таблиці 7.

**Таблиця 7.** Ортогональний експериментальний дизайн умов процесу вакуумного смаження

№	Фактор				Загальна сенсорна оцінка	Вміст олії, %
	А Нульовий стовпець	В Час сушіння	С Температура обсмажування	Д Час смаження		
1	1	1	1	1	43	45.2
2	1	2	2	2	47	43.8
3	1	3	3	3	37	40.1
4	2	1	2	3	42	46.6
5	2	2	3	1	40	34.8
6	2	3	1	2	39	24.5
7	3	1	3	2	41	53.5
8	3	2	1	3	44	45.3
9	3	3	2	1	45	30.6
К сенсор 1	42.3	42.0	42.0	42.7		
К сенсор 2	40.3	43.7	44.7	42.3		
К сенсор 3	43.3	40.3	39.3	41.0		
Р сенсор	3.0	3.3	5.3	1.7		
К олія 1	43.0	48.4	38.3	36.9		
К олія 2	35.3	41.3	40.3	40.6		
К олія 3	43.1	31.7	42.8	44.0		
Р олія	7.833	16.700	4.467	7.133		

Джерело: власна розробка авторів

З аналізу діапазону видно, що фактори первинного та вторинного порядку, що впливають на сенсорну оцінку, є такими: температура обсмажування > час попереднього сушіння > час обсмажування, обсмажування протягом 10 хв за умов попереднього сушіння гарячим повітрям протягом 20 хв та температури обсмажування 90 °С. Отримано найкращу сенсорну якість. Аналіз діапазону вмісту олії показує, що порядок факторів, що впливають на вміст олії, такий:

час попередньої сушки > час смаження > температура смаження. Коли час попереднього сушіння становить 30 хв, а температура смаження – 80 °С, продукт можна отримати після смаження протягом 10 хв. Отримано найнижчий вміст олії. Однак, коли час попереднього висушування становив 30 хвилин, скибочки *Pleurotus eryngii* деформувалися серйозніше, ніж скибочки *Pleurotus eryngii*, висушені протягом 20 хвилин, під час процесу зневоднення, і сенсорна оцінка була трохи гіршою. Ці висновки узгоджувалися з думкою, повідомленою С. Wang *et al.* (2019).

Комплексно враховуючи два фактори зниження вмісту олії в кінцевому продукті та покращення сенсорної якості продукту, отримано оптимальні умови процесу: час попереднього підсушування гарячим повітрям 20 хв, температура обсмажування 80-90 °С, час обсмажування 10 хв, ступінь вакууму 0,08-0,09 МПа. На Рисунку 5 показано зовнішній вигляд шматочків *Pleurotus eryngii* після вакуумного обсмажування. Видно, що скибочки *Pleurotus eryngii* світло-жовті, з невеликими порами, утвореними на поверхні в результаті сушіння повітрям.



**Рисунок 5.** Зовнішній вигляд шматочків *Pleurotus eryngii* після вакуумного обсмажування  
Джерело: власна розробка авторів

Таким чином, використовуючи комбінований процес вакуумного обсмаження, були отримані гриби з хрусткою текстурою, яку можна вважати відповідним атрибутом для виготовлення продукту снекового типу. Слід звернути увагу, що глива має високу поживну та корисну для здоров'я цінність, хороші антиоксидантні властивості завдяки біологічно активним сполукам (фенол) і є джерелом рослинного білка.

## Висновки

З метою інактивації пероксидази *Pleurotus eryngii*, враховуючи необхідність енергозбереження у виробництві та зменшення втрат смакових поживних речовин, параметр процесу бланшування визначено на рівні 80 °С протягом 90 с. З метою зменшення вологи в продукті та збільшення сухих речовин, використано просочення гливи мальтодекстрином (15 %) у співвідношенні 1:5 протягом 15 хв. Враховуючи результати випробувань, були визначені ідеальні параметри формування зануренням скибочок *Pleurotus eryngii* перед смаженням у вакуумі при низькій температурі, які включали: товщину 2 мм, масову частку мальтодекстрину 15 % і 15-хвилинне ультразвукове просочування. В результаті наступних досліджень встановлено, що під час процесу попереднього сушіння можна затримати деформацію та зміну кольору *Pleurotus eryngii*, використовуючи гаряче повітря (60 °С) для попереднього сушіння, зберігаючи однакову швидкість зневоднення, що зведе до мінімуму процес смаження у вакуумі. Коли температура смаження залишається нижче 90 °С, вологість продукту перевищує 7 %. Однак, коли температура підвищується до 100 °С, вміст олії в продукті досягає 43,23 %, а при 110 °С він ще більше збільшується до 44,86 %. Слід зазначити, що значних коливань вмісту олії немає. Крім того, коли температура смаження потрапляє в

діапазон від 80 °С до 100 °С, сенсорні оцінки продукту перевищують 44 бали. Отже, можна зробити висновок, що підтримання температури олії між 80 °С і 100 °С дає чудові сенсорні показники. Температура, час смаження та ступінь вакууму мають значний вплив на якість продукту в процесі смаження під вакуумом при низькій температурі. Вони є трьома факторами, які визначають дизайн ортогонального тесту, який має фіксований ступінь вакууму в діапазоні 0,08-0,09 МПа. Ідеальні умови процесу були досягнуті завдяки повному врахуванню двох факторів зниження вмісту олії в кінцевому продукті та покращення сенсорних якостей продукту: час попереднього сушіння гарячим повітрям 20 хв, температура смаження 80-90 °С, час смаження 10 хв, ступінь вакууму 0,08-0,09 МПа. Зовнішній вигляд шматочків *Pleurotus eryngii* після смаження у вакуумі має світло-жовті зрізи поверхні з дрібними порами. Отже, майбутні дослідження можуть бути направлені на отримання безпечних сніків з різних видів їстівних грибів.

## Подяки

Немає.

## Конфлікт інтересів

Немає.

## References

- [1] Ayimbila, F., & Keawsompong, S. (2023). Nutritional quality and biological application of mushroom protein as a novel protein alternative. *Current Nutrition Report*, 12(2), 290-307. [doi: 10.1007/s13668-023-00468-x](https://doi.org/10.1007/s13668-023-00468-x).
- [2] Bai, J.-W., Wang, Y.-C., Cai, J.-R., Zhang, L., Dai, Y., Tian, X.-Y., & Xiao, H.-W. (2023). Three-dimensional appearance and physicochemical properties of *Pleurotus eryngii* under different drying methods. *Foods*, 12(10), article number 1999. [doi: 10.3390/foods12101999](https://doi.org/10.3390/foods12101999).
- [3] Barbosa, J.R., dos Santos Freitas, M.M., da Silva Martins, L.H., & de Carvalho Junior, R.N. (2020). Polysaccharides of mushroom *Pleurotus* spp.: New extraction techniques, biological activities and development of new technologies. *Carbohydrate Polymers*, 229, article number 115550. [doi: 10.1016/j.carbpol.2019.115550](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115550).
- [4] Dubey, S.K., Chaturvedi, V.K., Mishra, D., Bajpeyee, A., Tiwari, A., & Singh, M.P. (2019). Role of edible mushroom as a potent therapeutics for the diabetes and obesity. *3 Biotech*, 9, article number 450. [doi: 10.1007/s13205-019-1982-3](https://doi.org/10.1007/s13205-019-1982-3).
- [5] El-Ramady, H., Abdalla, N., Badgar, K., Llanaj, X., Törös, G., Hajdú, P., Eid, Y., & Prokisch, J. (2022). Edible mushrooms for sustainable and healthy human food: Nutritional and medicinal attributes. *Sustainability*, 14(9), article number 4941. [doi: 10.3390/su14094941](https://doi.org/10.3390/su14094941).
- [6] Fang, L., Ren, A., Bolgova, N., Samilyk, M., & Sokolenko, V. (2021). Quality changes of *Pleurotus eryngii* during vacuum frying. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies*, 23(95), 91-97. [doi: 10.32718/nvlvet-f9515](https://doi.org/10.32718/nvlvet-f9515).
- [7] González, A., Cruz, M., Losoya, C., Nobre, C., Loredó, A., Rodríguez, R., Contreras, J., & Belmares, R. (2020). Edible mushrooms as a novel protein source for functional foods. *Food & Function*, 23, 11(9), 7400-7414. [doi: 10.1039/d0fo01746a](https://doi.org/10.1039/d0fo01746a).
- [8] Hilapad, M.R., Esguerra, E.B., & Castillo-Israel, K.A.T. (2020). Optimization of processing parameters for vacuum fried oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus* (Jacquin) P. kummer). *Food Research*, 4(4), 1371-1382. [doi: 10.26656/fr.2017.4\(4\).065](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(4).065).
- [9] Izham, I., Avin, F., & Raseetha, S. (2022). Systematic review: Heat treatments on phenolic content, antioxidant activity, and sensory quality of malaysian mushroom: Oyster (*Pleurotus* spp.) and Black Jelly (*Auricularia* spp.). *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, article number 882939. [doi: 10.3389/fsufs.2022.882939](https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.882939).
- [10] Kidoń, M., & Grabowska, J. (2021). Bioactive compounds, antioxidant activity, and sensory qualities of red-fleshed apples dried by different methods. *LWT – Food Science and Technology*, 136(2), article number 110302. [doi: 10.1016/j.lwt.2020.110302](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110302).

- [11] Lachowicz, S., Michalska-Ciechanowska, A., & Oszmiański, J. (2020). The impact of maltodextrin and inulin on the protection of natural antioxidants in powders made of saskatoon berry fruit, juice, and pomace as functional food ingredients. *Molecules*, 25(8), article number 1805. [doi: 10.3390/molecules25081805](https://doi.org/10.3390/molecules25081805).
- [12] Nguyen, T.-V.-L., Nguyen, T.-T.-D., Huynh, Q.-T., & Nguyen, P.-B.-D. (2023). Effect of maltodextrin on drying rate of avocado (*Persea Americana* Mill.) pulp by refractance window technique, and on color and functional properties of powder. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 73(2), 187-195. [doi: 10.31883/pjfns/163982](https://doi.org/10.31883/pjfns/163982).
- [13] Pérez-Montes, A., Rangel-Vargas, E., Lorenzo, J.M., Romero, L., & M Santos, E. (2021). Edible mushrooms as a novel trend in the development of healthier meat products. *Current Opinion in Food Science*, 37, 118-124. [doi: 10.1016/j.cofs.2020.10.004](https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.004).
- [14] Piyalungka, P., Sadiq, M.B., Assavarachan, R., & Nguyen, L.T. (2019). Effects of osmotic pretreatment and frying conditions on quality and storage stability of vacuum-fried pumpkin chips. *International Journal of Food Science & Technology*, 54(10), 2963-2972. [doi: 10.1111/ijfs.14209](https://doi.org/10.1111/ijfs.14209).
- [15] Raman, J., Jang, K.-Y., Oh, Y.-L., Oh, M., Im, J.-H., Lakshmanan, H., & Sabaratnam, V. (2021). Cultivation and nutritional value of prominent *Pleurotus* spp.: An overview. *Mycobiology*, 49(1), 1-14. [doi: 10.1080/12298093.2020.1835142](https://doi.org/10.1080/12298093.2020.1835142).
- [16] Ren, A., Cao, Z., Tang, X., Duan, Z., Duan, X., & Meng, X. (2022). Reduction of oil uptake in vacuum fried *Pleurotus eryngii* chips via ultrasound assisted pretreatment. *Frontiers in Nutrition*, 9, article number 1037652. [doi: 10.3389/fnut.2022.1037652](https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1037652).
- [17] Ren, A., Pan, S., Li, W., Chen, G., & Duan, X. (2018). Effect of various pretreatments on quality attributes of vacuum-fried shiitake mushroom chips. *Journal of Food Quality*, 2018, article number 4510126. [doi: 10.1155/2018/4510126](https://doi.org/10.1155/2018/4510126).
- [18] Shah, A., Patel, D., Rathod, J., Joshi, R., & Ramani, B. (2020). [Effect of temperature, pressure and fryng time in vacuum frying: A review](https://doi.org/10.1155/2020/46174621). *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 7(4), 4617-4621.
- [19] Siccama, J.W., Pegiou, E., Eijkelboom, N.M., Zhang, L., Mumm, R., Hall, R.D., & Schutyser, M.A.I. (2021). The effect of partial replacement of maltodextrin with vegetable fibres in spray-dried white asparagus powder on its physical and aroma properties. *Food Chemistry*, 356, article number 129567. [doi: 10.1016/j.foodchem.2021.129567](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129567).
- [20] Ślusarczyk, J., Adamska, E., & Czerwik-Marcinkowska, J. (2021). Fungi and algae as sources of medicinal and other biologically active compounds: A review. *Nutrients*, 13(9), article number 3178. [doi: 10.3390/nu13093178](https://doi.org/10.3390/nu13093178).
- [21] Wang, C., Su, G., Wang, X., & Nie, S. (2019). Rapid assessment of deep frying oil quality as well as water and fat contents in French fries by low-field nuclear magnetic resonance. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(8), 2361-2368. [doi: 10.1021/acs.jafc.8b05639](https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b05639).
- [22] Yang, D., Wu, G., Li, P., Qi, X., Zhang, H., Wang, X., & Jin, Q. (2020). Effect of microwave heating and vacuum oven drying of potato strips on oil uptake during deep-fat frying. *Food Research International*, 137, article number 109338. [doi: 10.1016/j.foodres.2020.109338](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109338).
- [23] Zhang, J., & Fan, L. (2021). Effects of preliminary treatment by ultrasonic and convective air drying on the properties and oil absorption of potato chips. *Ultrasonics Sonochemistry*, 74, article number 105548. [doi: 10.1016/j.ultsonch.2021.105548](https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105548).
- [24] Zhang, J., Yu, P., Fan, L., & Sun, Y. (2021). Effects of ultrasound treatment on the starch properties and oil absorption of potato chips. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70, article number 105347. [doi: 10.1016/j.ultsonch.2020.105347](https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105347).
- [25] Zhao, Y., Chen, X., Zhao, Y., Jia, W., Chang, X., Liu, H., & Liu, N. (2020). Optimization of extraction parameters of *Pleurotus eryngii* polysaccharides and evaluation of the hypolipidemic effect. *RSC Advances*, 10(20), 11918-11928. [doi: 10.1039/c9ra10991a](https://doi.org/10.1039/c9ra10991a).
- [26] Zhu, J., Liu, Y., Zhu, C., & Wei, M. (2022). Effects of different drying methods on the physical properties and sensory characteristics of apple chip snacks. *LWT – Food Science and Technology*, 154, article number 112829. [doi: 10.1016/j.lwt.2021.112829](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112829).