

**ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

БУЛГАКОВ ПАВЛО ОЛЕКСАНДРОВИЧ

Прим. № _____

УДК [664.8/.9+635.3]:678.048

ДИСЕРТАЦІЯ

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБЕРІГАННЯ СПАРЖІ З
ВИКОРИСТАННЯМ КОМБІНОВАНОГО БІОПОЛІМЕРНОГО
ПОКРИТТЯ**

181 Харчові технології
18 Виробництво та технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання
на відповідне джерело.

П. О. Булгаков

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник **Прісс Олеся Петрівна**, доктор технічних наук, професор

Запоріжжя – 2025

АНОТАЦІЯ

Булгаков П. О. Удосконалення технології зберігання спаржі з використанням комбінованого біополімерного покриття. Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 181 Харчові технології. Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного. Запоріжжя, 2025.

Дисертаційна робота присвячена актуальним питанням збереженості пагонів спаржі у холодильних камерах за попередньої обробки комбінованими біополімерними покриттями, а також питанням використання відходів товарної обробки спаржі для збагачення харчових продуктів.

Перший етап досліджень був спрямований на пошук та вивчення наукової літератури щодо особливостей культури, існуючих технологій зберігання спаржі та використання біополімерних покриттів. Проведено аналіз факторів, які впливають на якість вирощеної продукції, вивчено вплив методів фізичної та хімічної обробки спаржі на тривалість її зберігання, товарні показники та харчову цінність, проаналізовано наявні дані щодо попередньої обробки пагонів спаржі біополімерними препаратами. На основі систематизованої інформації було визначено актуальні напрямки досліджень, сформульовано мету та завдання досліджень, обрано способи зберігання та обробки продукції.

Спаржа є високоцінною і перспективною овочевою культурою. Разом з тим, вона надзвичайно швидко втрачає товарну якість за рахунок високого рівня метаболізму у пагонах, що сприяє значним втратам продукції під час її обробки та зберігання.

Метою дисертаційної роботи було подовження термінів зберігання спаржі та стабілізація її якісних показників та скорочення втрат і відходів шляхом застосування комбінованого біополімерного покриття антиоксидантної дії.

Експериментальні дослідження були проведені протягом 2021-2024 рр. на базі навчально-наукової лабораторії Таврійського державного агротехнологічного університету ім. Дмитра Моторного та Інституту продовольчих ресурсів НААН України. Дослідження включали оцінку оброблених та необроблених пагонів спаржі сортів Пріус та Розалі за товарними, фізіологічними, органолептичними та біохімічними показниками, а також оцінку придатності використання відходів, що отримують у післязбиральній обробці, для збагачення харчової продукції.

В ході попередніх експериментів на основі оцінки якісних показників обробленої та необробленої спаржі і з урахуванням сортоспецифічних особливостей було здійснено вибір біополімеру для захисного покриття. Показано, що обробка спаржі покриттями на основі альгінату натрію або хітозану дозволяє продовжити терміни зберігання відносно контролю та збільшити вихід стандартної продукції. Утворені плівки знижують інтенсивність дихання та транспірації оброблених зразків, сприяючи таким чином і зниженню втрат маси в 1,5–1,9 разів відносно контролю. Додатково, була проведена оцінка доцільності введення в покриття антиоксиданту рутину. Визначено, що обробка спаржі рутином позитивно вплинула на органолептичні показники, зокрема, колір та тургор, завдяки його антиоксидантній дії. У відповідності зі сповільненням зміни забарвлення пагонів спаржі, підтверджено вищий вміст пігментів у оброблених рутином зразках обох сортів спаржі порівняно з контрольними. Так, за обробки спаржі 1%-м і 1,5%-м розчинами рутину кількість хлорофілів на кінець зберігання була в 1,8 – 2 рази вищою (залежно від сорту), ніж в контрольному зразку, а каротиноїдів – в 1,6 – 1,8 разів вищою. За сукупністю отриманих даних, концентрація рутину в 1 % була визначена оптимальною для подальшого використання у складі комбінованого препарату.

На наступному етапі дослідження було оцінено вплив комбінованих покриттів, що містять композицію біополімерів та антиоксиданту рутину, на товарні та фізіологічні показники спаржі під час холодильного зберігання.

Показано, що за використання для обробки пагонів композицій складу 1 % альгінат натрію + 1 % рутин (A+R) та 1 % хітозан + 1 % рутин (Ch+R) терміни зберігання спаржі обох сортів можуть бути продовжені на тиждень порівняно з контролем.

Оцінено варіативність впливу досліджуваних покриттів залежно від сорту спаржі. Показано, що вплив сортових особливостей на товарні показники та втрату маси під час зберігання є незначним, тоді як використання покриттів на основі альгінату натрію або хітозану дозволяє достовірно збільшити вихід стандартної продукції на 4–7% залежно від складу покриття навіть при подовженому на один тиждень терміні зберігання.

Показано, що комбіноване біополімерне покриття, яке включало 1 % рутину та 1 % хітозану (Ch + R), забезпечило обробленим пагонам спаржі найкращу товарність та найвищі органолептичні показники. Зразки спаржі, оброблені покриттям Ch + R, навіть на 22 добу зберігання демонстрували більшу площу сенсорної профілограми, ніж контрольні зразки на 14 добу. Зокрема, зазначене покриття покращило такі показники, як колір пагонів (імовірно, завдяки антиоксидантній дії) і тургор клітин, а також зменшило висихання зрізів.

Збереження високого тургору та сповільнення висихання зрізів при застосуванні біополімерних покриттів пов'язано зі зниженням інтенсивності процесів транспірації та дихання у оброблених зразках. Фізичний ефект дії покриттів полягає у тому, що на поверхні пагонів утворюється тонка прозора плівка, яка створює бар'єр для газообміну. Середня інтенсивність дихання пагонів спаржі сорту Розалі становила 75,2 мг CO₂/кг×год, а пагонів спаржі сорту Пріус – 66,9 мг CO₂/кг×год. Зниження температури на початку зберігання сприяло зниженню інтенсивності дихання у зразках до 56,4 і 56,2 мг CO₂/кг×год у сорті Розалі та Пріус, відповідно. Під час подальшого зберігання інтенсивність дихання поступово зростала, однак, обробка біополімерними препаратами дозволила додатково сповільнити респіраторний метаболізм.

Так, на 7й день після початку зберігання, інтенсивність дихання пагонів сорту Пріус відносно контрольної групи знижується на 26% при обробці альгінатом та на 38% при обробці хітозаном. У сорті Розалі респіраторний метаболізм сповільнюється на 5,5% та на 44% при обробці альгінатом або хітозаном, відповідно. Окрім початкового зниження інтенсивності дихання, в спаржі обох сортів при обробці хітозаном відбувається відсування моменту максимального зростання інтенсивності дихання на більш пізній період. Спаржа, оброблена покриттям Ch+R, взагалі не демонструвала вираженого підйому інтенсивності дихання впродовж перших двох тижнів, що свідчить про більш рівномірне протікання метаболічних процесів у клітинах спаржі завдяки зазначеній обробці. Нанесення покриття, що покриває продихи, сповільнюючи процеси транспірації та створюючи бар'єр для газообміну, закономірно сприяє також зменшенню втрати маси. Найефективніше з вивчених покриттів, Ch+R, дозволило вдвічі скоротити втрати маси спаржі незалежно від сорту.

Таким чином, показано, що використання покриття Ch+R є перспективним для подовження термінів холодильного зберігання спаржі із збереженням якості продукції. Наступний етап дослідження був присвячений оцінці впливу обраного біополімерного покриття на хімічний склад та біологічну цінність спаржі у порівнянні з необробленими зразками та зразками, що були оброблені лише розчином хітозану (Ch).

В ході оцінки впливу біополімерних покриттів на збереженість харчової цінності спаржі у контрольних та оброблених групах було визначено динаміку змін вмісту сухих розчинних речовин, глюкози і фруктози, білків, пігментів (хлорофілів і каротиноїдів), фенольних речовин та аскорбінової кислоти, а також визначено активність поліфенолоксидази та аскорбатоксидази. Динаміки вмісту цукрів, пігментів та аскорбінової кислоти, зокрема, є виражено сортоспецифічними, що вказує на різний характер і темп метаболічних процесів у зеленому сорті спаржі Пріус та фіолетово-зеленому сорті Розалі.

Показано, що обробка спаржі біополімерними покриттями Ch та Ch+R дозволяє сповільнити деградацію сухих розчинних речовин: на 14-й день холодильного зберігання їх вміст незначно відрізняється від вмісту на початок зберігання, в той час як в контрольних зразках втрати сухих розчинних речовин складають 10...13%, залежно від сорту. За довшого терміну зберігання (21 доба), оброблені пагони також втрачають сухі розчинні речовини, проте їх кількість все ж залишається на 5,5...7,5% вищою, ніж у відповідних контрольних зразках.

Тренди вмісту цукрів у досліджуваних сортах спаржі є різними: у спаржі сорту Пріус вміст глюкози і фруктози знижується під час зберігання, в той час, як у спаржі сорту Розалі – зростає на третій тиждень зберігання (після падіння на другий тиждень зберігання). Обробка пагонів спаржі сорту Пріус біополімерними покриттями не вплинула на інтенсивність втрат цукрів. В той же час, обробки спаржі сорту Розалі покриттям Ch+R дозволяє утримувати вміст глюкози і фруктози на 20% вищим, ніж у контрольному зразку на 14-й день зберігання – хоча за довшого терміну зберігання різниця між обробленими та необробленими зразками нівелюється.

В обох досліджуваних сортах спостерігається приріст у кількості білків (15...20%) на кінець зберігання (23-й день). Обробка біополімерним покриттям Ch+R спаржі сорту Пріус при цьому забезпечує приріст кількості білків на 19% порівняно з контролем, в той час як приросту у оброблених зразках сорту Розалі не зафіксовано.

На початок зберігання спаржі вміст хлорофілів у сорті Розалі був на 40% вищим, ніж у сорті Пріус, а вміст каротиноїдів – на 17 % вищим. Темпи деградації пігментів, однак, вищі у сорті Розалі: через 22 доби пагони спаржі сорту Розалі втратили 66 % хлорофілів і 59 % каротиноїдів від їх початкового вмісту, тоді як втрати хлорофілів і каротиноїдів у сорті Пріус складають 53 % та 42 % відповідно.

Показано, що використання біополімерних покриттів значно сповільнює деградацію хлорофілів, дозволяючи зберегти на 60 % більше хлорофілів, ніж

у контролі, при обробці Ch, та на 88 % більше при обробці Ch+R. В той же час, покриття Ch сповільнює деградацію каротиноїдів на 33 %, а покриття Ch+R – на 48% в обох сортах спаржі, підтверджуючи позитивний вплив антиоксидантної складової покриття на пігментний комплекс.

Встановлено, що фенольні речовини накопичуються під час холодильного зберігання спаржі досліджуваних сортів (приріст на 9% у сорті Пріус на кінець зберігання, на 36% у сорті Розалі). Обробка пагонів покриттям Ch+R сприяє зниженню окислювального стресу, пришвидшуючи початкове накопичення фенольних речовин (за перший тиждень) на 9...11% залежно від сорту, однак, вміст фенольних речовин на кінець зберігання співставний з контрольним. Визначена активність поліфенолоксидази – ферменту, що сприяє деградації поліфенолів – спадає з часом зберігання після початкового зростання в умовах підвищеної метаболічної активності та має обернену кореляцію з визначеним вмістом фенольних речовин ($r = -0,7683$ для сорту Пріус та $r = -0,8535$ для сорту Розалі).

Динаміка зміни вмісту аскорбінової кислоти у спаржі сортів Розалі та Пріус суттєво відрізняється: на кінець зберігання вміст вітаміну С незначно змінюється у пагонах сорту Пріус, проте зростає на 32% у пагонах сорту Розалі. Для обох сортів встановлено сильну обернену кореляційну залежність між вмістом вітаміну С та активністю аскорбатоксидази ($r = -0,8256$ для сорту Пріус та $r = -0,9817$ для сорту Розалі).

Обробка біополімерними покриттями дозволяє пришвидшити накопичення аскорбінової кислоти на початковому етапі зберігання, подібно до позитивного впливу на збереженість метаболічно пов'язаних з аскорбіновою кислотою цукрів та хлорофілів. Застосування біополімерного покриття Ch+R, таким чином, суттєво, порівняно з контрольними зразками, підвищує збереженість цукрів, білків, пігментів, фенольних речовин та вітаміну С при холодильному зберіганні впродовж 14 днів.

Після перших двох тижнів зберігання, механізми стресостійкості спаржі, імовірно, інтенсифікуються також у оброблених зразках, що сприяє

пришвидженню катаболізму і знижує підтримуючий вплив попередньої обробки. За умов подовженого холодильного зберігання, однак, використання обробки препаратом Ch+R дозволяє забезпечити підтримку значно вищої кількості хлорофілів та каротиноїдів порівняно з контрольними зразками, а тому все ще є доцільним для збереження харчової цінності спаржі на кінець зберігання.

Таким чином, подовження термінів зберігання спаржі незалежно від сорту, збільшення виходу стандартної продукції, покращення органолептичних показників та харчової цінності пагонів за умов обробки біополімерним препаратом Ch+R перед холодильним зберіганням, дозволяє рекомендувати його використання при товарній обробці аспарагусу.

Окрім зниження втрат продукції при зберіганні, важливим аспектом раціонального використання вирощеної продукції спаржі є переробка відходів товарної обробки (що можуть досягати 50% урожаю). Оскільки під час вирівнювання пучків спаржі зрізані базальні частини пагонів викидають, виробництво втрачає значну кількість продукції, що має потенційно високу біологічну цінність. Таким чином, наступним етапом цього дослідження став пошук ефективних методів використання відходів товарної обробки спаржі.

Базальні частини пагонів спаржі, які при товарній обробці спаржі зазвичай відносять до відходів були досліджені з метою визначення кількості фенольних речовин. У базальних частинах пагонів спаржі сорту Пріус вона становить близько $75 \text{ мг} \times 100 \text{ г}^{-1}$, а сорту Розалі – $68 \text{ мг} \times 100 \text{ г}^{-1}$, що лише на 20...27% менше, ніж кількість фенольних речовин в основних частинах пагонів. Таким чином, підтверджено, що базальні частини пагонів спаржі мають високий потенціал як джерело поліфенольних сполук.

Додатково, базальні частини пагонів спаржі було висушено у сублімаційній сушарці з метою отримання порошку. Кількісний хімічний аналіз порошку (проведений на базі сектору з вивчення мікроелементозів ДУ «Інститут медицини праці НАМН України» показує високий вміст мікроелементів, зокрема, калію ($47,6 \text{ г/кг}$), кальцію ($5,6 \text{ г/кг}$), магнію ($2,6 \text{ г/кг}$),

цинку (0,11 г/кг), заліза (0,08 г/кг), мангану (0,04 г/кг), міді (0,008 г/кг), а також значні кількості фосфору і сірки (7,3 та 24 г/кг, відповідно). Так, детектований вміст більшості мікроелементів у висушеній спаржі в два рази вищий, ніж у цільнозерновому пшеничному борошні, а міді – не менш, як у чотири рази вищий. Близько 5% маси порошку при цьому припадає на білковий компонент, таким чином, отриманий порошок можна розглядати як цінну біодобавку. Додатковим фактором рентабельності виступає той факт, що таке високоякісне джерело мікроелементів та біомолекул може бути доступним без додаткових інвестицій у вирощування продукції, оскільки може бути перероблене з відходів на етапі заготівлі пагонів спаржі.

На наступному етапі дослідження нами було протестовано ряд рецептур хлібних виробів, при виробництві яких частина борошна була замінена на отриманий порошок зі спаржі з метою підвищення біологічної цінності кінцевого продукту. Використовували чотири варіанти низьковуглеводного борошна (цільнозернове зі спельти або кіноа, лляне та амарантове), до яких додавали порошок спаржі у різних пропорціях. Хліб, отриманий з використанням нових рецептур, оцінювали за фізико-хімічними характеристиками та органолептично.

Показано, що додавання порошку спаржі (5–10%) до складу хліба з борошна цільнозернового амарантового сприяє утриманню форми, знижує вологість м'якушки, збільшує рівномірність пористості та сприяє зменшенню розміру пор. Водночас, завдяки введенню порошку спаржі у тісто спостерігається більш суттєве упікання (зниження питомого об'єму хліба). Додавання порошку спаржі (5–10%) до складу хліба з борошна цільнозернового лляного знежиреного та з борошна цільнозернового з насіння кіноа так само сприяло збільшенню щільності хліба, зменшенню розміру пор та значному упіканню. Водопоглинальна здатність тіста на основі борошна з кіноа, однак, збільшилася за рахунок додавання порошку спаржі, що сприяло збільшенню питомого об'єму хліба.

Незважаючи на покращення фізико-хімічних показників хліба за

вищезазначеними новими рецептурами з використанням порошку спаржі відносно відповідних контрольних зразків, загальні їх органолептичні оцінки залишались посередніми, що ускладнює виведення тестованих рецептур на ринок споживання. Водночас, додавання порошку спаржі до борошна цільнозернового зі спельти призвело до отримання продукту з високими органолептичними характеристиками (90–99 % від максимального значення загальної оцінки), що окреслює значний потенціал для комерційного впровадження.

За органолептичними показниками хліб із борошна цільнозернового зі спельти з заміною порошку спаржі до 10% борошна відповідав встановленим вимогам за всіма показниками. Під час випікання зразків хліб, що містив порошок спаржі переважав контрольний варіант за величиною збільшення об'єму, оскільки внесені з порошком цукри та органічні кислоти інтенсифікують процес бродіння тіста. Більш кількісне (20–30 %) збільшення рецептурної кількості порошку спаржі у тісті негативно впливає на стійкість каркасу тіста, а також змінює колір та запах м'якуша, що суттєво впливає на органолептичну оцінку. Таким чином, експериментально обґрунтовано доцільність заміни до 10% спельтового борошна на порошок зі спаржі з метою підвищення харчової цінності виробу.

На основі отриманих результатів, подана заявка на корисну модель з оптимальною розробленою рецептурою хліба з борошна цільнозернового пшеничного зі спельти з додаванням порошку спаржі.

Використання порошку спаржі у харчовій промисловості, таким чином, дозволяє зменшити харчові відходи, підвищити біологічну цінність продуктів за рахунок мікроелементів, білків та антиоксидантів, а також розширити асортимент хлібобулочної продукції, в тому числі для споживачів із потребами у низьковуглеводних або безглютенових дієтах.

Впровадження результатів досліджень по застосуванню комбінованого біополімерного покриття Ch+R дозволило подовжити термін зберігання на 7 діб і отримати прибуток у розмірі 80400 і 97300 грн/т за рівня рентабельності

30,05 і 32,35% залежно від сорту спаржі, що в середньому вище на 20%, ніж у контролі.

Ключові слова: спаржа (аспарагус), зберігання, біополімерні покриття, хітозан, антиоксиданти, рутин, нові технології, біологічна цінність, відходи, збагачення харчових продуктів.

SUMMARY

Bulhakov P. O. Improvement of Asparagus Storage Technology Using Combined Biopolymer Coating. Thesis for obtaining the Doctor of Philosophy degree, specialization 181 "Food Technology". Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University. Zaporizhzhia, 2025.

The thesis is dedicated to the pressing issues of preserving asparagus spears in refrigeration chambers with composite biopolymer coatings pre-treatment, as well as the utilization of waste from asparagus processing for enriching food products.

The first stage of the research was aimed at the literature review regarding the characteristics of the crop, existing technologies for storing asparagus, and the use of biopolymer coatings. An analysis of the factors affecting the quality of harvested products was conducted, followed by the assessment of the impact of physical and chemical treatment methods on the storage duration, marketability indicators, and nutritional value of asparagus. Existing data on the pre-treatment of asparagus spears with biopolymer coatings were analyzed. Based on the systematized information, relevant research directions were identified, the objectives and tasks of the research were formulated, and methods for storage and processing of the product were selected.

Asparagus is a highly valuable and promising vegetable crop. However, it rapidly loses its commercial quality due to the high level of metabolism in the spears, which contributes to significant product losses during processing and storage.

The aim of the thesis was to extend the storage life of asparagus, stabilize its quality indicators, and reduce losses and waste by applying a composite biopolymer coating with antioxidant properties.

Experimental research was conducted during 2021–2024 at the educational and scientific laboratory of the Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University and the Institute of Food Resources IFR of the NAAS of Ukraine. The studies included the evaluation of treated and untreated asparagus spears of the Prius

and Rosali varieties based on commercial, physiological, organoleptic, and biochemical indicators, as well as the assessment of the suitability of post-harvest processing waste for enriching food products.

During preliminary experiments, based on the evaluation of the quality indicators of treated and untreated asparagus and taking into account variety-specific characteristics, a biopolymer for the protective coating was selected. It was demonstrated that treating asparagus with coatings based on sodium alginate or chitosan extends the storage duration compared to the control and increases the yield of marketable products. The formed films reduce the respiration and transpiration rates of treated samples, thereby lowering mass losses by 1.5–1.9 times compared to the control. Additionally, the feasibility of incorporating the antioxidant rutin into the coating was evaluated. It was determined that rutin treatment positively influenced organoleptic indicators, particularly color and turgor, due to its antioxidant effects. Corresponding to the slower color changes in the asparagus spears, a higher pigment content was confirmed in samples treated with rutin for both asparagus varieties compared to the control. For instance, when asparagus was treated with 1% and 1.5% rutin solutions, the chlorophyll content at the end of storage was 1.8–2 times higher (depending on the variety) than in the control samples, while carotenoid levels were 1.6–1.8 times higher. Based on the collected data, a rutin concentration of 1% was determined to be optimal for further use in the composition of the composite coating.

At the next stage of the research, we evaluated the impact of composite coatings containing a mixture of biopolymer and the antioxidant rutin on the commercial and physiological indicators of asparagus during refrigerated storage. It was demonstrated that using compositions of 1% sodium alginate + 1% rutin (A+R) and 1% chitosan + 1% rutin (Ch+R) for treating asparagus spears extended the storage period of both varieties by one week compared to the control.

The variability of the effects of the studied coatings depending on the asparagus variety was assessed. It was shown that the influence of varietal characteristics on commercial indicators and weight loss during storage was

insignificant. In the same time, the use of coatings based on sodium alginate or chitosan reliably increased the yield of marketable products by 4–7%, depending on the coating composition, even with the extended storage period of one additional week.

It was demonstrated that treatment of the asparagus spears by the composite biopolymer coating, which included 1% rutin and 1% chitosan (Ch+R), ensured the best commercial quality and the highest organoleptic indicators among the samples. Asparagus samples treated with the Ch+R coating exhibited a larger sensory profile area even on the 22nd day of storage compared to the control samples on the 14th day. Specifically, this coating improved indicators such as spear color (likely due to the antioxidant effect of the coating) and cell turgor, while also reducing the drying of cut ends.

The preservation of high turgor and the slowing of cut-end drying when using biopolymer coatings are associated with a reduction in the intensity of transpiration and respiration processes in the treated samples. The physical effect of the coatings lies in the formation of a thin transparent film on the surface of the spears, which acts as a barrier to gas exchange. The average respiration intensity of asparagus spears of the Rosali variety was 75.2 mg CO₂/kg·h, while for the Prius variety, it was 66.9 mg CO₂/kg·h. Lowering the temperature at the beginning of storage contributed to a reduction in respiration intensity in the samples to 56.4 and 56.2 mg CO₂/kg·h for the Rosali and Prius varieties, respectively. During subsequent storage, the respiration intensity gradually increased, however, treatment with biopolymer preparations allowed to further slower respiratory metabolism.

On the 7th day of storage, the respiration intensity of Prius variety spears decreased by 26% relative to the control group when treated with alginate and by 38% when treated with chitosan. In the Rosali variety, respiratory metabolism slowed by 5.5% and 44% with alginate and chitosan treatments, respectively. In addition to the initial reduction in respiration intensity, asparagus of both varieties treated with chitosan exhibited a delayed peak in respiration intensity, shifting it to a later period. Asparagus treated with the Ch+R coating did not show a pronounced

increase in respiration intensity during the first two weeks, indicating more uniform metabolic processes in asparagus cells due to this treatment. The application of the coating, which covers stomata, slows transpiration processes and creates a barrier to gas exchange, thereby also reducing weight loss. The most effective coating studied, Ch+R, reduced asparagus weight loss by half, regardless of the variety.

Thus, it was demonstrated that the use of the Ch+R coating is promising for extending the refrigerated storage period of asparagus while maintaining product quality. The next stage of the research focused on evaluating the impact of the selected biopolymer coating on the chemical composition and biological value of asparagus compared to untreated samples and samples treated only with a chitosan solution (Ch).

During the evaluation of the impact of biopolymer coatings on the preservation of the nutritional value of asparagus in control and treated groups, the dynamics of changes in the content of soluble solids, glucose and fructose, proteins, pigments (chlorophylls and carotenoids), phenolic compounds, and ascorbic acid were determined, as well as the activity of polyphenol oxidase and ascorbate oxidase. The dynamics of sugar, pigment, and ascorbic acid content, in particular, were found to be distinctly variety-specific, indicating differences in the nature and rate of metabolic processes in the green asparagus variety Prius and the purple-green variety Rosali.

It was demonstrated that treating asparagus with biopolymer coatings Ch and Ch+R slows the degradation of soluble solids: on the 14th day of refrigerated storage, their content showed only minor differences compared to the initial levels at the beginning of storage, whereas in the control samples, losses of soluble solids reached up to 10–13%, depending on the variety. Over a longer storage period (21 days), the treated spears also experienced losses of soluble solids; however, their levels remained 5.5–7.5% higher than those in the corresponding control samples.

The trends of sugar dynamics in the studied asparagus varieties differ: in case of the Prius variety, the glucose and fructose content decreases during storage, whereas in the Rosali variety, it increases during the third week of storage (following

a decline in the second week). The treatment of Prius asparagus spears with biopolymer coatings did not affect the intensity of sugar loss. At the same time, treating Rosali asparagus variety with the Ch+R coating allowed to maintain the glucose and fructose content on the level 20% higher than in the control sample on the 14th day of storage. With longer storage periods, though, the difference between treated and untreated samples diminished.

Both studied varieties showed an increase in protein content (15–20%) by the end of storage (23rd day). The treatment of Prius asparagus with the Ch+R biopolymer coating resulted in a 19% increase in protein content compared to the control, whereas no increase in protein content was observed in the treated samples of the Rosali variety.

At the beginning of asparagus storage, the chlorophyll content in the Rosali variety was 40% higher than in the Prius variety, while the carotenoid content was 17% higher. However, the rate of pigment degradation was higher in the Rosali variety: after 22 days, Rosali spears lost 66% of their chlorophyll and 59% of their carotenoids from the initial content, whereas the losses in the Prius variety were 53% for chlorophyll and 42% for carotenoids.

It was demonstrated that the use of biopolymer coatings significantly slows down chlorophyll degradation, allowing for the preservation of 60% more chlorophyll than in the control when treated with Ch, and 88% more when treated with Ch+R. At the same time, the Ch coating reduced carotenoid degradation by 33%, while the Ch+R coating reduced it by 48% in both asparagus varieties, confirming the positive effect of the antioxidant component of the coating on the pigment complex.

It was established that phenolic compounds accumulate during refrigerated storage of the studied asparagus varieties (an increase of 9% in the Prius variety and 36% in the Rosali variety by the end of storage). Treatment of spears with the Ch+R coating helps to reduce oxidative stress, accelerating the initial accumulation of phenolic compounds (during the first week) by 9...11%, depending on the variety. However, by the end of storage, the phenolic compound content in treated samples

was comparable to that of the control. The activity of polyphenol oxidase, an enzyme that promotes the degradation of polyphenols, decreases over the storage period after an initial increase under conditions of heightened metabolic activity. This enzyme activity showed an inverse correlation with the determined phenolic compound content ($r = -0.7683$ for the Prius variety and $r = -0.8535$ for the Rosali variety).

The dynamics of changes in ascorbic acid content in the Rosali and Prius asparagus varieties differ significantly: by the end of storage, the vitamin C content in Prius spears changes only slightly, while it increases by 32% in Rosali spears. For both varieties, a strong inverse correlation was established between the vitamin C content and the activity of ascorbate oxidase ($r = -0.8256$ for the Prius variety and $r = -0.9817$ for the Rosali variety).

The treatment with biopolymer coatings accelerates the accumulation of ascorbic acid at the initial stage of storage, similarly to its positive effect on the preservation of metabolically related sugars and chlorophylls. The application of the Ch+R biopolymer coating significantly improves the preservation of sugars, proteins, pigments, phenolic compounds, and vitamin C during refrigerated storage for 14 days compared to the control samples.

After the first two weeks of storage, the stress resistance mechanisms of asparagus likely intensify even in treated samples, which accelerates catabolism and reduces the supportive effect of the prior treatment. However, under prolonged refrigerated storage, the use of the Ch+R treatment ensures the retention of significantly higher amounts of chlorophylls and carotenoids compared to the control samples. Thus, such treatment still remains effective for preserving the nutritional value of asparagus by the end of storage.

Observed extending the storage period of asparagus regardless of the variety, increasing the yield of marketable products, improving organoleptic indicators, and enhancing the nutritional value of spears through treatment with the Ch+R biopolymer coating before refrigerated storage, therefore, supports its recommendation in the commercial processing of asparagus.

An important aspect of the rational use of harvested asparagus in addition to

reducing product losses during storage, is the processing of post-harvest waste (which can account for up to 50% of the yield). During the bundling of asparagus, basal parts of the spears are trimmed and discarded, resulting in the loss of a significant amount of product with potentially high biological value. Therefore, the next stage of this research focused on finding effective methods for utilizing post-harvest asparagus processing waste.

The basal parts of asparagus spears, which are typically classified as waste during commercial processing, were studied to determine their phenolic compound content. In the basal parts of Prius variety spears, the phenolic compound content was approximately $75 \text{ mg} \times 100 \text{ g}^{-1}$, and in the Rosali variety, it was $68 \text{ mg} \times 100 \text{ g}^{-1}$, which is only 20–27% less than the phenolic compound content in the main parts of the spears. Thus, it was confirmed that the basal parts of asparagus spears have high potential as a source of polyphenolic compounds.

Additionally, the basal parts of asparagus spears were freeze-dried to produce a powder. Quantitative chemical analysis of the powder, conducted at the Sector for Microelement Studies of the State Institution "Institute for Occupational Health of the NAMS of Ukraine", revealed a high content of micronutrients, including potassium (47.6 g/kg), calcium (5.6 g/kg), magnesium (2.6 g/kg), zinc (0.11 g/kg), iron (0.08 g/kg), manganese (0.04 g/kg), copper (0.008 g/kg), as well as significant amounts of phosphorus and sulfur (7.3 and 24 g/kg, respectively). Notably, the detected levels of most micronutrients in the dried asparagus powder were twice as high as those in whole-grain wheat flour, and the copper content was at least four times higher. Approximately 5% of the powder's mass consisted of protein, making the resulting powder a valuable dietary supplement. An additional factor contributing to economic efficiency is that this high-quality source of micronutrients and biomolecules can be obtained without additional investments in production, as it can be processed from waste generated during the preparation of asparagus spears.

At the next stage of the research, we tested a series of bread recipes in which part of the flour was replaced with the obtained asparagus powder to enhance the biological value of the final product. Four types of low-carbohydrate flours were

used (whole-grain spelt and quinoa, flaxseed, and amaranth), to which asparagus powder was added in various proportions. The bread produced using these new recipes was evaluated based on its physicochemical characteristics and organoleptic properties.

It was shown that adding asparagus powder (5–10%) to whole-grain amaranth flour helped retain the shape of produced bread, reduced crumb moisture, increased the uniformity of porosity, and decreased pore size. However, the addition of asparagus powder to the dough resulted in more significant baking shrinkage (a reduction in the bread's specific volume). Similarly, adding asparagus powder (5–10%) to bread made with defatted whole-grain flaxseed flour and whole-grain quinoa flour also increased bread density, reduced pore size, and caused significant baking shrinkage. However, the water absorption capacity of dough made with quinoa flour increased due to the addition of asparagus powder, which contributed to an increase in the bread's specific volume.

Despite the improvement in the physicochemical properties of bread made with the new recipes using asparagus powder compared to the respective control samples, their overall organoleptic evaluations remained average, complicating the market introduction of these tested recipes. However, the addition of asparagus powder to whole-grain spelt flour resulted in a product with high organoleptic characteristics (90–99% of the maximum overall score), highlighting significant potential for its commercial implementation.

In terms of organoleptic properties, bread made with whole-grain spelt flour and up to 10% replacement with asparagus powder met all requirements for each of the indicators. During baking, bread containing asparagus powder outperformed the control variant in terms of volume increase, as the sugars and organic acids introduced with the powder intensified the dough fermentation process. However, a higher replacement level (20–30%) of spelt flour with asparagus powder negatively affected the dough structure's stability and altered the crumb's color and aroma, significantly impacting the organoleptic evaluation. Thus, the experimental results justify the replacement of up to 10% of spelt flour with asparagus powder to enhance

the nutritional value of the product.

Based on the obtained results, a utility model application was submitted for the optimal recipe of bread made with whole-grain spelt flour and asparagus powder.

The use of asparagus powder in the food industry, therefore, allows for the reduction of food waste, the enhancement of product nutritional value through the inclusion of micronutrients, proteins, and antioxidants, and the expansion of the range of bakery products, including options for consumers with low-carbohydrate or gluten-free dietary needs.

The implementation of research findings on the use of the combined biopolymer coating Ch+R extended the shelf life by 7 days and resulted in a profit of 80,400 and 97,300 UAH per ton, depending on the asparagus variety with respective profitability levels of 30.05% and 32.35% that were on average 20% higher than thus in the control.

Keywords: asparagus, storage, biopolymer coatings, chitosan, antioxidants, rutin, new technologies, biological value, waste, food product enrichment.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Priss, O., & **Bulhakov, P.** (2024). Storage waste of Asparagus as a valuable source of phenolic compounds. *Scientific Bulletin of the Tavria State Agrotechnological University*, 14(2). <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2024-24-2-15> . (Здобувачем проведено експериментальні дослідження, узагальнено результати та підготовлено статтю до публікації)

2. Priss, O. P., Sukhenko, V. Y., & **Bulhakov, P. O.** (2023). Asparagus Dry Soluble and Insoluble Matter During Storage. *Scientific Bulletin of the Tavria State Agrotechnological University*, 1(13), 1–10. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2023-1-24> . (Здобувачем проведено експериментальні дослідження, узагальнено результати)

3. Priss, O. P., **Bulhakov, P.**, Kolisnychenko, T. O., & Gazzavi-Rogozina, L. V. (2023). Using Protective Coating for Reduction of Losses While Storing Asparagus. *Proceedings of Tavria State Agrotechnological University*, 1(23), 188–198. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-2023-23-1-188-198> . (Здобувачем проведено експериментальні дослідження, узагальнено результати та підготовлено статтю до публікації)

Стаття у науковому виданні іншої держави (включеному до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та/або Web of Science Core Collection)

1. Priss, O., Hutsol, T., Glowacki, S., **Bulhakov, P.**, Bakhlukova, K., Osokina, N., Nurek, T., Horetska, I., & Mykhailova, L. (2024). Effect of Asparagus Chitosan-Rutin Coating on Losses and Waste Reduction During Storage. *Agricultural Engineering*, 28(1), 99–118. <https://doi.org/10.2478/agriceng-2024-0008>.

Наукометрична база даних Scopus, Q3.

(Здобувачем проведено експериментальні дослідження, узагальнено результати)

Заявка на корисну модель

Прісс О. П., Булгаков П. О., Костецька К.В., Осокіна Н.М., Загорко Н.П. Спосіб лабораторного випікання хліба із борошна цільнозернового пшеничного зі спельти з спаржею: заявка на корисну модель № u202405955. Заявник та патентовласник Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного; заявку прийнято 19.12.2024; <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1833442/> *(Здобувачем розроблено рецептуру лабораторного хлібу з додаванням порошку зі спаржу).*

Тези наукових доповідей

1. **Булгаков, П. О.** Кулик, А.С. Проблематика зберігання холодку лікарського (спаржі) *Asparagus officinalis* L. Матеріали X всеукраїнської науково-технічної конференції здобувачів вищої освіти за підсумками наукових досліджень 2022 року. Факультет агротехнологій та екології/Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного. Запоріжжя, 15-20 лютого 2023 року. Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. 163 с., 2023, 22. *(Здобувачем систематизовано наявні результати досліджень зберігання спаржі та узагальнено основні причини низької ефективності сучасних методик).*

2. Прісс, О. П., & **Булгаков, П. О.** Зберігання спаржі з використанням захисних покриттів і пакування. 13-та Міжнародна науково-практична онлайн конференція “Information activity as a component of science development”, Едмонтон, Канада, 04–07 квітня 2023 року: тези доповіді. Едмонтон, 2023. С. 21–27. <https://doi.org/10.46299/ISG.2023.1.13>. *(Здобувачем досліджено вплив*

карбоксиметилцелюлозного покриття на зберігання білої спаржі, систематизовано результати)

3. **Булгаков, П. О.**, Прісс, О. П. Спаржа – сезонний делікатес для ресторанів. Зя Всеукраїнська науково-практична конференція «Інновації, гостинність, туризм: наука, освіта, практика», Львів, 18 травня 2023: тези доповіді. Львів, 2023. *(Здобувачем досліджено потенціал введення на український ринок харчової продукції на основі аспарагусу.*

4. Прісс, О. П., **Булгаков, П. О.** Спаржа – витончений смак і користь для здоров'я. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Промисловість та крафт для HoReCa в туризмі: досвід, проблеми, інновації», Київ, 23-24 травня 2023 року: тези доповіді. Київ: НУХТ, 2023. С. 48. *(Здобувачем досліджено перспективи вирощування спаржі в Україні та попит на українському ринку)*

5. **Булгаков, П. О.**, Прісс О. П. Можливості використання відходів спаржі у харчових технологіях. Збірник матеріалів міжнародної наукової конференції «Освіта і наука в умовах викликів і загроз», Київ.: НУБіП України, 2024. – С.383-384. *(Здобувачем оцінено вміст поліфенольних сполук у відходах зберігання спаржі для збагачення харчової продукції)*

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	2
SUMMARY.....	12
СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ	21
ЗМІСТ	24
ВСТУП.....	28
РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЇ ЗБЕРІГАННЯ СПАРЖІ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ СПАРЖІ ЗАХИСНИМИ ПОКРИТТЯМИ.....	33
1.1. Спаржа як культура для споживання у свіжому та переробленому вигляді	33
1.2. Особливості біохімічного складу спаржі	36
1.3. Зміни товарних та фізіолого-біохімічних показників під час зберігання спаржі	40
1.4. Технології зберігання спаржі.....	43
Висновки до розділу 1	56
Список літератури до розділу 1	57
РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	80
2.1. Програма проведення досліджень.....	80
2.2. Методика проведення досліджень.....	82
Висновки до розділу 2.....	89
Список літератури до розділу 2.....	89
РОЗДІЛ 3. ВИБІР КОМБІНОВАНИХ БІОПОЛІМЕРНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЯКОСТІ СПАРЖІ ПІД ЧАС ЗБЕРІГАННЯ.....	92
3.1. Вплив біополімерних та антиоксидантних покриттів на товарні та біохімічні показники при зберіганні спаржі	92
3.2. Вплив рутину на товарну якість і органолептичні показники	

пагонів спаржі.....	97
3.3. Вплив комбінованих біополімерних покриттів на товарну якість та органолептичні показники пагонів спаржі.....	101
3.4. Вплив комбінованих біополімерних покриттів на інтенсивність дихання та динаміку втрати маси при зберіганні спаржі.....	105
Висновки до розділу 3	111
Список літератури до розділу 3	112
РОЗДІЛ 4. ЗМІНА КОМПОНЕНТІВ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ПАГОНІВ СПАРЖІ ЗА ДІЇ КОМБІНОВАНОГО БІОПОЛІМЕРНОГО ПОКРИТТЯ ПІД ЧАС ЗБЕРІГАННЯ	116
4.1. Динаміка вмісту сухої речовини в пагонах спаржі під час зберігання	116
4.2. Динаміка вмісту цукрів в пагонах спаржі під час зберігання	119
4.3. Зміна вмісту білків у пагонах спаржі під час зберігання.....	121
4.4. Динаміка вмісту пігментів в пагонах спаржі	123
4.5. Динаміка вмісту фенолів та активності поліфенолоксидази в пагонах спаржі	125
4.6. Динаміка вмісту аскорбінової кислоти та активності аскорбатоксидази в пагонах спаржі	129
Висновки до розділу 4	133
Список літератури до розділу 4	135
РОЗДІЛ 5. СПАРЖА ЯК ДЖЕРЕЛО БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БІОЛОГІЧНОЇ ЦІННОСТІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ	141
5.1. Визначення харчової та біологічної цінності відходів заготівлі пагонів спаржі свіжої овочевої	141
5.2. Оцінка доцільності введення порошку спаржі в рецептуру хлібних виробів.....	146
5.3. Органолептичні та фізико-хімічні показники хліба із борошна цільнозернового пшеничного зі спельти зі спаржею	154

Висновки до розділу 5	160
Список літератури для розділу 5	161
РОЗДІЛ 6. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ОБРОБКИ СПАРЖІ КОМБІНОВАНИМ БІОПОЛІМЕРНИМ ПОКРИТТЯМ.....	165
Висновки до розділу 6	170
ВИСНОВКИ	171
ДОДАТКИ.....	174

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

1-МЦП – 1-метилциклопропен

АК – аскорбінова кислота

АКО – аскорбатоксидаза

БАР – біологічно активні речовини

МГС – модифіковане газове середовище

НІР – найменша істотна різниця

ПФО – поліфенолоксидаза

РГС – регульоване газове середовище

ФР – фенольні речовини

GRAS – generally recognized as safe (загально визнаний безпечним)

EAWP – electrostatic atomized water particles (електростатично атомізована вода)

FDA – Food and Drug Administration (федеральне агенство США з питань харчової та медичної продукції)

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасне світове овочівництво розвивається в умовах загострення продовольчої безпеки. Цей факт підкреслює важливість розробки технологій виробництва та зберігання плодоовочевої продукції, що мінімізують її втрати на всіх етапах логістичного ланцюжка, що сполучає виробника та кінцевого споживача. Актуальною потребою є стабільне цілорічне забезпечення доступною для всіх верст населення овочевою продукцією, бажано, вітчизняного виробництва, що сприяє соціально-економічній стабільності.

Одним із завдань конкурентоспроможного овочівництва в Україні є розширення асортименту агрокультур, зокрема інтродукція нетрадиційних овочів. В цьому контексті неабиякий потенціал має спаржа (*Asparagus*) завдяки своїй високій біологічній цінності, що є виграним з огляду на тренд здорового харчування.

Для створення стабільної пропозиції спаржі на ринку важливо забезпечити її ефективне виробництво, зберігання та логістику реалізації. З огляду на швидкопсувність спаржі та короткий вегетаційний період, важко переоцінити важливість оптимальних умов зберігання, що забезпечують максимальну підтримку якості продукції. Додатково, під час товарної обробки спаржі наразі утворюється надзвичайно висока кількість відходів (до 50% продукції), що є неприпустимими втратами з точки зору використання ресурсів. Зниження кількості відходів заготівлі та пошук шляхів їх ефективного використання, таким чином, залишається не менш актуальною проблемою.

Проблеми ефективного виробництва на Україні малопоширених агрокультур і напрямки розвитку цього ринку широко досліджувались такими вітчизняними вченими, як Кутовенко В.Б., Костенко Н.П., Єрмілов О.С., Слободяник Г.Я., Удова Л.О. Улянич О. І., Вдовенко С.А. Великий внесок у

розробку технологій обробок плодоовочевої продукції для подовження термінів її зберігання зробили Осокіна Н.М., Прісс О.П., Сердюк М.Є., Василюшина О.В. Розробками технологій збереження спаржі, однак, здебільшого займались переважно вчені з країн Азії, де спаржа є традиційною культурою. Помітний внесок зробили, зокрема Guo Q., Wang N., Yu Q., Tian Z.

Однак, незважаючи на ряд наявних досліджень, питання тривалого зберігання пагонів спаржі залишаються недостатньо вивченими. Розширення її виробництва потребує розробки екологічно безпечних і економічно вигідних технологій максимально тривалого зберігання пагонів, націлених на збереження їх функціональних властивостей та харчової цінності.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження виконували впродовж 2021–2024 рр. відповідно до наукової програми НДІ Агротехнологій екології ТДАТУ «Розроблення інноваційних технологій харчової та кулінарної продукції (ДР № 0121u110200).

Мета і завдання дослідження. Мета дослідження – подовження термінів зберігання спаржі та стабілізація її якісних показників шляхом застосування комбінованого біополімерного покриття антиоксидантної дії.

Для досягнення поставленої мети визначено **завдання:**

- вивчити особливості збереженості пагонів спаржі та встановити фактори, що лімітують тривалість зберігання та впливають на якісні показники;
- обґрунтувати принципи вибору речовин і їх концентрацій у складі комбінованих захисних покриттів для подовження термінів зберігання, стабілізації якості та скорочення втрат і відходів під час зберігання;
- дослідити вплив розроблених комплексних біополімерних покриттів на товарні показники та рівень втрат спаржі під час зберігання;
- оцінити вплив обробки комплексними біополімерними покриттями на фізіолого-біохімічні характеристики пагонів спаржі під час зберігання;
- дослідити придатність відходів товарної обробки спаржі для збагачення харчової продукції;
- провести апробацію розробленої удосконаленої технології зберігання

спаржі у виробничих умовах і визначити її економічну ефективність.

Об'єкт дослідження – зміни якості пагонів спаржі під впливом попередньої обробки комбінованого біополімерного покриття в процесі зберігання в умовах охолодження.

Предмет дослідження – пагони спаржі сортів різного основного забарвлення та захисні комбіновані покриття.

Методи дослідження. У дисертаційній роботі використано методи аналізу і синтезу даних, статистичної і математичної обробки даних та спеціальні методи лабораторних досліджень.

Наукова новизна одержаних результатів. Експериментально доведено ефективність використання післязбиральної обробки комбінованого біополімерного покриття на основі хітозану для збереженості пагонів спаржі.

Вперше:

- досліджено зміни товарних, фізичних та біохімічних характеристик пагонів спаржі сортів Пріус та Розалі за умов холодильного зберігання;
- встановлено динаміку змін характеристик пагонів спаржі під час холодильного зберігання за умов попередньої обробки біополімерними покриттями на основі альгілату натрію та хітозану;
- встановлено найбільш ефективний склад і співвідношення компонентів комбінованого покриття з включенням рутину;
- показано ефективність використання комбінованого покриття на основі хітозану та рутину для збереження товарної якості та харчової цінності пагонів спаржі під час зберігання;
- встановлено біологічну цінність висушених базальних частин пагонів спаржі (які є відходами заготівлі);
- розроблено рецептуру та технологічний процес випікання хлібу, збагаченого біологічно активними речовинами за рахунок включення порошку зі спаржі до його складу

Набули подальшого розвитку:

- наукові положення щодо ефективності застосування післязбиральної обробки пагонів спаржі їстівними покриттями.

Практичне значення одержаних результатів. На основі проведених досліджень розроблено комбіноване біополімерне покриття для післязбиральної обробки пагонів спаржі, що дозволить товаровиробникам подовжити терміни зберігання спаржі та скоротити втрати при зберіганні. Розроблено спосіб використання післязбиральних відходів спаржі для збагачення хлібобулочних виробів.

Особистий внесок здобувача. Дисертація є завершеною науковою працею, виконаною у період 2021–2024 років. Автором розроблено програму досліджень, здійснено тематичний аналіз наукових літературних джерел, проведено експериментальні дослідження, узагальнено отримані результати, сформульовано висновки та надано рекомендації для впровадження у виробництво. На основі отриманих даних здобувачем було підготовано публікації, виконані у співавторстві. Внесок здобувача у них включав проведення експериментальних досліджень, систематизацію та узагальнення отриманих даних, підготовку наукових праць до друку, а також написання та оформлення кваліфікаційної наукової роботи.

Апробація матеріалів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи оприлюднено на засіданнях кафедри харчових технологій та готельно-ресторанної справи ТДАТУ (2021–2025 рр.), 13й Міжнародній науково-практичній онлайн конференції “Information activity as a component of science development” (Едмонтон, Канада, 2023), Міжнародній науково-практичній конференції «Промисловість та крафт для HoReCa в туризмі: досвід, проблеми, інновації» (НУХТ, Київ, 2023), Міжнародній науково-практичній конференції «Інновації харчових та крафтових технологій для HoReCa» (ЛДУФК, Львів, 2023), 3й Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інновації, гостинність, туризм: наука, освіта, практика (ЛДУФК, Львів, 2023), Хй Всеукраїнській науково-технічній конференції здобувачів вищої освіти за підсумками наукових досліджень 2022 року (ТДАТУ, Запоріжжя, 2022),

Міжнародній науковій конференції «Освіта і наука в умовах викликів і загроз» (НУБіП, Київ, 2024).

Публікації. Основні положення дисертаційного дослідження викладено в 9 наукових працях здобувача, з яких 3 статті у наукових фахових виданнях, та одна стаття включена до міжнародної наукометричної бази даних Scopus (Q₃), 5 тезах наукових доповідей.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотацій, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації становить 173 сторінки, без врахування 14 додатків на 28 сторінках. Список використаних джерел налічує 232 найменування.

РОЗДІЛ 1.

ТЕХНОЛОГІЇ ЗБЕРІГАННЯ СПАРЖІ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ СПАРЖІ ЗАХИСНИМИ ПОКРИТТЯМИ

1.1. Спаржа як культура для споживання у свіжому та переробленому вигляді

В умовах викликів, що постають на сьогодні перед людством через глобальні екологічні зміни та обумовлені геополітичними причинами порушення усталених харчових ланцюгів, важливість оптимізації структури харчування складно переоцінити. У продовольчих системах сучасності пріоритетними напрямками розвитку, покликаними зменшити негативний вплив на клімат та біорізноманіття, є зменшення використання хімічних речовин при переробці, скорочення післязбиральних втрат продовольства та перехід до більш здорового харчування [1].

Збільшення зацікавленості у продуктах з оздоровчими та лікувальними властивостями [2] призводить до розширення споживання плодоовочевої продукції, яка є джерелом біологічно активних речовин та фітонутрієнтів, що допомагають у боротьбі з «прихованим голодом» [3–5]. Сьогодні спостерігається тенденція зростання обсягів виробництва овочів як в Україні, так і в цілому світі [6].

Однак, незалежно від зростання виробництва, обсяги щорічних втрат плодоовочевої продукції становлять 30 % від валового збору врожаю [7], що призводить до фінансових збитків усіх учасників ланцюгу постачання від виробників до споживачів, а також до незворотної і даремної втрати природних ресурсів, використаних під час виробництва. Вдосконалення процесів зберігання та транспортування рослинної продукції є, таким чином, ключовою умовою для створення стабільних продуктових систем та

забезпечення продуктової безпеки.

Високі втрати під час зберігання плодів та овочів зумовлені їх низькою стійкістю до механічних пошкоджень, високим вмістом води (75 – 95 %), інтенсивним газообміном, та активним післязбиральним метаболізмом. Запобігання природному процесу старіння і псуванню плодів та овочів під час зберігання є фундаментальним викликом з технічної точки зору, особливо у випадку продукції з високим рівнем метаболічних процесів.

Спаржа (*Asparagus officinalis* L.) є однією із найбільш популярних овочевих культур у світі завдяки смаковим властивостям, поживній цінності та високому вмісту цінних фітонутрієнтів. Завдяки стрімкому зростанню попиту впродовж останніх 35 років виробництво спаржі в світі зросло в 5,5 разів, в Європі – вдвічі [8]. Ця культура, однак, є надзвичайно швидкопсувною в післязбиральний період через дуже високу швидкість метаболізму та інтенсивність газообміну [9].

Спаржу в основному споживають у свіжому вигляді, однак і перероблені, зокрема, консервовані та швидкозаморожені продукти користуються попитом у споживачів, особливо на ринках Азії, для яких вони є більш традиційними. Через високу харчову цінність та корисність спаржі триває постійний пошук нових методів розробки продуктів на її основі, що зберігали б максимальну кількість біологічно активних речовин, з метою виведення їх на ринок [10–15]. Так, впродовж останніх років у Китаї були запатентовані методи заморожування спаржі з попереднім бланшуванням, консервування, приготування соків, чаїв, вина, оцту, йогурту та інших ферментованих продуктів, і навіть рецепти макаронних виробів на основі сушеної спаржі [16]. Порошки, що виготовляються шляхом висушування пагонів, використовуються як харчові добавки завдяки високому вмісту харчових волокон та біологічно активних речовин (БАР) [16, 17]. Екстракти, порошки та соки із спаржі крім харчових застосувань також широко використовуються в медицині, косметології, культурі рослинних тканин. З метою використання відходів виробництва спаржі розробляються технології екстрагування

ферментів, деяких біологічно активних речовин та навіть отримання нанокристалів целюлози [16, 18, 19].

Рід *Asparagus* включає понад 300 видів, серед яких є як лікарські, так і декоративні форми [18, 20], проте для харчових цілей використовується виключно *Asparagus officinalis* L. (також: спаржа лікарська або звичайна, холодок лікарський) [21]. В Україні сортове різноманіття спаржі наразі обмежене – донедавна у реєстрі сортів рослин, придатних до поширення, було зазначено лише вісім гібридів, і ще п'ять додано у 2024-му році. Попри те, що традиційно спаржа сприймається широким загалом українських споживачів переважно як орнаментальна рослина, зі зростанням тренду здорового харчування та глобалізацією гастрономічних вподобань вона поступово збільшує присутність в раціоні українців.

Активне зростання попиту на спаржу в сегменті HoReCa та потенційно висока прибутковість стимулюють зацікавленість фермерів у її вирощуванні. Природно-кліматичні умови та ґрунти України є сприятливими для цієї культури. Наразі в Україні спаржу вирощують на площі від 250 до 300 гектарів, і до 2022 року спостерігалася тенденція до зростання площі угідь під аспарагус.

Сезон вирощування спаржі в Україні досить короткий – з останньої декади квітня до початку червня. В їжу вживають молоді пагони спаржі довжиною 15–22 см, до 2 см завтовшки. Це молоді частини рослини з високим рівнем респіраторного метаболізму, інтенсивність дихання також збільшується відразу після збору врожаю внаслідок ранового стресу [22]. Отже, зібрана спаржа швидко псується: термін зберігання зрізаних пагонів складає 3 – 5 днів за кімнатної температури, та 14 – 15 днів при зберіганні у холодильнику [8, 23, 24].

Продовження терміну зберігання спаржі, а також скорочення втрат і відходів зібраної продукції під час зберігання можуть, таким чином, сприяти доступності цього цінного харчового продукту, покращенню раціонів харчування та зменшенню навантаження на екосистеми.

1.2. Особливості біохімічного складу спаржі

Своїй надзвичайній популярності у світі спаржа завдячує важливим дієтичним властивостям та наявністю комплексу цінних біологічно активних речовин [16]. Серед них представлені всі визначальні класи БАР: фенольні сполуки, таніни, флавоноїди (зокрема рутин, кемпферол, кверцетин), антоціани, стероїдні сапоніни, харчові волокна, каротиноїди, хлорофіли, токоферолі, стерини [25]. Ці компоненти, залежно від кількісного та якісного складу, чинять різний вплив на метаболічні та регуляторні процеси в спаржі. Багатий хімічний склад обумовлює фармакологічний вплив спаржі на організм людини, її використання відоме в практиках традиційної медицини та косметичних процедурах країн Азії. У науковій літературі останніх років зустрічаються повідомлення про її антиоксидантну [26], протипухлинну [27], антидіабетичну [28], гіпоглікемічну, гіполіпідемічну, протиепілептичну, імуномодуючу дію [16].

Білки спаржі містять більшість незамінних амінокислот (за винятком гістидину та лізину, які є лімітованими) [29]. Рівень незамінних амінокислот становить 40 – 43 % від загального їх вмісту. Домінуючими серед амінокислот спаржі є аспарагін та глютамін, відносний вміст яких перевищує такий у продуктах тваринного походження [16].

Вміст вітамінів у пагонах в середньому складає (мг / 100 г): тіаміну – 0,14, рибофлавіну – 0,14; нікотинової кислоти – 0,98; фолієвої кислоти – 52; аскорбінової кислоти – 5,6; токоферолу – 1,13; філохінону – 41,6 [30]. Спаржа відзначається і високим рівнем мінеральних речовин (г / кг сухої ваги), а саме: калію – 38; кальцію – 3,9; магнію – 0,022; заліза – 0,079; натрію – 0,24; цинку – 0,085; міді – 0,022; мангану – 0,016 [31].

Для спаржі характерним є просторовий розподіл вуглеводів: у верхівці пагона домінують цукроза та фруктоза, у середній частині – фруктоза та глюкоза, у нижній (базальній) – глюкоза, а також там накопичується багато полісахаридів: харчових волокон, пектинових речовин, фруктану, целюлози та

лігніну. Загальний вміст цукрів в нижній та середній ділянках пагона майже в 10 разів вище порівняно з верхівкою в момент збору врожаю, адже в активно зростаючих апікальних тканинах відбувається швидке виснаження цукрів. Крім того, у паростках з більшим діаметром міститься вищий рівень цукру порівняно з тонкими, що швидко зростають [16], а компонентний склад вуглеводів і їх кількісний рівень можуть коливатись залежно від висоти пагона [32].

Спаржа містить велику кількість фенольних речовин, що є природними антиоксидантами і відіграють роль у ростових процесах, захисті від патогенних мікроорганізмів, обумовлюють пігментне забарвлення паростків спаржі [33]. Поліфеноли надають екстрактам біомаси спаржі бактерицидні та фунгіцидні властивості [34, 35]. Середні та прикореневі ділянки пагонів містять більше фенольних сполук, ніж верхівка [36].

Рівень флавоноїдів у спаржі складає в середньому від 26 до 180 мг / 100 г [16, 37]. Головним флавоноїдом спаржі є рутин, кількісний вміст якого становить близько 70 % від загального рівня флавоноїдів спаржі. Рутин дозволяє ефективно захищати рослинні клітини від шкідливого впливу ультрафіолету [31].

Сапоніни, вміст яких в пагонах спаржі досягає 2,1 – 3,6 мг/г, належать до групи високомолекулярних стероїдних глікозидів. Завдяки вираженим антимікробним властивостям їх відносять до фітоантиципінів або фітопротекторів [38], за деякими дослідженнями сапоніни спаржі інгібують ріст ракових клітин [39]. Сапоніни впливають на функціональні та органолептичні властивості спаржі, надають їй характерного гіркого присмаку [40]. В спаржі зелених та білих сортів клас сапонінів представлений переважно протодіосцином.

Спаржа багата на антоціани та їх похідні: аглікони, дельфінідини, ціанідини, петунідини, пеларгонідини, пеонідини та мальвідини [41]. Також спаржа містить природні фотосинтетичні пігменти – каротиноїди та хлорофіли, які теж зумовлюють її забарвлення та виконують важливі

біологічні й захисні функції [42]. Вони забезпечують світлову фазу фотосинтезу, мають антиоксидантну та провітамінну активність, підтримують регуляцію мікров'язкості мембран, збільшуючи їх термотолерантність та стійкість до стресових факторів. З групи каротиноїдів у спаржі виявлені ксантофіли (неоксантин, віолаксантин, лютеїн та зеаксантин), β -каротин. Серед хлорофілів виділено хлорофіли а і b, а також продукт їх метаболізму – феофітин [43].

Фактори, що впливають на біохімічний склад спаржі. На біохімічний склад аспарагусу в цілому та на показники якості зокрема суттєво впливає комплекс абіотичних і генетичних факторів, зокрема природно-кліматичні умови вирощування [44–47] та сортові особливості [37].

Вирізняють білі, зелені, рожево-зелені або фіолетові сорти спаржі [48], що виявляють високу мінливість за агрономічними та морфо-біохімічними ознаками [49]. З ботанічної точки зору біла і зелена спаржа - одна і та ж рослина. Пагони білі, поки вони ростуть під ґрунтом, однак під впливом сонячного проміння пагони зеленіють [50]. Сорти спаржі суттєво відрізняються вмістом сухих речовин та співвідношенням їх компонентного складу. Зелена спаржа містить менше цукрів [49], нижчу кількість білків, але вищу кількість мікроелементів, вдвічі більше вітамінів групи В, вітаміну С і практично в 200 разів більше вітаміну А [51].

Фенольні кислоти спаржі представлені гідроксикоричною (2,3–4,9 мг/г), галовою, р-гідроксибензойною, феруловою, синапіною та кумаровою [52]. Кількісний і якісний вміст фенольних кислот залежить від сорту спаржі. Найвищий вміст фенольних речовин спостерігається у зеленій та фіолетовій спаржі, білі ж сорти мають нижчий антиоксидантний потенціал [37]. Ванілінова кислота міститься виключно в зеленій спаржі, в той час як кофеїнова ідентифікована переважно в фіолетовій та зеленій. В білій спаржі домінує галова кислота. Найвищий вміст ферулової та синапінової кислот спостерігається у зеленій спаржі. Вміст сапонінів в білій спаржі вищий, ніж у зеленій. В зелених паростках, натомість, вищі рівні флавоноїдів та

гідроксицинатної кислоти [37].

Фіолетові сорти спаржі містять значно вищі, у порівнянні із зеленими сортами, кількості антоціанів, що прямо впливає на відтінок пагонів [36]. Вміст антоціанів суттєво зростає при зберіганні білих пагонів спаржі при освітленні. Фіолетова спаржа містить майже в 10 разів більше рутину (501 – 1973 мкг / 100 г), ніж біла (31 – 230 мкг / 100 г), що пов'язано з його фотопротекторною роллю [37]. При гідролізі флавоноїдів спаржі може звільнятися аглікон, який надає пагонам жовтого відтінку.

Рівень рутину в пагонах значно коливається залежно від інтенсивності сумарної сонячної радіації, поглинутої пагоном, його біосинтез можна стимулювати за рахунок додаткового освітлення [53]. Також встановлено тісний кореляційний зв'язок між сумарною сонячною радіацією та загальним вмістом у спаржі цукрів, аскорбінової кислоти, хлорофілів та антоціанів [54]. Максимальна кількість цукрів виявлена в пагонах спаржі, які формувались в прохолодних умовах за температури навколишнього середовища 5 – 11 °С. Період росту пагонів при цьому подовжується, що сприяє більшому накопиченню цукрів. Також низькі температури під час вегетації і росту пагонів призводять до абіотичного стресу, що включає утворення значної кількості вільних радикалів і перекисних сполук. Внутрішні механізми захисту від пошкоджуючої дії оксидативного стресу призводять до активізації антиоксидантної системи спаржі, зокрема, зростає біосинтез аскорбінової кислоти, яка здатна сповільнити реакції ліпопероксидації у клітинних структурах. В деяких сортах вміст цього вітаміну в пагонах може досягати 50 мг / 100 г [55].

Накопичені впродовж вегетаційного періоду сухі речовини є єдиним джерелом метаболітів для зрізаних пагонів спаржі на післязбиральному етапі. Під час зберігання комплекс сухих речовин зазнає змін, що впливає на швидкість метаболічних процесів [56].

Таким чином, при розробці технологій тривалого зберігання важливо враховувати сортоспецифічні та географічні закономірності у накопиченні

поживних та біологічно активних речовин – врахування цих факторів є ключовим у прогнозуванні якості та тривалості зберігання врожаю аспарагусу.

1.3. Зміни товарних та фізіолого-біохімічних показників під час зберігання спаржі

Втрати продукції під час зберігання та зниження показників якості обумовлені рядом чинників, зокрема природними (втрата маси, перезрівання, старіння тощо), фітопатологічними (ураження хворобами), технологічними (недотримання режимів зберігання), механічними (пошкодження продукції під час транспортування і первинної обробки).

Головною метою ефективного зберігання продукції є забезпечення умов для її життєдіяльності впродовж тривалого періоду, гальмування процесів перезрівання та старіння без зниження товарної якості зі збереженням достатньої стійкості до мікробіологічних і функціональних захворювань. Подовження періоду надходження свіжих овочів досягається переважно холодильним зберіганням, іноді в поєднанні з іншими методами, спрямованими на уповільнення метаболізму овочів [57].

Впродовж холодильного зберігання, тим не менш, в свіжій рослинній продукції відбуваються мікробіологічні, біохімічні та фізичні перетворення, які обумовлюють зміни її якісних і товарних властивостей [58]. Пагони спаржі характеризуються високою швидкістю метаболізму, що призводить до прискорених процесів перезрівання та старіння, і відповідно, обмежує тривалість зберігання. Зовнішні показники якості, такі як діаметр і забарвлення пагону, форма верхівки та особливість прилягання листкових лусок, вважаються основними для оцінки товарної якості за вимогами стандартів. Група органолептичних показників (консистенція м'якуша, смак, рівень гіркоти) є пріоритетною для споживачів. Впродовж зберігання відбувається знебарвлення пагонів в результаті розпаду хлорофілів, втрата БАР та органічних кислот, накопичення аспарагіну, зміни текстури [32]. Останнє обумовлене лігніфікацією та збільшенням вмісту клітковини (на 72 %

згідно [59]). Прилягання листкових лусок також суттєво змінюється при зберіганні деяких сортів (через нещільне прилягання до пагону розвивається так звана «перистість»).

Розуміння характеру змін, які відбуваються з пагонами спаржі після збирання врожаю та ініціюють процес старіння, дозволяє прогнозувати якість спаржі впродовж зберігання та керувати технологічними режимами задля покращення якісних показників.

Випаровування вологи є природним процесом, який обумовлений міграцією води з тканин пагонів. Через досить швидку втрату тургору пагони спаржі стають в'ялими, сприйнятливими до функціональних порушень і мікробіологічних хвороб. Інтенсивність втрати води залежить від гідрофільності клітинних колоїдів, структури і властивостей покривних тканин. Ділянки пагонів з більшою площею поверхні відносно маси мають вищий рівень втрати вологи, так само як і пагони меншої довжини [16, 60].

Під час холодильного зберігання спаржі паростки піддаються холодовому стресу [61]. Його ознаками є поява холодкових травм, потовщення та лігніфікація (здерев'яніння) оболонок клітин склеренхіми і провідних тканин. Зміна полісахаридного комплексу клітинних стінок призводять до синтезу нерозчинних елементів харчових волокон, що обумовлює погіршення товарної якості паростків [60].

На динаміку старіння пагонів впливає неоднорідність їхньої будови: верхівка містить паренхімні меристематичні клітини, активний поділ яких обумовлює ріст пагона [62]. Ці клітини дрібні, розташовані щільно, мають тонкі стінки з геміцелюлози та пектинових сполук і відрізняються високою швидкістю метаболізму, потребуючи постійного надходження води та поживних речовин. Нижня частина паростків, натомість, складається переважно зі зрілої тканини, де подовження клітин припинилося. Дихальна активність у верхівках є високою (близько 60 мг CO₂ / кг · год при 5 °C), вона перевищує інтенсивність дихання в нижній частині пагонів в середньому в 4 рази на початку зберігання, та вдвічі – через 3 тижні зберігання [63, 64].

Відразу після збирання дихальні процеси сповільнюються, а через 12-24 годин стабілізуються. Так, ознаки фізіологічних розладів з'являються у верхівках пагона швидше – впродовж двох діб після збирання пагонів білки розщеплюються до вільних амінокислот, зростає вміст аміаку, знижується вміст цукрів. З огляду на меншу частоту дихання, в базальній частині пагонів втрати розчинних вуглеводів нижчі, ніж в апікальній.

При зберіганні спаржі при температурах вище 20 °C або близько 0 °C загальний вміст цукрів у пагонах стабільно знижується впродовж всього періоду зберігання, оскільки цукроза витрачається на підтримку метаболічної активності апікальних ділянок [64]. За іншими даними [32], при зберіганні спаржі за температури + 1 °C рівень цукрів залишається відносно стабільним, за виключенням цукрози, що стрімко витрачається на кінцевих етапах зберігання. При підвищенні температури зберігання до + 7 °C в умовах освітлення, рівень глюкози швидко знижується, а цукрози, навпаки, збільшується, що свідчить про процеси конденсації, каталізовані цукрозофосфатсинтазою.

Вміст сухих речовин у пагонах спаржі стабільно знижується впродовж всього періоду зберігання [65], також спостерігається зменшення рівня загальної кислотності та збільшення вмісту сухих розчинних речовин. Використання сухих речовин як субстратів для дихання [66] призводить до втрати смакових якостей і харчової цінності для споживача [67]. Зміни вмісту сухих речовин в спаржі досить інтенсивні навіть при зберіганні при 0 °C і повністю корелюють з інтенсивністю дихання [64].

Пігменти є візуальним показником для оцінки якості пагонів. Вміст хлорофілів у зелених пагонах варіює залежно від ділянки і становить близько 10 мг / мл у верхній частині та 8 мг / мл у середній. Впродовж зберігання рівень хлорофілів постійно зменшується, що супроводжується жовтінням пагонів. При холодильному зберіганні з використанням поліпропіленової упаковки візуальне сприйняття зміни кольору пагонів починається з 22-ї доби [59]. Деякі фактори уповільнюють деградацію хлорофілів під час

зберігання: знижена температура, використання поліпропіленової упаковки, підвищений рівень CO₂, обробка розчином холестерину [65, 68]. Каталіз початкового етапу розпаду хлорофілів регулюється такими ферментами, як хлорофілаза, Mg-дехелатаза [63]. Їх активність є низькою в мембранозв'язаному стані і зростає при переході у вільну форму, вона гальмується при зберіганні в умовах підвищеного вмісту CO₂. Зміна забарвлення у білих та фіолетових сортах спаржі обумовлена здебільшого поступовим синтезом та акумуляцією флавонів (жовтіння) та антоціанінів (почервоніння). Опромінення спаржі світлом в ультрафіолетовому та видимому спектрі в післязбиральний період впливає на фоточутливі ферменти, сприяючи синтезу антоціанінів та інгібуванню їх деградації, що чинить негативний ефект на якісні показники [69, 70].

Аскорбінова кислота є одним з найбільш нестійких компонентів спаржі і після збирання пагонів піддається деградації [59, 71]. Втрати аскорбінової кислоти зростають при недотриманні умов зберігання: підвищеній температурі, низькій відносній вологості повітря, механічних ушкодженнях тощо. Аскорбатоксидаза є ключовим ферментом, який призводить до деградації цього вітаміну. За дії стресових чинників її активність суттєво зростає, а пригнічення цього ферменту завдяки різноманітним технологіям зберігання є ключовим для підтримання антиоксидантної цінності плоду.

1.4. Технології зберігання спаржі

Сучасні технології зберігання свіжих овочів ґрунтуються, переважно, на методиках холодильного зберігання, на додачу до якого можуть використовуватись зберігання в харчових плівках, модифікованому або регульованому газовому середовищі, попередня термообробка, обробка ультразвуком чи електростатично атомізованою водою, попередня обробка продукції різноманітними хімічними речовинами тощо [57, 72].

Рекомендовані умови для комерційного холодильного зберігання спаржі

– від 0 до + 2 °C з відотною вологістю від 95 до 99 %, що забезпечує термін зберігання від 14 до 21 днів [73]. Діючим стандартом України для пагонів спаржі, що реалізовується для переробки або споживання у свіжому вигляді є ДСТУ 293-91 [74], рекомендації FAO викладені в стандарті CODEX STAN 225-2001 [75].

1.4.1. Вплив фізичних методів обробки на зберігання спаржі

Холодильне зберігання є стандартом зберігання плодів та овочів. Воно дозволяє суттєво обмежити респіраторний метаболізм рослинної продукції. У випадку спаржі, холодильне зберігання стримує втрату якості зібраних пагонів впродовж двох-трьох тижнів зберігання [73]. Рекомендується швидке повітряне або гідроохолодження пагонів одразу після збору врожаю. Під час охолодження знижується активність таких ферментів, як пероксидаза, β -галактозидаза та фенілаланінамiакліаза, що дозволяє зберегти текстуру спаржі ніжною триваліший час. Подовжена післязбиральна обробка холодною водою (60 хв, 0 °C) може підвищувати ефективність зберігання спаржі в вакуумній упаковці [76].

Підтримання температурного режиму під час зберігання є вкрай важливим, адже спаржа чутлива до холодкових травм: пошкодження з'являються вже через 10 діб зберігання при 0 °C за умов звичайного газового середовища. Симптомами холодкового пошкодження паростків є втрата блиску, в'янення, поява темних плям або смуг. Нетривале охолодження до температури – 0,6 °C та нижче призводить до патологічних розладів, розвитку м'якої бактеріальної гнилі, індукованої збудником *Erwinia carotovora subsp.* За традиційної холодкової обробки у пагонах спаржі також досить швидко починаються процеси лігніфікації, для гальмування яких необхідно **комбiнувати** холодильне зберігання з додатковими методами попередньої хімічної або фізичної обробки.

Післязбиральна термообробка плодів перед зберіганням передбачає термічний вплив на плоди (занурення у гарячу воду, нагрівання насиченою

водяною парою або обробкою гарячим сухим повітрям) [77]. Така обробка знезаражує плоди та може сформувати холодову толерантність і сприяти подальшому захисту від стресу при охолодженні [78], сприяє збереженню кольору спаржі. Згідно з результатами дослідження тайваньських вчених [79], попередня теплова гідрообробка спаржі (занурення в гарячу воду при температурі 48 °C на 4 хв) підвищує ефективність зберігання продукції як сама по собі, так і в комбінації з наступним холодильним зберіганням та плівковим пакуванням. На сьогодні використання теплової обробки плодів після збирання застосовується переважно для зберігання органічної продукції. Заморожування пагонів перед закладкою на зберігання, навпаки, уникають через ризик незворотного пошкодження тканин кристалами льоду. Тим не менш, у праці You et al. [80] до пагонів спаржі було успішно застосовано технологію суперохолодження, що дозволяє уникнути формування кристалів льоду, і показано її ефективність для зниження втрат маси та підтримання якісних показників.

Для деконтамінації та подовження тривалості зберігання харчової продукції також можуть бути використані елементи **радіаційної технології**. Безпечна доза опромінення продуктів становить 10 кГр. Свіжу плодоовочеву продукцію доцільно піддавати опроміненню в дозі до 1 кГр, при цьому не з'являються побічні ефекти зниження якості [81]. Зазначеної дози, як правило, достатньо для пригнічення патогенних бактерій, але для пригнічення віріонів та грибних організмів потрібно до 3 кГр, що для багатьох плодів виявляється неприйнятним через значний вплив на біохімічний склад та відповідне зниження біологічної цінності продукту [82].

З метою інгібування мікрофлори тестується і використання **ультразвуку** на зберігання плодоовочевої продукції. У випадку спаржі, самостійний вплив ультразвукових хвиль поки не є достатньо дослідженим для широкого використання. Втім, у деяких попередніх дослідженнях показано позитивний ефект на товарну якість пагонів комбінації сонікування та промивання пагонів слабкими розчинами цитрату, нізину і коричневої олії [83] або 6-

бензиламінопурину [84] з метою збереження аскорбінової кислоти, пігментів та сповільнення лігніфікації. Ефективну антимікробну та пом'якшувальну дію виявляє також комбінація ультразвуку та обробки оцтовою і гіберріліновою кислотами [85].

Для тривалого зберігання спаржі також запропоновано технологію **EAWP** [86], яка полягає в електростатичній обробці диспергованими частинками води перед закладкою на зберігання. Автори відмічають позитивний ефект попередньої обробки на збереження хлорофілів, поліфенолів, сповільнення дихання та лігніфікації впродовж 24-х днів зберігання, однак технологія наразі не є перевіреною незалежними дослідженнями.

Для гальмування процесів дозрівання овочів активно використовують технологію зберігання при зниженому атмосферному тиску – **гіпобаричне зберігання** [87]. За літературними даними [88], гіпобаричне зберігання спаржі суттєво пригнічує дихальну активність пагонів, сприяє збереженню хлорофілів, антиоксидантів, сухих розчинних речовин, а також зменшує рівень накопичення малонового діальдегіду. В результаті затримуються процеси їх перезрівання, що дозволяє подовжити тривалість зберігання до 50 діб. Такий вид зберігання, однак, вимагає дороговартісного обладнання.

Для подовження термінів зберігання спаржі холодильне зберігання часто доповнюють використанням різноманітних **плівок, вакуумної упаковки та модифікованої атмосфери** [24, 89, 90].

Зберігання плодів у **регульованому газовому середовищі (РГС)** дозволяє суттєво продовжити терміни зберігання за рахунок впливу на метаболічну активність плодів. Зазвичай використовуються підвищені концентрації CO_2 та знижені концентрації O_2 , що має на меті знизити інтенсивність дихання та сприяти інгібуванню метаболічних ферментів. Показано, що РГС ($2.5\% \text{ O}_2$ і $3\% \text{ CO}_2$; $2.5\% \text{ O}_2$ і $6\% \text{ CO}_2$; та $2.5\% \text{ O}_2$ і $10\% \text{ CO}_2$) при 1°C дозволяє продовжити термін зберігання спаржі на два тижні, при збереженні показників якості на сталому рівні [91]. Ефективність РГС, однак,

значно залежить від температури зберігання [91, 92]. Окрім того, використання камер для підтримання РГС, так само як і використання гіпобаричних камер, вимагає значних капіталовкладень і є більш вигідним для продукції, призначеної для тривалого зберігання.

В основі технології **модифікованого газового середовища (МГС)** лежить принцип заміни стандартного атмосферного повітря в упаковці газовою сумішшю. Показано, що використання МГС в комбінації з упаковкою з мікроперфорованого поліпропілену пригнічує активність ферментів, знижує втрати сухих розчинних речовин, фенольних сполук, підтримує вміст аскорбінової кислоти [59]. Ефективність технології МГС залежить від типу упаковки, її проникності та температури зберігання.

Порівняно із вакуумним пакуванням, за температури 4 °С та відносної вологості 80 %, впровадження МГС дозволяє сповільнити знебарвлення та лігніфікацію пагонів на 3 дні [89]. Підвищений до 5 – 10 % вміст CO₂ в упаковці ефективно запобігає гниттю та зменшує швидкість затвердіння паростків [73, 90, 93, 94]. Нетривалий вплив вищих концентрацій CO₂ (12-20 %) є безпечним та ефективним за умови зберігання при температурі 0...1 °С. Показано, що попередня обробка високими концентраціями CO₂ (60 % [95], 20 % впродовж трьох діб [96]) також значно продовжує ефективність зберігання спаржі – до 30 діб, може мати позитивний вплив на захист паростків від таких шкідників, як трипси [63]. Короткочасна обробка стримує пожовтіння, природну втрату маси та лігніфікацію паростків, яка є закономірною при зберіганні за підвищених концентрацій CO₂; спостерігається також підвищення антиоксидантної активності та уповільнення розвитку мікроорганізмів.

Таким чином, ефективність використання синтетичних полімерних матеріалів для забезпечення умов МГС під час зберігання продукції є достатньо високою. Недоліком зберігання продукції в МГС є накопичення надлишкового конденсату на внутрішній поверхні упаковки, що активізує розвиток мікрофлори та призводить до передчасного псування продукції.

Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є додавання до упаковки водопоглинаючого матеріалу або обгортання продукції в абсорбуючу тканину, папір [97]. Також для зберігання пагонів спаржі запропоновано використовувати поліетиленову плівку, вистелену всередині целюлозним флісом [98]. Тим не менш, великі обсяги відходів після використання полімерних упаковок погіршують екологічну ситуацію в світі, що стимулює пошук більш екологічних альтернатив.

1.4.2. Зберігання спаржі після попередньої обробки хімічними речовинами

Хімічна обробка вже кілька десятиліть активно використовується для збереження якості свіжої плодоовочевої продукції з метою інгібування розвитку мікроорганізмів та метаболічної активності плодів. Найбільш поширеними для обробки плодоовочевої продукції є розчини на основі хлору, пероксиоцтової кислоти, перекису водню та інших речовин з потужною бактерицидною і фунгіцидною дією. Ефективність цих препаратів залежить від концентрації, позаяк високі рівні можуть спричинити розвиток функціональних порушень в оброблених плодах. Окрім того, незважаючи на ефективність, деякі синтетичні препарати поступово вносять до переліку заборонених з огляду на негативний вплив на організм людини. Таким чином, сучасні тенденції у розробці композицій для хімічної обробки змінюються у напрямку використання максимально нешкідливих для організму людини та оточуючого середовища речовин.

Незважаючи на високу ефективність холодильного зберігання спаржі у МГС, втрати продукції лишаються значними через високу відносну вологість середовища, що сприяє розвитку мікроорганізмів. Через них продукція не тільки втрачає харчову цінність, але й накопичує шкідливі токсичні речовини [99]. Для попередження розвитку хвороб рослинну продукцію можуть піддавати вищезазначеним стресовим обробкам, таким як опромінення чи нагрівання, або обробляти препаратами антимікробної дії. Деякі комерційні практики передбачають знезараження спаржі розчином

гіпохлориту натрію. Останнім часом також набуває популярності використання розчинів органічних кислот та різноманітних ефірних олій [100]. На додачу до антибактеріальних та фунгіцидних, ефірні олії часто мають також антиоксидантні властивості що сприяють підтриманню харчової цінності продукту під час зберігання.

Проантоціанідини – антиоксиданти рослинного походження – були нещодавно показані як перспективні речовини для обробки пагонів спаржі перед зберіганням [101]. Всі варіанти обробки (розчини проантоціанідинів у концентраціях 0.05 %, 0.1 %, 0.2 %, 0.4 %, та 0.6 % (мас. / об.), загальмували старіння пагонів спаржі. Автори вказують, що така обробка дозволила знизити втрату маси, сповільнила деградацію хлорофілів та втрату міцності пагонів. Проантоціанідини також стимулювали активність ендогенних ферментів, що утилізують активні форми кисню (супероксиддисмутази, каталази, пероксидази та поліфенолоксидази), стимулювали накопичення поживних та біологічно активних речовин. З-поміж тестованих варіантів обробки варіант з концентрацією проантоціанідинів 0.1 % показав найбільш ефективний результат за інтегральною оцінкою всіх показників.

Показано, що короткочасне (30 с) промивання пагонів спаржі 50 %-м розчином етанолу також є ефективним способом їх знезараження, який на додачу сприяє уповільненню процесів перезрівання пагонів [102]. Промивання етанолом пригнічує синтез полісахаридів клітинних стінок та зменшує ступінь затвердіння паростків впродовж 4 діб зберігання при 20 °С.

Для гальмування небажаних процесів лігніфікації спаржі під час зберігання рядом досліджень також пропонується проводити післязбиральну обробку розчином сульфату амонію (2 ммоль / л) [103], холестеролу (0,52 ммоль / л) або L-аргініну (0,05 ммоль / л) [68, 104], які пригнічують активність фенілаланінаміакліази, яка впливає на накопичення лігніну, та спричиняють інші протекторні ефекти на клітини спаржі. Обробка пагонів мелатоніном (100 мкмоль / л) [105] дозволяє не лише сповільнити лігніфікацію, а і пригнітити деградацію хлорофілів завдяки антиоксидантним

властивостям мелатоніна. Обробка пагонів 3 % розчином цукрози дозволяє підтримати їх пружність завдяки модуляції компонентів клітинної стінки – у необроблених зразках під час зберігання підвищується вміст водорозчинного пектину [56].

Для збереження післязбиральної якості спаржі широко застосовується обробка пагонів 1-метилциклопропеном (1-МЦП), який є інгібітором етилену і здатний затримувати процеси дозрівання та старіння [106]. Обробка 4 мл / л розчином 1-МЦП ефективно затримує процес лігніфікації при зберіганні спаржі при 4 °C та відносній вологості повітря 80 %, дозволяючи продовжити терміни зберігання до 37 діб [107]. Зниження концентрації етилену в оброблених 1–МЦП зразках також підтверджено у [108], хоча це дослідження не виявило суттєвого впливу 1-МЦП на якість та збереженість пагонів спаржі в умовах МГС та в перфорованій плівці.

1.4.3. Перспективи використання харчових покриттів для зберігання спаржі

З огляду на зростання запиту на використання для післязбиральної обробки екологічних та безпечних для здоров'я людини речовин, все більш актуальними стають дослідження в галузі розробки харчових покриттів для плодів [109]. Показано, що такі покриття продовжують терміни зберігання та підтримують якість різних свіжих овочів, таких як морква, картопля, баклажани, помідори, болгарський перець [110–114].

Харчові покриття представляють собою тонкий зовнішній шар, який наносять на поверхню свіжих плодів для покращення зовнішнього вигляду, зміцнення воскової кутикули, мінімізації втрат вологи під час зберігання, захисту від механічних ушкоджень, а також створення індивідуальної модифікованої атмосфери [115, 116]. Методи нанесення харчових покриттів включають, зокрема, розпилення, занурення, та щіткове нанесення [117]. Харчові покриття мають ряд переваг, таких як простота експлуатації, енергоефективність та масштабованість виготовлення, доведена безпечність (GRAS за класифікацією FDA) через своє походження з харчових

матеріалів [117, 118].

Харчові покриття виконують роль бар'єрів для газів та вологи, таким чином не лише обмежуючи дихальний метаболізм, але і підвищуючи антиоксидантні властивості плодів за рахунок обмеження доступу кисню [119]. Крім того, вони служать носіями функціональних або біологічно активних сполук, які додають до складу для збереження або покращення якості плодів. Основою для їстівних плівок виступають гідрофобні елементи (ліпіди, воски, воскоподібні речовини), гідроколоїди (білки, полісахариди), пластифікатори або поліфункціональні, комбіновані комплекси з різних груп речовин (на базі комплексів полісахарид-ліпід, полісахарид-білок тощо) [117, 120, 121].

Такі полісахариди як хітозан, альгінат натрію, карбоксиметилцелюлоза, пектини мають хороші плівкоутворюючі властивості, таким чином демонструючи потенціал для використання в якості харчових покриттів [122–124]. Формуючи щільний каркас, плівки повністю вкривають плоди та ефективно затримують втрату маси, зниження вмісту антоціанів, вторинних метаболітів [125, 126].

Альгінати – це гідрофільні колоїдні вуглеводи, екстраговані з різних видів бурих морських водоростей, які належать до класу *Phaeophyceae* [127, 128]. З хімічної точки зору, ці полісахариди складаються з залишків D-мануранової та L-гулуранової кислот, пропорційні співвідношення яких залежать від виду водоростей [127]. Плівки, утворені альгінатом натрію, є рівномірними, прозорими, виступають хорошими кисневими бар'єрами, але через свою гідрофільну природу не є водонепроникними [129]. Плівки на основі альгінату натрію здатні сприяти підтриманню якісних показників плодів під час зберігання [130, 131], особливо в комбінації з антиоксидантами [132–135].

Хітозан є амінополісахаридом, що складається переважно із глюкозаміна та 2-аміно-дезоксид-D-глюкозних ланцюгів об'єднаних β (1-4) глікозидними зв'язками. Хітозан виготовляють шляхом деацетилювання

хітину, джерелом якого є панцирі ракоподібних [136]. Цей біополімер може утворювати на поверхні плодоовочевої продукції однорідні, гнучкі плівки з вибірковою газопроникністю, що легко змиваються водою. Хітозан класифікований як безпечний для харчового вживання та навіть застосовується як харчова біодобавка та складова косметичних препаратів [137–141].

При застосуванні холодильного зберігання плівки на основі хітозану дозволяють продовжити термін зберігання плодоовочевої продукції. Широко відомими є також антимікробні властивості хітозану [142–146]. Однак, хітозанові покриття мають такий недолік, як нестійкість (через їх водорозчинність) та незадовільні механічні властивості [147, 148]. Для покращення функціональних властивостей хітозанових покриттів можуть бути використані інші біополімери – крохмалі, ліпіди і білки [149, 150]. Покриття на основі казеїну відчутно впливають на волого- і газообмін, сповільнюючи метаболізм, але не володіють бактерицидними властивостями. Такі покриття вимагають введення антиоксидантів і антимікробних речовин [151].

У якості антиоксидантів часто використовують ефірні олії та фенольні сполуки [152]. Включення ефірних олій в полісахаридні матриці підвищує не лише їх антимікробну активність, але й, подекуди, фунгіцидні та антиоксидантні властивості [153–155]. Встановлено, що полісахаридна матриця адаптує вивільнення ефірних олій і таким чином впливає на подовження терміну придатності харчових продуктів [156]. Проте, ці речовини іноді дифундують у харчові продукти, надаючи небажаний смак та аромат через присутність у них суміші летких та нелетких компонентів, що обмежує їх застосування [125].

Іншим підходом до обробки плодоовочевої продукції з метою скорочення втрати маси та подовження терміну зберігання є застосування біонанокompatитних плівок [157]. Автори звертають увагу, що нанокompatиції мають антиоксидантні та антибактеріальні властивості.

Ефективність зберігання плодів сильно варіює залежно від концентрації речовин для обробки, умов зберігання та від типу фруктів та їх особливостей [158]. Перевищення концентрацій екзогенних речовин може стати токсичним для плодових клітин у зв'язку з їх прооксидантними ефектами або здатністю утилізувати активні форми кисню, які необхідні для функціонування клітини [159]. Попри доведену ефективність використання різноманітних обробок для скорочення втрат плодоовочевої продукції, механізм впливу таких покриттів на ендогенні процеси, що лежать в основі збереження плодів, досі залишається маловивченим.

Для подовження термінів зберігання спаржі також було запропоновано кілька харчових покриттів, проте, з огляду на малу кількість досліджень, питання оптимальної композиції та методики обробки, можливих сортоспецифічних особливостей, впливу покриттів на збереження харчової цінності спаржі залишаються відкритими.

Вплив на термін зберігання спаржі покриттів на основі геміцелюлози досліджували у праці Tian et. al. [118], використовуючи композитне покриття, що включало геміцелюлозу, целюлозні нановолокна і монтморилоніт (2, 0,12 і 0,2 % мас. / об. відповідно), а також модифіковане покриття на зазначеній основі з введенням алкіл кетенового димеру (0,36 % мас. / об). Покриття наносили шляхом занурення свіжої зеленої спаржі у розчини протягом 15 с, а потім давали пагонам висохнути на повітрі протягом 15 хв за кімнатної температури. Обидва покриття дозволили продовжити термін зберігання спаржі з 5 до 7 діб за кімнатної температури, уповільнивши також процеси лігніфікації та зміни забарвлення. Автори зазначають, що більш ефективним для затримки старіння спаржі та підтримки таких харчових показників, як вміст вітаміну С і білків, було запропоноване ними модифіковане покриття з зшивками, індукованими присутністю алкіл кетенового димеру [118, 160].

Як свідчать дані недавнього дослідження, сповільнена, порівняно з контрольними зразками, втрата вологи і, відповідно, пружності пагонів під час зберігання підтверджується у зразків, оброблених сумішшю крохмалю,

сорбітолу, гліцеролу та желатину, причому ефективність збереження пружності прямо пропорційна кількості крохмалю у тестованих сумішах [161]. У іншому дослідженні виявлено, що покриття на основі холестерину ефективно затримують зміну кольору, пов'язану з деградацією хлорофілу в зеленій спаржі, протягом 30 діб зберігання при 4 °C [104]. Вони підтримують стабільність хлорофіл-білкових комплексів, а також текучість і стабільність тилакоїдної мембрани шляхом інгібування відновлення ненасичених жирних кислот.

Також досліджується вплив різних видів покриттів на основі хітозану на ефективність холодильного зберігання спаржі (за 2–4 °C) [162–164]. Пагони, оброблені 0,25 % розчином карбоксиметил хітозану, 0,50 % та 0,25 % розчинами високомолекулярного хітозану (Н-хітозану), 0,50 %, 0,25 % розчинами низькомолекулярного хітозану (L-хітозану) зберігали свої якісні характеристики не менш ніж 14 днів за температури 2 °C та відносній вологості 95 %. Найкращу ефективність в контексті збереження пігментів, сповільнення процесів лігніфікації, зниження рівня природної втрати маси та подовження тривалості зберігання показала обробка 0,25 % Н-хітозаном та 0,50 % L-хітозаном [162, 163].

З метою підвищення механічної міцності було випробувано комбіновані покриття з суміші полімерів, що можуть взаємодіяти між собою за рахунок протилежних зарядів. Так, хітозан, що має протилежні електростатичні властивості з альгінатом і карагенаном був скомбінований з кожним із них у співвідношенні 1:1 та 2:1 відповідно для утворення гелевих розчинів «хітозан-альгінат» та «хітозан-карагенан». Зразки спаржі були витримані у таких розчинах перед холодильним зберіганням, що дозволило продовжити його тривалість на 3 доби (кращі показники було продемонстровано для суміші «хітозан-альгінат») [165].

Покращені бар'єрні (швидкість пропускання водяної пар) та механічні властивості (міцність на розрив) були показані у нещодавньому дослідженні властивостей біополімерної плівки на основі крохмалю (з касави) та

хітозану [166]. Покриття на основі суміші «крохмаль-хітозан» (2,5 + 0,5 %) використовували для обробки зеленої спаржі, що попередньо зберігалася (1 °C і 90 % вологості) протягом 7 днів для оцінки можливості продовжити її термін зберігання. Автори відмічають зниження втрати маси та сповільнення зміни забарвлення дослідних зразків, підвищення рівню збереженості вуглеводів, однак, незважаючи на обробку, впродовж зберігання у пагонів спаржі розвинулися фізіологічні пошкодження верхівки.

Ефективність покриття на основі хітозану посилюється при поєднанні з вторинними метаболітами рослинного походження. Зокрема, покриття на основі карбоксиметил хітозану (1 % мас./об.) з додаванням 10 мкмоль / л брасинопіди підтримувала якість спаржі протягом 24 днів холодильного зберігання [164]. Така обробка пригнічувала дихальну активність та природну втрату маси пагонів спаржі, сприяла кращому збереженню аскорбінової кислоти та фенольних сполук, гальмувала накопичення малонового діальдегіду та лігніну під час зберігання. Знижена лігніфікація оброблених зразків пояснюється пригніченням ферментів, які беруть участь у біосинтезі лігніну [83, 86]. Включення брасинопіди в харчове покриття також може посилювати антиоксидантні захисні механізми спаржі з огляду на відому роль брасинопіди в регуляції реакції рослин до біотичного та абіотичного стресу [167, 168].

Підсумовуючи, їстівні покриття можуть бути недорогим, екологічним та безпечним методом післязбиральної обробки спаржі, що дозволяє знизити холодові пошкодження та продовжити терміни зберігання продукції. Ефективність існуючих методик, втім, наразі недостатня для забезпечення співставних якісних характеристик у порівнянні з використанням модифікованого газового середовища у полімерних плівках, і харчові покриття потребують подальших оптимізацій. Можна припустити, що введення до складу плівок ефективних антиоксидантів виявиться здатним значно продовжити терміни зберігання обробленої таким чином спаржі. Особливо цікавими в такому контексті використання є фенольні сполуки, що

відомі не лише своїми антиоксидантними, а й фунгіцидними та антибактеріальними властивостями [169].

Висновки до розділу 1

1. Спаржа є цінним джерелом біоактивних речовин, сполук з функціональними властивостями. Пагони спаржі характеризуються високою швидкістю метаболізму, що призводить до прискорених процесів перезрівання та старіння, а також обмежує тривалість зберігання.

2. На хімічний склад та показники якості спаржі впливає комплекс абіотичних і генетичних факторів. Закономірності накопичення поживних та біологічно активних речовин в спаржі слід враховувати при розробці технології тривалого зберігання.

3. Розуміння характеру змін, що відбуваються з пагонами спаржі після збирання врожаю та ініціюють процес старіння, дозволить прогнозувати її якість впродовж зберігання та керувати технологічними режимами задля покращення якісних показників.

4. Для стабільної пропозиції спаржі в період міжсезоння необхідно розробити екологічно чисту, безпечну та економічно доцільну технологію її первинної обробки та зберігання, а також функціонально-технологічну схему. Для цього слід обґрунтувати технологічні прийоми та параметри зберігання, принципи вибору комплексних препаратів та концентрації окремих компонентів, використання яких забезпечить максимальну збереженість товарної якості, харчової та біологічної цінності пагонів спаржі.

5. З огляду на високу екологічність, біосумісність та безпечність, що пропонують технологічні схеми з використанням харчових покриттів, обробка спаржі їстівними біополімерними препаратами є перспективним напрямком досліджень. Розробка комбінованих покриттів, що матимуть не лише бар'єрні, а й антимікробні та антиоксидантні властивості, дозволить суттєво сповільнити розвиток уражень спаржі під час зберігання без застосування додаткових режимів контролюваного середовища, і, як наслідок, знизить втрати продукції

та імовірно здешевить процес забезпечення умов її зберігання. Механізми впливу гідрогелів та екзогенних антиоксидантів на інтенсивність фізіологічних та біохімічних процесів впродовж холодильного зберігання пагонів спаржі, однак, на сьогодні є недостатньо вивченими. Таким чином питання підбору оптимальних покриттів залишається відкритим.

Список літератури до розділу 1

1. Guyomard, H., Soler, L. G., Détang-Dessendre, C., & Réquillart, V. (2023). The European Green Deal improves the sustainability of food systems but has uneven economic impacts on consumers and farmers. *Communications Earth and Environment*, 4(1), 358. <https://doi.org/10.1038/s43247-023-01019-6>
2. Рожко, Н. Я., Шинкаренко, Н. В., & Таранський, І. П. (2019). Останні тренди ринку овочів та фруктів. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Економіка і управління*, 30(69) (6 (1)), 30–34.
3. Mason-D'Croz, D., Bogard, J. R., Sulser, T. B., Cenacchi, N., Dunston, S., Herrero, M., & Wiebe, K. (2019). Gaps between fruit and vegetable production, demand, and recommended consumption at global and national levels: an integrated modelling study. *The Lancet Planetary Health*, 3(7), e318–e329. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(19\)30095-6](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(19)30095-6)
4. Harris, J., de Steenhuijsen Piters, B., McMullin, S., Bajwa, B., de Jager, I., & Brouwer, I. D. (2023). Fruits and Vegetables for Healthy Diets: Priorities for Food System Research and Action. In *Science and Innovations for Food Systems Transformation* (pp. 87–104). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-15703-5_6
5. Gödecke, T., Stein, A. J., & Qaim, M. (2018). The global burden of chronic and hidden hunger: Trends and determinants. *Global Food Security*, 17, 21–29. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.03.004>
6. Шмаглій, О. Б. (2015). Плодоовочевий сектор України: чинники розвитку

- та пріоритети. *Економіка України*, 642(5), 52–68.
7. Ishangulyyev, R., Kim, S., & Lee, S. (2019). Understanding Food Loss and Waste — Why Are We Losing and Wasting Food? *Foods*, 8(8), 297. <https://doi.org/10.3390/foods8080297>
 8. Papoutsis, K. (2023). Sustainable Postharvest Treatments for Prolonging Asparagus (*Asparagus officinalis* L.) Shelf Life by Minimizing the Development of Physiological Disorders. *ACS Food Science & Technology*, 3(10), 1617–1631. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.3c00319>
 9. Mastropasqua, L., Tanzarella, P., & Paciolla, C. (2016). Effects of postharvest light spectra on quality and health-related parameters in green *Asparagus officinalis* L. *Postharvest Biology and Technology*, 112, 143–151. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.10.010>
 10. Xue, J., Zhang, X., Cheng, C., Sun, C., & Yang, S. (2022). The aroma analysis of asparagus tea processed from different parts of green asparagus (*Asparagus officinalis* L.). *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(1), 1–13. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16175>
 11. Nguyen, G. T. N., Tran, K. V., Vo, T. T. X., & Nguyen, T. D. (2024). The nutrient, color and antioxidant capacity of asparagus (*Asparagus officinalis* L.) root tea after blanching. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 23(2), 213–223. <https://doi.org/10.17306/j.afs.001176>
 12. Truong, T. Q., Nguyen, T. T., Cho, J. Y., Park, Y. J., Choi, J.-H., Koo, S. Y., Kim, H.-Y., Byun, H. G., & Kim, S. M. (2022). Effect of processing treatments on the phytochemical composition of asparagus (*Asparagus officinalis* L.) juice. *LWT*, 169(June), 113948. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113948>
 13. Tabaszewska, M., Gabor, A., Jaworska, G., & Drożdż, I. (2018). Effect of fermentation and storage on the nutritional value and contents of biologically-active compounds in lacto-fermented white asparagus (*Asparagus officinalis* L.). *LWT*, 92 (September 2017), 67–72. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.003>
 14. Sergio, L., Cantore, V., Spemulli, L., Pinto, L., Baruzzi, F., Di Venere, D., &

- Boari, F. (2018). Effect of cooking and packaging conditions on quality of semi-dried green asparagus during cold storage. *LWT*, 89(October 2017), 712–718. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.037>
15. Chen, G.-L., Lin, B., Zheng, F.-J., Yu, W.-H., Fang, X.-C., Shi, Q., Hu, Y.-F., & Verma, K. K. (2022). Comparison of Different Drying Methods for Asparagus [*Asparagus cochinchinensis* (Lour.) Merr.] Root Volatile Compounds as Revealed Using Gas Chromatography Ion Mobility Spectrometry. *Frontiers in Nutrition*, 9(May), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.868209>
 16. Guo, Q., Wang, N., Liu, H., Li, Z., Lu, L., & Wang, C. (2020). The bioactive compounds and biological functions of *Asparagus officinalis* L. – A review. *Journal of Functional Foods*, 65, 103727. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103727>
 17. Fuentes-Alventosa, J. M., Jaramillo-Carmona, S., Rodríguez-Gutiérrez, G., Guillén-Bejarano, R., Jiménez-Araujo, A., Fernández-Bolaños, J., & Rodríguez-Arcos, R. (2013). Preparation of bioactive extracts from asparagus by-product. *Food and Bioproducts Processing*, 91(2), 74–82. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.12.004>
 18. Kohli, D., Champawat, P. S., & Mudgal, V. D. (2023). Asparagus (*Asparagus racemosus* L.) roots: nutritional profile, medicinal profile, preservation, and value addition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(5), 2239–2250. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12358>
 19. Yu, Q., & Fan, L. (2021). Improving the bioactive ingredients and functions of asparagus from efficient to emerging processing technologies: A review. *Food Chemistry*, 358(March), 129903. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129903>
 20. Kutovenko, V. B., Kostenko, N. P., Yermilov, A. S., & Kutovenko, V. O. (2020). Morphological-biometric assessment of asparagus hybrids (*Asparagus Officinalis* L.) in the Steppe of Ukraine. *Plant and Soil Science*, 11(2), 67–73. <https://doi.org/10.31548/agr2020.02.067>

21. Shevchenko, Y. P., Ushakova, I. T., Kurbakov, E. L., Bepalko, L. V., & Kharchenko, V. A. (2018). Asparagus (*Asparagus Officinalis* L.) – Vegetable Culture of the Future. *Vegetable crops of Russia*, (5), 47–50. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-5-47-50>
22. Papadopoulou, P. P., Siomos, A. S., & Dogras, C. C. (2001). Metabolism of etiolated and green asparagus before and after harvest. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 76(4), 497–500. <https://doi.org/10.1080/14620316.2001.11511399>
23. Irving, D. E., & Hurst, P. L. (1993). Respiration, soluble carbohydrates and enzymes of carbohydrate metabolism in tips of harvested asparagus spears. *Plant Science*, 94(1–2), 89–97. [https://doi.org/10.1016/0168-9452\(93\)90010-W](https://doi.org/10.1016/0168-9452(93)90010-W)
24. Simón, A., & Gonzalez-Fandos, E. (2011). Influence of modified atmosphere packaging and storage temperature on the sensory and microbiological quality of fresh peeled white asparagus. *Food Control*, 22(3–4), 369–374. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.09.002>
25. Kapoor, M., Mawal, P., & Chand Gupta, R. (2019). Antioxidant Potential, Total Phenolic and Flavonoid Content of Roots of Seven Asparagus Species From North-West India. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 10(8), 3837. [https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.10\(8\).1000](https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.10(8).1000)
26. Zhao, Q., Xie, B., Yan, J., Zhao, F., Xiao, J., Yao, L., Zhao, B., & Huang, Y. (2012). In vitro antioxidant and antitumor activities of polysaccharides extracted from *Asparagus officinalis*. *Carbohydrate Polymers*, 87(1), 392–396. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.07.068>
27. Cheng, W., Cheng, Z., Xing, D., & Zhang, M. (2019). Asparagus polysaccharide suppresses the migration, invasion, and angiogenesis of hepatocellular carcinoma cells partly by targeting the HIF-1 α /VEGF signalling pathway in vitro. *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine*, 2019, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2019/3769879>

28. Wang, S., & Zhu, F. (2016). Antidiabetic dietary materials and animal models. *Food Research International*, 85, 315–331. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.04.028>
29. Słupski, J., Korus, A., Lisiewska, Z., & Kmiecik, W. (2010). Content of amino acids and the quality of protein in as-eaten green asparagus (*Asparagus officinalis* L.) products. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(4), 733–739. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02193.x>
30. Pegiou, E., Mumm, R., Acharya, P., de Vos, R. C. H., & Hall, R. D. (2019). Green and White Asparagus (*Asparagus officinalis*): A Source of Developmental, Chemical and Urinary Intrigue. *Metabolites*, 10(1), 17. <https://doi.org/10.3390/metabo10010017>
31. Hamdi, A., Jaramillo-Carmona, S., Rodríguez-Arcos, R., Jiménez-Araujo, A., & Guillén-Bejarano, R. (2020). Asparagus. *Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables*, (1998), 121–140. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812780-3.00008-8>
32. Anastasiadi, M., Collings, E. R., Shivembe, A., Qian, B., & Terry, L. A. (2020). Seasonal and temporal changes during storage affect quality attributes of green asparagus. *Postharvest Biology and Technology*, 159, 111017. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111017>
33. Войцехівська, О. В., Ситар, О. В., & Таран, Н. Ю. (2015). Фенольні сполуки: різноманіття, біологічна активність, перспективи застосування. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія: Біологія*, (1), 104–119.
34. Sabh, A. Z., Taha, Z., Desoukey, S. F., El-Nahas, S. E. M., Sabh, A. Z., Taha, Z. K., & El-Shabrawi, H. M. (2020). Antimicrobial Effect of Asparagus Officinalis L. Extracts. *Plant Archives*, 20(2), 9253–9264.
35. Rosado-Álvarez, C., Molinero-Ruiz, L., Rodríguez-Arcos, R., & Basallote-Ureba, M. J. (2014). Antifungal activity of asparagus extracts against phytopathogenic *Fusarium oxysporum*. *Scientia Horticulturae*, 171, 51–57.

<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.03.037>

36. Slatnar, A., Mikulic-Petkovsek, M., Stampar, F., Veberic, R., Horvat, J., Jakse, M., & Sircelj, H. (2018). Game of tones: Sugars, organic acids, and phenolics in green and purple asparagus (*Asparagus officinalis* L.) cultivars. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 42(1), 55–66. <https://doi.org/10.3906/tar-1707-44>
37. Kobus-Cisowska, J., Szymanowska, D., Szczepaniak, O. M., Gramza-Michałowska, A., Kmiecik, D., Kulczyński, B., Szulc, P., & Górnaś, P. (2019). Composition of polyphenols of asparagus spears (*Asparagus officinalis*) and their antioxidant potential. *Ciência Rural*, 49(4). <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180863>
38. Negi, J., Singh, P., Joshi, G., Rawat, M., & Bisht, V. (2010). Chemical constituents of *Asparagus*. *Pharmacognosy Reviews*, 4(8), 215–220. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.70921>
39. Wang, J., Liu, Y., Zhao, J., Zhang, W., & Pang, X. (2013). Saponins extracted from by-product of *Asparagus officinalis* L. suppress tumour cell migration and invasion through targeting Rho GTPase signalling pathway. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(6), 1492–1498. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5922>
40. Hamdi, A., Jiménez-Araujo, A., Rodríguez-Arcos, R., Jaramillo-Carmona, S., Lachaal, M., Bouraoui, N. K., & Guillén-Bejarano, R. (2018). Asparagus Saponins: Chemical Characterization, Bioavailability and Intervention in Human Health. *Nutri Food Sci Int J*, 7(1). <https://doi.org/10.19080/NFSIJ.2018.07.555704>
41. Wu, X., Beecher, G. R., Holden, J. M., Haytowitz, D. B., Gebhardt, S. E., & Prior, R. L. (2006). Concentrations of anthocyanins in common foods in the United States and estimation of normal consumption. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(11), 4069–4075. <https://doi.org/10.1021/jf060300l>
42. Tenorio, M. D., Villanueva, M. J., & Sagardoy, M. (2004). Changes in carotenoids and chlorophylls in fresh green asparagus (*Asparagus officinalis*

- L) stored under modified atmosphere packaging. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(4), 357–365. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1631>
43. Chitrakar, B., Zhang, M., & Adhikari, B. (2019). Asparagus (*Asparagus officinalis*): Processing effect on nutritional and phytochemical composition of spear and hard-stem byproducts. *Trends in Food Science & Technology*, 93, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.08.020>
 44. Jaramillo-Carmona, S., Rodriguez-Arcos, R., Jiménez-Araujo, A., López, S., Gil, J., Moreno, R., & Guillén-Bejarano, R. (2017). Saponin Profile of Wild Asparagus Species. *Journal of Food Science*, 82(3), 638–646. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13628>
 45. Siomos, A. S. (2018). The quality of asparagus as affected by preharvest factors. *Scientia Horticulturae*, 233, 510–519. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.031>
 46. Alan, O., Turk, B., & Sen, F. (2022). A comparative study on the quality attributes, phenolic content and antioxidant activity of cultivated and wild asparagus as influenced by seasonal variations. *The Journal of Agricultural Science*, 160(6), 483–492. <https://doi.org/10.1017/S0021859622000569>
 47. Ku, Y. G., Kang, D. H., Lee, C. K., Lee, S. Y., Ryu, C. S., Kim, D. E., Polovka, M., Namieśnik, J., & Gorinstein, S. (2018). Influence of different cultivation systems on bioactivity of asparagus. *Food chemistry*, 244(October 2017), 349–358. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.044>
 48. United Nations (Ed.). (2023). *Asparagus*. OECD. Paris: OECD Publishing.
 49. Sergio, L., Gonnella, M., Renna, M., Linsalata, V., Gatto, M. A., Boari, F., & Di Venere, D. (2019). Biochemical traits of asparagus cultivars and quality changes in two differently coloured genotypes during cold storage. *LWT*, 101(November 2018), 427–434. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.054>
 50. Zafirio, P., Mamolos, A. P., Menexes, G. C., Siomos, A. S., Tsatsarelis, C. A., & Kalburtji, K. L. (2012). Analysis of energy flow and greenhouse gas emissions in organic, integrated and conventional cultivation of white asparagus by PCA and HCA: Cases in Greece. *Journal of Cleaner Production*,

- 29–30, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.01.040>
51. Fuentes Alventosa, J. M., & Moreno Rojas, J. M. (2015). Bioactive Compounds in Asparagus and Impact of Storage and Processing. In *Processing and Impact on Active Components in Food* (pp. 103–110). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404699-3.00013-5>
 52. Jiménez-Sánchez, C., Lozano-Sánchez, J., Rodríguez-Pérez, C., Segura-Carretero, A., & Fernández-Gutiérrez, A. (2016). Comprehensive, untargeted, and qualitative RP-HPLC-ESI-QTOF/MS2 metabolite profiling of green asparagus (*Asparagus officinalis*). *Journal of Food Composition and Analysis*, 46, 78–87. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.11.004>
 53. Lee, J. W., Lee, J. H., Yu, I. H., Gorinstein, S., Bae, J. H., & Ku, Y. G. (2014). Bioactive compounds, antioxidant and binding activities and spear yield of *Asparagus officinalis* L. *Plant foods for human nutrition (Dordrecht, Netherlands)*, 69(2), 175–81. <https://doi.org/10.1007/s11130-014-0418-9>
 54. Wambrauw, D. Z. K., Kashiwatani, T., Komura, A., Hasegawa, H., Narita, K., Honda, K., Maeda, T., & Yamaguchi, T. (2020). Effect of supplemental light on the quality of green asparagus cultivated by winter Fusekomi forcing culture. *Acta Horticulturae*, 1301(1301), 91–96. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1301.13>
 55. Takács-Hájos, M., & Zsombik, L. (2015). Total polyphenol, flavonoid and other bioactive materials in different asparagus cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 43(1). <https://doi.org/10.15835/nbha4319720>
 56. Park, M. H. (2016). Sucrose delays senescence and preserves functional compounds in *Asparagus officinalis* L. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 480(2), 241–247. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2016.10.036>
 57. Brizzolara, S., Manganaris, G. A., Fotopoulos, V., Watkins, C. B., & Tonutti, P. (2020). Primary Metabolism in Fresh Fruits During Storage. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00080>

58. Pott, D. M., Vallarino, J. G., & Osorio, S. (2020). Metabolite changes during postharvest storage: Effects on fruit quality traits. *Metabolites*, 10(5), 187. <https://doi.org/10.3390/metabo10050187>
59. Toscano, S., Rizzo, V., Licciardello, F., Romano, D., & Muratore, G. (2021). Packaging Solutions to Extend the Shelf Life of Green Asparagus (*Asparagus officinalis* L.) ‘Vegalim.’ *Foods*, 10(2), 478. <https://doi.org/10.3390/foods10020478>
60. Schäfer, J., Wagner, S., Trierweiler, B., & Bunzel, M. (2016). Characterization of Cell Wall Components and Their Modifications during Postharvest Storage of *Asparagus officinalis* L.: Storage-Related Changes in Dietary Fiber Composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(2), 478–486. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b05575>
61. Herppich, W. B., Huyskens-Keil, S., & Hassenberg, K. (2015). Impact of Ethanol Treatment on the Chemical Properties of Cell Walls and Their Influence on Toughness of White Asparagus (*Asparagus officinalis* L.) Spears. *Food and Bioprocess Technology*, 8(7), 1476–1484. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1507-y>
62. Bhowmik, P. K., & Matsui, T. (2003). Postharvest Physiology, Storage and Keeping Quality of Green Asparagus: A Review. *Asian Journal of Plant Sciences*, 2(12), 941–943. <https://doi.org/10.3923/ajps.2003.941.943>
63. Wang, L.-X., Choi, I.-L., & Kang, H.-M. (2020). Effect of High CO₂ Treatment and MA Packaging on Sensory Quality and Physiological-Biochemical Characteristics of Green Asparagus (*Asparagus officinalis* L.) during Postharvest Storage. *Horticulturae*, 6(4), 84. <https://doi.org/10.3390/horticulturae6040084>
64. Verlinden, S., Silva, S. M., Herner, R. C., & Beaudry, R. M. (2014). Time-dependent changes in the longitudinal sugar and respiratory profiles of asparagus spears during storage at 0 °C. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 139(4), 339–348. <https://doi.org/10.21273/jashs.139.4.339>

65. Wang, S. S., Haard, N. F., & DiMarco, G. R. (1971). Chlorophyll Degradation During Controlled-Atmosphere Storage of Asparagus. *Journal of Food Science*, 36(4), 657–661. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1971.tb15154.x>
66. Saltveit, M. E. (2018). Respiratory metabolism. In *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables* (pp. 73–91). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00004-X>
67. Saltveit, M. E. (2016). Respiratory metabolism. In *Postharvest Ripening Physiology of Crops* (pp. 139–156). <https://doi.org/10.2307/1536588>
68. Wang, X., Gu, S., & Chen, B. (2017). Effect of Cholesterol Dipped Treatment on Green Asparagus Spear during Low Temperature Storage. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 17(8), 177–182. <https://doi.org/10.16429/j.1009-7848.2017.08.024>
69. Huyskens-Keil, S., Eichholz-Dündar, I., Hassenberg, K., & Herppich, W. B. (2020). Impact of light quality (white, red, blue light and UV-C irradiation) on changes in anthocyanin content and dynamics of PAL and POD activities in apical and basal spear sections of white asparagus after harvest. *Postharvest Biology and Technology*, 161, 111069. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111069>
70. Tiznado-Hernández, M. E., Gardea-Bejar, A. A., Sánchez-Estrada, A., Orozco-Avitia, J. A., Ojeda-Contreras, A. J., Troncoso-Rojas, R., & Melendrez-Amavizca, R. (2024). “Hurdle technologies” utilized to improve postharvest life of asparagus spears (*Asparagus officinalis* L.). *Advances in Horticultural Science*, 38(1), 35–45. <https://doi.org/10.36253/ahsc-14786>
71. Villanueva, M. J. J., Tenorio, M. D. D., Sagardoy, M., Redondo, A., & Saco, M. D. D. (2005). Physical, chemical, histological and microbiological changes in fresh green asparagus (*Asparagus officinalis*, L.) stored in modified atmosphere packaging. *Food Chemistry*, 91(4), 609–619. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.06.030>
72. Mahajan, P. V., Caleb, O. J., Singh, Z., Watkins, C. B., & Geyer, M. (2014). Postharvest treatments of fresh produce. *Philosophical Transactions of the*

- Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 372(2017), 20130309. <https://doi.org/10.1098/rsta.2013.0309>
73. Luo, Y., Suslow, T., & Cantwell, M. (2016). Asparagus. *The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks*. USDA, ARS *Agriculture Handbook*, 66, 210–213.
74. ДСТУ 293-91. Спаржа овочева свіжа. Технічні умови. (2008). Київ, *Держспоживстандарт України*. 10с.
75. CODEX STAN 225-2001. Standard for asparagus (2001). FAO, 6p.
76. Lwin, W. W., Pongprasert, N., Boonyaritthongchai, P., Wongs-Aree, C., & Srilaong, V. (2020). Synergistic effect of vacuum packaging and cold shock reduce lignification of asparagus. *Journal of Food Biochemistry*, 44(11), e13479. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13479>
77. Escribano, S., & Mitcham, E. J. (2014). Progress in heat treatments. *Stewart Postharvest Review*, 10, 1–6.
78. Прісс, О. П. (2017). Наукові основи зберігання плодових овочів з використанням обробки біологічно активними речовинами: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.18.13 / Прісс Олеся Петрівна; Нац. ун-т харч. техн. – Київ, 2017. – 43 с.
79. Kai, Y. C., & Jih, M. S. (2013). Quality of low temperature heat-shocked green asparagus spears during short-term storage. *African Journal of Agricultural Research*, 8(28), 3849–3856. <https://doi.org/10.5897/ajar2012.6697>
80. You, Y., Li, M., Kang, T., Ko, Y., Kim, S., Lee, S. H., & Jun, S. (2021). Application of Supercooling for the Enhanced Shelf Life of Asparagus (*Asparagus officinalis* L.). *Foods*, 10(10), 2361. <https://doi.org/10.3390/foods10102361>
81. Mshelia, R. D., Dibai, N. I., & Chiroma, S. M. (2023). Food irradiation: an effective but under-utilized technique for food preservations. *Journal of Food Science and Technology*, 60(10), 2517–2525. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05564-4>
82. Mohamed, G. F. (2016). Food preservation and safety of irradiation

- techniques. *Journal of Food Processing & Technology*, 07(09).
<https://doi.org/10.4172/2157-7110.C1.046>
83. Wang, M., Li, J., & Fan, L. (2022). Quality changes in fresh-cut asparagus with ultrasonic-assisted washing combined with cinnamon essential oil fumigation. *Postharvest Biology and Technology*, 187(November 2021), 111873. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.111873>
 84. Wei, Y., & Ye, X. (2011). Effect of 6-benzylaminopurine combined with ultrasound as pre-treatment on quality and enzyme activity of green asparagus. *Journal of Food Processing and Preservation*, 35(5), 587–595. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2010.00504.x>
 85. Wang, J., & Fan, L. (2019). Effect of ultrasound treatment on microbial inhibition and quality maintenance of green asparagus during cold storage. *Ultrasonics sonochemistry*, 58, 104631. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104631>
 86. Lwin, W. W., Srilaong, V., Boonyaritthongchai, P., Wongs-Aree, C., & Pongprasert, N. (2020). Electrostatic atomised water particles reduces postharvest lignification and maintain asparagus quality. *Scientia Horticulturae*, 271, 109487. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109487>
 87. Burg, S. P. (2004). *Postharvest physiology and hypobaric storage of fresh produce*. (S. P. Burg, Ed.) *Postharvest physiology and hypobaric storage of fresh produce*. UK: CABI Publishing. <https://doi.org/10.1079/9780851998015.0000>
 88. Li, W., Zhang, M., & Yu, H. Q. (2006). Study on hypobaric storage of green asparagus. *Journal of Food Engineering*, 73(3), 225–230. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.01.024>
 89. Benyathiar, P., Harte, B., & Harte, J. (2020). Shelf life extension of fresh asparagus using modified atmosphere packaging and vacuum skin packaging in microwavable tray systems. *Packaging Technology and Science*, 33(10), 407–415. <https://doi.org/10.1002/pts.2511>
 90. Gantner, M., Król, K., & Kopczyńska, K. (2020). Application of MAP and

- ethylene–vinyl alcohol copolymer (EVOH) to extend the shelf-life of green and white asparagus (*Asparagus officinalis* L.) spears. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(4), 2030–2039. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00449-6>
91. Anastasiadi, M., Collings, E. R., & Terry, L. A. (2022). Investigating the role of abscisic acid and its catabolites on senescence processes in green asparagus under controlled atmosphere (CA) storage regimes. *Postharvest Biology and Technology*, 188(December 2021), 111892. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.111892>
 92. Huyskens-Keil, S., & Herppich, W. B. (2013). High CO₂ effects on postharvest biochemical and textural properties of white asparagus (*Asparagus officinalis* L.) spears. *Postharvest Biology and Technology*, 75, 45–53. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.06.017>
 93. Suslow, T. (2002). Asparagus (Green): Recommendations for Maintaining Postharvest Quality. In (A. A. Kader, Ed.) *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. Department of Plant Sciences, University of California, Davis.
 94. Li, T., & Zhang, M. (2015). Effects of modified atmosphere package (MAP) with a silicon gum film window on the quality of stored green asparagus (*Asparagus officinalis* L) spears. *LWT - Food Science and Technology*, 60(2), 1046–1053. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.10.065>
 95. Yoon, H. S., & Kang, H. M. (2017). Influence of pretreatments and modified atmosphere packaging on toughness and quality of asparagus spears during storage. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, 35(6), 717–726. <https://doi.org/10.12972/kjhst.20170076>
 96. Wang, L.-X., Choi, I.-L., & Kang, H.-M. (2020). Correlations among Quality Characteristics of Green Asparagus Affected by the Application Methods of Elevated CO₂ Combined with MA Packaging. *Horticulturae*, 6(4), 103. <https://doi.org/10.3390/horticulturae6040103>
 97. Rux, G., Mahajan, P. V., Linke, M., Pant, A., Sänglerlaub, S., Caleb, O. J., &

- Geyer, M. (2016). Humidity-Regulating Trays: Moisture Absorption Kinetics and Applications for Fresh Produce Packaging. *Food and Bioprocess Technology*, 9(4), 709–716. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1671-0>
98. Brueckner, B., & Ruppel, S. (2019). Microbial status of white asparagus spears during storage in moist packages. *Journal of Food Protection*, 82(9), 1479–1483. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-18-528>
 99. Blackburn, C. D. W. (2006). *Food spoilage microorganisms*. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9781845691417>
 100. Solgi, M., & Ghorbanpour, M. (2014). Application of Essential Oils and Their Biological Effects on Extending the Shelf-Life and Quality of Horticultural Crops. *Trakia Journal of Sciences*, 12(2), 198–210.
 101. Xiao, J., He, M., Chen, P., Li, M., Liu, J., Li, Y., Lu, W., Jiang, C., Liu, D., Quzha, K., & Zheng, Y. (2024). Proanthocyanidins delay the senescence of young asparagus stems by regulating antioxidant capacity and synthesis of phytochemicals. *Food Chemistry: X*, 21(January), 101222. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101222>
 102. Rodríguez, R., Jiménez, A., Guillén, R., Heredia, A., & Fernández-Bolaños, J. (1999). Postharvest changes in white asparagus cell wall during refrigerated storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(9), 3551–3557. <https://doi.org/10.1021/jf981295r>
 103. Toscano, S., Ferrante, A., Leonardi, C., & Romano, D. (2018). PAL activities in asparagus spears during storage after ammonium sulfate treatments. *Postharvest Biology and Technology*, 140, 34–41. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.02.010>
 104. Wang, X., Gu, S., & Chen, B. (2018). The mechanism of cholesterol-effect on the quality of green asparagus (*Asparagus officinalis* L.) spears during low temperature storage. *Scientia Horticulturae*, 231, 36–42. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.016>
 105. Boonsiriwit, A., Lee, M., Kim, M., Itkor, P., & Lee, Y. S. (2021). Exogenous

- Melatonin Reduces Lignification and Retains Quality of Green Asparagus (*Asparagus officinalis* L.). *Foods*, 10(9), 2111. <https://doi.org/10.3390/foods10092111>
106. Techavuthiporn, C., & Supapvanich, S. (2020). Effect of passive modified atmosphere storage incorporated with 1-MCP on quality of asparagus spears during cold storage. *Acta Horticulturae*, 1278(1278), 71–75. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1278.11>
 107. Zhang, P., Zhang, M., Wang, S., & Wu, Z. (2012). Effect of 1-methylcyclopropene treatment on green asparagus quality during cold storage. *International Agrophysics*, 26(4), 407–411. <https://doi.org/10.2478/v10247-012-0057-z>
 108. Yoon, H. S., Choi, I.-L., Baek, J. P., & Kang, H.-M. (2016). Effects of 1-MCP and MA Storage Treatments for Long-Term Storage of Asparagus Spears. *Protected horticulture and Plant Factory*, 25(2), 118–122. <https://doi.org/10.12791/ksbec.2016.25.2.118>
 109. Sharma, H. P., Chaudhary, V., & Kumar, M. (2019). Importance of edible coating on fruits and vegetables: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(3), 4104–4110.
 110. Fagundes, C., Palou, L., Monteiro, A. R., & Pérez-Gago, M. B. (2014). Effect of antifungal hydroxypropyl methylcellulose-beeswax edible coatings on gray mold development and quality attributes of cold-stored cherry tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 92, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.01.006>
 111. González-Saucedo, A., Barrera-Necha, L. L., Ventura-Aguilar, R. I., Correa-Pacheco, Z. N., Bautista-Baños, S., & Hernández-López, M. (2019). Extension of the postharvest quality of bell pepper by applying nanostructured coatings of chitosan with *Byrsonima crassifolia* extract (L.) Kunth. *Postharvest Biology and Technology*, 149, 74–82. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.11.019>
 112. Rossi Marquez, G., Di Pierro, P., Mariniello, L., Esposito, M., Giosafatto, C.

- V. L., & Porta, R. (2017). Fresh-cut fruit and vegetable coatings by transglutaminase-crosslinked whey protein/pectin edible films. *LWT*, 75, 124–130. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.017>
113. Singh, S., Khemariya, P., Rai, A., Rai, A. C., Koley, T. K., & Singh, B. (2016). Carnauba wax-based edible coating enhances shelf-life and retain quality of eggplant (*Solanum melongena*) fruits. *LWT*, 74, 420–426. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.004>
 114. Matloob, A., Ayub, H., Mohsin, M., Ambreen, S., Khan, F. A., Oranab, S., Rahim, M. A., Khalid, W., Nayik, G. A., Ramniwas, S., & Ercisli, S. (2023). A Review on Edible Coatings and Films: Advances, Composition, Production Methods, and Safety Concerns. *ACS Omega*, 8(32), 28932–28944. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c03459>
 115. Otoni, C. G., Avena-Bustillos, R. J., Azeredo, H. M. C., Lorevice, M. V., Moura, M. R., Mattoso, L. H. C., & McHugh, T. H. (2017). Recent Advances on Edible Films Based on Fruits and Vegetables — A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(5), 1151–1169. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12281>
 116. Galus, S. (2019). Development of Edible Coatings in the Preservation of Fruits and Vegetables. In *Polymers for Agri-Food Applications* (pp. 377–390). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-19416-1_19
 117. Firdous, N., Moradinezhad, F., Farooq, F., & Dorostkar, M. (2023). Advances in formulation, functionality, and application of edible coatings on fresh produce and fresh-cut products: A review. *Food Chemistry*, 407, 135186. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135186>
 118. Tian, Z., Zhang, R., Liu, Y., Xu, J., Zhu, X., Lei, T., & Li, K. (2021). Hemicellulose-based nanocomposites coating delays lignification of green asparagus by introducing AKD as a hydrophobic modifier. *Renewable Energy*, 178, 1097–1105. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.06.096>
 119. Swathi, V., Gladvin, G., & Babitha, B. (2017). Physico-chemical charectristics

- and applications of edible films for fruit preservation. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4(2).
120. Thakur, R., Pristijono, P., Scarlett, C. J., Bowyer, M., Singh, S. P., & Vuong, Q. V. (2019). Starch-based films: Major factors affecting their properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 132, 1079–1089. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.190>
 121. Salehi, F. (2020). Edible Coating of Fruits and Vegetables Using Natural Gums: A Review. *International Journal of Fruit Science*, 20(sup2), S570–S589. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1746730>
 122. Martău, G. A., Mihai, M., & Vodnar, D. C. (2019). The Use of Chitosan, Alginate, and Pectin in the Biomedical and Food Sector — Biocompatibility, Bioadhesiveness, and Biodegradability. *Polymers*, 11(11), 1837. <https://doi.org/10.3390/polym11111837>
 123. Luangapai, F., Peanparkdee, M., & Iwamoto, S. (2019). Biopolymer films for food industries: properties, applications, and future aspects based on chitosan. *Reviews in Agricultural Science*, 7, 59–67. https://doi.org/10.7831/ras.7.0_59
 124. Xing, Y., Xu, Q., Li, X., Chen, C., Ma, L., Li, S., Che, Z., & Lin, H. (2016). Chitosan-based coating with antimicrobial agents: Preparation, property, mechanism, and application effectiveness on fruits and vegetables. *International Journal of Polymer Science*, 2016, 1–24. <https://doi.org/10.1155/2016/4851730>
 125. Nair, M. S., Tomar, M., Punia, S., Kukula-Koch, W., & Kumar, M. (2020). Enhancing the functionality of chitosan- and alginate-based active edible coatings/films for the preservation of fruits and vegetables: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 304–320. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.083>
 126. Romanazzi, G., Feliziani, E., Baños, S. B., & Sivakumar, D. (2017). Shelf life extension of fresh fruit and vegetables by chitosan treatment. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(3), 579–601. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.900474>

127. Costa, M. J., Marques, A. M., Pastrana, L. M., Teixeira, J. A., Sillankorva, S. M., & Cerqueira, M. A. (2018). Physicochemical properties of alginate-based films: Effect of ionic crosslinking and mannuronic and guluronic acid ratio. *Food Hydrocolloids*, 81, 442–448. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.03.014>
128. Sellimi, S., Younes, I., Ayed, H. Ben, Maalej, H., Montero, V., Rinaudo, M., Dahia, M., Mechichi, T., Hajji, M., & Nasri, M. (2015). Structural, physicochemical and antioxidant properties of sodium alginate isolated from a Tunisian brown seaweed. *International Journal of Biological Macromolecules*, 72, 1358–1367. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.10.016>
129. Hecht, H., & Srebnik, S. (2016). Structural Characterization of Sodium Alginate and Calcium Alginate. *Biomacromolecules*, 17(6), 2160–2167. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.6b00378>
130. Li, X., Du, X., Liu, Y., Tong, L., Wang, Q., & Li, J. (2019). Rhubarb extract incorporated into an alginate-based edible coating for peach preservation. *Scientia Horticulturae*, 257, 108685. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108685>
131. Maringgal, B., Hashim, N., Mohamed Amin Tawakkal, I. S., & Muda Mohamed, M. T. (2020). Recent advance in edible coating and its effect on fresh/fresh-cut fruits quality. *Trends in Food Science & Technology*, 96, 253–267. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.024>
132. Reyes-Avalos, M. C., Minjares-Fuentes, R., Femenia, A., Contreras-Esquivel, J. C., Quintero-Ramos, A., Esparza-Rivera, J. R., & Meza-Velázquez, J. A. (2019). Application of an Alginate–Chitosan Edible Film on Figs (*Ficus carica*): Effect on Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity. *Food and Bioprocess Technology*, 12(3), 499–511. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2226-y>
133. Chiabrando, V., & Giacalone, G. (2016). Effect of chitosan and sodium alginate edible coatings on the postharvest quality of fresh-cut nectarines

- during storage. *Fruits*, 71(2), 79–85. <https://doi.org/10.1051/fruits/2015049>
134. Kapetanakou, A. E., Nestora, S., Evageliou, V., & Skandamis, P. N. (2019). Sodium alginate–cinnamon essential oil coated apples and pears: Variability of *Aspergillus carbonarius* growth and ochratoxin A production. *Food Research International*, 119, 876–885. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.072>
 135. Ramana Rao, T. V., Baraiya, N. S., Vyas, P. B., & Patel, D. M. (2016). Composite coating of alginate-olive oil enriched with antioxidants enhances postharvest quality and shelf life of Ber fruit (*Ziziphus mauritiana* Lamk. Var. Gola). *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 748–756. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2045-3>
 136. Bonecco, M. B., Martínez Sáenz, M. G., & Buffa, L. M. (2017). Chitosan, From Residue to Industry. In M. B. Bonecco, M. G. Martinez Saenz, & L. M. Buffa (Eds.), *Advances in Physicochemical Properties of Biopolymers (Part 2)* (pp. 224–256). BENTHAM SCIENCE PUBLISHERS. <https://doi.org/10.2174/9781681085449117010007>
 137. Harkin, C., Mehlmer, N., Woortman, D. V., Brück, T. B., & Brück, W. M. (2019). Nutritional and Additive Uses of Chitin and Chitosan in the Food Industry (pp. 1–43). https://doi.org/10.1007/978-3-030-16581-9_1
 138. Morin-Crini, N., Lichtfouse, E., Torri, G., & Crini, G. (2019). Applications of chitosan in food, pharmaceuticals, medicine, cosmetics, agriculture, textiles, pulp and paper, biotechnology, and environmental chemistry. *Environmental Chemistry Letters*, 17(4), 1667–1692. <https://doi.org/10.1007/s10311-019-00904-x>
 139. Tian, B., & Liu, Y. (2020). Chitosan-based biomaterials: From discovery to food application. *Polymers for Advanced Technologies*, 31(11), 2408–2421. <https://doi.org/10.1002/pat.5010>
 140. Ghosh, T., & Katiyar, V. (2019). Chitosan-Based Edible Coating: A Customise Practice for Food Protection. In *Materials Horizons: From Nature to Nanomaterials* (pp. 167–182). https://doi.org/10.1007/978-981-32-9804-0_8

141. Gallo, M., Naviglio, D., Armone Caruso, A., & Ferrara, L. (2016). Applications of chitosan as a functional food. In *Novel Approaches of Nanotechnology in Food* (pp. 425–464). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804308-0.00013-3>
142. Guo, M., Yadav, M. P., & Jin, T. Z. (2017). Antimicrobial edible coatings and films from micro-emulsions and their food applications. *International Journal of Food Microbiology*. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2017.10.002>
143. Lozano-Navarro, J. I., Díaz-Zavala, N. P., Velasco-Santos, C., Martínez-Hernández, A. L., Tijerina-Ramos, B. I., García-Hernández, M., Rivera-Armenta, J. L., Páramo-García, U., & Reyes-de la Torre, A. I. (2017). Antimicrobial, optical and mechanical properties of Chitosan–Starch films with natural extracts. *International Journal of Molecular Sciences*. <https://doi.org/10.3390/ijms18050997>
144. Raafat, D., & Sahl, H. (2009). Chitosan and its antimicrobial potential – a critical literature survey. *Microbial Biotechnology*, 2(2), 186–201. <https://doi.org/10.1111/j.1751-7915.2008.00080.x>
145. Badawy, M. E. I., & Rabea, E. I. (2011). A Biopolymer Chitosan and Its Derivatives as Promising Antimicrobial Agents against Plant Pathogens and Their Applications in Crop Protection. *International Journal of Carbohydrate Chemistry*, 2011, 1–29. <https://doi.org/10.1155/2011/460381>
146. Giatrakou, V. I., Al-Daour, R., & Savvaidis, I. N. (2023). Chitosan and hurdle technologies to extend the shelf life or reassure the safety of food formulations and ready-to-eat/cook preparations/meals. In *Chitosan: Novel Applications in Food Systems* (pp. 279–326). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821663-7.00009-0>
147. Solikhin, A., Hermawan, B., Octaviani, E. A., Prabuningrum, D. S., Nurmadina, Gazali, I., Mangurai, S. U. N. M., Murayama, K., & Saad, S. (2018). Morphological, chemical, and thermal characteristics of chitosan nanocomposite films reinforced with steam-exploded microfibrillated cellulose. *Journal of the Indian Academy of Wood Science*, 15(1), 68–79.

<https://doi.org/10.1007/s13196-018-0210-9>

148. Croisier, F., & Jérôme, C. (2013). Chitosan-based biomaterials for tissue engineering. *European Polymer Journal*.
<https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2012.12.009>
149. Zhu, J., Wu, H., & Sun, Q. (2019). Preparation of crosslinked active bilayer film based on chitosan and alginate for regulating ascorbate-glutathione cycle of postharvest cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*). *International journal of biological macromolecules*, 130, 584–594.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.006>
150. Lozano-Navarro, J., Díaz-Zavala, N., Velasco-Santos, C., Melo-Banda, J., Páramo-García, U., Paraguay-Delgado, F., García-Alamilla, R., Martínez-Hernández, A., & Zapién-Castillo, S. (2018). Chitosan-Starch Films with Natural Extracts: Physical, Chemical, Morphological and Thermal Properties. *Materials*, 11(1), 120. <https://doi.org/10.3390/ma11010120>
151. Khan, M. R., Volpe, S., Valentino, M., Miele, N. A., Cavella, S., & Torrieri, E. (2021). Active Casein Coatings and Films for Perishable Foods: Structural Properties and Shelf-Life Extension. *Coatings*, 11(8), 899.
<https://doi.org/10.3390/coatings11080899>
152. Hasheminejad, N., & Khodaiyan, F. (2020). The effect of clove essential oil loaded chitosan nanoparticles on the shelf life and quality of pomegranate arils. *Food Chemistry*, 309, 125520.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125520>
153. Du, W. X., Avena-Bustillos, R. J., Sheng, S., Hua, T., & McHugh, T. H. (2011). Antimicrobial volatile essential oils in edible films for food safety. *Science against microbial pathogens: communicating current research and technological advances*, 2, 1124–1134.
154. Yuan, G., Chen, X., & Li, D. (2016). Chitosan films and coatings containing essential oils: The antioxidant and antimicrobial activity, and application in food systems. *Food Research International*.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.10.004>

155. Grande-Tovar, C. D., Chaves-Lopez, C., Serio, A., Rossi, C., & Paparella, A. (2018). Chitosan coatings enriched with essential oils: Effects on fungi involved in fruit decay and mechanisms of action. *Trends in Food Science & Technology*, 78, 61–71. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.019>
156. Anis, A., Pal, K., & Al-Zahrani, S. M. (2021). Essential oil-containing polysaccharide-based edible films and coatings for food security applications. *Polymers*, 13(4), 575. <https://doi.org/10.3390/polym13040575>
157. Jafarzadeh, S., Mohammadi Nafchi, A., Salehabadi, A., Oladzad-abbasabadi, N., & Jafari, S. M. (2021). Application of bio-nanocomposite films and edible coatings for extending the shelf life of fresh fruits and vegetables. *Advances in Colloid and Interface Science*. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2021.102405>
158. Bose, S. K., Howlader, P., Wang, W., & Yin, H. (2021). Oligosaccharide is a promising natural preservative for improving postharvest preservation of fruit: A review. *Food Chemistry*, 341(Pt 1), 128178. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128178>
159. Priss, O. P., & Zhukova, V. F. (2019). Optimum concentration of exogenous antioxidants for the storage of zucchini fruit. *Journal of Chemistry and Technologies*, 27(1), 40–47. <https://doi.org/10.15421/081904>
160. Lei, T., Zhang, R., Liu, Y., Zhu, X., Li, K., Li, G., & Zheng, H. (2022). Effect of the high barrier and hydrophobic hemicellulose/montmorillonite film on postharvest quality of fresh green asparagus. *Industrial Crops and Products*, 187(PB), 115509. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115509>
161. Pham, T. T., Siyum, Z. H., Ha, T. T. N., Mac, H. X., Dam, S. M., Nguyen, T. H. D., Nguyen, L. L. P., & Baranyai, L. (2023). Evaluating the quality of green asparagus treated with cassava starch-based coating using laser scattering. *Progress in Agricultural Engineering Sciences*, 19(S1), 59–68. <https://doi.org/10.1556/446.2023.00083>
162. Qiu, M., Jiang, H., Ren, G., Huang, J., & Wang, X. (2013). Effect of chitosan coatings on postharvest green asparagus quality. *Carbohydrate Polymers*, 92(2), 2027–2032. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.11.070>

163. Qiu, M., Wu, C., Ren, G., Liang, X., Wang, X., & Huang, J. (2014). Effect of chitosan and its derivatives as antifungal and preservative agents on postharvest green asparagus. *Food Chemistry*, 155, 105–111. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.026>
164. Wu, L., & Yang, H. (2016). Combined Application of Carboxymethyl Chitosan Coating and Brassinolide Maintains the Postharvest Quality and Shelf Life of Green Asparagus. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(2), 154–165. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12592>
165. Tran, Y. T. N., Nguyen, A. T. T., & Bui, A. N. N. (2020). A Study of Asparagus Preservation Capacity of Chitosan-Alginate and Chitosan-Carrageenan Biofilms. *Journal of Food Engineering and Technology*, 9(2), 89–94. <https://doi.org/10.32732/jfet.2020.9.2.89>
166. Aroucha, E., Anastasiadi, M., Collings, E., Araujo, N., & Terry, L. (2024). Shelf-life of green asparagus using cassava and chitosan blend coating. *Brazilian Journal of Food Technology*, 27, 1–14. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.13822>
167. Wang, Q., Ding, T., Gao, L., Pang, J., & Yang, N. (2012). Effect of brassinolide on chilling injury of green bell pepper in storage. *Scientia Horticulturae*, 144, 195–200. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.07.018>
168. Nolan, T. M., Vukašinović, N., Liu, D., Russinova, E., & Yin, Y. (2020). Brassinosteroids: Multidimensional Regulators of Plant Growth, Development, and Stress Responses. *The Plant cell*, 32(2), 295–318. <https://doi.org/10.1105/tpc.19.00335>
169. Liu, X., Wei, L., Miao, C., Zhang, Q., Yan, J., Li, S., Chen, H., & Qin, W. (2024). Application of Exogenous Phenolic Compounds in Improving Postharvest Fruits Quality: Classification, Potential Biochemical Mechanisms and Synergistic Treatment. *Food Reviews International*, 40(6), 1776–1795. <https://doi.org/10.1080/87559129.2023.2233599>

РОЗДІЛ 2.

ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Програма проведення досліджень

Основні напрями досліджень та їх послідовність викладено у структурній програмі, представлений на рисунку 2.1.

Перший етап включав аналіз літературних джерел. Зібрана інформація дозволила обґрунтувати необхідність попередньої обробки спаржі розчинами біополімерних матеріалів перед їх зберіганням та обрати суміші для експериментів.

Другий етап передбачав планування та проведення першочергових експериментів з метою оцінки якості пагонів, оброблених різними покриттями, до і після зберігання, на основі визначальних якісних показників. Було використано пагони двох сортів спаржі з огляду на можливу варіативність даних, обумовлену генетичними особливостями сорту.

На третьому етапі була проведена оцінка доцільності введення в біополімерні покриття антиоксиданту рутину для продовження терміну зберігання спаржі та визначено робочу концентрацію препарату, обрано оптимальні для подальшого використання суміші комбінованих препаратів.

Четвертий етап включав обробку пагонів спаржі обраними покриттями, їх закладку на зберігання, моніторинг товарних, фізіологічних і біохімічних показників якості впродовж всього періоду зберігання спаржі та розрахунки комплексної ефективності тестованого покриття для зберігання спаржі. Відходи пагонів спаржі, утворені внаслідок підрівнювання перед закладкою на зберігання були перероблені в порошок для подальшої оцінки його властивостей та визначення потенціалу його застосування.

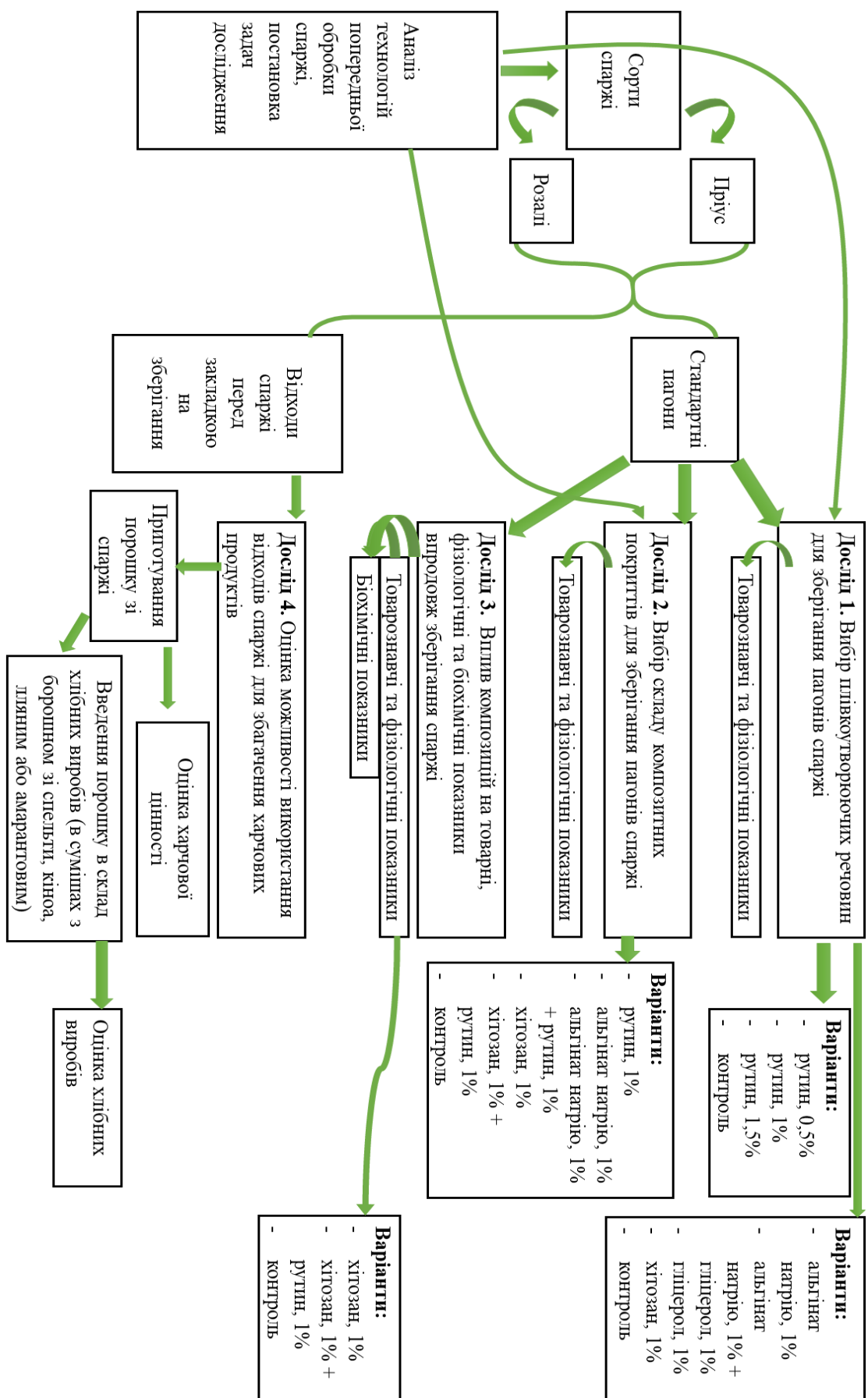


Рис 2.1. Схема проведення досліджень

На п'ятому етапі була проведена оцінка харчової цінності отриманого порошку з базальної частини пагонів спаржі. Розроблено ряд композицій тіста з додаванням порошку із спаржі з метою отримання хлібу, збагаченого біологічно активними речовинами.

Насамкінець, був проведений аналіз отриманих результатів досліджень та розроблено відповідні рекомендації для виробництва.

2.2. Методика проведення досліджень

У дослідженнях використовували спаржу (*Asparagus officinalis* L.) двох сортів різного забарвлення (зелена Приус F1 та фіолетово-зелена Розалі F1).

У 2021 році спаржа вирощувалась на фермі «Шафран Любимівський» в Херсонській обл., Україна. Дослідження проводили на базі навчально-наукової лабораторії Таврійського державного агротехнологічного університету ім. Дмитра Моторного. У 2023 році спаржа вирощувалась у с. Чайчинці Тернопільської області, Україна. Дослідження проводили у відділі аналітичних досліджень та якості харчової продукції Інституту продовольчих ресурсів НААН України. Лабораторну випічку хлібних виробів з порошком спаржі проводили в лабораторії кафедри харчових технологій Уманського НУС.

Спаржа, відібрана для дослідження, була прямою, неушкодженою, 1,6–2,0 см у діаметрі та ~25 см у довжину із закритими приквітками та без видимих ознак пошкодження, згідно з вимогами ДСТУ 293-91 [1] та CODEX STAN 225-2001 [2] (рис. 2.2). Після транспортування пагони випадковим чином фасували у пучки приблизно однакової ваги (~200 г) та вирівнювали зрізи. За контроль приймали необроблені зразки, тоді як дослідні варіанти занурювали у попередньо підготовані розчини плівкоутворюючих речовин чи композицій, перевертали у вертикальне положення для рівномірного стікання залишків розчину і підсушували протягом години в умовах охолодження. Далі пучки спаржі вкладали у пластикові ящики місткістю до 5 кг. Зберігали оброблену та

необроблену спаржу в умовах промислового холодильника при температурі $2^{\circ}\text{C}\pm 0,5$ та відносній вологості повітря $95\%\pm 1$.

В даному дослідженні через неоднорідність якості плодів після зберігання їх підрозділяли на фракції: стандартну, нестандартну та відхід. До стандартної продукції відносили пагони, які повною мірою відповідали вимогам і нормам показників якості ДСТУ 293-91 [1]. До нестандартної продукції відносили пагони, що втратили тургор і пагони, що мали розкриті приквітки. Загнила продукція та продукція з ознаками уражень мікроорганізмами була віднесена до відходів.



а



б

Рис. 2.2. Спаржа, що закладалась на зберігання:

а – Приус F1; б – Розалі F1

Дослід 1.а. Вибір біополімерних покриттів для зберігання пагонів спаржі (2021 р). Пагони спаржі (обох сортів) оброблялись наступними варіантами композицій біополімерних покриттів:

А – 1%-м водним розчином альгінату натрію (суху речовину поступово

розчиняли у гарячій воді ($t=45^{\circ}\text{C}$));

G – 1%-м водним розчином гліцеролу;

A+G – 1%-м водним розчином альгінату натрію в комбінації з 1%-м розчином гліцеролу;

Ch – 1%-м розчином хітозану в 1%й оцтовій кислоті;

K – не оброблялись.

Для нанесення покриттів спаржу повністю занурювали в охолоджені розчини. Після виймання з розчинів, пучки спаржі встановлювали вертикально на решітку з піддоном для стікання залишків препарату і просушування протягом 1 год в умовах охолодження. Після цього оброблені та необроблені зразки (контроль) закладали на холодильне зберігання. Зберігання вважали завершеним при досягненні кількості втрат і відходів у 10%, до відходів відносили загнилу продукцію та продукцію з ознаками уражень мікроорганізмами. На момент закладки на зберігання та кінця зберігання проводили оцінку товарних та фізіологічних показників пагонів спаржі [3]. Органолептичні показники визначали за характеристиками тургору (від свіжого вигляду до сильної втрати тургору), поздовжньої строкатості (від відсутності смуг до сильної строкатості), висихання зрізів (від відсутності висихання до сильного висихання), зміни кольору (яскраво-зелений чи фіолетово-зелений характерний для сорту, аж до пожовтіння), наявності сторонніх запахів (від відсутності запахів, до помітних запахів) і відсутності мікробіологічних уражень [4]. Була використана чотирибальна шкала (4 – дуже добре; 3 – добре; 2 – прийнятно; 1 – непринятно). Крім того, для загальної оцінки вводили коефіцієнт важливості з огляду на критичність впливу показнику на задоволеність кінцевих споживачів: 0,3 – для тургору; 0,2 – для наявності сторонніх запахів та відсутності мікробіологічних уражень; 0,1 – для інших показників.

Терміни зберігання дослідних зразків були продовжені відносно контрольних до моменту появи уражень пагонів.

Дослід 1.6. Підбір концентрації рутину (R) для зберігання пагонів

спаржі (2021 р).

Пагони спаржі (обох сортів) оброблялись водними розчинами рутину наступних концентрацій: 0,5% (R 0,5), 1% (R 1), 1,5% (R 1,5) або не оброблялись (K, контроль). Для приготування розчину рутину сухий порошок був розчинений у 96% етиловому спирту (5% за масою) і доведений до необхідної концентрації водою). Нанесення розчину та подальше зберігання виконували за описаною вище схемою. На момент закладки на зберігання та кінця зберігання проводили оцінку товарних [1], фізіологічних [3] та деяких біохімічних (вміст пігментів) показників пагонів спаржі [5]. Терміни зберігання дослідних зразків були продовжені до моменту появи уражень пагонів.

Дослід 2. Вибір складу комбінованих покриттів для зберігання пагонів спаржі (2021-2022 р).

Пагони спаржі (обох сортів) оброблялись наступними варіантами композицій плівкоутворюючих покриттів:

R – 1%-м водним розчином рутину (для приготування розчину сухий порошок був розчинений у 96% етиловому спирту (5% за масою) і доведений до концентрації 1% водою);

A – 1%-м водним розчином альгілату натрію;

A+R – 1%-м водним розчином альгілату натрію в комбінації з 1%-м розчином рутину (в підігрітий 1 % розчин рутину вносили альгілат та залишали для вистигання та рівномірного гелеутворення на 20 хв);

Ch – 1%-м водним розчином хітозану в 1%-й оцтовій кислоті;

Ch+R – 1%-м водним розчином хітозану в комбінації з 1%-м розчином рутину (сухий рутин розчиняли в спирті та доводили до фінальної концентрації рутину розчином хітозану);

K – пагони не оброблялись.

Нанесення покриттів та подальше зберігання виконували за описаною вище схемою. На момент закладки на зберігання та кінця зберігання (варіюється в різних дослідних групах) проводили оцінку товарних [1] та

фізіологічних [3] показників пагонів спаржі. Терміни зберігання дослідних зразків були продовжені до моменту появи уражень пагонів.

На основі аналізу отриманих у досліді 2 результатів, 1%-й розчин хітозану (Ch) та композиція, що містить 1%-й розчин хітозану та 1%-й розчин рутину (Ch+R) були обрані для подальшої обробки пагонів спаржі.

Дослід 3. Вплив розроблених композицій на товарні, фізіологічні та біохімічні показники пагонів спаржі впродовж холодильного зберігання (2023 р).

Для виявлення впливу плівкоутворюючих композицій на динаміку зазначених показників проводили такі дослідження:

- відбір і підготовку проб для аналізів згідно із ДСТУ ISO 874-2002 [6]; товарний аналіз відповідно до ДСТУ 6010:2008 [1];
- органолептичний аналіз (за чотирибальною шкалою) та природну втрату маси згідно з методичними рекомендаціями зі зберігання та переробки продукції рослинництва [7];
- ураження хворобами – шляхом огляду плодів та групуванням їх за родом ураження [7];
- інтенсивність дихання за поглинанням лугом карбон(IV) оксиду [5].

Визначення показників хімічного складу проводили за наступними методиками (кількість вимірювань відповідно до методики):

- вміст сухих речовин - термогравіметричним методом [8];
- вміст сухих розчинних речовин - рефрактометричним методом [9];
- масову концентрацію цукрів методом високоефективної рідинної хроматографії (ВЕРХ) з використанням системи рідинної хроматографії Shimadzu CTO-20AC і колонки HC-75 Hamilton з водою як рухомою фазою[10];
- вміст білку методом К'ельдаля [11];
- вміст фенольних речовин за допомогою реактива Фоліна-Деніса [12];

- вміст хлорофілів та каротиноїдів - шляхом екстрагування пігментів ацетоном з наступним визначенням спектрофотометричним методом [5];
- вміст аскорбінової кислоти за відновленням реактиву Тільманса [13];
- активність аскорбатоксидази (КФ 1.10.3.3) та поліфенолоксидази (КФ 1.10.3.1) за методом Х.Н. Починка [14];

Математичну обробку результатів досліджень проводили за В. Ф. Моїсейченком [15] і комп'ютерними програмами "Excel" та Agrostat.

Дослід 4. Оцінка харчової цінності післязбиральних відходів спаржі.

Для оцінки харчової цінності різних ділянок пагонів спаржі було визначено загальну кількість фенольних речовин у: В1 – цілих пагонах спаржі, В2 – відходах, що формуються при підготовці до зберігання, В3 – цілих пагонах після зберігання, В4 – відходах, що формуються при підготовці до реалізації після зберігання. Пагони були висушені у сублімаційній сушарці, після чого вони подрібнювались в лабораторному млинку до крупності 10-3–10-2 мм та перемішувались. Аналіз хімічних елементів у наважках сухої спаржі виконано на базі сектору з вивчення мікроелементозів ДУ «Інститут медицини праці НАМН України».

Наважку у 0,2 г сухої спаржі розчиняли у 3,0 мл 65%-ї нітратної кислоти та витримували в автоклаві 30 хв, після чого мінералізували в мікрохвильовій печі MARS-One впродовж 25 хв. Після охолодження об'єм проби доводився до 10,0 мл деіонізованою водою. Вміст макро- та мікроелементів визначали методом оптико-емісійної спектроскопії з індуктивно зв'язаною плазмою (ОЕС-ІЗП) на приладі «Optima 2100 DV» фірми (Perkin-Elmer, США) (калібрування наведено у Додатоку А). Математична обробка отриманих результатів виконувалась за допомогою програмного забезпечення приладу ОЕС-ІЗП WinLab32 та подальшого статистичного аналізу з використанням пакету програм Microsoft Excel. За визначеним кількісним вмістом азоту був також розрахований вміст білків у сухому зразку.

Дослід 5. Оцінка можливості використання відходів спаржі для

збагачення харчових продуктів.

Для приготування порошку використовували частини пагонів спаржі, зрізані при вирівнюванні висоти пагонів у пучках. Отриманий порошок спаржі використовували для лабораторного випікання хлібу. В ході першочергових експериментів було оцінено вплив додавання порошку зі спаржі у кількостях 5 і 10 % до сумішей для випікання хліба з наступних видів борошна: цільнозерновим зі спельти, з кіноа, амарантовим, або лляним. Як контроль використовували хліб без додавання порошку спаржі в тісто. Режими тривалості та умов бродіння і розстоювання тіста, а також випікання хліба нових рецептур підібрано в результаті експериментальних досліджень. Подальше дослідження проводили з сумішами порошку спаржі і борошна зі спельти, що показали задовільну якість зразків. Для лабораторної випічки були використані співвідношення 0:100, 5:95, 10:90, 15:85 20:80 і 30:70 суміші порошку спаржі і борошна цільнозернового пшеничного зі спельти. Для приготування тіста брали 100 г суміші борошна спельтового (вологість 14 %) та овочевого порошку, дріжджі пресовані, сіль кухонну, цукор-пісок, олію соняшникову – по 1,5 г кожного, воду питну – згідно з водо поглинальною здатністю борошна, що за показником фаринографа відповідає консистенції тіста 500 од. ф. або 52–55 %. Після приготування тіста його піддавали бродінню у термостаті на 150–180 хв за температури 28–32 °С, потім тісто обробляли, формували, уміщали в форми та знову ставили у термостат. Кінець розстоювання тіста визначали органолептично. Випікали хліб зі зволоженням пекарної камери за температури 200–220 °С упродовж 15–20 хв в лабораторній печі.

Оцінку хліба проводили через 16 годин після випікання. Хліб був підданий оцінюванню відповідно до комплексної методики, представленої у патенті 109225 [16]. Аналіз проводили за зовнішнім виглядом, кольором і глянцем скоринки, кольором і станом (еластичність, консистенція) м'якушки, характеристикою пор, смаком і ароматом. У хлібі досліджували: органолептичні показники якості хліба (колір, смак, запах) та фізико-хімічні

показники якості (величину упікання, питомий об'єм, пористість, вологість, кислотність). Вологість хліба визначали за допомогою пристрою СЭШ-3М. Об'єм хліба оцінювали шляхом витіснення зерна з використанням пристрою РЗ-БИО та виражали в кубічних сантиметрах на кілограм борошна з наступним розрахунком питомого об'єму хліба. При проведенні дослідів керувалися методикою стандартів: лабораторна випічка хліба – (ГОСТ 27669–88 [17]); органолептична оцінки хліба – (ДСТУ 4585:2021 [18]).

Висновки до розділу 2

1. На основі проведеного аналізу було визначено ключові напрями досліджень і окреслено порядок їх реалізації.
2. Представлено схему експериментів та описано їх методологію.
3. Описано методи оцінки якості пагонів спаржі.
4. Представлено розроблену схему використання відходів спаржі для збагачення харчових продуктів.

Список літератури до розділу 2

1. ДСТУ 293-91. Спаржа овочева свіжа. Технічні умови. (2008). Київ, *Держспоживстандарт України*, 10 с.
2. CODEX STAN 225-2001. Standard for asparagus (2001). FAO, 6 p.
3. Wang, J., Fan, L. Effect of ultrasound treatment on microbial inhibition and quality maintenance of green asparagus during cold storage. (2019) *Ultrason. Sonochem*, 58, 104631. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104631>
4. Villanueva, M. J. J., Tenorio, M. D. D., Sagardoy, M., Redondo, A., & Saco, M. D. D. (2005). Physical, chemical, histological and microbiological changes in fresh green asparagus (*Asparagus officinalis*, L.) stored in modified atmosphere packaging. *Food Chemistry*, 91(4), 609–619. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.06.030>

5. Мусієнко, М. М., Паршикова, Т. В., & Славний, П. С. (2001). Спектрофотометричні методи в практиці фізіології, біохімії та екології рослин. К.: *Фітосоціоцентр*, 200, 16 с.
6. ДСТУ ISO 874-2002. Фрукти і овочі свіжі. Відбирання проб. Київ, *Держспоживстандарт України*, 2003. 9 с.
7. Скалецька, Л. Ф., Подпрятов, Г. І., Завадська, О. В. (2014). Методи наукових досліджень зі зберігання та переробки продукції рослинництва: навчальний посібник. К.: ЦП «КОМПРИНТ».
8. ДСТУ ISO 751:2004. Продукти перероблення фруктів і овочів. Метод визначення сухих речовин, не розчинних у воді (контрольний метод). Київ, 2005. 8 с.
9. ДСТУ ISO 2173:2007. Продукти з фруктів та овочів. Визначення розчинних сухих речовин рефрактометричним методом. Київ, 2009. 11с.
10. Muir, J. G., Rose, R., Rosella, O., Liels, K., Barrett, J. S., Shepherd, S. J., & Gibson, P. R. (2009). Measurement of short-chain carbohydrates in common Australian vegetables and fruits by high-performance liquid chromatography (HPLC). *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(2), 554-565.
11. ДСТУ 4373:2005. Фрукти, овочі та продукти їх перероблення. Методи визначення вмісту поліфенолів. Київ, *Держспоживстандарт України*, 2006. 6 с.
12. ДСТУ ISO 5983:2003. Корми для тварин. Визначення вмісту азоту і обчислювання вмісту сирого білка. Метод К'ельдаля. Київ, *Держспоживстандарт України*, 2005. 8 с.
13. Найченко, В. М. (2001). Практикум з технології зберігання і переробки плодів та овочів з основами товарознавства. Київ: *ФАДА ЛТД*, 211(1).
14. Сердюк, М. Є, Прісс, О. П., Гапріндашвілі, Н. А., Здоровцева, Л. М., Сухаренко, О. І., Іванова І.Є. (2020). Дослідницький практикум.

Частина 1. Методи дослідження плодоовочевої та ягідної продукції.
Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 370 с.

15. Мойсейченко, В.Ф., Єщенко В.О. (1994). Основи наукових досліджень в агрономії. *Київ: Вища школа*, 334 с.
16. Господаренко, Г. М., Осокіна, Н. М., Любич, В. В., Полянецька, І. О., Петренко, В. В., & Возіян, В. В. (2015). Спосіб лабораторного випікання хліба із борошна пшеничного зі спельти. Україна: 109225, МПК А21D 8/00.21.
17. ГОСТ 27669–88. Борошно пшеничне хлібопекарське. Метод пробної лабораторної випічки хліба. 6 с
18. ДСТУ 4585:2021. Вироби хлібобулочні здобні. Загальні технічні умови. Київ, *Держспоживстандарт України*, 2021. 10 с.

РОЗДІЛ 3.

ВИБІР КОМБІНОВАНИХ БІОПОЛІМЕРНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЯКОСТІ СПАРЖІ ПІД ЧАС ЗБЕРІГАННЯ

3.1. Вплив біополімерних та антиоксидантних покриттів на товарні та біохімічні показники при зберіганні спаржі

Забезпечення високої якості плодовоовочевої продукції має критичне значення для підвищення обсягів її збуту. Товарна якість спаржі регламентується вимогами стандарту ДСТУ 293-91 «Спаржа овочева свіжа. Технічні умови» [1], що поширюються на свіжі пагони, призначені для реалізації у свіжому вигляді.

Істивні покриття, що застосовуються для обробки плодовоовчевої продукції, виконують передусім бар'єрні функції, знижуючи інтенсивність дихання та випаровування вологи. Вплив різних покриттів на товарну якість пагонів спаржі, однак, може різнитися з огляду на різну щільність та стійкість плівки. Таким чином, в ході підбору речовин для обробки плодів, в першу чергу було оцінено вплив біополімерів альгінату натрію (А), хітозану (Ch) та комбінації альгінату натрію з гліцерином (А+G)) на тривалість зберігання спаржі, природну втрату маси впродовж зберігання та органолептичні показники; оцінка дії антиоксидантних препаратів на ті ж показники проводилась паралельно.

За нашими даними, контрольні зразки спаржі обох сортів в умовах охолодження зберігалися без суттєвої втрати якості не більше 14 діб. При подальшому зберіганні паростки швидко жовкнуть, втрачають пружність і дерев'яніють. На кінець зберігання органолептична оцінка якості пагонів обох сортів була типовою (Рис. 3.1).

В той же час, порівняна кількість нестандартної продукції у пагонів сорту Пріус була вищою (Рис. 3.2). Такі результати можуть бути пояснені тим,

що пагони зелених сортів спаржі, до яких відноситься і Пріус, в цілому більш схильні до розкриття приквіток впродовж зберігання, що є одним із параметрів визначення товарної якості.

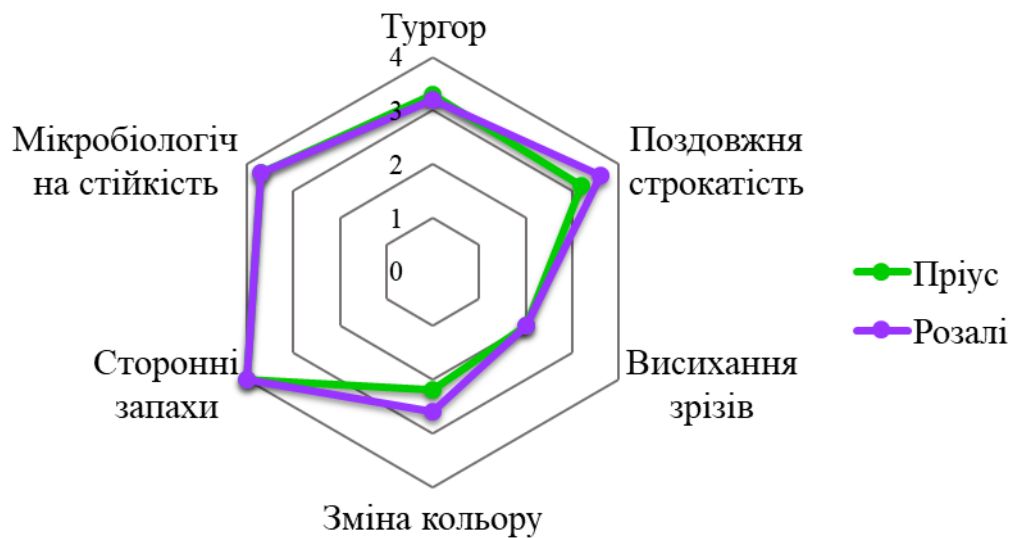


Рис. 3.1. Органолептична оцінка необроблених пагонів спаржі після 14 днів зберігання

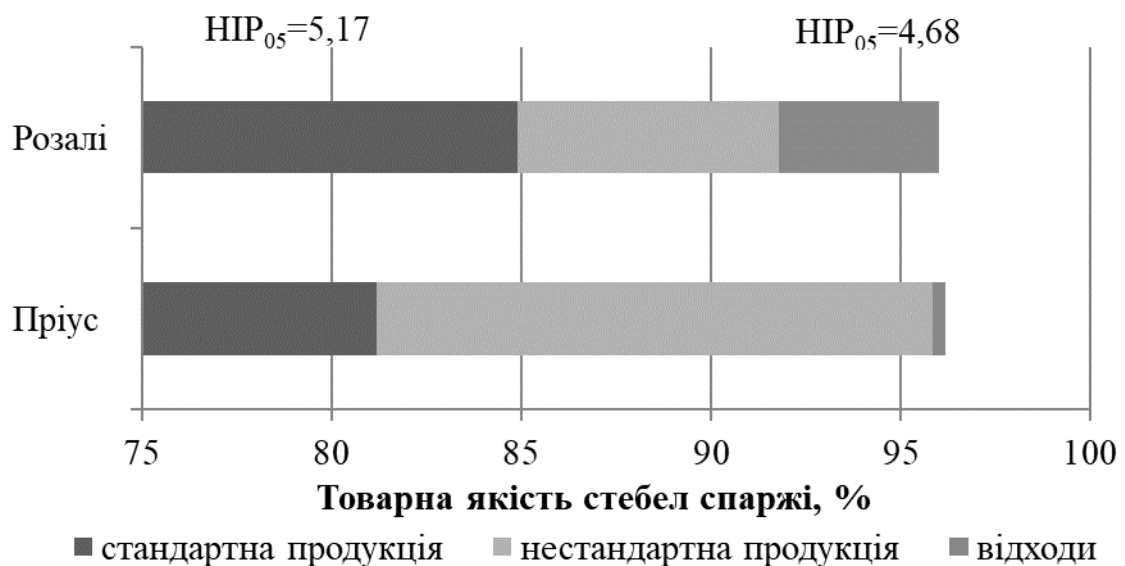


Рис. 3.2. Товарна якість необроблених пагонів спаржі після 14 днів зберігання

Як видно з нижченаведеної табл. 3.1, обробка біополімерними

покриттями дозволила продовжити термін зберігання зразків, оброблених альгінатом натрію та хітозаном, у порівнянні з контрольними необробленими зразками. Цей ефект спостерігався незалежно від сорту, хоча показники втрат продукції для пагонів сортів Пріус та Розалі відрізняються. Отримані дані узгоджуються з спостереженнями Tran, Y. T. N., які вказували на скорочення втрат маси та подовження термінів зберігання пагонів, оброблених композиціями на основі альгінату, хітозану та карагенану на 3 доби відносно контрольних зразків [2].

Таблиця 3.1

Товарна якість пагонів спаржі після зберігання з біополімерними покриттями, % (2021 р.), $M \pm m$, $n = 5$

Сорт	Варіант обробки	Тривалість зберігання, діб	Продукція, %		
			стандартна	нестандартна	відходи
Пріус	A	18	88,69 $\pm$ 1,57*	5,85 $\pm$ 0,80*	2,97 $\pm$ 0,92*
	G	14	82,25 $\pm$ 0,63	10,55 $\pm$ 0,42	3,35 $\pm$ 0,39*
	A+G	18	84,32 $\pm$ 1,29*	7,93 $\pm$ 0,96*	4,07 $\pm$ 0,88*
	Ch	18	90,02 $\pm$ 2,03*	5,12 $\pm$ 0,63*	2,24 $\pm$ 0,66*
	Контроль	14	81,20 $\pm$ 1,16	14,62 $\pm$ 0,98	0,35 $\pm$ 0,19
Розалі	A	18	88,14 $\pm$ 0,82*	4,98 $\pm$ 0,38*	3,91 $\pm$ 0,53
	G	14	84,48 $\pm$ 0,99	6,23 $\pm$ 0,51	2,15 $\pm$ 0,47
	A+G	18	85,72 $\pm$ 1,25	4,74 $\pm$ 0,66*	2,30 $\pm$ 0,45
	Ch	18	91,45 $\pm$ 2,08*	4,22 $\pm$ 0,57*	1,95 $\pm$ 0,58*
	Контроль	14	84,91 $\pm$ 1,53	6,89 $\pm$ 0,41	4,20 $\pm$ 1,64

Примітка. Розрахунки товарних показників проводились на кінець зберігання, з урахуванням природних втрат маси. * – різниця достовірна ($p \leq 0,05$) при порівнянні з контролем на добу вимірювання.

Всі досліджувані варіанти обробки, що містили біополімер (A, A+G, Ch), чинили подібний вплив на тривалість зберігання пагонів та їх товарну якість. Використання обробок хітозаном та альгінатом натрію очевидно дозволяє скоротити втрати маси незалежно від сорту (не менш як у 1,4 рази), що позитивно позначається на виході стандартній продукції. Кількість нестандартної продукції також зменшується завдяки такій обробці, що було особливо помітно на прикладі сорту Пріус.

Додатково, дослідні зразки за органолептичними показниками показали більшу площу профілограми порівню з контролем (Рис. 3.3 і 3.4).

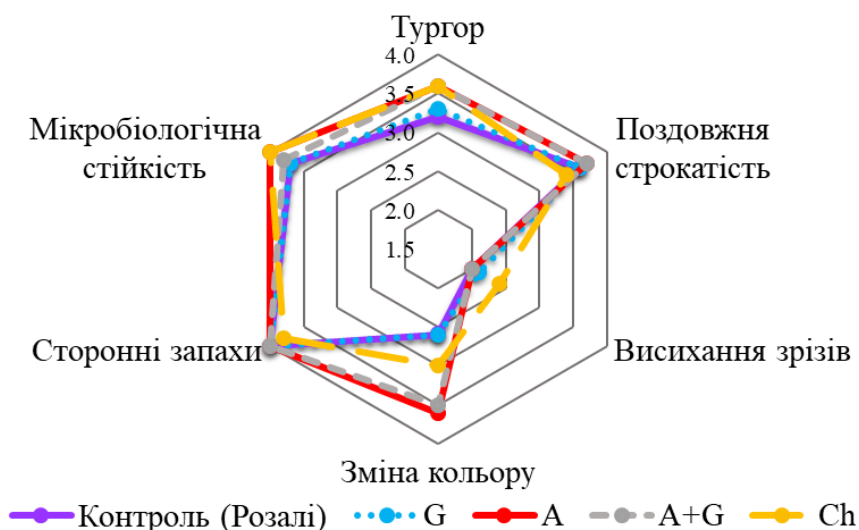


Рис. 3.3. Органолептична оцінка спаржі сорту Розалі на кінець зберігання при обробці біополімерними покриттями

Найбільш помітний позитивний ефект обробка спричинила на такі показники, як тургор та зміна забарвлення. Довше підтримання тургору на сталому рівні, яке також корелює зі зниженням втрати маси, видається закономірним з огляду на очікуваний вплив покриття на інтенсивність дихання та транспірацію за рахунок утворенню плівки над продихами. Покращення показнику забарвлення, імовірно, також може бути пов'язаним із сповільненням розкладання хлорофілів в умовах загального сповільнення

метаболізму.

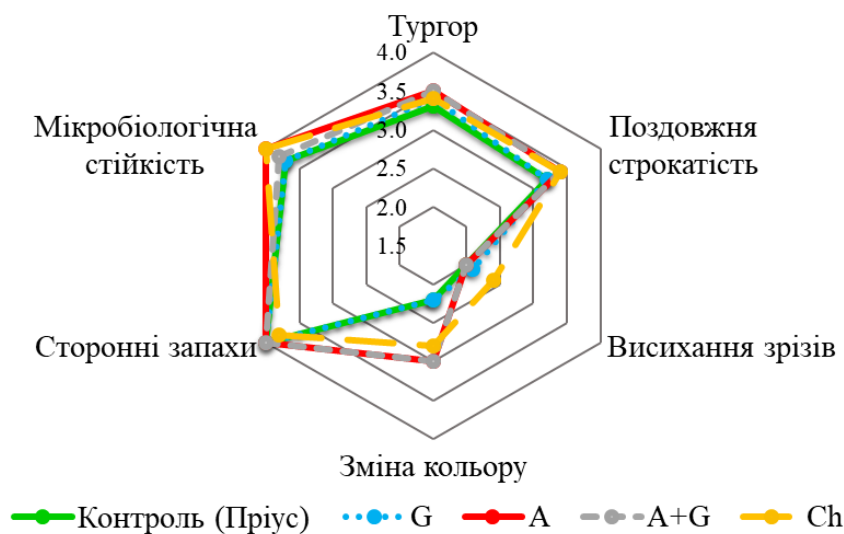


Рис. 3.4. Органолептична оцінка спаржі сорту Пріус на кінець зберігання при обробці біополімерними покриттями

Для покращення пластифікуючих властивостей покриття досліджували можливість введення до складу біополімеру гліцеролу. Введення гліцеролу в розчин альгінату натрію (A+G), хоча і сприяло формуванню плівок більш однорідної товщини, суттєво не вплинуло на товарну якість зразків та їх органолептичні показники порівняно з обробкою самостійним розчином альгінату натрію. Контрольна обробка пагонів гліцеролом так само не спричинила значущого впливу на якість спаржі. У випадку сорту Розалі втрати маси за такої обробки були навіть вищими, ніж у необроблених зразках. З огляду на відсутність позитивного впливу сумішей з гліцеролом також на динаміку інтенсивності дихання спаржі (Додаток Б), включення гліцеролу в подальшому не розглядалося як перспективний варіант післязбиральної обробки спаржі.

Оскільки дія біополімерних покриттів головним чином направлена на обмеження фізичних процесів транспірації з рослинної сировини, то для гальмування процесів післязбирального метаболізму високу ефективність показують біологічно активні речовини з антиоксидантними властивостями [3].

3.2. Вплив рутину на товарну якість і органолептичні показники пагонів спаржі

Обробка спаржі екзогенними антиоксидантами має високий потенціал для підтримання харчової цінності та товарної якості впродовж тривалого зберігання. Рутин, надзвичайно високий вміст якого є характерним для спаржі, також є потужним антиоксидантом, окрім того, пов'язаним із метаболізмом пігментів, що сприяє його пріоритетному вибору для обробки пагонів спаржі. В літературі описано також антимікробну дію покриття на основі хітозану, функціоналізованого рутином та рутин-індукованих плівок з хітозану і полівінілового спирту [4, 5]. Паралельно з підбором основи для біополімерного покриття, таким чином, важливо було оцінити вплив антиоксидантної складової (рутину) на ефективність зберігання спаржі та встановити його оптимальну концентрацію для післязбиральної обробки.

Згідно з отриманими даними, обробка пагонів спаржі розчинами з низькими концентраціями рутину (R), подібно до обробки біополімерами, дозволяє продовжити термін зберігання спаржі порівняно з необробленими зразками (Таблиця 3.2).

Якщо вихід стандартної продукції у контрольних зразках складає 81,2...84,9 % (залежно від сорту), то за рахунок використання рутину він може бути підвищений до 87,2...88,5%. Цікаво, що ефективність обробки рутином вища для сорту Розалі, ніж для сорту Пріус, як за загальним збільшенням стандартної продукції, так і за рахунок пропорційно меншої втрати маси.

При аналізі органолептичних показників (рис. 3.5 і 3.6), найбільш помітний вплив обробки рутином на підтримку тургору та кольору пагонів. Обробка 1 % та 1,5 % розчином рутину дозволила суттєво сповільнити втрату пружності, навіть незважаючи на довший термін зберігання, тоді як 0,5 %-й розчин, хоч і чинив позитивний вплив, не забезпечив максимальних показників.

Таблиця 3.2

**Товарна якість пагонів спаржі після зберігання обробки рутином, %
(2021 р.), $M \pm m$, $n = 5$**

Сорт	Варіант обробки	Тривалість зберігання, діб	Продукція, %		
			стандартна	нестандартна	відхід
Пріус	R, 0.5%	18	$87,98 \pm 1,48^*$	$6,17 \pm 0,54^*$	$2,49 \pm 0,76^*$
	R, 1%	18	$88,00 \pm 1,31^*$	$5,27 \pm 0,32^*$	$2,69 \pm 1,05^*$
	R, 1,5%	18	$88,5 \pm 1,28^*$	$5,11 \pm 0,46^*$	$3,18 \pm 0,89^*$
	Контроль	14	$81,20 \pm 1,16$	$14,62 \pm 0,98$	$0,35 \pm 0,19$
Розалі	R, 0.5%	18	$86,38 \pm 0,86$	$4,79 \pm 0,68^*$	$6,1 \pm 1,31$
	R, 1%	18	$87,14 \pm 0,78$	$4,24 \pm 0,52^*$	$5,2 \pm 1,18$
	R, 1,5%	18	$87,26 \pm 1,32$	$4,68 \pm 0,97^*$	$4,98 \pm 0,44$
	Контроль	14	$84,91 \pm 1,53$	$6,89 \pm 0,41$	$4,20 \pm 1,64$

Примітка. Розрахунки товарних показників проводились на кінець зберігання, з урахуванням природних втрат маси. * – різниця достовірна ($p \leq 0,05$) при порівнянні з контролем на добу вимірювання.

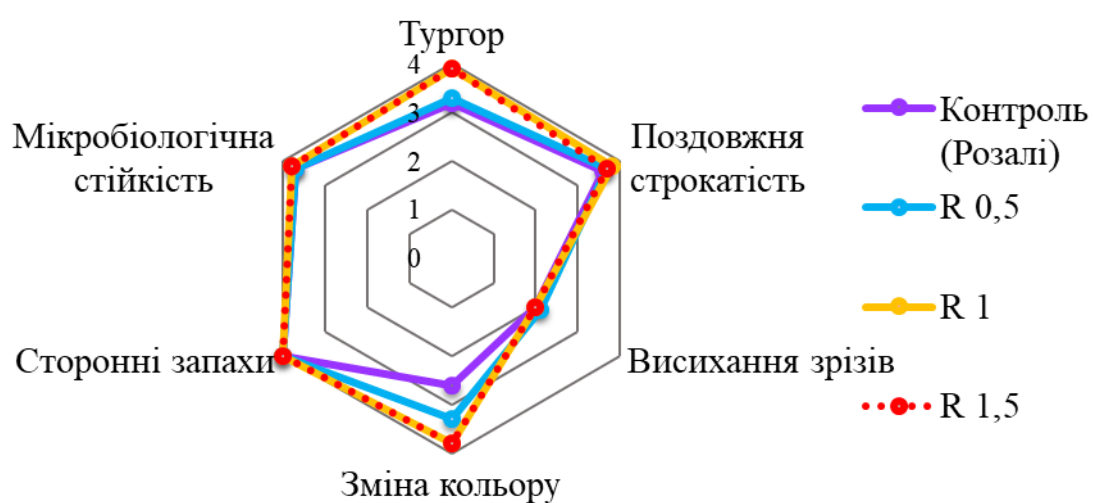


Рис. 3.5. Органолептична оцінка спаржі сорту Розалі на кінець зберігання при обробці рутином

Відмінності у зміні кольору також є суттєвими: в той час, як контрольний зразок спаржі сорту Пріус отримав на кінець зберігання 2,2 бали, використання рутину дозволило втримати даний показник на позначці 2,8 ... 3,3 бали (залежно від концентрації рутину в розчині). У випадку сорту Розалі, в якому контрольний показник склав 2,6 балів, використання рутину забезпечило досягнення 3,3 ... 3,8 бали на кінець зберігання.

Антиоксидантні властивості рутину сприяють підвищенню стабільності рослинних пігментів, зокрема хлорофілів та каротиноїдів, запобігаючи їх окислювальній деградації, що, імовірно, і спричиняє сповільнення зміни забарвлення пагонів спаржі.

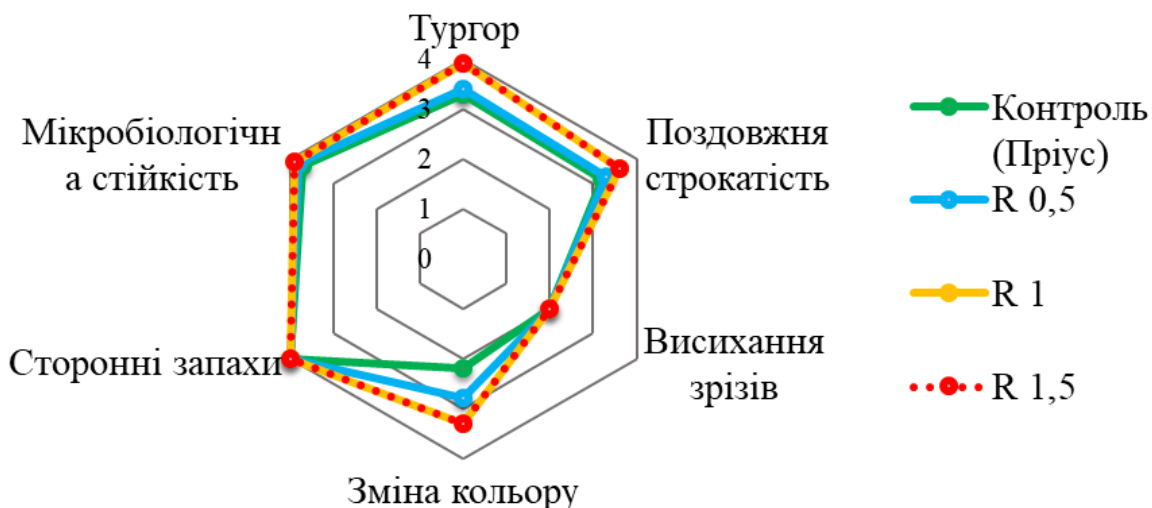


Рис. 3.6. Органолептична оцінка спаржі сорту Пріус на кінець зберігання при обробці рутином

Результати вимірювань вмісту хлорофілів (рис. 3.7) та каротиноїдів (рис. 3.8) на початок та на кінець зберігання спаржі обох сортів підтверджують позитивний вплив обробки рутином. Застосування 1 % та 1,5 % розчинів дозволяють підтримувати вміст хлорофілів на кінець зберігання на рівні в 1,8 – 2 рази вищому (залежно від сорту), ніж в контрольному зразку.

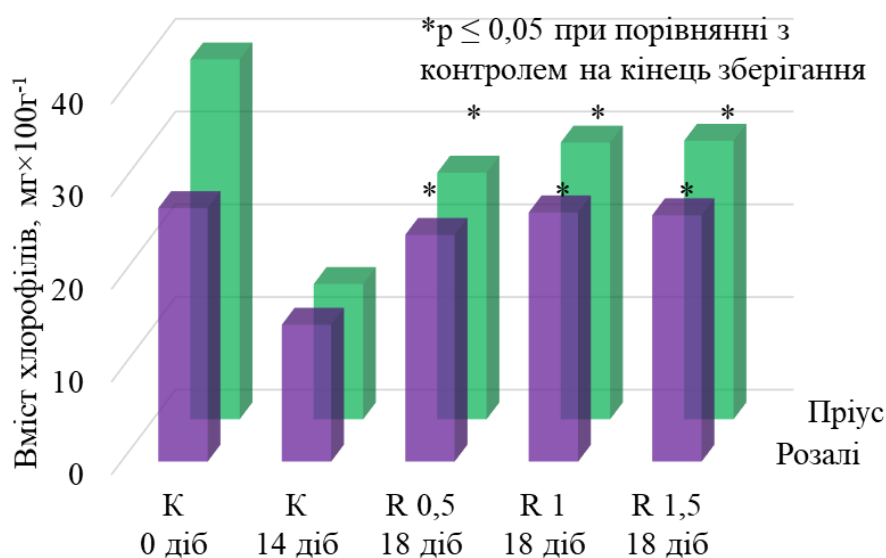


Рис. 3.7. Вміст хлорофілів у пагонах спаржі, оброблених рутином

Подібним чином, каротиноїди за обробки 1 %-м і 1,5 %-м розчином рутину зберігаються в 1,6 – 1,8 разів краще, ніж у необроблених зразках.

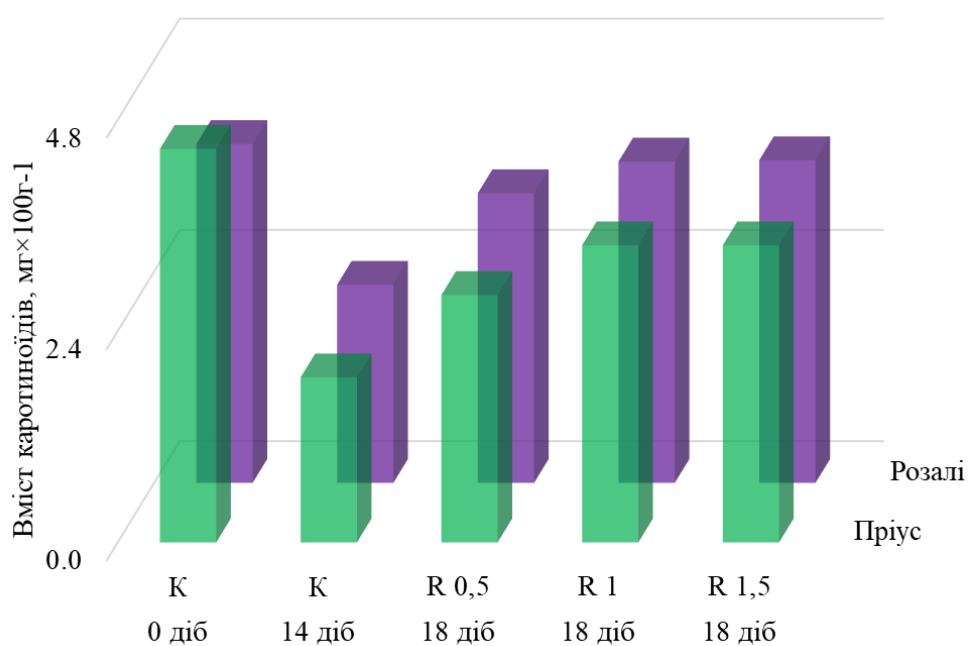


Рис. 3.8. Вміст каротиноїдів у пагонах спаржі, оброблених рутином

Згідно з отриманими даними, обробка 1,5 %-м розчином рутину не призводить до суттєвого поліпшення товарних та органолептичних показників спаржі відносно обробки 1 %-м розчином, а також підтримує вміст

пігментів на подібному до 1 % розчину рівні. В той же час, обробка спаржі (незалежно від сорту) 1 % та 1,5 %-м розчинами рутину призводять до кращих результатів порівняно з обробкою 0,5 %-м розчином. Таким чином, для подальшого дослідження синергетичних ефектів у комбінованому покритті концентрацію рутину в 1 % було обрано як оптимальну.

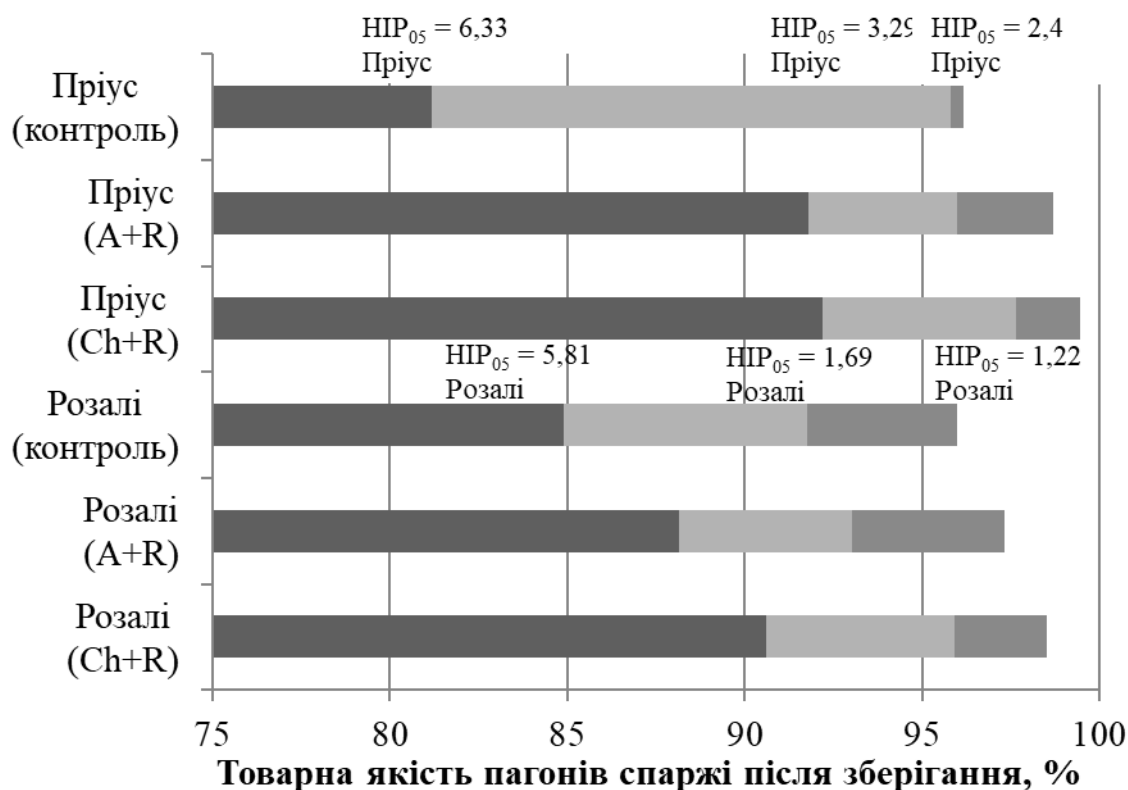
3.3. Вплив комбінованих біополімерних покриттів на товарну якість та органолептичні показники пагонів спаржі

На основі результатів попереднього дослідження не було виявлено вирішальної переваги покриттів на основі альгілату натрію або хітозану, таким чином, для оцінки впливу комплексних біополімерних покриттів на зберігання спаржі, були досліджені покриття на основі обох препаратів (A+R та Ch+R). Введення 1 % рутину до складу покриттів позитивно позначилось на тривалості зберігання спаржі незалежно від сорту і типу покриття, дозволивши продовжити терміни зберігання спаржі на тиждень відносно контрольної групи (на 4 доби відносно груп, оброблених лише альгілатом натрію або хітозаном).

Вихід стандартної продукції у спаржі, обробленої композицією альгілату і рутину після зберігання становив 88,14 ... 91,79 % (залежно від сорту), при довшому на 7 днів терміні зберігання. Вихід стандартної продукції у спаржі, обробленої композицією хітозану і рутину, в той же час, був дещо вищим, 90,9 ... 93,5 % (залежно від сорту). Зразки спаржі, обробленої захисними покриттями, також мали меншу частку нестандартної продукції, а кількість відходів не збільшилась на статистично значущу кількість при подовженому терміні зберігання (рис. 3.9, Додаток В), що свідчить на користь використання хітозану.

Повторні дослідження товарних показників спаржі, проведені у 2023 р., підтверджують високу ефективність покриття Ch+R: вихід стандартної продукції в обробленій спаржі становив 94,4 – 96,0 %, незважаючи на продовжений термін зберігання (Додаток В). Результати двофакторного

дисперсійного аналізу демонструють, що вплив сорту на товарність спаржі несуттєвий (частка впливу 0,1 %), а застосування покриття Ch + R має, натомість, вирішальний вплив – 85,2 % (рис. 3.10).



контроль - на 14 добу, дослідні зразки - на 22 добу
 ■ стандартна продукція ■ нестандартна продукція ■ відходи

Рис. 3.9. Товарність спаржі, обробленої комбінованими препаратами. Показники представлені з урахуванням природних втрат маси.

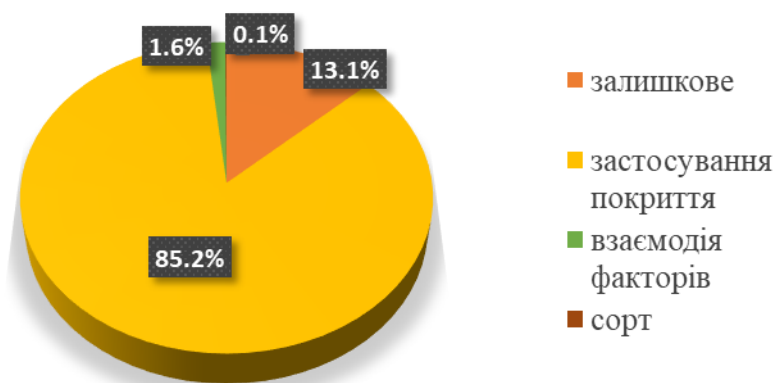


Рис. 3.10. Частка впливу факторів (сортоспецифічність та використання обробки) на товарність спаржі після зберігання

Покриття Ch+R, що дозволяє підтримувати високий вихід стандартної продукції після трьох тижнів зберігання спаржі, є наразі найефективнішим з описаних в літературі їстівних покриттів, що застосовуються до спаржі. Хоча у роботі Qiu et al. покрити хітозаном спаржу і зберігали довше (протягом 28 діб), загальні показники товарної якості в цьому дослідженні, сфокусованому на оцінці мікробіологічних уражень, не описані [6].

Щодо органолептичних показників, всі дослідні зразки, подібно до ефекту простих покриттів, показали більшу площу профілограми порівно з контролем (рис. 3.11 і 3.12).

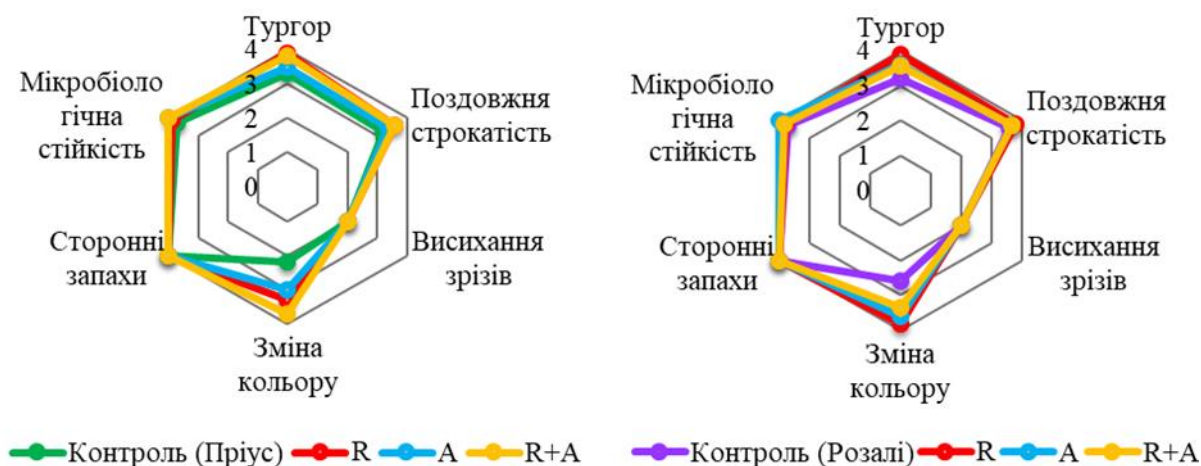


Рис. 3.11. Органолептична оцінка спаржі, обробленої препаратами на основі альгінату натрію, на кінець зберігання

Застосування досліджуваних варіантів обробки дозволило практично уникнути утворення поздовжньої строкатості, до якої схильні пагони сорту Пріус, а також жоден з оброблених зразків не мав відмінностей у запаху притаманному свіжій спаржі. Комбіновані біополімерні їстівні покриття дозволяють ефективно підтримувати тургор пагонів спаржі навіть за продовженого зберігання, а також позитивно впливають на збереженість сталого кольору подібно до ефекту рутину.

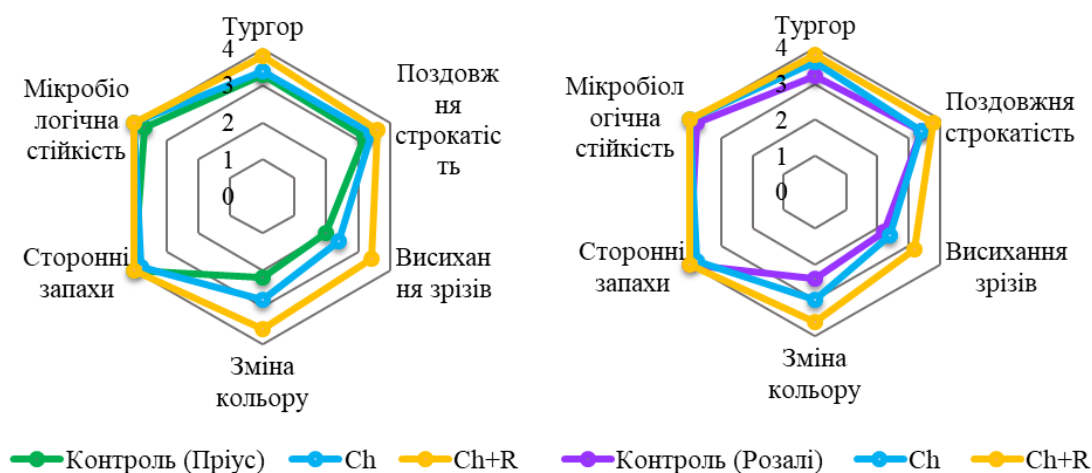


Рис. 3.12. Органолептична оцінка спаржі, обробленої препаратами на основі хітозану, на кінець зберігання

Застосування досліджуваних варіантів обробки дозволило практично уникнути утворення поздовжньої строкатості, до якої схильні пагони сорту Приус, а також жоден з оброблених зразків не мав відмінностей у запаху притаманному свіжій спаржі. Комбіновані біополімерні їстівні покриття дозволяють ефективно підтримувати тургор пагонів спаржі навіть за продовженого зберігання, а також позитивно впливають на збереженість сталого кольору подібно до ефекту рутину.

Найбільше знижує загальну органолептичну оцінку показник висихання основ (місце зрізу). Через використання косого (похилого) зрізу при збиранні пагонів площа випаровування вологи є досить високою, що сприяє швидкому висиханню. Поєднання альгінату натрію та рутину не мало суттєвого ефекту на даний показник (рис. 3.11), що суттєво знижує загальну оцінку, отриману зразками після зберігання.

Більшу площу сенсорної профілограми мають зразки спаржі з покриттям Ch+R (рис. 3.12) – навіть на 22 добу зберігання вони мали на 0,6 бали вищу загальну оцінку, ніж контрольні зразки на 14 добу. Це головним чином обумовлено зменшенням висихання основ порівняно з контролем. Подібні результати отримали Villanueva et al. [7] при зберіганні спаржі при 2 °C в

умовах модифікованої атмосфери.

Композиція Ch+R серед досліджуваних композицій, має найкращий ефект на органолептичні показники якості спаржі обох сортів під час зберігання.

3.4. Вплив комбінованих біополімерних покриттів на інтенсивність дихання та динаміку втрати маси при зберіганні спаржі

Одним зі способів скорочення втрат під час зберігання плодовоовочевої продукції є зменшення природних втрат маси внаслідок сповільнення процесів дихання і транспірації. Процес транспірації відбувається внаслідок градієнту тиску водяної пари між пагонами та навколишнім повітрям, і для пагонів спаржі типова висока інтенсивність процесів випаровування [8]. Оскільки товщина шару епідермісу чинить прямий вплив на ефективність випаровування, інтенсивність транспірації може залежати від сортових особливостей.

Інтенсивність газообміну пагонів в момент закладання на зберігання та динаміка дихальних процесів впродовж зберігання також мають сортову специфіку. Для різних сортів спаржі описані в літературі тренди різняться, хоча більшість авторів відмічає подібність динаміки інтенсивності дихання на початкових стадіях. Зокрема, респіраторний метаболізм знижується одразу після закладки (як реакція на охолодження) з послідуєчим зростанням через кілька діб зберігання та новим падінням. Динаміки інтенсивності дихання під час зберігання спаржі з поступовим зростанням дихальної активності описані у ряді робіт [9–11], проте деякі дослідники навпаки не фіксували зростання дихальної активності на завершальній стадії зберігання спаржі [12, 13] або описували подальші коливання [14]. Verlinden et al. [15] показали, що інтенсивність дихання різних сегментів пагонів спаржі також може бути різною.

Згідно з нашими результатами, зелена спаржа сорту Пріус демонструвала вищу інтенсивність дихання протягом всього періоду

зберігання. Характер респіраторного метаболізму, однак, був подібним для обох сортів (рис.3.13, Додаток Б5). Рівень дихальної активності загалом є близьким до описаної у Park et al. [10].

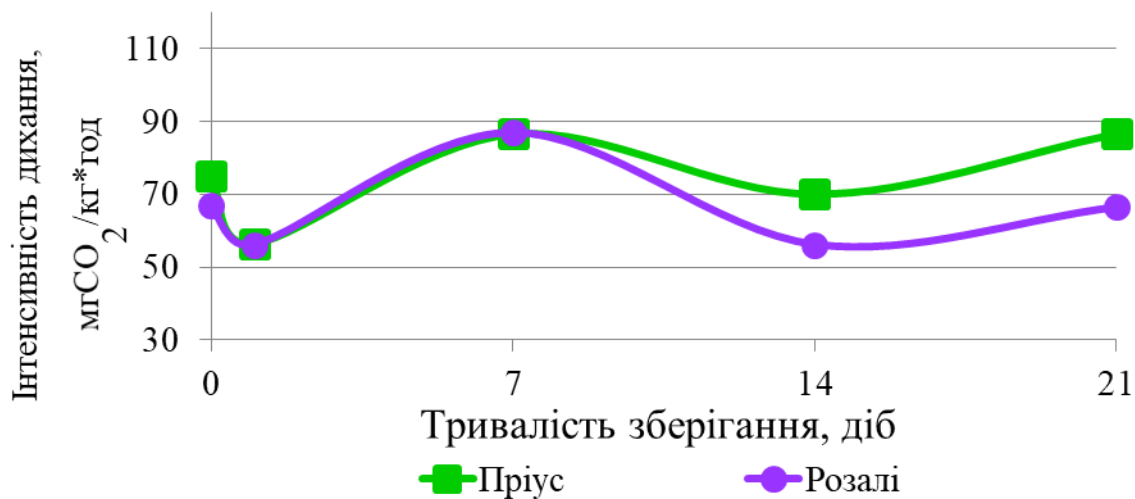


Рис. 3.13. Динаміка інтенсивності дихання пагонів спаржі різних сортів

Літературні джерела вказують на те, що застосування їстівних покриттів може призводити до зниження частоти дихання [16, 17]. Наші дані стосовно обробки пагонів спаржі розчинами на основі альгінату натрію та хітозану (рис. 3.14, Додаток Б) підтверджують їх вплив на зниження інтенсивності респіраторного метаболізму відносно контрольних зразків.

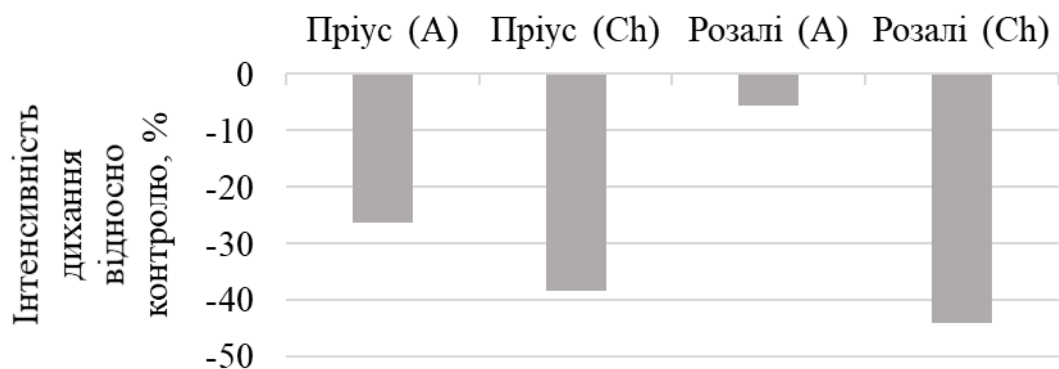


Рис. 3.14. Вплив обробки альгінатом (A) та хітозаном (Ch) на інтенсивність дихання пагонів спаржі. Значення інтенсивності дихання на 7й день зберігання нормовані на відповідне значення у контрольному зразку

Так, на 7й день після початку зберігання, інтенсивність дихання пагонів сорту Пріус відносно контрольної групи знижується на 26 % при обробці альгінатом та на 38% при обробці хітозаном. У випадку спаржі сорту Розалі за аналогічних умов спостерігається падіння на 5,5 % та 44 % при обробці альгінатом або хітозаном, відповідно.

Встановлено, що при обробці спаржі хітозаном, крім зниження інтенсивності дихання відбувається відсування моменту максимального її зростання на більш пізній період. Такий ефект спостерігається як у випадку спаржі сорту Розалі (рис. 3.15), так і у спаржі сорту Пріус (рис. 3.16).

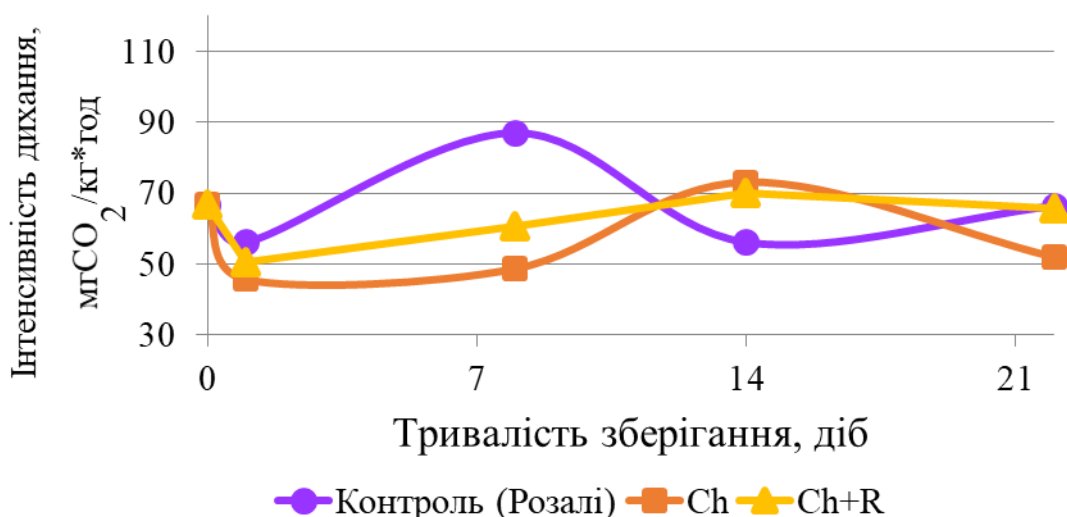


Рис. 3.15. Динаміка інтенсивності дихання пагонів спаржі сорту Розалі за обробки покриттями на основі хітозану

Подібним чином, незалежно від досліджуваного сорту, спаржа, оброблена покриттям Ch+R, взагалі не демонструвала вираженого підйому інтенсивності дихання впродовж перших двох тижнів. Така динаміка інтенсивності газообміну вказує на більш рівномірне протікання метаболічних процесів у клітинах спаржі. Такий ефект може бути пояснено антиоксидантною дією рутину, який (як і інші флавоноїди) є уловлювачем кисневих аніон-радикалів, що накопичуються внаслідок природних процесів старіння.

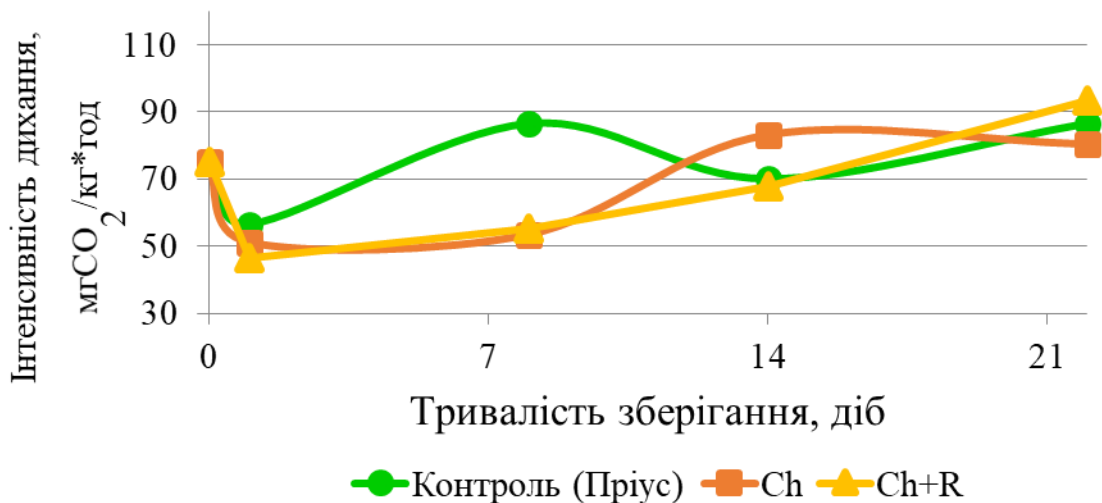


Рис. 3.16. Динаміка інтенсивності дихання пагонів спаржі сорту Пріус за обробки покриттями на основі хітозану

Катаболічні процеси, що протікають у пагонах спаржі, спричиняють втрати маси під час зберігання за рахунок використання залучених до них субстратів. Загальноприйнятою є думка, що втрати маси на 25 % складаються з втрати речовин у процесі дихання та на 75 % – з втрат вологи при транспірації. Однак, наряду з цим, маса зразків також може знижуватись через гниття продукції та її мікробіологічне ураження.

За нашими даними, необроблена спаржа за 14 діб зберігання втрачає 8,3 – 8,8 % ваги (залежно від сорту). Втрати маси спаржі при зберіганні в різних умовах різняться. Albanese et al. [18] спостерігали 27,2 % втрату ваги у неупакованих зразках за 21 день зберігання. А спаржа, упакована у напівпроникну плівку або попередньо оброблена антиоксидантним розчином, втратила близько 6,8 % та 5,2 %. На противагу цьому, Wang et al. [19] стверджує, що за 30 діб зберігання втрати маси необробленої спаржі складали лише 7,7 %, тоді як зразки, оброблені холестерином, втратили 4,8 %.

Незважаючи на вищу інтенсивність дихання спаржі сорту Пріус, виміряні втрати маси в сортів Пріус та Розалі достовірно не розрізняються. Помітна різниця у втраті маси залежно від сорту спостерігається лише після першої доби зберігання, коли середньодобові втрати маси найбільші, проте

потім відмінності зникають. Можна припустити, що різниця, спричинена вищою інтенсивністю дихання у спаржі сорту Пріус, нівелюється за рахунок вищої транспірації у сорту Розалі. Двофакторний аналіз впливу сорту та обробки сумішшю Ch+R на втрати маси довів, що фактор сорту має значущість, але його вплив складає лише 0,7 %. Вплив фактору обробки в цьому випадку становить 98,1 %, а взаємодія факторів несуттєва (рис. 3.17).

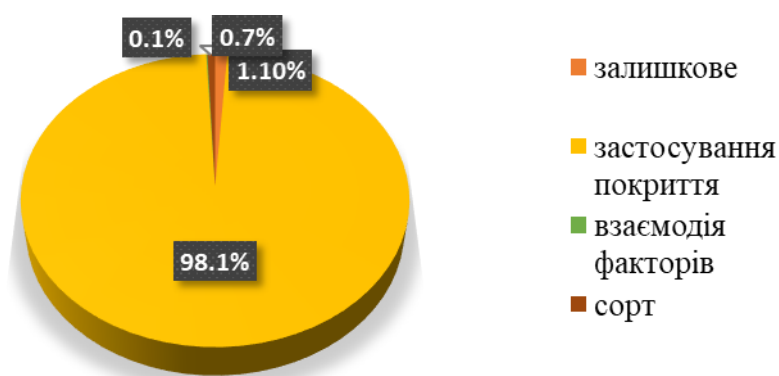


Рис. 3.17. Частка впливу факторів (сортоспецифічність та використання обробки) на втрату маси спаржі впродовж 14 діб зберігання

Нанесення покриття, що покриває продихи, сповільнюючи процеси транспірації та створюючи бар'єр для газообміну, закономірно сприяє також зменшенню втрати маси. Так, за нашими даними, обробка спаржі розчином альгінату натрію дозволила скоротити втрати маси на 14 добу (коли контроль знімали зі зберігання) в 1,8 рази для сорту Розалі та 1,5 рази для сорту Пріус. Подібний рівень скорочення втрати маси описано при застосуванні альгінатних покриттів для зберігання сливи [20].

Комбіноване біополімерне покриття A + R, діє ефективніше, зменшуючи втрати маси в 1,9 рази для сорту Пріус та в 2,2 рази для Розалі (рис. 3.18, Додаток Г). Доведено, що екзогенні антиоксиданти дозволяють скорочувати втрати сухих речовин через інгібування інтенсивності дихальних процесів [21], тож цілком логічним є те, що і включення антиоксиданту в склад покриття також сприяє скороченню втрат маси.

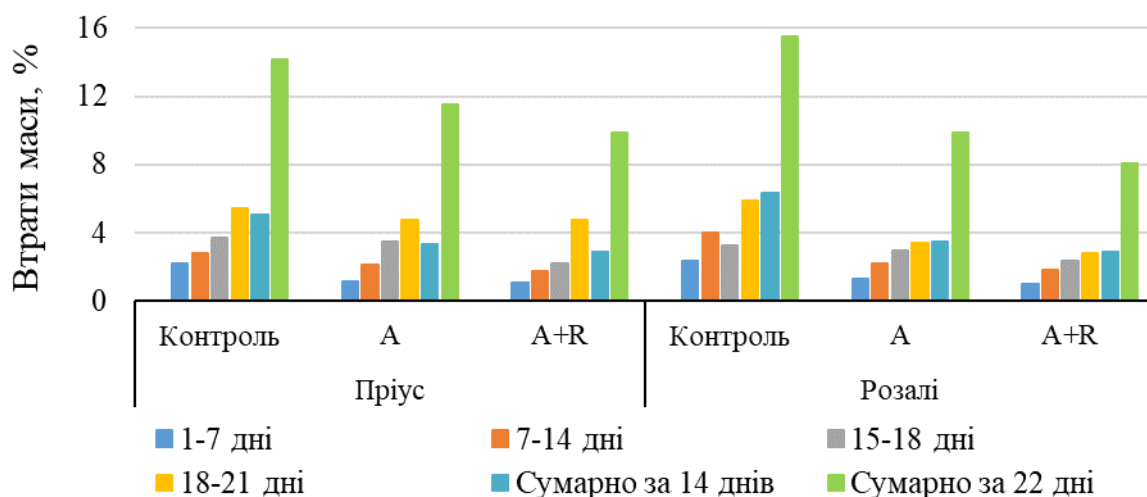


Рис. 3.18. Динаміка втрати маси при зберіганні спаржі, обробленої 1 % розчином альгілату натрію (A) або комбінованим препаратом A+R (1 % альгінат та 1 % рутин)

Покриття на основі хітозану демонструють вплив на втрати маси під час зберігання подібний до впливу покриттів на основі альгілату натрію (рис. 3.19).

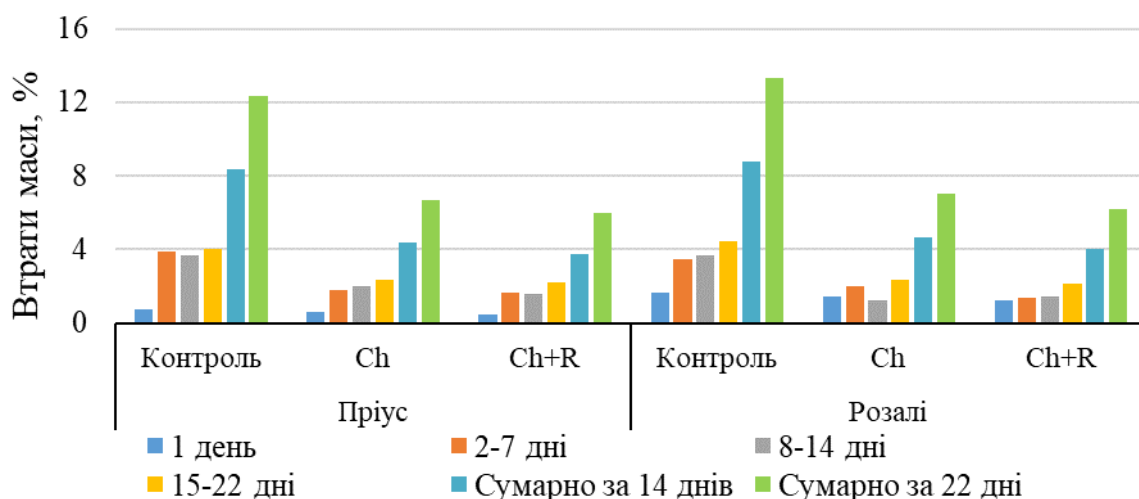


Рис. 3.19. Динаміка втрати маси при зберіганні спаржі, обробленої 1 % розчином хітозану (Ch) або комбінованим препаратом Ch+R (1 % хітозан та 1 % рутин)

Так, спаржа з покриттям Ch демонструвала втрати, нижчі в 1,8–1,9 рази, ніж в контролі. Покриття спаржі композицією Ch + R дозволило скоротити

втрати маси вдвічі. Отримані результати узгоджуються з висновками Divya et al. [22] про високу ефективність хітозанових плівок для скорочення втрат маси продукції.

Досягнуте скорочення втрат маси в оброблених зразках без сумнівів позитивно відображається на збільшенні виходу стандартної продукції після зберігання, що був розглянутий вище. Таким чином, показано, що використання покриттів на основі альгінату натрію та хітозану сприяє продовженню термінів зберігання пагонів спаржі та підтриманню її якісних показників. На основі аналізу отриманих даних, композиції з хітозаном були визнані більш придатними для обробки спаржі, ніж композиції з альгінатом натрію, завдяки більш вираженому ефекту на підтримку товарної якості, зокрема завдяки впливу на інтенсивність дихання та підтримку тургору, збереженість пігментів, сповільнення висихання зрізів та розвитку поздовжньої строкатості.

Вплив обробки пагонів спаржі композицією з хітозаном і рутином на динаміку хімічних речовин спаржі був вивчений на наступному етапі дослідження. Основні результати досліджень, представлені в розділі 3, опубліковано в роботах [23–25].

Висновки до розділу 3

1. Використання біополімерів альгінату натрію або хітозану як біополімерних покриттів при зберіганні пагонів спаржі сортів Пріус та Розалі дозволяє продовжити терміни зберігання відносно контролю та збільшити вихід стандартної продукції. Утворені плівки знижують інтенсивність дихання та транспірації оброблених зразків, сприяючи таким чином і зниженню втрат маси в 1,5–1,9 разів відносно контролю залежно від сорту та типу покриття.

2. Показано, що обробка пагонів рутином також сприяє продовженню термінів зберігання продукції, водночас позитивно впливаючи на органолептичні показники, зокрема, колір та тургор, завдяки антиоксидантній дії рутину. Концентрація рутину в 1 % визначена як достатня для досягнення

максимального ефекту від обробки.

3. Досліджено вплив покриттів, що містять комбінацію біополімерів та антиоксиданту рутину, на товарні та фізичні показники спаржі під час холодильного зберігання. Визначено композиції, за використання яких терміни зберігання спаржі обох сортів можуть бути продовжені на тиждень порівняно з контролем (1 % альгінат натрію + 1 % рутин та 1 % хітозан + 1 % рутин).

4. Оцінено варіативність впливу досліджуваних покриттів залежно від сорту спаржі. Показано, що вплив сортових особливостей на товарні показники та втрату маси під час зберігання є незначним, тоді як використання покриттів дозволяє достовірно збільшити вихід стандартної продукції на 4–7% залежно від складу покриття навіть при подовженому терміні зберігання.

5. Показано, що комбіноване біополімерне покриття, яка включало 1 % рутину та 1 % хітозану (Ch+R), забезпечило обробленим пагонам спаржі найкращу товарність та найвищі органолептичні показники. Дана композиція, таким чином, є перспективною для подовження термінів холодильного зберігання спаржі із збереженням якості продукції, і була обрана для подальшої оцінки впливу такої обробки на хімічний склад та біологічну цінність спаржі.

Список літератури до розділу 3

1. ДСТУ 293-91. Спаржа овочева свіжа. Технічні умови. (2008). Київ, 10с.
2. Tran, Y. T. N., Nguyen, A. T. T., & Bui, A. N. N. (2020). A Study of Asparagus Preservation Capacity of Chitosan-Alginate and Chitosan-Carrageenan Biofilms. *Journal of Food Engineering and Technology*, 9(2), 89–94. <https://doi.org/10.32732/jfet.2020.9.2.89>
3. Прісс, О. П. (2017). Наукові основи зберігання плодових овочів з використанням обробки біологічно активними речовинами: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.18.13 / Прісс Олеся Петрівна; Нац. ун-т харч. техн. – Київ, 2017.

4. Narasagoudr, S. S., Hegde, V. G., Chougale, R. B., Masti, S. P., Vootla, S., & Malabadi, R. B. (2020). Physico-chemical and functional properties of rutin induced chitosan/poly (vinyl alcohol) bioactive films for food packaging applications. *Food Hydrocolloids*, 109, 106096. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106096>
5. Sousa, F., Guebitz, G. M., & Kokol, V. (2009). Antimicrobial and antioxidant properties of chitosan enzymatically functionalized with flavonoids. *Process Biochemistry*, 44(7), 749–756. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2009.03.009>
6. Qiu, M., Wu, C., Ren, G., Liang, X., Wang, X., & Huang, J. (2014). Effect of chitosan and its derivatives as antifungal and preservative agents on postharvest green asparagus. *Food Chemistry*, 155, 105–111. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.026>
7. Villanueva, M. J. J., Tenorio, M. D. D., Sagardoy, M., Redondo, A., & Saco, M. D. D. (2005). Physical, chemical, histological and microbiological changes in fresh green asparagus (*Asparagus officinalis*, L.) stored in modified atmosphere packaging. *Food Chemistry*, 91(4), 609–619. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.06.030>
8. Díaz-Pérez, J. C. (2018). Transpiration. In *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables* (pp. 157–173). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00008-7>
9. Zhang, P., Zhang, M., Wang, S., & Wu, Z. (2012). Effect of 1-methylcyclopropene treatment on green asparagus quality during cold storage. *International Agrophysics*, 26(4), 407–411. <https://doi.org/10.2478/v10247-012-0057-z>
10. Park, M. H. (2016). Sucrose delays senescence and preserves functional compounds in *Asparagus officinalis* L. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 480(2), 241–247. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2016.10.036>
11. Li, W., Zhang, M., & Yu, H. Q. (2006). Study on hypobaric storage of

green asparagus. *Journal of Food Engineering*, 73(3), 225–230.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.01.024>

12. Wang, J., & Fan, L. (2019). Effect of ultrasound treatment on microbial inhibition and quality maintenance of green asparagus during cold storage. *Ultrasonics sonochemistry*, 58, 104631.
<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104631>

13. Wang, M., Li, J., & Fan, L. (2022). Quality changes in fresh-cut asparagus with ultrasonic-assisted washing combined with cinnamon essential oil fumigation. *Postharvest Biology and Technology*, 187(November 2021), 111873.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.111873>

14. Anastasiadi, M., Collings, E. R., Shivembe, A., Qian, B., & Terry, L. A. (2020). Seasonal and temporal changes during storage affect quality attributes of green asparagus. *Postharvest Biology and Technology*, 159, 111017.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111017>

15. Verlinden, S., Silva, S. M., Herner, R. C., & Beaudry, R. M. (2014). Time-dependent changes in the longitudinal sugar and respiratory profiles of asparagus spears during storage at 0 °C. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 139(4), 339–348. <https://doi.org/10.21273/jashs.139.4.339>

16. Duan, C., Meng, X., Meng, J., Khan, M. I. H., Dai, L., Khan, A., An, X., Zhang, J., Huq, T., & Ni, Y. (2019). Chitosan as A Preservative for Fruits and Vegetables: A Review on Chemistry and Antimicrobial Properties. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 4(1), 11–21. <https://doi.org/10.21967/jbb.v4i1.189>

17. Maringgal, B., Hashim, N., Mohamed Amin Tawakkal, I. S., & Muda Mohamed, M. T. (2020). Recent advance in edible coating and its effect on fresh/fresh-cut fruits quality. *Trends in Food Science & Technology*, 96, 253–267.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.024>

18. Albanese, D., Russo, L., Cinquanta, L., Brasiello, A., & Di Matteo, M. (2007). Physical and chemical changes in minimally processed green asparagus during cold-storage. *Food Chemistry*, 101(1), 274–280.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.048>

19. Wang, X., Gu, S., Chen, B., Huang, J., & Xing, J. (2017). Effect of postharvest L-arginine or cholesterol treatment on the quality of green asparagus (*Asparagus officinalis* L.) spears during low temperature storage. *Scientia Horticulturae*, 225, 788–794. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.07.058>
20. Valero, D., Díaz-Mula, H. M., Zapata, P. J., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Castillo, S., & Serrano, M. (2013). Effects of alginate edible coating on preserving fruit quality in four plum cultivars during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, 77, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.10.011>
21. Priss, O. (2015). Effect of heat treatment with antioxidants on respiratory substrates during storage of cucumbers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(10), 19–25. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.44240>
22. Divya, K., Smitha, V., & Jisha, M. S. (2018). Antifungal, antioxidant and cytotoxic activities of chitosan nanoparticles and its use as an edible coating on vegetables. *International Journal of Biological Macromolecules*, 114, 572–577. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.03.130>
23. Priss, O. P., Sukhenko, V. Y., & Bulhakov, P. O. (2023). Asparagus Dry Soluble and Insoluble Matter During Storage. *Scientific bulletin of the Tavria State Agrotechnological University*, 1(13), 1–10. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2023-1-24>
24. Priss, O. P., Bulhakov, P., Kolisnychenko, T. O., & Gazzavi-Rogozina, L. V. (2023). Using Protective Coating for Reduction of Losses While Storing Asparagus. *Proceedings of Tavria State Agrotechnological University*, 1(23), 188–198. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-2023-23-1-188-198>
25. Priss, O., Hutsol, T., Glowacki, S., Bulhakov, P., Bakhlukova, K., Osokina, N., Nurek, T., Horetska, I., & Mykhailova, L. (2024). Effect of Asparagus Chitosan-Rutin Coating on Losses and Waste Reduction During Storage. *Agricultural Engineering*, 28(1), 99–118. <https://doi.org/10.2478/agriceng-2024-0008>

РОЗДІЛ 4.

ЗМІНА КОМПОНЕНТІВ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ПАГОНІВ СПАРЖІ ЗА ДІЇ КОМБІНОВАНОГО БІОПОЛІМЕРНОГО ПОКРИТТЯ ПІД ЧАС ЗБЕРІГАННЯ

4.1. Динаміка вмісту сухої речовини в пагонах спаржі під час зберігання

Швидкість зниження вмісту сухих речовин відображає інтенсивність протікання біохімічних реакцій в спаржі під час зберігання. За рахунок високої інтенсивності процесів транспірації у пагонах на початковій стадії зберігання відбувається відносно концентрування сухих речовин. Таким чином, втрати сухих речовин можуть видатися незначущими. Проте, якщо провести перерахунок на початкову масу та урахувати втрати сухих речовин через дихання у межах 5 % від загальних втрат маси [1], спостерігається поступове зниження кількості сухих речовин (рис. 4.1, Додаток Г).

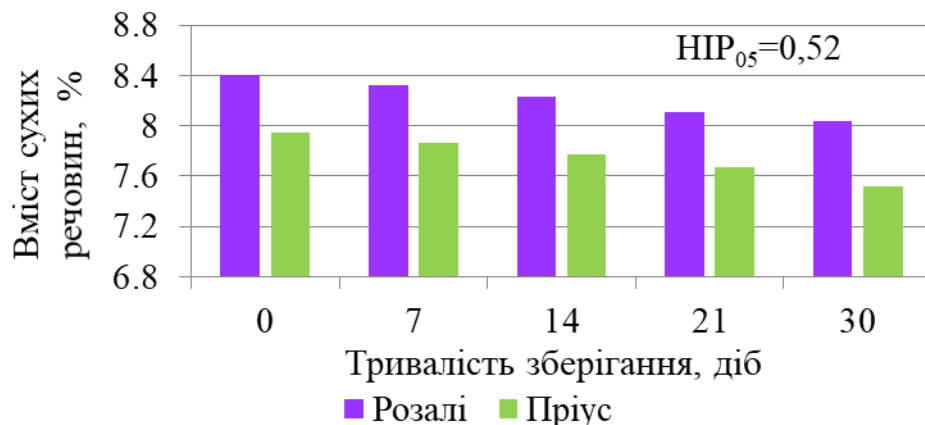


Рис. 4.1. Динаміка вмісту сухих речовин в спаржі сортів Пріус та Розалі за подовженого холодильного зберігання

Така динаміка є закономірною, адже для підтримки життєдіяльності рослини у післязбиральний період відбувається постійний катаболізм запасних речовин. Між респіраторним метаболізмом та вмістом сухих речовин

для сорту Пріус спостерігається тісний обернений кореляційний зв'язок ($r = -0,97$). Зміна характеру дихальної активності на кінцевому етапі зберігання (після 21-ї доби, Додаток Б) зменшила корелятивність цих показників для сорту Розалі до $r = -0,59$.

Частка сухих розчинних речовин серед пулу сухих речовин суттєво відрізнялася залежно від сорту спаржі. У пагонах сорту Розалі вона досягала майже 87 %, тоді як для сорту Пріус – лише 62 % вмісту сухих речовин. У наших дослідженнях, сорт Розалі містив $7,30 \pm 0,09$, а сорт Пріус – $4,90 \pm 0,08$ °Вріх (рис 4.2).

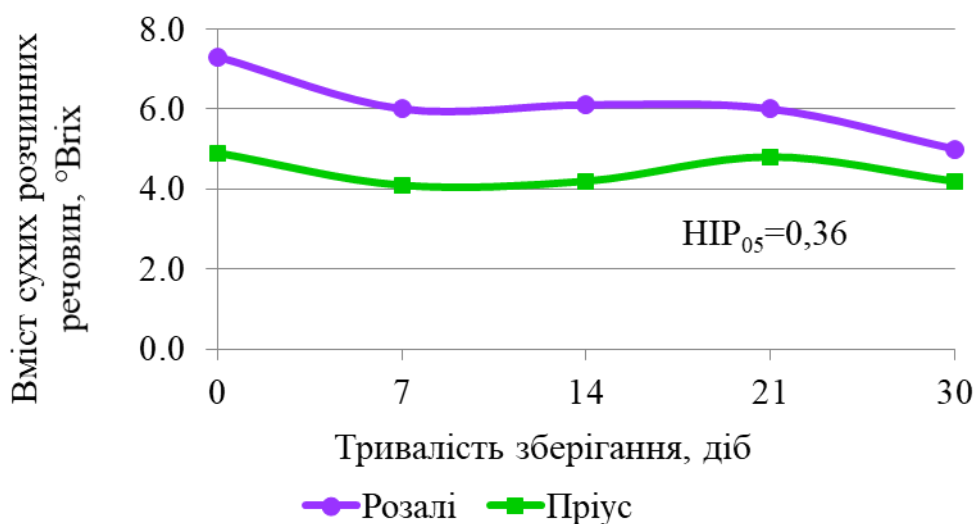


Рис. 4.2. Динаміка змін вмісту сухих розчинних речовин під час зберігання спаржі залежно від сорту

В різних сортах зеленої спаржі повідомлялося про вміст сухих розчинних речовин біля 5 %, що лінійно спадає при зберіганні [2]. Однак, у сортах Розалі і Пріус вміст сухих розчинних речовин знижувався нелінійно: швидкість втрат більш виражена впродовж перших двох тижнів зберігання. Отриманий тренд є подібним до описаного в літературі [3]. В кількох джерелах повідомлялось про нелінійні зміни вмісту простих сахаридів при зберіганні спаржі [3–5]. Оскільки прості сахариди є водорозчинними, отриманий нами характер зниження вмісту сухих розчинних речовин може бути пов'язаний з

перебудовою саме у складі сахаридного комплексу.

Повторний експеримент 2023-го року підтвердив спостережений тренд зниження вмісту сухих розчинних речовин, хоча сортоспецифічність була менш вираженою (сорт Розалі на початок зберігання мав вищий відсотковий вміст розчинних речовин лише на 0,3 одиниці). Обробка зразків біополімерними покриттями на основі хітозану, в той же час, дозволила суттєво сповільнити втрати сухих розчинних речовин: на 14-й день вони залишаються незначущими порівняно з початком зберігання (рис. 4.3 і 4.4).

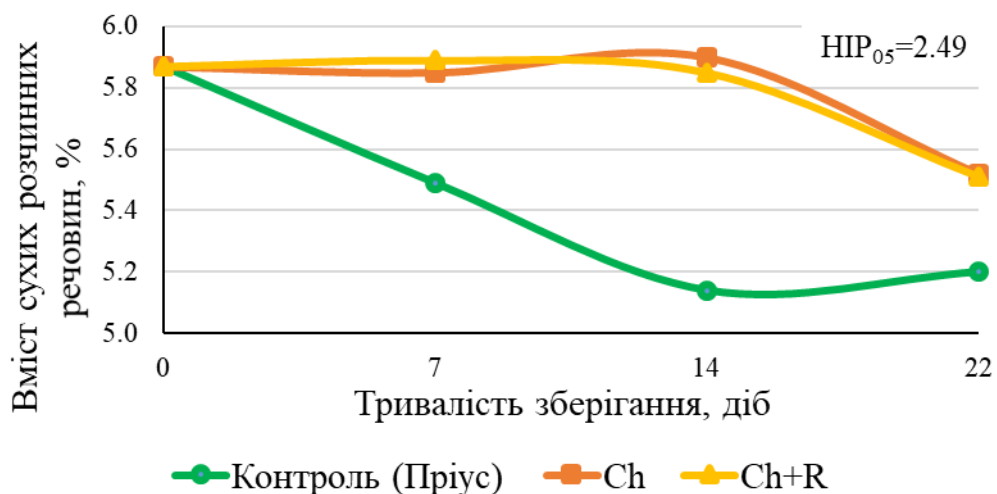


Рис. 4.3. Динаміка зміни загального вмісту розчинних речовин в спаржі сорту Приус під час зберігання з використанням покриттів

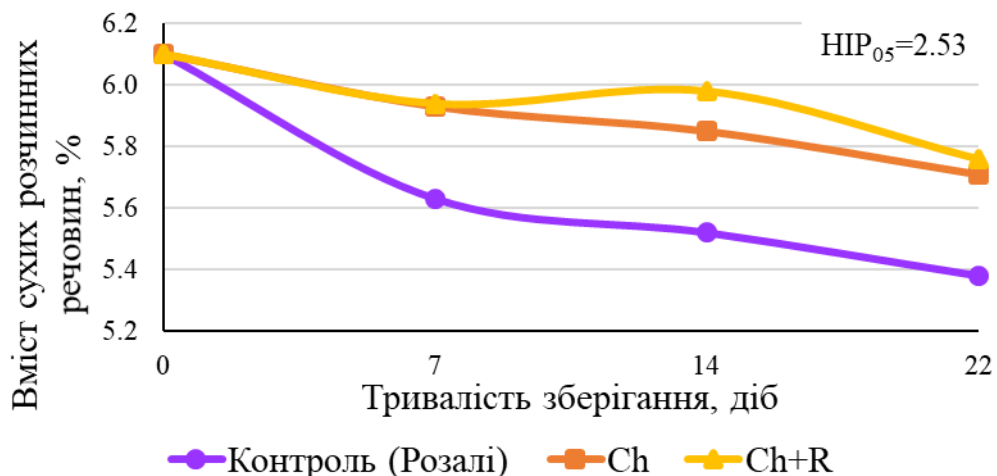


Рис. 4.4. Динаміка зміни загального вмісту розчинних речовин в спаржі

сорту Розалі під час зберігання з використанням покриттів

4.2. Динаміка вмісту цукрів в пагонах спаржі під час зберігання

Вміст розчинних сахаридів в спаржі може змінюватися в залежності від умов вирощування та сортової специфіки [6]. Головним чином в спаржі міститься глюкоза, фруктоза і сахароза [6]. Проте, в шести зелених і двох пурпурних сортах спаржі Slatnar et al. ідентифікували тільки глюкозу і фруктозу [7]. В наших дослідженнях також не було ідентифіковано сахарозу і було підтверджено наявність лише глюкози та фруктози.

Досліджувані нами сорти Пріус та Розалі значно відрізняються за вмістом розчинних вуглеводів. Більш того, за нашими даними, характер зміни вмісту цукрів під час зберігання спаржі різних сортів відрізняється. Якщо у спаржі сорту Пріус вміст глюкози і фруктози знижується під час зберігання (рис. 4.5), то у спаржі сорту Розалі вміст цукрів зростає наприкінці зберігання (рис. 4.6, Додаток Д).

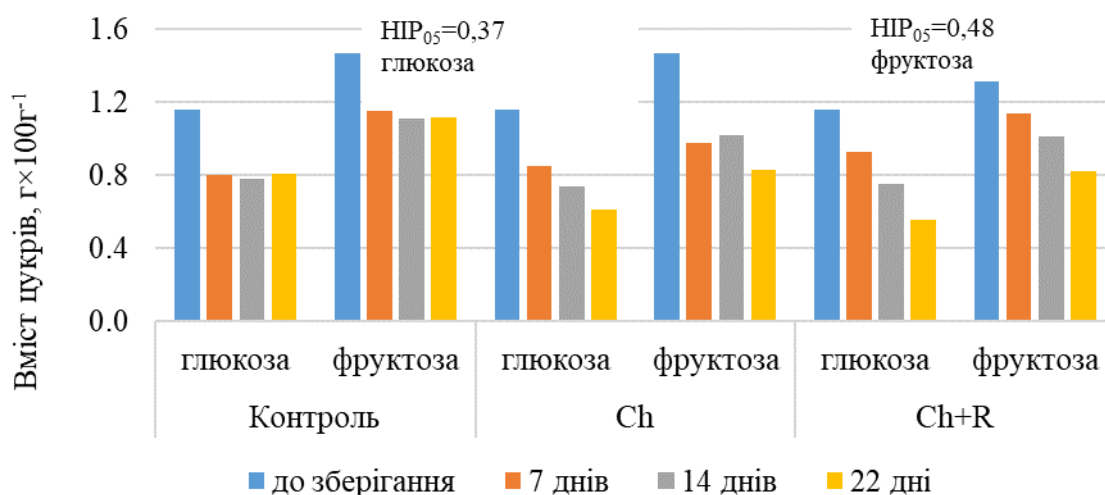


Рис. 4.5. Динаміка змін вмісту цукрів в спаржі сорту Пріус під час зберігання з використанням біополімерних покриттів

Більшість літературних джерел загалом описують постійне зниження цукрів при зберіганні [4, 8]. Проте, тенденцію до підвищення вмісту глюкози і

фруктози під час зберігання спаржі при 4 °C описують, наприклад, японські дослідники [9]. Sergio et al. показав, що при зберіганні фіолетової спаржі Purple Passion при 4 °C вміст глюкози і фруктози знизився, а сахарози збільшився приблизно на 40 % через 14 днів [10]. Anastasiadi et al. продемонстрували зростання сахарози під час зберігання спаржі при 7 °C та зробили припущення, що диференціація профілів цукру під час зберігання може бути пов'язана з відмінностями в освітленні та температурі [11]. Крім того, відмінності сортів можуть бути значним фактором, що впливає на метаболізм цукру. Наші результати підтверджують гіпотезу про сорто-специфічний характер зміни вмісту розчинних вуглеводів під час зберігання.

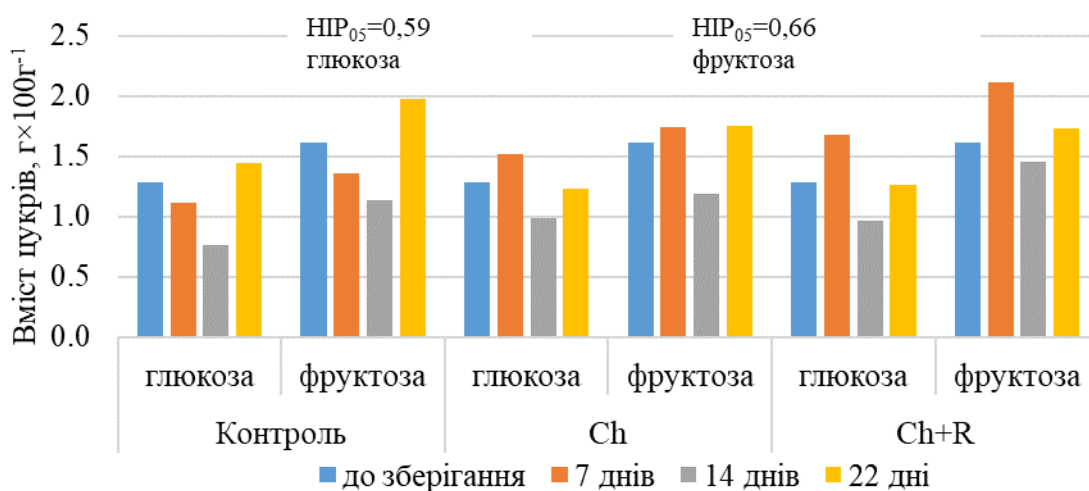


Рис. 4.6. Динаміка змін вмісту цукрів в спаржі сорту Розалі під час зберігання з використанням біополімерних покриттів

Згідно з отриманими даними, обробка пагонів спаржі покриттями на основі хітозану не знижує інтенсивність втрат цукрів під час зберігання. При зберіганні пагонів спаржі сорту Пріус зразки, оброблені покриттями Ch та Ch + R, мали навіть дещо вищі темпи зниження вмісту глюкози і фруктози, ніж контрольні зразки. У випадку сорту Розалі, використання обробки Ch+R дозволяє утримувати вміст глюкози і фруктози на 20% вищим, ніж у контрольному зразку на 14й день зберігання, однак, за довшого терміну

зберігання різниця нівелюється. Можливо, в контрольних зразках в метаболічні процеси залучені складні полісахариди, таким чином, поряд з використанням розчинних цукрів на дихання, йде їх новоутворення, наприклад, з крохмалю. Mastropasqua et al. вважають, що відновлення рівня цукру після шести днів зберігання спаржі у темряві може бути пов'язане з гідролізом крохмалю, кількість якого фактично зменшується протягом більш тривалих періодів [12]. Тож перебудова характеру витрачання цукрів як субстратів дихання внаслідок обробки їстівними покриттями, можливо, стала реалізацією механізму збереження інших метаболітів спаржі.

4.3. Зміна вмісту білків у пагонах спаржі під час зберігання

Білки становлять приблизно 20% від загальної кількості компонентів спаржі [13, 14] та містять всі незамінні амінокислоти (43% серед усіх амінокислот у [15]), що стимулює зацікавленість у її споживанні, особливо серед вегетаріанців та веганів. Показано, що вміст амінокислот є надзвичайно варіативним: залежить від сезону та кліматичних особливостей під час врожаю, статі рослин, досліджуваної частини пагону та його товщини [15-16].

Зміни вмісту білків у спаржі під час зберігання характеризуються, переважно, процесами деградації, поступового окислення та, відповідно, втрати їх структури і функціональності. Хоча деталізованих досліджень зміни білків спаржі не проводилось, зміни в структурі та функції білка під час зберігання продукції часто відмічали в інших матеріалах [17-19]. Деградація білків природньо пришвидшується при вищій температурі, що загалом прискорює метаболічні процеси, та вищій вологості, що сприяє розвитку мікрофлори, яка може розщеплювати білки. Так, швидко втрату вмісту білків (до 60% за 5 днів), особливо виражену в сегменті верхівки пагонів, відмічено при зберіганні спаржі за кімнатної температури [16, 20]. Показано, що загальний вміст білка в зрізах верхівок збільшився приблизно на 10% через 6–12 годин після збору врожаю, а потім знизився до приблизно 85% від рівня збору лише через 48 годин. Втрата специфічних білків що супроводжувалось

одночасно значним збільшенням рівнів вільних амінокислот, також була підтверджена [16].

Натомість, холодильне зберігання (1 °C) сприяє збереженості загального вмісту білків, а в перший тиждень після зберігання – і деякого його накопичення (близько 20 %) порівняно з періодом одразу після збирання [20]. Пік накопичення білку на початку зберігання з'являється завдяки метаболічній активності пагонів, що падає з часом. З огляду на тенденції до зниження вмісту розчинних вуглеводів, частка білку в перерахунку на суху вагу також збільшується, що потрібно враховувати при аналізі даних.

Отримані нами результати (рис. 4.7.) добре узгоджуються з описаною тенденцією: в обох досліджуваних сортах спостерігався приріст у кількості білків (15...20%) на 23 й день відносно виміру до зберігання, а також додатковий приріст у оброблених пагонах сорту Пріус (19% порівняно з контролем) (Додаток Е).

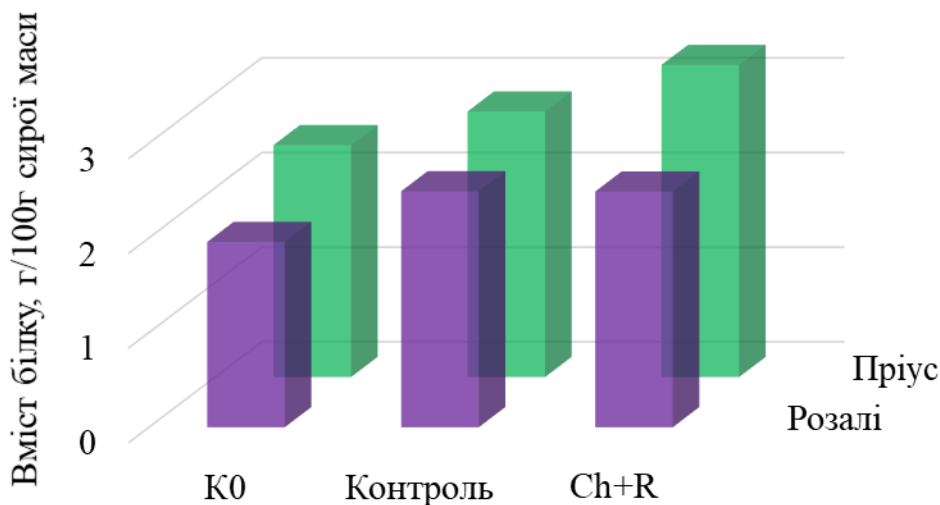


Рис. 4.7. Зміна вмісту білку в спаржі на кінець зберігання (23 доба) з використанням біополімерних покриттів. K0 – значення у контролі на момент закладання на зберігання

Вищі кількісні показники накопичення білків сортом Пріус можуть бути пов'язані з впливом бар'єрних властивостей покриття на покращення

стабільності білків у продукції, подібно до спостережень, узагальнених Rana et al. [21]. Деградацію білків і збільшення кількості вільних амінокислот пов'язують з розвитком сторонніх присмаків і зниженням загальної прийнятності смаку спаржі. Враховуючи позитивні органолептичні оцінки, таким чином, важливо відмітити, що в пагонах після трьох тижнів зберігання в досліджуваних умовах процеси деградації білків ще не переважають над процесами синтезу.

4.4. Динаміка вмісту пігментів в пагонах спаржі

Зелене забарвлення спаржі зумовлене пігментом хлорофілом. Останні дані показують, що хлорофіли та продукти їх розпаду – феофітини – є антиоксидантами, виконують фізіологічні ролі сигнальних молекул і сприяють захисту від пошкодження рослинних тканин від патогенних інфекцій [22–24]. Метаболізм хлорофілів, таким чином, тісно пов'язаний з захистом рослини в умовах стресу, в тому числі післязбирального. Рослинні каротиноїди відносяться до групи ліпофільних антиоксидантів і здатні нейтралізовувати активні форми кисню [25]. Зазначається, що на етапі післязбирального зберігання дозрілих овочів синтез каротиноїдів припиняється і відбувається їх поступова деградація [26]. Зміни вмісту хлорофілів і каротиноїдів відображаються на кольорі пагонів і, таким чином, напряду впливають на один із основних органолептичних показників якості спаржі.

Вплив біополімерних покриттів на швидкість деградації хлорофілів та каротиноїдів показано на рис. 4.8. та 4.9 відповідно. Кількість хлорофілів та каротиноїдів є сортоспецифічною характеристикою спаржі. Значна різниця в початковій концентрації хлорофілів у різних сортах пов'язана з відмінностями в забарвленні спаржі. На початок зберігання Розалі містить на 40% вищу концентрацію хлорофілів та на 17 % каротиноїдів, ніж Пріус. Проте, темпи деградації пігментів були вищими в сорту Розалі. Через 22 доби пагони спаржі сорту Розалі втратили 66 % хлорофілів і 59 % каротиноїдів від їх початкового вмісту. Для спаржі сорту Пріус ці показники складають 53 % та 42 %

відповідно.

Згідно з нашими даними, використання покриття Ch сповільнює темпи деградації хлорофілів в середньому на 60 % відносно контролю, а покриття Ch + R – на 88 %. Такий ефект досліджуваних покриттів узгоджується з згаданим в літературі зниженням ступеню деградації хлорофілів при застосуванні обробки хітозаном [27].

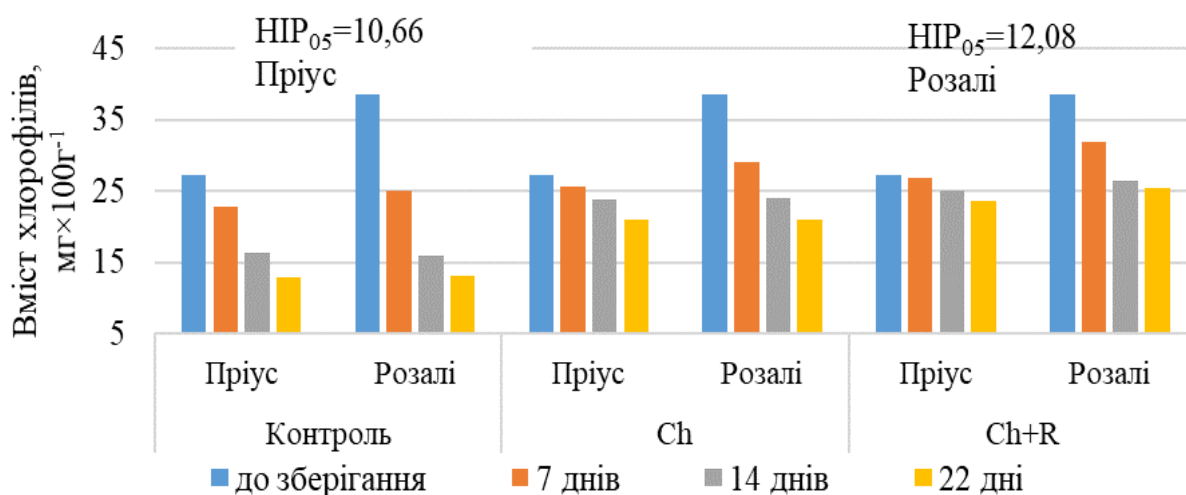


Рис. 4.8. Динаміка змін вмісту хлорофілів під час зберігання спаржі з використанням покриттів на основі хітозану

Аналізовані нами літературні джерела не демонстрували результатів випробувань щодо вмісту каротиноїдів в спаржі під час зберігання. За нашими даними, застосування покриттів на основі хітозану сприяє збереженню каротиноїдів (рис. 4.7, Додаток Є). Покриття Ch сповільнює їх деградацію на 33 %, а покриття Ch + R – на 48 %. Такі результати підтверджують ефективність інгібування процесів дозрівання в спаржі, оброблених покриттями Ch та Ch + R та свідчать про доцільність використання цих покриттів для підтримки харчової цінності спаржі під час зберігання.

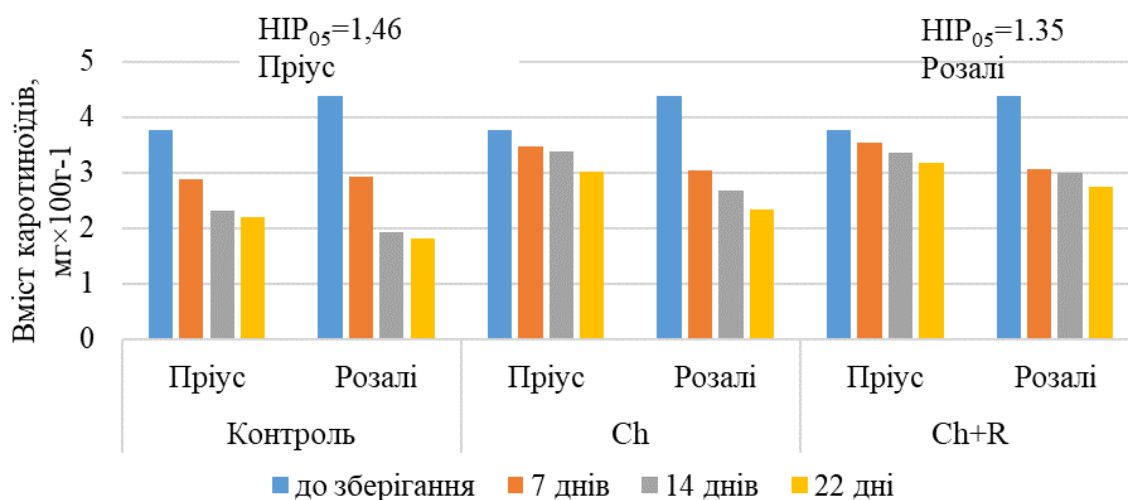


Рис. 4.9. Динаміка змін вмісту каротиноїдів під час зберігання спаржі з використанням покриттів на основі хітозану

4.5. Динаміка вмісту фенолів та активності поліфенолоксидази в пагонах спаржі

Згідно з нашими результатами, впродовж зберігання спаржі кількість фенольних речовин (ФР) поступово зростає (рис. 4.8, Додаток Ж). Рівень приросту загального вмісту фенольних речовин був сортоспецифічним (на кінець зберігання приріст склав близько 9 % у спаржі сорту Пріус та 36 % у сорті Розалі).

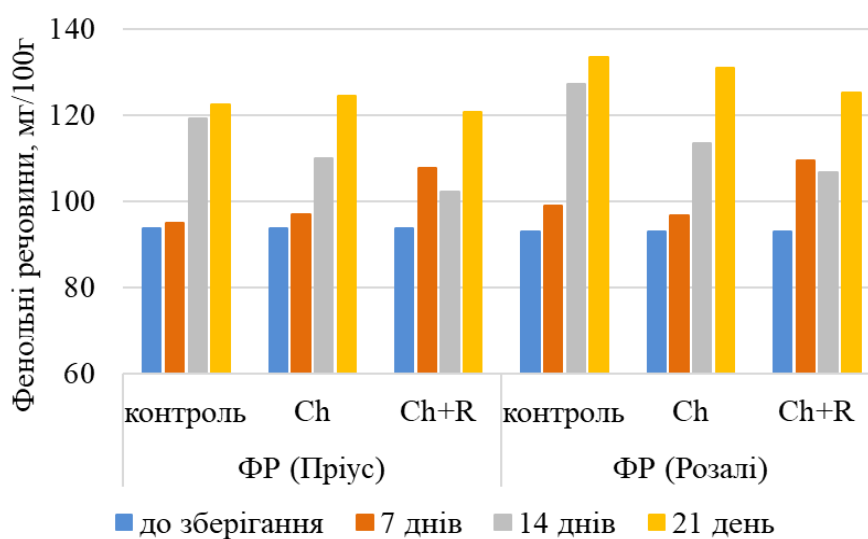


Рис. 4.8. Динаміка накопичення фенольних речовин під час зберігання спаржі з використанням покриттів на основі хітозану

У наукових джерелах зустрічаються різні дані і думки щодо зміни кількості фенольних сполук під час зберігання спаржі. Ряд повідомлень узгоджуються з нашими спостереженнями, зокрема, описано, що вміст фенолів у спаржі зростає протягом перших днів зберігання при 4 °C і був стабільним після цього [28, 29].

Barberis et al. спостерігали подібний характер зміни загального вмісту фенолів при зберіганні спаржі сортів Grande (зелений) та Purple Passion (фіолетовий) [30]. Через 12 діб зберігання вміст поліфенолів у ній збільшився на 45 і 36 % відповідно. Показано зростання вмісту фенольних речовин наприкінці зберігання (20-25 діб) і у сорті Fengdao [31]. Palma et al також відмічали постійне збільшення поліфенольних сполук в спаржі сорту Grande, що зберігалися при 2 °C та 10 °C [32]. Тенденцію до зростання автори пояснюють збільшенням вмісту фенолів у клітинних стінках спаржі. Однак, автори зазначають, що у пагонах, які зберігалися при 10 °C, від початку ураження гниллю не відбулося жодних змін у вмісті фенолів, найімовірніше тому, що їх клітини більше не продукували фенольні сполуки.

Цікавим є те, що інший сорт, Vegalim, досліджуваний у праці Barberis et al. наряду з сортами Grande та Purple Passion, показав інший тренд зміни вмісту поліфенолів: цей сорт демонстрував зростання суми фенолів на 6 добу, проте на 12 добу зберігання вміст поліфенолів знизився на 20 % від початкового вмісту. Toscano et al. показали, що загальний вміст фенольних сполук в спаржі сорту Atlas зростає на третю добу зберігання, а потім поступово знижується [33]. Автори вважають, що таке зниження загального рівня фенольних сполук є відповіддю на старіння спаржі. Китайські дослідники продемонстрували, що зі збільшенням часу зберігання кількість фенольних сполук знижується, що може бути пов'язаним з постійним залученням фенолів до синтезу лігніну під час зберігання, бо фенольні сполуки відіграють роль попередника синтезу лігніну [34].

Таким чином, динаміка вмісту фенольних сполук при зберіганні може значно різнитися залежно від сорту спаржі, що, імовірно, відповідає різній

динаміці метаболічних процесів та різниці в індивідуальній композиції фенолів, та переважанні тих чи інших шляхів їх перетворень. При помірному охолодженні деградація фенолів гальмується, але синтез фенольних сполук може активізуватися як частина відповіді на стрес – поліфеноли мають виражені антиоксидантні властивості. Зокрема, синтез фенольних сполук стимулюється через зростання активності фенілаланінаміакліази, а також через дію таких стресових гормонів, як саліцилова та жасмонова кислоти. З огляду на високу залученість до окисно-відновних процесів, збільшення вмісту фенолів особливо сильно помітне зокрема в сортах з відпочатково високою антиоксидантною здатністю.

Згідно з працями Papoulias et al. та Barberis et al., спостерігалася кореляція між збільшенням сумарного вмісту фенолів та показниками використаних оцінок загальної антиоксидантної здатності пагонів, з найбільш виразною кореляцією у фіолетових сортах спаржі [30, 35]. Тренди зміни активності поліфенолоксидази (ПФО), ферменту, що відповідає за окиснювальну деградацію поліфенольних речовин, протягом зберігання спаржі також є сортоспецифічними. Так, у праці Barberis et al. було показано залежність активності ПФО як від варіанту обробки пагонів, так і від сорту, хоча для обох досліджених сортів динаміка активності ПФО обернено корелювала з швидкістю накопичення фенольних речовин та характеризувалась невеликими змінами впродовж початкових етапів зберігання і збільшенням активності ПФО наприкінці спостереження [30].

З-поміж досліджуваних нами сортів, на кінець зберігання рівень фенольних речовин також був вищий у фіолетово-зеленому сорті Розалі, ніж у зеленому сорті Пріус. Отримана нами динаміка накопичення фенолів обернено корелювала з активністю поліфенолоксидази (ПФО) (рис. 4.9, 4.10, Додаток 3).

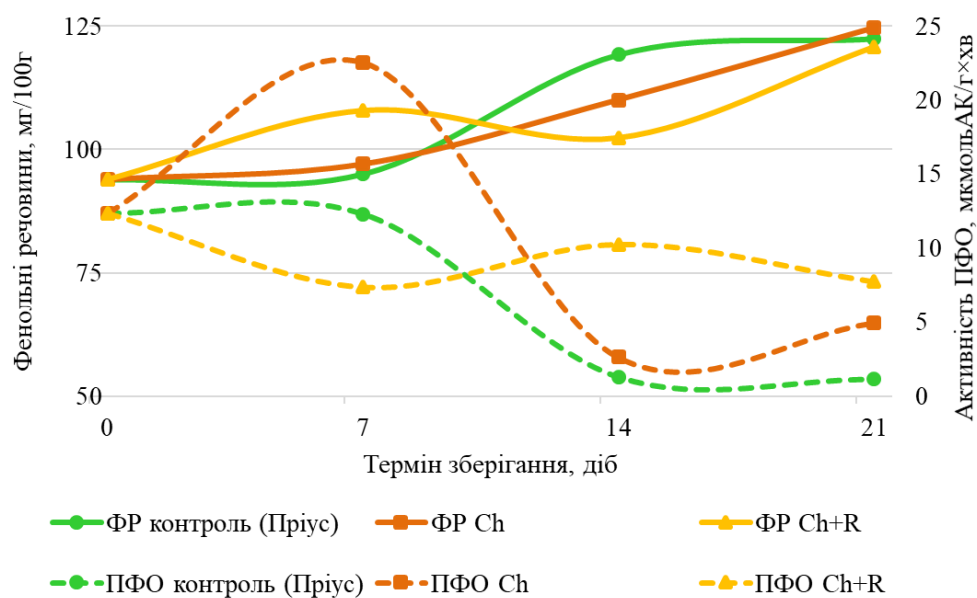


Рис. 4.9. Динаміка зміни активності поліфенолоксидази та вмісту фенольних речовин під час зберігання спаржі сорту Приус

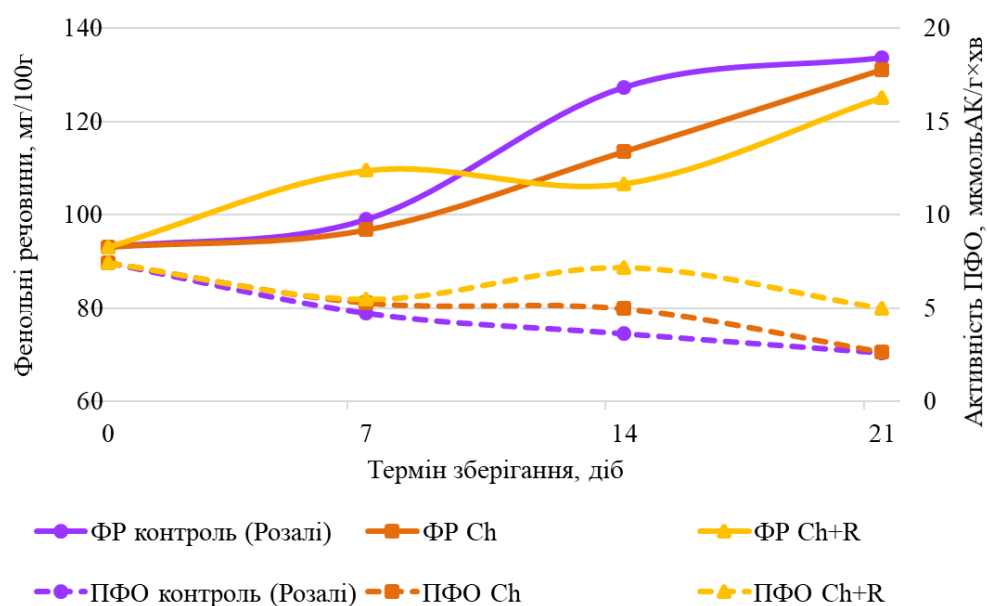


Рис. 4.10. Динаміка зміни активності поліфенолоксидази (ПФО) та вмісту фенольних речовин під час зберігання спаржі сорту Розалі

У контрольних зразках коефіцієнт кореляції між зміною загального вмісту фенольних речовин та активністю ПФО становив $-0,9967$ для пагонів сорту Приус та $-0,8997$ для пагонів сорту Розалі. За обробки хітозаном

коефіцієнти кореляції становили $-0,7054$ і $-0,9189$, відповідно, в той час, як за обробки композицією Ch+R вони становили $-0,8525$ для сорту Пріус та $-0,8664$ для сорту Розалі. Сильний кореляційний зв'язок у всіх групах вказує на те, що накопиченню фенолів сприяли не лише синтетичні процеси, але і сповільнена за рахунок температурного режиму активність ПФО. Підвищення активності ПФО у контрольній та обробленій Ch групах сорту Пріус на початку зберігання, з іншого боку, може бути пояснено сильнішою відповіддю на окисдатовний стрес, подібно до тренду, що було показано під час зберігання спаржі сорту Fengdao [31].

Як видно з рисунків, обробка спаржі покриттями загалом сприяє сповільненню накопичення фенольних речовин впродовж перших двох тижнів зберігання, проте, опісля швидкість накопичення зростає, і на кінець зберігання кількість накопичених фенолів близька до такої у відповідному контролі. Можна припустити, що за рахунок обробки біополімерними покриттями, особливо покриттям з включенням рутину (Ch+R), рівень окислювального стресу, якому піддаються пагони, знижується, проте, при тривалому зберіганні на додачу до впливу захисного покриття все ж відбувається активація внутрішніх механізмів стресостійкості.

4.6. Динаміка вмісту аскорбінової кислоти та активності аскорбатоксидази в пагонах спаржі

За нормальних фізіологічних умов рослини підтримують динамічний баланс між активними формами кисню та антиоксидантною ферментною системою, однак під час післязбирального старіння активні форми кисню накопичуються у великих кількостях, що призводить до серйозних метаболічних порушень. Типовим патерном при зберіганні плодоовочевої продукції є початкове збільшення антиоксидантної здатності у відповідь на стрес, викликаний відділенням від материнської рослини. Надалі під час зберігання загальна антиоксидантна здатність знижується. Аскорбінова кислота (АК, вітамін С), наряду з ферментами окисного стресу, є одним із

найважливіших елементів антиоксидантної системи, що покликана підтримувати внутрішньоклітинний редокс-гомеостаз. Як донор електронів, аскорбінова кислота може запобігати окисленню інших сполук, виступати кофактором ферментів та вторинним антиоксидантом під час відновлення окисненої форми α -токоферолу [36].

Після відділення рослинних частин від материнської рослини, вміст аскорбінової кислоти (вітаміну С) зазвичай зменшується через окислювальні процеси та втрату вологи, що підтверджується також дослідженнями по зберіганню спаржі сортів UC800 та Darbella [35, 37]. Втрати АК пов'язані з ензиматичним метаболізмом та окисленням аскорбатоксидазою (АКО) і пероксидазою [36].

Однак, у деяких випадках спостерігається тимчасове підвищення вмісту аскорбінової кислоти під час зберігання [31]. Це може бути пов'язано з реакцією рослинних тканин на стрес, викликаний відділенням, що стимулює синтез аскорбінової кислоти як антиоксиданту для захисту клітин від пошкоджень. Наші дослідження показують, що рівень аскорбінової кислоти під час зберігання пагонів спаржі сорту Пріус був відносно сталим, навіть незначно перевищував початковий рівень на 21-й день зберігання (рис. 4.11).

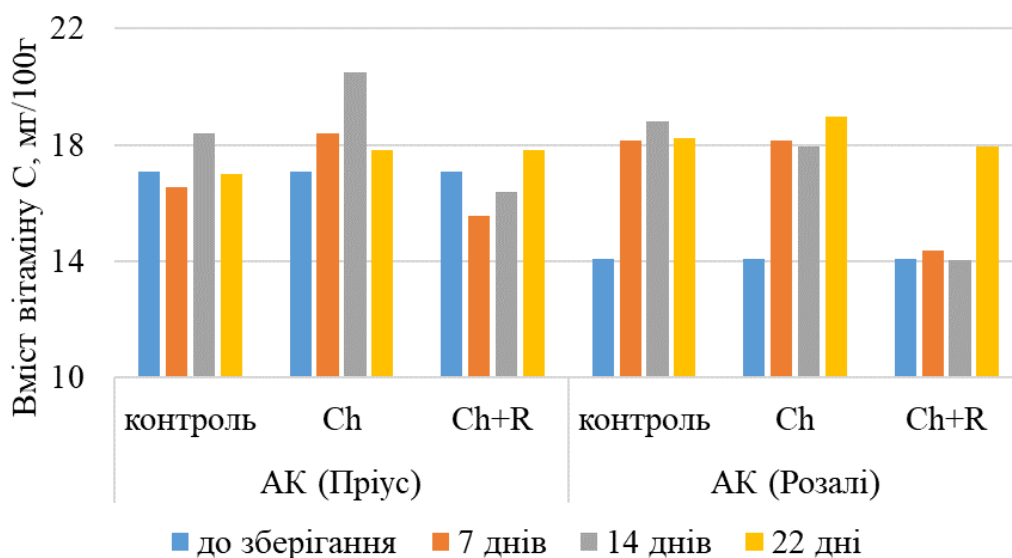


Рис. 4.11. Динаміка вмісту аскорбінової кислоти під час зберігання спаржі з використанням покриттів на основі хітозану

Такий тренд зміни вмісту вітаміну С вказує на динамічну рівновагу між процесами синтезу та аскорбінової кислоти та її використання. Зростання активності АКО на 21-й день зберігання спаржі сорту Пріус після зниження активності впродовж другого тижня (рис. 4.12) сприяє деградації накопиченого вітаміну С, повертаючи його кількість до вихідного рівня, з його імовірним подальшим зниженням. Аналогічну динаміку вмісту вітаміну С спостерігали Toscano et al. при зберіганні спаржі сорту Vegalim [38].

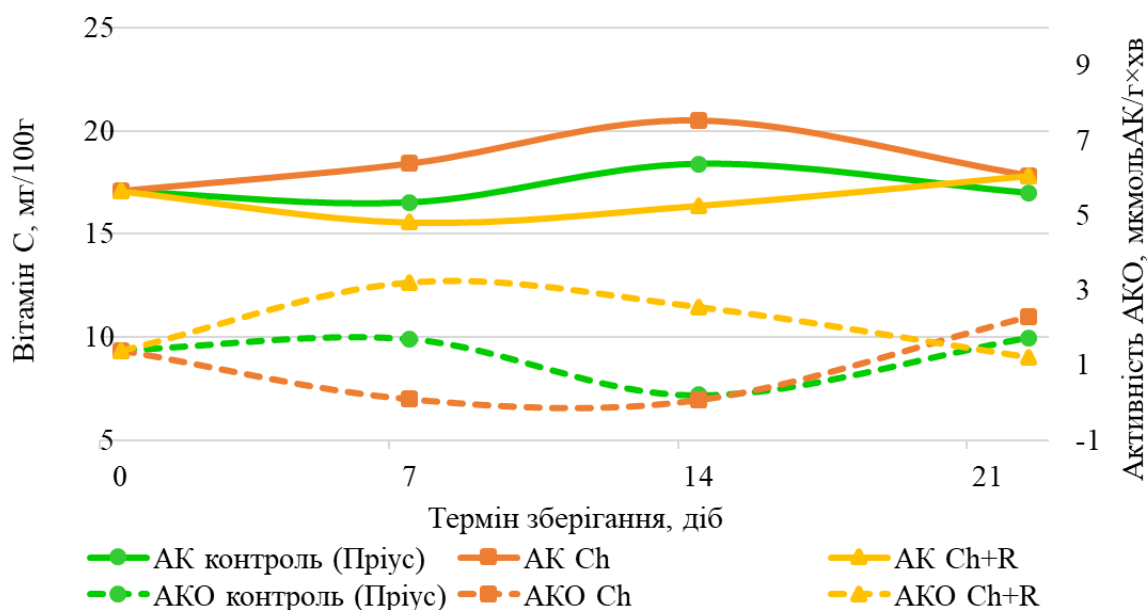


Рис. 4.12. Динаміка зміни активності аскорбатоксидази та вмісту вітаміну С під час зберігання спаржі сорту Пріус

Пагони сорту Розалі, водночас, демонстрували накопичення вітаміну С впродовж перших двох тижнів зберігання контрольних зразків, з невеликим падінням на кінець зберігання. Приріст вітаміну С порівняно з початком зберігання, тим не менш, все ще склав 22 %. Цікаво, що накопичення вітаміну С на 14-й день зберігання і невелике зниження його кількості на 21-й збігаються з, відповідно, меншою кількістю метаболічно пов'язаної з синтезом вітаміну С глюкози на 14-й день та зростанням її вмісту на 21-й.

Спостережувана нами у сорті Розалі динаміка аскорбінової кислоти є

подібною до тенденції її накопичення до 20-го дня зберігання, продемонстрованої для сорту Fengdao [31]. З метою протидії накопиченню активних форм кисню, синтез аскорбінової кислоти з вуглеводнів у спаржі сорту Розалі, імовірно, значно інтенсифікується, в той час, як активність АКО все ще залишається низькою (рис. 4.13, Додаток II).

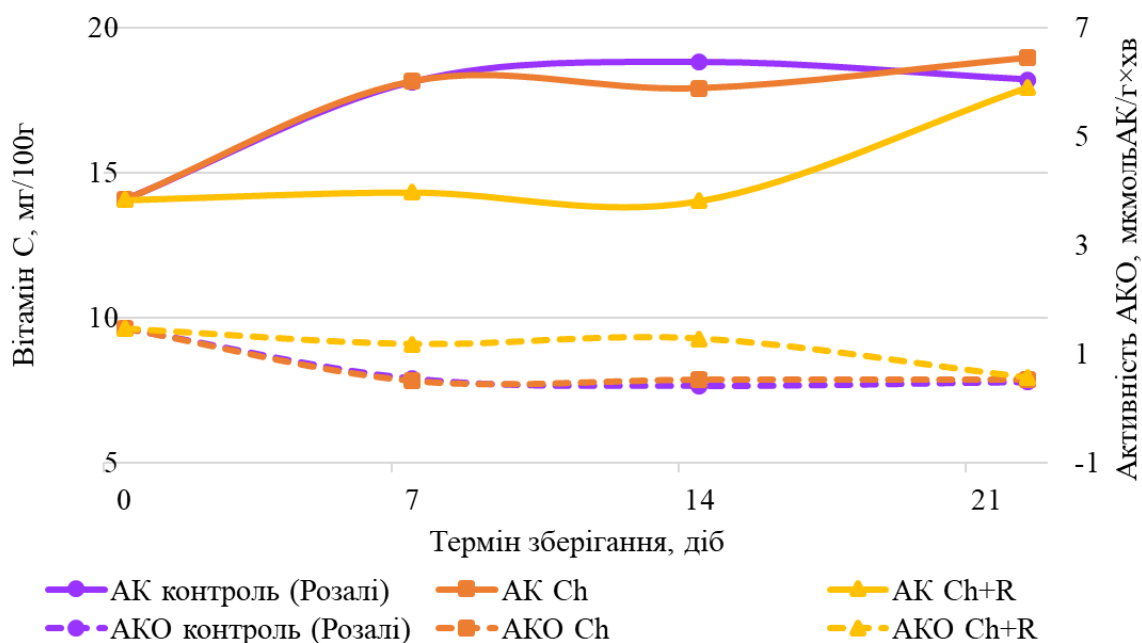


Рис. 4.13. Динаміка зміни активності аскорбатоксидази та вмісту вітаміну С під час зберігання спаржі сорту Розалі

Згідно з нашими розрахунками, між динамікою вмісту вітаміну С та активністю АКО спостерігався сильний обернено-кореляційний зв'язок (загальний коефіцієнт кореляції для всіх груп становив $-0,8256$ для сорту Пріус та $-0,9817$ для сорту Розалі). При обробці пагонів спаржі покриттям Ch, активність АКО на початковому етапі зберігання дещо знижувалась, а при обробці покриттям Ch+R – зростала, однак на третій тиждень зберігання активність ферменту відповідала такій у контрольних зразках.

Варто зазначити, що АК у рослинах синтезується кількома біохімічними шляхами, основним серед яких є «манозний», при чому аскорбінова кислота, синтезована у листках, може транспортуватися до інших органів рослини,

забезпечуючи їх антиоксидантним захистом. Найбільше вітаміну С утворюється в фотосинтетично активних ділянках, і швидкість його втрати безпосередньо пов'язана з вмістом хлорофілу та швидкістю втрати води. Можна припустити, що затримання деградації хлоропластів і зменшення втрати вологи за рахунок використання комбінованого хітозан-рутинового покриття також могло сприяти кращій збереженості вітаміну С, ніж у контрольних зразках, зокрема у випадку сорту Пріус.

Отже, згідно з нашими даними, покриття на основі хітозану підвищують збереженість цукрів, білків, пігментів, фенольних речовин та вітаміну С при холодильному зберіганні впродовж 14 днів у порівнянні з контрольними зразками. Після перших двох тижнів зберігання підтримуючий вплив попередньої обробки біополімерними препаратами значно знижується, однак використання Ch+R дозволяє зберегти значно вищі кількості хлорофілів та каротиноїдів порівняно з контрольними зразками. Запропонований варіант обробки, таким чином, не чинить негативних ефектів на біологічну цінність обробленої спаржі, натомість сприяючи збереженню високого вмісту метаболітів впродовж зберігання.

Висновки до розділу 4

1. Обробка спаржі біополімерними покриттями Ch та Ch+R дозволяє сповільнити деградацію сухих розчинних речовин як в сорті Пріус, так і в сорті Розалі. На 14-й день холодильного зберігання втрати сухих розчинних речовин є незначущими порівняно з початком зберігання, в той час як в контрольних зразках вони складають 10...13%, залежно від сорту. За довшого терміну зберігання (21 доба), оброблені пагони також втрачають сухі розчинні речовини, проте їх кількість все ж залишається на 5,5...7,5% вищою, ніж у відповідних контрольних зразках.

2. Темпи дисиміляції та асиміляції цукрів у досліджуваних сортах спаржі значно відрізняються: у спаржі сорту Пріус вміст глюкози і фруктози

знижується під час зберігання, в той час, як у спаржі сорту Розалі – зростає на третій тиждень зберігання після попереднього падіння. Обробка пагонів сорту Пріус покриттями на основі хітозану не знижує інтенсивність втрат цукрів на кінець зберігання. У випадку сорту Розалі, використання обробки Ch+R дозволяє утримувати вміст глюкози і фруктози на 20% вищим, ніж у контрольному зразку на 14-й день зберігання, однак, за довшого терміну зберігання різниця нівелюється.

3. В обох досліджуваних сортах спостерігається приріст у кількості білків (15...20%) на кінець зберігання (23й день). Обробка біополімерним покриттям Ch+R спаржі сорту Пріус при цьому забезпечує приріст кількості білків на 19% порівняно з контролем, в той час як приросту у оброблених зразках сорту Розалі не зафіксовано.

4. Динаміка зміни вмісту пігментів у спаржі є сортоспецифічною: на початок зберігання сорт Розалі має вищий на 40%, ніж Пріус, вміст хлорофілів та на 17 % – каротиноїдів, однак темпи деградації пігментів у сорті Розалі вищі. Використання біополімерних покриттів значно сповільнює деградацію хлорофілів, дозволяючи зберегти на 60 % більше хлорофілів, ніж у контролі, при обробці Ch, та на 88 % більше при обробці Ch+R. В той же час, покриття Ch сповільнює деградацію каротиноїдів на 33 %, а покриття Ch+R – на 48 % в обох сортах спаржі.

5. Фенольні речовини накопичуються під час холодильного зберігання спаржі (приріст на 9% у сорті Пріус на кінець зберігання, на 36% у сорті Розалі). Обробка пагонів покриттям Ch+R сприяє зниженню окислювального стресу, пришвидшуючи початкове накопичення фенольних речовин (за перший тиждень) на 9...11% залежно від сорту, однак, вміст фенольних речовин на кінець зберігання співставний з контрольним. Активність поліфенолоксидази має обернену кореляцію з визначеним вмістом фенольних речовин ($r = -0,7683$ для сорту Пріус та $r = -0,8535$ для сорту Розалі).

6. Динаміка зміни вмісту аскорбінової кислоти у спаржі сортів Розалі та Пріус суттєво відрізняється: на кінець зберігання вміст вітаміну С незначно

змінюється у пагонах сорту Пріус та зростає на 32% у пагонах сорту Розалі. Активність аскорбатоксидази має обернену кореляцію з визначеним вмістом вітаміну С ($r = -0,8256$ для сорту Пріус та $r = -0,9817$ для сорту Розалі). Обробка біополімерними покриттями дозволяє пришвидшити накопичення аскорбінової кислоти на початковому етапі зберігання, подібно до позитивного впливу на збереженість метаболічно пов'язаних з аскорбіновою кислотою цукрів та хлорофілів. Таким чином, покриття суттєво, порівняно з контрольними зразками, підвищує збереженість цукрів, білків, пігментів, фенольних речовин та вітаміну С при холодильному зберіганні впродовж 14 днів.

7. Використання обробки спаржі біополімерним препаратом Ch+R є доцільним для підтримки високої харчової цінності спаржі під час подовженого холодильного зберігання.

Матеріали досліджень, що викладені у розділі 4, опубліковані в роботах [39, 40].

Список літератури до розділу 4

1. Ben-Yehoshua, S., & Rodov, V. (2002). Transpiration and Water Stress. In *Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203910092.ch5>
2. Wang, M., Li, J., & Fan, L. (2022). Quality changes in fresh-cut asparagus with ultrasonic-assisted washing combined with cinnamon essential oil fumigation. *Postharvest Biology and Technology*, 187(November 2021), 111873. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.111873>
3. Park, M. H. (2016). Sucrose delays senescence and preserves functional compounds in *Asparagus officinalis* L. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 480(2), 241–247. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2016.10.036>
4. Verlinden, S., Silva, S. M., Herner, R. C., & Beaudry, R. M. (2014). Time-dependent changes in the longitudinal sugar and respiratory profiles of asparagus spears during storage at 0 °C. *Journal of the American Society for*

Horticultural Science, 139(4), 339–348. <https://doi.org/10.21273/jashs.139.4.339>

5. Lill, R. E., King, G. A., & O'Donoghue, E. M. (1990). Physiological changes in asparagus spears immediately after harvest. *Scientia Horticulturae*, 44(3–4), 191–199. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(90\)90119-Y](https://doi.org/10.1016/0304-4238(90)90119-Y)

6. Soteriou, G. A., Antoniou, C., Roupheal, Y., Kyratzis, A. C., & Kyriacou, M. C. (2021). Changes in the primary and secondary metabolome of male green asparagus (*Asparagus officinalis* L.) as modulated by sequential harvesting. *Food Chemistry*, 358, 129877. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129877>

7. Slatnar, A., Mikulic-Petkovsek, M., Stampar, F., Veberic, R., Horvat, J., Jakse, M., & Sircelj, H. (2018). Game of tones: Sugars, organic acids, and phenolics in green and purple asparagus (*Asparagus officinalis* L.) cultivars. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 42(1), 55–66. <https://doi.org/10.3906/tar-1707-44>

8. Techavuthiporn, C., & Boonyaritthongchai, P. (2016). Effect of prestorage short-term Anoxia treatment and modified atmosphere packaging on the physical and chemical changes of green asparagus. *Postharvest Biology and Technology*, 117, 64–70. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.01.016>

9. Shiomi, N., Benkeblia, N., Onodera, S., Omori, T., Takahashi, N., Fujishima, M., Yoshihira, T., & Kosaka, S. (2007). Saccharide and Fructooligosaccharide Contents, and Invertase, 1-KHE, 1-SST, 1-FFT and 6G-FFT Activities in Green Asparagus Spears during Storage: Effects of Temperature and Spear Portion. *Journal of Applied Glycoscience*, 54(3), 187–194. <https://doi.org/10.5458/jag.54.187>

10. Sergio, L., Gonnella, M., Renna, M., Linsalata, V., Gatto, M. A., Boari, F., & Di Venere, D. (2019). Biochemical traits of asparagus cultivars and quality changes in two differently coloured genotypes during cold storage. *LWT*, 101(November 2018), 427–434. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.054>

11. Anastasiadi, M., Collings, E. R., Shivembe, A., Qian, B., & Terry, L. A. (2020). Seasonal and temporal changes during storage affect quality attributes of green asparagus. *Postharvest Biology and Technology*, 159, 111017.

<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111017>

12. Mastropasqua, L., Tanzarella, P., & Paciolla, C. (2016). Effects of postharvest light spectra on quality and health-related parameters in green *Asparagus officinalis* L. *Postharvest Biology and Technology*, 112, 143–151. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.10.010>

13. Souci, S. W., Fachmann, W., & Kraut, H. (2000). Food composition and nutrition tables. *Medpharm Scientific Publ.*, 1182 p.

14. Shou, S., Lu, G., & Huang, X. (2007). Seasonal variations in nutritional components of green asparagus using the mother fern cultivation. *Scientia Horticulturae*, 112(3), 251–257. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.12.048>

15. Ślupski, J., Korus, A., Lisiewska, Z., & Kmiecik, W. (2010). Content of amino acids and the quality of protein in as-eaten green asparagus (*Asparagus officinalis* L.) products. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(4), 733–739. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02193.x>

16. King, G. A., Woollard, D. C., Irving, D. E., & Borst, W. M. (1990). Physiological changes in asparagus spear tips after harvest. *Physiologia Plantarum*, 80(3), 393–400. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1990.tb00058.x>

17. Zhang, X., Huang, W., & Xie, J. (2019). Effect of different packaging methods on protein oxidation and degradation of grouper (*Epinephelus coioides*) during refrigerated storage. *Foods*, 8(8). <https://doi.org/10.3390/foods8080325>

18. Holman, B. W. B., Coombs, C. E. O., Morris, S., Kerr, M. J., & Hopkins, D. L. (2018). Effect of long term chilled (up to 5 weeks) then frozen (up to 12 months) storage at two different sub-zero holding temperatures on beef: 3. Protein structure degradation and a marker of protein oxidation. *Meat Science*, 139, 171–178. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.01.028>

19. Ziegler, V., Ferreira, C. D., Hoffmann, J. F., de Oliveira, M., & Elias, M. C. (2018). Effects of moisture and temperature during grain storage on the functional properties and isoflavone profile of soy protein concentrate. *Food chemistry*, 242, 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.034>

20. King, G. A., Henderson, K. G., O'Donoghue, E. M., Martin, W., & Lill,

R. E. (1988). Flavour and metabolic changes in asparagus during storage. *Scientia Horticulturae*. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(88\)90052-0](https://doi.org/10.1016/0304-4238(88)90052-0)

21. Rana, S., Kapoor, S., Panwar, H., Kumar, V., & Chander Mahajan, B. V. (2024). Impact of packaging materials and storage durations on physico-chemical, techno-functional, antioxidant and oxidation properties of tomato seed protein isolate. *Journal of Stored Products Research*, 106, 102284. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2024.102284>

22. Hsu, C.-Y., Chao, P.-Y., Hu, S.-P., & Yang, C.-M. (2013). The Antioxidant and Free Radical Scavenging Activities of Chlorophylls and Pheophytins. *Food and Nutrition Sciences*, 04(08), 1–8. <https://doi.org/10.4236/fns.2013.48A001>

23. Solymosi, K., & Mysliwa-Kurdziel, B. (2017). Chlorophylls and their Derivatives Used in Food Industry and Medicine. *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*, 17(13). <https://doi.org/10.2174/1389557516666161004161411>

24. Jockusch, S., Turro, N. J., Banala, S., & Kräutler, B. (2014). Photochemical studies of a fluorescent chlorophyll catabolite—source of bright blue fluorescence in plant tissue and efficient sensitizer of singlet oxygen. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 13(2), 407–411. <https://doi.org/10.1039/c3pp50392e>

25. Young, A., & Lowe, G. (2018). Carotenoids — Antioxidant Properties. *Antioxidants*, 7(2), 28. <https://doi.org/10.3390/antiox7020028>

26. Ngamwonglumlert, L., Devahastin, S., Chiewchan, N., & Raghavan, V. (2020). Plant carotenoids evolution during cultivation, postharvest storage, and food processing: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(4), 1561–1604. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12564>

27. Tran, Y. T. N., Nguyen, A. T. T., & Bui, A. N. N. (2020). A Study of Asparagus Preservation Capacity of Chitosan-Alginate and Chitosan-Carrageenan Biofilms. *Journal of Food Engineering and Technology*, 9(2), 89–94. <https://doi.org/10.32732/jfet.2020.9.2.89>

28. Kevers, C., Falkowski, M., Tabart, J., Defraigne, J.-O., Dommès, J., & Pincemail, J. (2007). Evolution of antioxidant capacity during storage of selected

fruits and vegetables. *Journal of agricultural and food chemistry*, 55(21), 8596–8603.

29. Rodriguez-Arcos, R. C., Smith, A. C., & Waldron, K. W. (2002). Effect of storage on wall-bound phenolics in green asparagus. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50(11), 3197–203. <https://doi.org/10.1021/jf011687p>

30. Barberis, A., Cefola, M., Pace, B., Azara, E., Spissu, Y., Serra, P. A., Logrieco, A. F., D'hallewin, G., & Fadda, A. (2019). Postharvest application of oxalic acid to preserve overall appearance and nutritional quality of fresh-cut green and purple asparagus during cold storage: a combined electrochemical and mass-spectrometry analysis approach. *Postharvest Biology and Technology*, 148(July 2018), 158–167. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.10.016>

31. Xiao, J., He, M., Chen, P., Li, M., Liu, J., Li, Y., Lu, W., Jiang, C., Liu, D., Quzha, K., & Zheng, Y. (2024). Proanthocyanidins delay the senescence of young asparagus stems by regulating antioxidant capacity and synthesis of phytochemicals. *Food Chemistry: X*, 21(January), 101222. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101222>

32. Palma, A., Schirra, M., & D'Aquino, S. (2015). Effect of film packaging and storage temperature on physical and chemical changes in fresh-cut green asparagus. *Advances in Horticultural Science*.

33. Toscano, S., Ferrante, A., Leonardi, C., & Romano, D. (2018). PAL activities in asparagus spears during storage after ammonium sulfate treatments. *Postharvest Biology and Technology*, 140, 34–41. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.02.010>

34. Tian, Z., Zhang, R., Liu, Y., Xu, J., Zhu, X., Lei, T., & Li, K. (2021). Hemicellulose-based nanocomposites coating delays lignification of green asparagus by introducing AKD as a hydrophobic modifier. *Renewable Energy*, 178, 1097–1105. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.06.096>

35. Papoulias, E., Siomos, A. S., Koukounaras, A., Gerasopoulos, D., & Kazakis, E. (2009). Effects of genetic, pre- and post-harvest factors on phenolic content and antioxidant capacity of white asparagus spears. *International journal of*

molecular sciences, 10(12), 5370–5380. <https://doi.org/10.3390/ijms10125370>

36. Прісс, О. П. (2017). Наукові основи зберігання плодів овочів з використанням обробки біологічно активними речовинами: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.18.13 / Прісс Олеся Петрівна; Нац. ун-т харч. техн. – Київ, 2017. – 43 с.

37. Li, T., & Zhang, M. (2015). Effects of modified atmosphere package (MAP) with a silicon gum film window on the quality of stored green asparagus (*Asparagus officinalis* L) spears. *LWT - Food Science and Technology*, 60(2), 1046–1053. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.10.065>

38. Toscano, S., Rizzo, V., Licciardello, F., Romano, D., & Muratore, G. (2021). Packaging Solutions to Extend the Shelf Life of Green Asparagus (*Asparagus officinalis* L.) ‘Vegelim.’ *Foods*, 10(2), 478. <https://doi.org/10.3390/foods10020478>

39. Priss, O., Hutsol, T., Glowacki, S., Bulhakov, P., Bakhlukova, K., Osokina, N., Nurek, T., Horetska, I., & Mykhailova, L. (2024). Effect of Asparagus Chitosan-Rutin Coating on Losses and Waste Reduction During Storage. *Agricultural Engineering*, 28(1), 99–118. <https://doi.org/10.2478/agriceng-2024-0008>

40. Priss, O., & Bulhakov, P. (2024). Storage waste of asparagus as a valuable source of phenolic compounds. *Scientific bulletin of the Tavria State Agrotechnological University*, 14(2). <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2024-24-2-15>

РОЗДІЛ 5.

СПАРЖА ЯК ДЖЕРЕЛО БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БІОЛОГІЧНОЇ ЦІННОСТІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

5.1. Визначення харчової та біологічної цінності відходів заготівлі пагонів спаржі свіжої овочевої

Виклики, що постають перед сучасним суспільством в контексті продовольчої безпеки, а також економічних та екологічних ризиків, підштовхують до активних пошуків більш раціональних моделей споживання і виробництва, що відображено і у цілях сталого розвитку ООН до 2030 року [1]. Зокрема, ціль 12.3 передбачає скорочення харчових відходів на душу населення вдвічі та зменшення втрат продовольства в ланцюгах постачання. Продовольчі втрати виникають на всіх етапах, від вирощування та зберігання до переробки і споживання, і домінуючими в структурі втрат є харчові відходи плодоовочевої продукції.

У випадку спаржі відходи можуть становити до 50 % від загальної кількості [2]. Найбільше відходів утворюється під час консервування спаржі. Для консервування використовуються лише верхні 15 см пагона спаржі, а решта (до 15–18 см) опиняється у відходах. Не менше 20 % спаржі утилізується під час її товарної обробки, зберігання та підготовки після зберігання.

Під час підготовки до зберігання чи реалізації виконуються операції первинної обробки пагонів спаржі, коли нижній зріз спаржі вирівнюється і пагони збираються в стандартні за висотою пучки. Зрізані ділянки (зазвичай близько 2 см) при цьому відносять до відходів (рис.1).



Рис. 5.1. Утворення відходів спаржі: а – місце косого зрізу, який буде вирівняний; б – відходи спаржі, що накопичуються при підготовці до зберігання; в – підготовлена до зберігання спаржа; д – підсохла частина зрізу, що відсікається при підготовці спаржі після зберігання.

Для підтримання товарного вигляду зрізи спаржі також оновлюють після зберігання, відсікаючи підсохлу частину. Однак, саме нижня частина пагонів спаржі містить більшу кількість біологічно активних сполук [3].

Плодоовочеві відходи часто компостують або використовують як органічне добриво для ґрунтів, а також для годівлі тварин. Водночас, з огляду на значний вміст антиоксидантів, фенольних сполук та інших біологічно активних речовин, відходи спаржі є перспективним джерелом біологічно активних речовин і сировиною для створення продукції з доданою вартістю.

У ході наших досліджень, для оцінки потенціалу використання відходів заготівлі спаржі як сировини для отримання фітонутрієнтів було проведене порівняння біологічної цінності цілих пагонів спаржі (В1), відходів, що формуються при підготовці до зберігання (В2), цілих пагонів після періоду зберігання (В3) та відходів, що формуються при підготовці до реалізації після

зберігання (В4) (досліджували як пагони сорту Розалі, так і пагони сорту Пріус).

Особливу цінність у відходах при заготівлі спаржі мають фенольні сполуки. Речовини фенольної природи є природними антиоксидантами, вони відіграють захисну роль під час розвитку дегенеративних захворювань, таких як захворювання на рак, діабет, серцево-судинні хвороби, запалення та ін. [4]. Спаржа багата на фенольні кислоти та флавоноїди [5], серед яких домінує рутин (його частка досягає 67% від вмісту фенольних речовин, і ще 10 % припадає на його дериватив рутин-4'-глюкозид [6]). Останні дослідження вказують на те, що відходи спаржі можуть бути рентабельним джерелом для виробництва природного рутину [7] та інших флавоноїдів [8].

Аналіз вмісту поліфенолів в зразках цілої спаржі перед зберіганням вказує на відсутність достовірних відмінностей між сортами (рис. 5.2, додаток Ж).

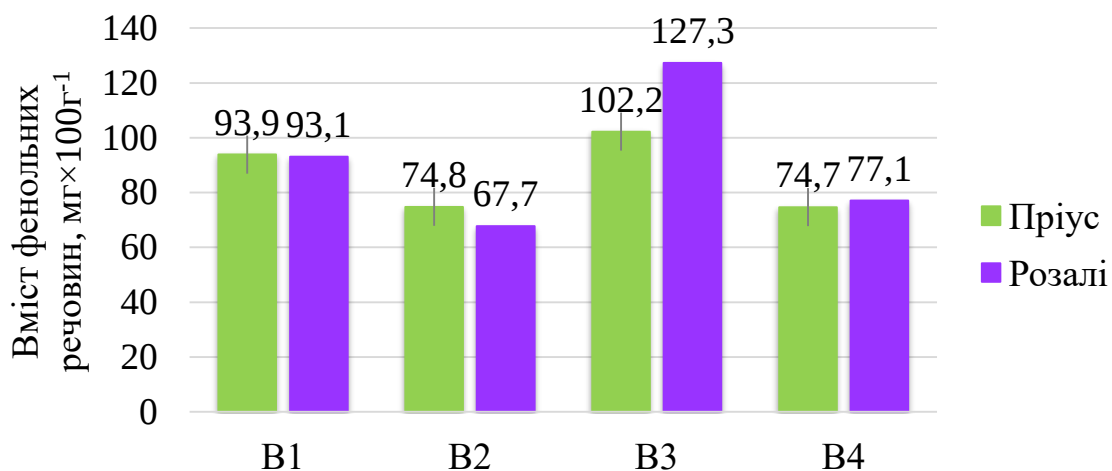


Рис. 5.2. Сума поліфенольних сполук у різних зразках спаржі. В1 – цілі пагони спаржі, В2 – відходи, що формуються при підготовці до зберігання, В3 – цілі пагони після зберігання, В4 – відходи, що формуються при підготовці до реалізації після зберігання.

Як видно з гістограми, після зберігання спаржі вміст фенольних сполук достовірно зріс у цілих пагонах спаржі обох сортів. Проте, у спаржі сорту

Пріус підвищення вмісту фенольних сполук становило лише близько 9 %, тоді як у сорту Розалі цей показник досягав 36 %. У базальних частинах пагонів спаржі, котрі йдуть на відходи, ми спостерігали на 20–27 % нижчу кількість фенольних сполук, ніж в цілих пагонах. Однак, сума фенольних сполук у таких відходах все ще залишається досить високою: $74,77 \text{ мг} \times 100 \text{ г}^{-1}$ у сорту Пріус та $67,73 \text{ мг} \times 100 \text{ г}^{-1}$ у сорту Розалі. Подібні результати отримані також іншими дослідниками [9]. Однак, Rodríguez et al. стверджують, що саме базальна частина спаржі містить вищу кількість поліфенольних сполук [3].

Достовірних відмінностей у базальних частинах аспарагусу, котрі є відходами до та після зберігання, не було зафіксовано. Очевидно, що ці зміни відбуваються, оскільки в процесі зберігання в пагонах продовжуються фізіологічні процеси. Можливо припустити, що паралельно з новоутворенням поліфенолів йде і процес їх деградації, що маскує за слабо змінним кількісним вмістом поліфенольних сполук якісні зміни в пропорціях індивідуальних фенольних речовин. З'ясування детальної динаміки фенольних сполук потребує додаткових досліджень.

Таким чином, відходи спаржі обох досліджуваних сортів Пріус та Розалі можуть стати хорошим джерелом для отримання поліфенольних сполук. Незважаючи на відмінності у забарвленні, досліджувані сорти спаржі за сумою поліфенольних сполук достовірно не відрізнялись, і пагони обох сортів містять високий вміст поліфенолів.

Окрім біологічно активних речовин фенольної природи, пагони спаржі (включно з їх базальними частинами) можуть бути джерелом і інших цінних речовин. Порошок, отриманий шляхом висушування спаржі, дозволяє зберегти більшу частину термостабільних компонентів, і тому розглядається як перспективна біодобавка [10, 11]. Так, проведений нами кількісний хімічний аналіз виявив високий вміст мікроелементів в отриманому порошку з базальних частин спаржі (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Вміст хімічних елементів у спаржі (сухий зразок)

Назва показника	Довжина хвилі, нм	C _{серед} , (мг/кг)	відносне стандартне відхилення, %	межа детекції, мг/кг (у зразку)
Mg (магній)	279,077	2564,5±15,4	0,87	0,005
K (калій)	766,490	47591,7±245,0	0,44	1,40
Ca (кальцій)	317,933	5635,6±9,8	0,24	0,42
Mn (манган)	257,610	41,4±0,3	0,65	0,005
Zn (цинк)	206,200	110,5±3,1	2,31	0,056
Fe (ферум)	259,939	79,52±2,5	3,12	0,042
Cu (купрум)	324,752	8,71±0,38	3,80	0,042
P (фосфор)	213,817	7317,3±204,4	2,85	1,40
S (сірка)	189,983	24093,87±333,2	2,34	0,56

Багатий елементний склад дозволяє розглядати можливості використання такого порошку, зокрема, для збагачення біологічно активними речовинами інших харчових продуктів: виявлені мікроелементи є важливими для кровотворення, функціонування нервової системи та м'язів, зміцнення кісткової та хрящової тканини, підтримки імунітету та обміну речовин. Детектований вміст (мг на суху вагу) заліза (Fe), магнію (Mg), фосфору (P), цинку (Zn), мангану (Mn) у висушеній спаржі в два рази вищий, ніж у цільозерновому пшеничному борошні, а міді (Cu) – не менш, як у чотири рази вищий. Особливо багатий порошок спаржі на калій (K), важливість якого складно переоцінити, коли йде мова про зниження ризиків і ступеню вираженості серцево-судинних захворювань, підтримку тону м'язів та водно-сольового обміну.

Кількість білків, визначена нами у порошку спаржі, також була високою – вона становила $5,14 \pm 0,11$ % від усієї маси порошку. Додавання його до

харчових продуктів, таким чином, очевидно сприяє значному підвищенню їх харчової цінності за рахунок протеїнів, тим пак, що вони містять і незамінні амінокислоти. Високий вміст білків, а також значний вміст харчових волокон, пектинів та цукрів в порошок зі спаржі відмічають і в літературі. Можливість використання його як добавки у різноманітних харчових продуктах, таким чином, є добре обґрунтованою, та наразі є предметом активних досліджень [8, 11–13]. Фактором рентабельності виступає і той факт, що високоякісне джерело мікроелементів та біомолекул може бути доступним для переробки на етапі заготівлі пагонів спаржі без додаткових інвестицій у вирощування продукції.

5.2. Оцінка доцільності введення порошку спаржі в рецептуру хлібних виробів

На сьогоднішній день, попит на хліб формується різноманітними цільовими групами споживачів. В той час як деяка їх кількість керується здебільшого вартістю продукції та органолептичними показниками, інші категорії все більше звертають увагу на здорове харчування і у виборі хлібобулочної продукції орієнтуються на продукти з високими харчовими якостями, зокрема дієтичними, смаковими, естетичними тощо. Реагуючи на тренди і в сподіванні залучення специфічної аудиторії, виробники експериментують з інноваційними рецептурами, зокрема із додаванням функціональних інгредієнтів.

Підвищення біологічної цінності хлібобулочних виробів часто досягається за рахунок введення до рецептури тіста частки борошна, альтернативного пшеничному [14]. Так, зокрема, борошно зі спельти (вид роду пшениця) має високий вміст білка (близько 14–15 %), що є близьким до кількості білків у пшениці, проте також багате на вітаміни групи В, магній, залізо і клітковину, краще засвоюється, ніж звичайне пшеничне борошно. У борошні зі спельти знижений вміст глютену, проте воно не підходить для людей із целіакією через його наявність. Борошно зі спельти добре підходить

для випікання хліба, печива, пирогів, але може бути менш еластичним.

Ляне борошно має дуже високий вміст клітковини та омега-3 жирних кислот, проте низький – вуглеводів, тому гарно підходить для низьковуглеводних дієт. Також воно є багатим на лігнани, антиоксиданти та білок (близько 35%), однак, через низький вміст крохмалю не утворює структуру тіста і може використовуватись лише як додаток до іншого борошна (10-20%) [15].

Амарантове борошно також має досить високий вміст білка, багате на незамінну амінокислоту лізин, а також залізо, магній, кальцій, вітаміни групи В. Підходить для безглютенових дієт [16], проте має сильний, специфічний смак, який може домінувати, та погано утримує структуру тіста [17]. Борошно з кіноа багате на білок (як і у амарантовому, вміст білка близько 14–15 %), містить всі незамінні амінокислоти, багате на клітковину, антиоксиданти, вітаміни В та мінерали (магній, цинк), не містить глютену [18]. В той же час, за неправильної обробки має гіркий присмак. Через відсутність глютену структури амарантового борошна та борошна з кіноа є слабкими, вони підходять для приготування печива та млинців, проте для виробництва хліба повинні бути змішані з іншими видами борошна [19].

Якщо порівнювати з пшеничним борошном, описані види борошна містять більше білків (у випадку ляного – значно більше), і менше вуглеводів [14, 18, 20]. Через нижчий вміст глютену або його відсутність, недостатній вміст крохмалю, вони не можуть повністю замінити пшеничне борошно у хлібобулочних виробках, і їх необхідно комбінувати для досягнення правильної структури тіста [19]. Додавання порошку спаржі до таких альтернативних видів борошна, згідно з нашими припущеннями, може частково компенсувати відсутність глютену за рахунок багатого білкового складу, позитивно вплинути як на досягнення необхідних параметрів для випікання хлібу, так і додатково збагатити хлібобулочний виріб мікроелементами, білками та біологічно активними речовинами. Таке збагачення може бути потенційно дуже цінним, особливо для споживачів, яким необхідні безглютенові та

низьковуглеводні дієти.

Для розробки способів лабораторного випікання хлібу, збагаченого за рахунок додавання спаржі, дослідним шляхом було визначено доцільність заміни частини борошна в рецептурі на порошок спаржі. Кількість порошку спаржі, введеного у склад тіста, підбиралась експериментально з урахуванням вимог хлібопекарського технологічного процесу, після чого хліб випікали та порівнювали його властивості з контрольними зразками, випеченими з відповідного борошна без додавання порошку спаржі.

В ході нашого дослідження нами були випробувані ряд рецептур із введенням порошку зі спаржі до сумішей для випікання хліба з борошном цільнозерновим зі спельти, з кіноа, амарантовим, або лляним у кількостях 5 і 10 % (Додаток І). Як контроль у кожному випадку використовували хліб без додавання порошку спаржі в тісто. Режими тривалості та умов бродіння і розстоювання тіста визначали експериментальним шляхом, після випікання варіанти хліба оцінювали органолептично.

Хліб із борошна цільнозернового амарантового характеризувався гладкою поверхнею без тріщин і підривів; м'якушка швидко відновлювала початкову форму, однак утримувала вологу, залишаючись дещо глевкою на дотик, мала розвинену пористість, без затвердіння; забарвлення м'якушки у всіх варіантах було коричневим, смак і запах були властиві даному найменуванню хліба, без стороннього смаку і запаху. Додавання порошку спаржі до складу хліба знизило вологість м'якушки, збільшило рівномірність пористості, а також сприяло зменшенню розміру пор (рис. 5.3).

У випадку внесення 5 % порошку спаржі до борошна цільнозернового амарантового водопоглинальна здатність тіста сильно не змінилася, проте зі збільшенням кількості порошку до 10 % здатність утримувати вологу тістом зменшувалася (Табл. 5.2). Істотне упікання хліба визначено вже за добавляння 5 % порошку спаржі – значення в 29,6 % що на 17 % менше контрольного. Питомий об'єм хліба амарантового контрольного варіанту становив 1,08 см³/г, тоді як із внесенням овочевого порошку в кількості 5 % – зменшувався на

5,5 %, а додавання 10 % порошку сприяло збільшенню величини питомого об'єму хліба до 1,19 см³ / г.



Рис. 5.3. Фото зразків хлібу з амарантового борошна та порошку спаржі (кількість доданого порошку представлена у відсотках).

Таблиця 5.2

Фізико-хімічні показники хліба з борошна цільозернового амарантового (контроль) та нових рецептур з додаванням порошку спаржі

Показник	Хліб з борошна цільозернового амарантового			
	Контроль	5 % порошку спаржі	10 % порошку спаржі	HIP_{05}
Питомий об'єм хліба, см ³ /г	1,08	1,02	1,19	0,06
Упікання хліба, %	35,6	29,6	30,7	1,59

Хліб із борошна лляного знежиреного мав гладку поверхню без великих тріщин і підривів, однак відрізнявся високою щільністю м'якушки за рахунок значного упікання. М'якушка відновлювала початкову форму, однак утримувала вологу, залишаючись дещо глевкою на дотик, мала незначну пористість, без затвердіння. При добавці порошку спаржі до борошна лляного знежиреного м'якушка тріскалася після випікання (рис. 5.4).



Рис. 5.4. Фото зразків хлібу з борошна лляного знежиреного та порошку спаржі (кількість доданого порошку представлена у відсотках).

Забарвлення м'якушки у всіх варіантах було темно-коричневим, смак і запах були властиві даному найменуванню хліба, без стороннього смаку і запаху. Як видно з таблиці 5.3, збільшення кількості добавленого порошку спаржі до борошна лляного знежиреного зменшувало водопоглинальну здатність тіста зі істотним зменшенням величини упікання хліба та зниженням його питомого об'єму. Так, найбільший відсоток упікання визначено у контрольному зразку за значення 34,1 %, тоді як за додавання 5 та 10 % порошку зі спаржі – на 9–10 % менше. Питомий об'єм хліба з борошна лляного

становив 1,12 см³ / г, за добавляння порошку спаржі 5 та 10 % відповідно на 2 і 9 % менше. За внесення 10 % порошку спаржі до борошна лляного, таким чином, визначено істотний вплив на питомий об'єм хліба.

Таблиця 5.3

Фізико-хімічні показники хліба з борошна лляного знежиреного (контроль) та нових рецептур з додаванням порошку спаржі

Показник	Хліб з борошна цільозернового лляного знежиреного			
	Контроль	5 % порошку спаржі	10 % порошку спаржі	<i>HIP₀₅</i>
Питомий об'єм хліба, см ³ /г	1,12	1,10	1,02	0,05
Упікання хліба, %	34,1	31,1	30,7	1,59

Хліб із борошна кіноа цільозернового характеризувався гладкою поверхнею без тріщин і підривів; м'якушка була сухою на дотик, без затвердіння, мала незначну, проте рівномірну пористість, розмір пор – дрібний. Забарвлення м'якушки у всіх варіантах було коричневим, смак і запах були властиві даному найменуванню хліба, без стороннього смаку і запаху. Додавання порошку спаржі до складу хліба збільшило щільність м'якушки, імовірно, за рахунок значного показника упікання. Розмір пор також зменшувався із збільшенням частки порошку спаржі в тісті (рис. 5.5).

З даних таблиці 5.4. видно, що внесення до борошна цільозернового з насіння кіноа порошку спаржі суттєво збільшує величину упікання хліба: контрольному зразку значення складає 11,2 %, тоді як у зразках із 5 та 10 % добавки – відповідно в 2,3 та 2,6 рази більше.



Рис. 5.5. Фото зразків хлібу з борошна кіноа цільнозернового та порошку спаржі (кількість доданого порошку представлена у відсотках).

Таблиця 5.4

Фізико-хімічні показники хліба з борошна кіноа цільнозернового (контроль) та нових рецептур з додаванням порошку спаржі

Показник	Хліб з борошна кіноа цільнозернового			
	Контроль	5 % порошку спаржі	10 % порошку спаржі	HIP_{05}
Питомий об'єм хліба, $\text{см}^3/\text{г}$	0,92	0,97	1,10	0,05
Упікання хліба, %	11,2	25,4	29,3	1,09

Отже, на відміну від хліба з борошна лляного, визначено позитивний ефект добавляння порошку спаржі у рецептурі хліба з борошна кіноа за рахунок збільшення водопоглинальної здатності тіста зі суттєвим збільшенням питомого об'єму хліба. Так, у контролі даний якісний показник

хліба складав $0,92 \text{ см}^3 / \text{г}$, у зразках із 5 та 10 % порошку спаржі – відповідно на 5 і 7 % більше.

Незважаючи на деяке покращення фізико-хімічних показників хліба за новими рецептурами з використанням порошку спаржі відносно відповідних контрольних зразків, загальні їх органолептичні оцінки залишались посередніми, що може ускладнити виведення тестованих рецептур на ринок споживання. Принципово інакші результати були отримані у зразках хлібу з додаванням порошку спаржі до борошна цільозернового зі спельти, що, на основі наших даних, може мати значний потенціал як новий хлібобулочний виріб. Ці зразки хлібу вирізнялись кращою структурою та зовнішнім виглядом (рис. 5.6), тому для визначення оптимальних рецептур було випробувано більше варіантів та використано ширший спектр показників якості.



Рис. 5.6. Фото зразків хлібу з борошна цільозернового пшеничного зі спельти та порошку спаржі (кількість доданого порошку представлена у відсотках).

5.3. Органолептичні та фізико-хімічні показники хліба із борошна цільнозернового пшеничного зі спельти зі спаржею

Хліб лабораторний, в рецептуру якого було введено деяку кількість порошку спаржі з пропорційним зменшенням кількості борошна цільнозернового пшеничного зі спельти, був оцінений за рядом органолептичних (колір, смак, запах) та фізико-хімічних показників якості. Також проводили оцінку його кулінарних властивостей (питомий об'єм, пористість, вологість, кислотність, величину упікання). З метою визначення оптимальних рецептур для лабораторної випічки були випробувані різні пропорції у сумішах порошку спаржі і борошна цільнозернового пшеничного зі спельти (далі «борошна зі спельти»), таким чином, зразки містили 0, 5, 10, 20 або 30 % порошку спаржі у сумішах, відповідно.

За органолептичними показниками хліб із борошна цільнозернового зі спельти відповідав встановленим вимогам: поверхня була гладкою, без великих тріщин і підривів; м'якушка – еластичною, швидко відновлювала початкову форму, пропеченою, не вологою на дотик, не липкою, з розвиненою рівномірною пористістю, без затвердіння; забарвлення м'якушки мало сіро-жовтий відтінок; смак і запах були властиві даному найменуванню хліба, без стороннього смаку і запаху.

В Таблиці 5.5 наведено органолептичні показниками якості хліба з борошна зі спельти та з додаванням порошку спаржі у різній рецептурній кількості.

Хліб нових рецептур за якістю дещо відрізнявся від контрольного зразку: забарвлення м'якушки – темно-жовте, зеленкувато-жовте, зеленкувате; смак і запах – властиві спаржі. Порошок спаржі містив антоціанові пігменти та мав виражений зелений колір.

Таблиця 5.5

Фізико-хімічні показники хліба з борошна зі спельти (контроль) та нових рецептур з додаванням порошку спаржі

Показник	Вміст порошку спаржі у суміші для випікання зразку хліба				
	0 % (Контроль)	5 %	10 %	20 %	30 %
Зовнішній вигляд скоринки	поверхня гладка, без забруднення, тріщин і підривів			поверхня гладка, без забруднення, великих тріщин і підривів	
Колір скоринки	блідо-жовтий	світло-жовтий	жовтий	коричневий	коричневий
Стан м'якушки	еластична, відновлює початкову форму, пропечена, не волога на дотик, не липка без затвердіння				
	з рівномірною пористістю	з розвиненою рівномірною пористістю	з рівномірною пористістю	з нерівномірною пористістю	
Колір м'якушки	сіро-жовтий	темно-жовтий	жовто-зеленкуватий	зеленуватий, видні часточки збагачуючої добавки	
Запах	властивий даному найменуванню хліба			хлібний з сильним ароматом добавки	аромат добавки домінує
	без стороннього запаху	з ароматом добавки			
Смак	властивий даному найменуванню хліба				
	без стороннього смаку	з присмаком добавки			з сильним присмаком добавки

Встановлено доцільність внесення в тісто з борошна зі спельти 5 – 10 % порошку спаржі. Такий хліб мав рівномірно забарвлену (темно-жовту) скоринку без підривів і тріщин, еластичну м'якушку (темно-жовту, зеленкувато-жовту), тонкостінну пористість, виражений хлібний смак і приємний аромат добавки.

М'якуш хліба, отриманий із борошна зі спельти з додаванням 20 і 30 % порошку був із зеленкуватим відтінком, мав сильно виражений смак і аромат добавки, що може значно впливати на задоволеність його споживачів.

Загальна дегустаційна оцінка хліба за 9–бальною шкалою за дев'ятьма характеристиками також є найвищою для зразків, випечених з сумішей, що включали 5 – 10 % порошку спаржі (Табл. 5.6) [21].

Таблиця 5.6

Якість хліба з борошна обойного пшеничного зі спельти (контроль) та нових рецептур (контроль) та нових рецептур з додаванням порошку спаржі

Показник	Вміст порошку спаржі у суміші для випікання зразку хліба				
	0 % (Контроль)	5 %	10 %	20 %	30 %
Поверхня скоринки	8	8	8	8	8
Колір скоринки	9	9	9	9	9
Величина глянцевої поверхні	9	8	8	8	8
Колір м'якушки	7	7	7	4	4
Еластичність м'якушки	7	8	7	4	4
Запах	8	8	7	7	7
Смак	7	8	7	4	4
Консистенція м'якуша під час розжовування	7	8	7	4	4

Показник		Вміст порошку спаржі у суміші для випікання зразку хліба				
		0 % (Контроль)	5 %	10 %	20 %	30 %
Крупність пор		8	9	5	3	1
Рівномірність розміщення пор		9	7	8	8	8
Загальна оцінка	бал	8,8	8,9	8,1	6,5	6,3
	%	97	99	90	73	70

За показником кольору скоринки всі досліджувані зразки хліба мали оцінку 9 балів, а за поверхнею скоринки – 8 балів. Величина глянцевої поверхні скоринки хліба контрольного зразка оцінена на 9 балів, у решти варіантів хліба лише на один бал менше.

Хліб, отриманий із додаванням 5 % порошку спаржі, оцінено на 8 балів за еластичністю м'якушки, консистенцію м'якуша під час розжовування, смаком і запахом, що на один бал більше, ніж у контрольному зразку та хлібі з 10 % порошку спаржі. Стан м'якуша та смак у варіантах із додаванням 20 та 30 % порошку оцінено на 4 бали. При цьому за показником запаху даний хліб отримав 7 балів. За показником крупності пор м'якушки зразки хліба різнилися. Найкращим за крупністю пор визнано зразок з 5 % порошку та контроль, що отримали відповідно 9 та 8 балів. Зі збільшенням кількості порошку у хлібі спостерігали значне зменшення розмірів пор. Однак усі зразки хліба вирізнялися високою рівномірністю розміщення пор – 7–9 балів.

Загальна оцінка якості хліба, що вивчали, була дуже високою у трьох зразках – контрольному та отриманих із борошна зі спельти у суміші з 5 та 10 % порошку спаржі – 8,1–8,9 бала або 90–99 % від максимального значення. Менші значення отримані у зразках хліба за додавання 20 та 30 % овочевого

порошку до рецептури тіста – 7,6–7,8 або 70–73 %, що істотно нижче показника стандарту, проте все ще є досить високим значенням.

З Рис 5.7. видно, що під час випікання зразок хліба з додаванням 5 % порошку спаржі переважав контрольний варіант за величиною збільшення об'єму, оскільки використання добавки інтенсифікує процес бродіння тіста. Очевидно, це пояснюється внесенням в борошняні напівфабрикати з спаржею цукрів, макро-, мікроелементів, органічних кислот. Ці речовини є живильним середовищем, беруть участь у біосинтезі складових компонентів клітинного обміну і виконують різноманітні функції в метаболізмі дріжджових клітин.



Рис. 5.7. Фото зразків хлібу під час випікання.

Більш значне (10–30 %) збільшення рецептурної кількості порошку спаржі у тісті негативно впливало на властивості клейковини борошна спельтового та відмічалось зменшення каркасу тіста.

Проте суттєве упікання хліба виявлено лише з внесенням 30 % порошку спаржі до рецептури тіста з борошна цільозернового пшеничного зі спельти, де величина упікання становила 16,8 %, що лише на 8 % більше ніж у контролі.

Питомий об'єм і пористість контрольного зразка хліба становили $2,40 \text{ см}^3 / \text{г}$ і 68 % відповідно. При використанні порошку спаржі у кількості 5 % вказані показники хліба істотно не поступались контрольному зразку і

становили 2,38 см³ / г і 67 % відповідно, а у інших зразках – були меншими за контроль на 9–19 % і 6–11 % відповідно (Табл. 5.8).

Таблиця 5.8

**Фізико-хімічний аналіз хліба з борошна обойного пшеничного зі
спельти (контроль) та нових рецептур**

Показник	Зразок хліба					HIP ₀₅
	Контроль	5 %	10 %	20 %	30 %	
Вологість, %	44,2	44,8	45,6	45,4	46,0	2,26
Кислотність, град.	3,7	3,9	4,0	4,1	4,1	0,20
Пористість, %	68	67	62	57	55	3,14
Питомий об'єм, см ³ /г	2,40	2,38	2,26	2,18	2,14	0,11
Упікання, %	15,4	15,6	16,2	16,1	16,8	0,80

Зменшення питомого об'єму дослідних зразків із внесенням овочевого порошку у рецептурі тіста у кількості 10–30 % пов'язано зі суттєвим зниженням пористості хліба.

У досліджуваних зразках визначено підвищення кислотності на 5–10 % у порівнянні з контрольними зразками. Більш інтенсивне кислотонакопичення в зразках тіста нових рецептур обумовлене вмістом органічних кислот у даній сировині. Це може бути пов'язане з інтенсифікацією молочнокислого бродіння, тобто бути свідченням створення більш сприятливих умов для молочнокислих бактерій.

Таким чином, на основі отриманих результатів, експериментально обґрунтовано та впроваджено заміну частини рецептурної кількості борошна цільнозернового пшеничного зі спельти на висушену і розмелену спаржу під час виготовлення хліба.

У подальшому є можливим визначення доцільності використання порошку спаржі і під час виготовлення інших продуктів харчування.

Отже, використання в хлібопекарському виробництві порошку спаржі є перспективним. Отриманні дані дають змогу рекомендувати виробникам використовувати порошок зі спаржі під час виготовлення хліба, що збагатить асортимент хлібобулочних виробів та дасть можливість значно розширити коло їхніх споживачів.

Висновки до розділу 5

1. Базальні частини пагонів спаржі, які при товарній обробці спаржі зазвичай відносять до відходів, мають високий потенціал як джерело поліфенольних сполук. В ході досліджень встановлено, що вміст фенольних речовин у базальних частинах пагонів спаржі сорту Пріус становить близько $75 \text{ мг} \times 100 \text{ г}^{-1}$, а сорту Розалі – $68 \text{ мг} \times 100 \text{ г}^{-1}$, що лише на 20...27% менше, ніж в основних частинах пагонів.

2. Показано, що висушений порошок з базальних частин спаржі містить високу кількість білків – близько 5% маси, а також значні кількості фосфору, сірки та мікроелементів, таких як калій, кальцій, залізо, магній, цинк, манган, мідь. Багатий хімічний склад, таким чином, відкриває можливості використання порошку спаржі як харчової добавки.

3. Експериментально обґрунтовано можливість збагачення біологічно активними речовинами хлібу за рахунок додавання в суміші для випікання порошку зі спаржі – на прикладі хлібу з борошна з насіння кіноа, а також амарантового та лляного борошна. Додавання порошку спаржі (5-10%) до складу хліба з безглютенових видів борошна сприяло утриманню форми, знизило вологість м'якушки, збільшило рівномірність пористості, проте сприяло більш суттєвому упіканню. Незважаючи на покращення фізико-хімічних показників хліба за новими рецептурами, їх загальні органолептичні оцінки залишались посередніми.

4. Розроблено рецептуру тіста та параметри випікання хліба на основі

цільнозернового борошна зі спельти з додаванням порошка зі спаржі (заявка на корисну модель № u202405955 прийнята 19.12.2024) [22]. Заміна 5–10% борошна на порошок спаржі була визначена як оптимальна, оскільки дозволила отримати продукти з високими органолептичними характеристиками (90–99 % від максимального значення загальної оцінки).

5. Використання порошку спаржі у хлібопекарській промисловості, таким чином, дозволяє зменшити харчові відходи, підвищити біологічну цінність продуктів за рахунок мікроелементів, білків та антиоксидантів, а також розширити асортимент хлібобулочної продукції, в тому числі для споживачів із потребами у низьковуглеводних або безглютенітових дієтах.

Список літератури для розділу 5

1. United Nations. Transforming Our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development. A/RES/70/1., United Nations (2015).
2. Fuentes-Alventosa, J. M., Jaramillo-Carmona, S., Rodríguez-Gutiérrez, G., Guillén-Bejarano, R., Jiménez-Araujo, A., Fernández-Bolaños, J., & Rodríguez-Arcos, R. (2013). Preparation of bioactive extracts from asparagus by-product. *Food and Bioproducts Processing*, 91(2), 74–82. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.12.004>
3. Rodríguez, R., Jaramillo, S., Guillen, R., Jimenez, A., Fernández-Bolaños, J., & Heredia, A. (2005). Cell wall phenolics of white and green asparagus. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(6), 971–978.
4. Durazzo, A., Lucarini, M., Souto, E. B., Cicala, C., Caiazzo, E., Izzo, A. A., Novellino E., & Santini, A. (2019). Polyphenols: A concise overview on the chemistry, occurrence, and human health. *Phytotherapy Research*, 33(9), 2221–2243. <https://doi.org/10.1002/ptr.6419>
5. Kobus-Cisowska, J., Szymanowska, D., Szczepaniak, O. M., Gramza-Michałowska, A., Kmiecik, D., Kulczyński, B., Szulc, P., & Górnaś, P. (2019). Composition of polyphenols of asparagus spears (*Asparagus officinalis*) and their antioxidant potential. *Ciência Rural*, 49(4). <https://doi.org/10.1590/0103->

6. Solana, M., Boschiero, I., Dall'Acqua, S., & Bertucco, A. (2015). A comparison between supercritical fluid and pressurized liquid extraction methods for obtaining phenolic compounds from *Asparagus officinalis* L. *The Journal of Supercritical Fluids*, 100, 201–208. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2015.02.014>
7. Santiago, B., Feijoo, G., Moreira, M. T., & Gonzalez-Garcia, S. (2021). Identifying the sustainability route of asparagus co-product extraction: From waste to bioactive compounds. *Food and Bioproducts Processing*, 129, 176–189. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.08.005>
8. Jiménez-Sánchez, C., Lozano-Sánchez, J., Rodríguez-Pérez, C., Segura-Carretero, A., & Fernández-Gutiérrez, A. (2016). Comprehensive, untargeted, and qualitative RP-HPLC-ESI-QTOF/MS2 metabolite profiling of green asparagus (*Asparagus officinalis*). *Journal of Food Composition and Analysis*, 46, 78–87. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.11.004>
9. Tian, Z., Zhang, R., Liu, Y., Xu, J., Zhu, X., Lei, T., & Li, K. (2021). Hemicellulose-based nanocomposites coating delays lignification of green asparagus by introducing AKD as a hydrophobic modifier. *Renewable Energy*, 178, 1097–1105. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.06.096>
10. Kohli, D., Champawat, P. S., & Mudgal, V. D. (2023). Asparagus (*Asparagus racemosus* L.) roots: nutritional profile, medicinal profile, preservation, and value addition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(5), 2239–2250. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12358>
11. Yu, Q., & Fan, L. (2021). Improving the bioactive ingredients and functions of asparagus from efficient to emerging processing technologies: A review. *Food Chemistry*, 358(March), 129903. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129903>
12. Fuentes-Alventosa, J. M., Jaramillo-Carmona, S., Rodríguez-Gutiérrez, G., Rodríguez-Arcos, R., Fernández-Bolaños, J., Guillén-Bejarano, R., Espejo-Calvo, J.A., & Jiménez-Araujo, A. (2009). Effect of the extraction method on phytochemical composition and antioxidant activity of high dietary fibre powders

obtained from asparagus by-products. *Food Chemistry*, 116(2), 484–490. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.02.074>

13. Guo, Q., Wang, N., Liu, H., Li, Z., Lu, L., & Wang, C. (2020). The bioactive compounds and biological functions of *Asparagus officinalis* L. – A review. *Journal of Functional Foods*, 65, 103727. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103727>

14. Mystkowska, I., Plażuk, E., Szepeluk, A., & Dmitrowicz, A. (2024). Gluten-containing flours and gluten-free flours as a source of calcium, magnesium, iron and zinc. *Scientific Reports*, 14(1), 14643. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-65530-2>

15. Wirkijowska, A., Zarzycki, P., Sobota, A., Nawrocka, A., Blicharz-Kania, A., & Andrejko, D. (2020). The possibility of using by-products from the flaxseed industry for functional bread production. *LWT*, 118, 108860. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108860>

16. Alvarez-Jubete, L., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2009). Nutritive value and chemical composition of pseudocereals as gluten-free ingredients. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(sup4), 240–257. <https://doi.org/10.1080/09637480902950597>

17. De Bock, P., Daelemans, L., Selis, L., Raes, K., Vermeir, P., Eeckhout, M., & Van Bockstaele, F. (2021). Comparison of the Chemical and Technological Characteristics of Wholemeal Flours Obtained from Amaranth (*Amaranthus* sp.), Quinoa (*Chenopodium quinoa*) and Buckwheat (*Fagopyrum* sp.) Seeds. *Foods*, 10(3), 651. <https://doi.org/10.3390/foods10030651>

18. Filho, A. M. M., Pirozi, M. R., Borges, J. T. D. S., Pinheiro Sant’Ana, H. M., Chaves, J. B. P., & Coimbra, J. S. D. R. (2017). Quinoa: Nutritional, functional, and antinutritional aspects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(8), 1618–1630. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.1001811>

19. Rumler, R., Bender, D., & Schoenlechner, R. (2023). Mitigating the Effect of Climate Change within the Cereal Sector: Improving Rheological and Baking Properties of Strong Gluten Wheat Doughs by Blending with Specialty

Grains. *Plants*, 12(3), 492. <https://doi.org/10.3390/plants12030492>

20. Marpalle, P., Sonawane, S. K., & Arya, S. S. (2014). Effect of flaxseed flour addition on physicochemical and sensory properties of functional bread. *LWT - Food Science and Technology*, 58(2), 614–619. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.003>

21. Господаренко, Г. М., Осокiна, Н. М., Любич, В. В., Полянецька, І. О., Петренко, В. В., & Возiян, В. В. (2015). Спосiб лабораторного випiкання хлiба iз борошна пшеничного зi спельти. Україна: 109225, МПК А21D 8/00.21.

22. Прiсс О. П., Булгаков П. О., Костецька К.В., Осокiна Н.М., Загорко Н.П. Спосiб лабораторного випiкання хлiба iз борошна цiльнозернового пшеничного зi спельти з спаржею: заявка на корисну модель № u202405955 прийнята 19.12.2024 Заявник та патентовласник Таврiйський державний агротехнологiчний унiверситет iменi Дмитра Моторного; заявлено 16.12.2024; прийнято 19.12.2024.

РОЗДІЛ 6.

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ОБРОБКИ СПАРЖІ КОМБІНОВАНИМ БІОПОЛІМЕРНИМ ПОКРИТТЯМ

Ринок спаржі в Україні характеризується нестабільністю, що зумовлено його сезонним характером через короткі терміни зберігання продукції. Період наповнення ринку спаржею триває з квітня до середини червня, і у випадках, коли пропозиція значно перевищує попит, частина врожаю втрачається. Це обумовлює гостру необхідність застосування додаткових засобів зберігання для покращення ефективності реалізації продукції. Економічна доцільність вдосконалення зберігання спаржі, однак, виникає не лише завдяки подовженню терміну її реалізації, але й за рахунок скорочення природних втрат маси, підвищення виходу стандартної продукції та забезпечення стабільності органолептичних показників.

Економічна ефективність застосування обробки комбінованими біополімерними покриттями спаржі визначається рівнем прибутку та рівнем рентабельності. Ці показники залежать від собівартості продукції, витрат на її обробку, споживання електроенергії, та оплати праці, а також від ціни реалізації після зберігання.

В період масового збору врожаю ціна оптової партії спаржі з поля у 2024 році була доволі високою і становила 180 грн/кг.

Для встановлення собівартості продукції рахували основні витрати, які включали:

- витрати на сировину;
- витрати на обробку;
- витрати на заробітну плату;
- енерговитрати.

Витрати на сировину склали 180 тисяч грн. на тонну продукції у випадку спаржі сорту Приус і 200 тисяч грн. у випадку сорту Розалі.

Склад композицій для попередньої обробки (Ch+R) та пропорції компонентів прийняті у відповідності до схеми досліджень (Додатки Ї, Й). Вартість та витрати речовин на підготовку спаржі до зберігання наведені у табл. 6.1

Таблиця 6.1.

Вартість та витрати речовин на підготовку спаржі до зберігання

Спаржа	Речовина	Ціна, грн/кг*	Витрата речовин, кг/1000 кг	Вартість, грн/1000 кг
Пріус	Хітозан	2400	0,045	108
	Рутин	8200	0,045	369
Розалі	Хітозан	2400	0,045	108
	Рутин	8200	0,045	369

Примітка. *Роздрібні ціни на компоненти, що входять до складу композицій, обрані з прайс-листів компанії «Торговий Дім «Мікромед» (<https://micromed.ua/about/Micromed>).

Таким чином, витрати на попередню обробку складають 477 грн. на тонну спаржі та додатково 23 грн. за спирт для початкового розчинення рутину.

Затрати праці в розрахунку на 1 тонну обробленої продукції в середньому становили (люд.-год): завантаження у сховище – 0,5, догляд за продукцією – 2; сортування і відправка продукції – 3,5, обробка комбінованим біополімерним покриттям – 4.

Для закладання на зберігання та догляду за продукцією (1 т) наймали двох сезонних працівників, з якими укладали цивільно-правовий договір з погодинною оплатою праці. На момент попереднього сезону вирощування спаржі, згідно із нормативно-правовими актами, чинними на 10.05.2024 року, 1 година праці тарифікувалась в 65 грн. Затрати праці для 1 т плодів контрольних зразків становлять 6 люд.-год, що в грошовому вираженні складають 390 грн до видачі одному працівнику. Для підприємця, який наймає

робітників, з урахуванням сплати додаткових 34,7 % від вказаної суми (єдиний соціальний внесок), витрати складають 525,33 грн. на одного працівника по догляду за контрольною тонною спаржі. Затрати праці для 1 т плодів дослідних зразків становлять 10 люд.-год, що в грошовому вираженні складає 650 грн. до видачі одному працівнику. Для підприємця, який наймає робітників, з урахуванням сплати додаткових 34,7 % від вказаної суми (єдиний соціальний внесок), витрати складають 875,55 грн. на одного працівника по догляду за дослідною тонною.

Оплату електроенергії і матеріалів здійснюють за існуючими тарифами та їх вартістю. До цієї статті відносять і витрати на малоцінний інвентар, який амортизується впродовж одного сезону, а також матеріали: ящики пластмасові, поліетиленова плівка, рукавички та ін. Оскільки під час дослідження в камері зберігання зберігалась виключно спаржа, витрати на камеру фактично дорівнювали витратам на електроенергію за три тижні, що, згідно з тарифікацією спожитої за лічильником електроенергії склали 5298,68 грн. на 4 тонни закладеної на зберігання спаржі (883,11 грн. на 1 тонну контрольного зразку та 1766,22 грн. на 1 тонну дослідного зразку). В перерахунку на умову окремого зберігання, приймаючи, що витрати на охолодження і зберігання спаржі як сорту Пріус, так і сорту Розалі, були однаковими, а контрольні зразки були зняті зі зберігання на тиждень раніше, ніж дослідні, витрати на зберігання тонни продукції з урахуванням амортизації малоцінного інвентаря були наступними:

- для контрольних зразків незалежно від сорту – 1474,67 грн. на тонну продукції.
- для дослідних зразків незалежно від сорту (з урахуванням витрат на додатковий тиждень зберігання в умовах охолодження) – 2124,45 грн. на тонну продукції.

Економічна ефективність використання комбінованого біополімерного покриття Ch+R для зберігання спаржі представлена в таблицях 6.2 та 6.3.

Таблиця 6.2.

**Економічна ефективність використання Ch+R при зберіганні спаржі в
холодильній камері**

Показники	Значення показників				Різниця +/-	
	Базовий		Обробка Ch+R			
	Пріус	Розалі	Пріус	Розалі	Пріус	Розалі
Об'єм продукції, т	1	1	1	1	-	-
Тривалість зберігання, діб	14	14	21	21	+7	+7
Вихід після зберігання, %	83	87	91	94	+8	+7
Фактичні витрати, грн	2000	2000	3500	3500	+1500	+1500
Собівартість 1 тонни продукції, тис. грн.	182	202	183,5	203,5	+1,5	+1,5
Середня ціна 1 т продукції після зберігання, тис. грн.	240	270	290	320	+50	+50
Прибуток, тис. грн.	17,2	32,9	80,4	97,3	+63,2	+64,4
Рентабельність, %	8,6	14	30,05	32,35	+21,45	+18,35

Аналіз даних економічної ефективності дозволяє стверджувати про доцільність обробки спаржі покриттям Ch+R. Вихід товарної продукції після зберігання обробленої спаржі Пріус і Розалі у холодильній камері збільшився на 8 і 7% відповідно, при подовженому на 7 днів терміні зберігання. Собівартість однієї тонни обробленої спаржі збільшується на півтори тисячі гривень, але це дозволило отримати товар високої якості та уникнути відходів після зберігання. Прибуток, отриманий з обробленої спаржі Пріус і Розалі, становив 80400 і 97300 грн/т за рівня рентабельності 30,05 і 32,35% відповідно, натомість у контролі прибуток знаходився на рівні 17200 і 32900 грн/т за рівня

рентабельності 8,6 і 14% відповідно. Отже, впровадження технології зберігання спаржі Приус і Розалі за використання Ch+R збільшує чистий прибуток в середньому на 64300 грн/т продукції.

Таблиця 6.3.

Економічна ефективність застосування покриття Ch+R при зберіганні спаржі в холодильній камері за однаковий період часу

Показники	Значення показників				Різниця +/-	
	Базовий		Обробка Ch+R			
	Приус	Розалі	Приус	Розалі	Приус	Розалі
Об'єм продукції, т	1	1	1	1	-	-
Тривалість зберігання, діб	14	14	14	14	0	0
Вихід після зберігання, %	83	87	98	98	+17	+3
Фактичні витрати, грн	2000	2000	3500	3500	+1500	+1500
Собівартість 1 тонни продукції, тис. грн.	182	202	183,5	203,5	+1,5	+1,5
Середня ціна 1 т продукції після зберігання, тис. грн.	240	270	240	270	0	0
Прибуток, тис. грн.	17,2	32,9	51,7	61,1	+34,5	+28,2
Рентабельність, %	8,6	14	21,98	23,09	+13,38	+9,09

При зберіганні спаржі Приус і Розалі протягом чотирнадцяти днів за умов торгового обороту вихід товарної продукції становить 83 і 87% (залежно від сорту) у контролі та 98% в обробленій продукції. В той же час, собівартість однієї тонни обробленої спаржі збільшилась на 1500 гривень. З огляду на це, впровадження технології зберігання спаржі Приус і Розалі за використання

покриття Ch+R забезпечує чистий прибуток в 51700 і 61100 грн/т продукції відповідно.

Висновки до розділу 6

1. Встановлено, що застосування комбінованого біополімерного покриття Ch+R для подовженого на 7 діб холодильного зберігання спаржі Пріус дозволяє отримати прибуток у розмірі 80400 грн/т (на 63200 грн/т більше, ніж у контролі) за рівня рентабельності 30,05, що на 21,45% вище, ніж у контролі. Аналогічні умови обробки і зберігання спаржі сорту Розалі дозволяють забезпечити прибуток у розмірі 97300 грн/т (на 64400 грн/т більше, ніж у контролі) за рівня рентабельності 32,35%, що на 18,35% вище, ніж у контролі.

2. Застосування комбінованого біополімерного покриття Ch+R спаржі Пріус при холодильному зберіганні протягом 14 діб дає можливість отримання прибутку в розмірі 51700 грн/т продукції (на 34500 грн/т більше, ніж у контролі) за рівня рентабельності 21,98, що на 13,38 більше порівняно з контролем. Аналогічні умови обробки і зберігання спаржі сорту Розалі дозволяють забезпечити прибуток 61100 грн/т продукції (на 28200 грн/т більше, ніж у контролі) за рівня рентабельності 23,09%, що на 9,09 % більше порівняно з контролем.

3. Зростання прибутку та рівня рентабельності при застосуванні комбінованого біополімерного покриття Ch+R відбувається за рахунок скорочення втрат і відходів, підвищення виходу стандартної продукції після зберігання та подовження терміну зберігання.

ВИСНОВКИ

1. Показано, що обробка пагонів спаржі сортів Пріус та Розалі біополімерними покриттями сприяє збільшенню виходу стандартної продукції відносно контролю та продовженню термінів її зберігання (на 7 днів у випадку покриттів на основі альгінату натрію та хітозану) за рахунок впливу на процеси дихання та транспірації пагонів. Обґрунтовано доцільність введення антиоксиданту рутину в композицію покриття для обробки. Показано, що вплив сортових особливостей на товарні показники та втрату маси під час зберігання є незначним, тоді як використання покриттів дозволяє достовірно збільшити вихід стандартної продукції на 4–7% залежно від складу покриття навіть при подовженому терміні зберігання.

2. Досліджено вплив покриттів, що містять комбінацію біополімерів та антиоксиданту рутину, на товарні та фізичні показники спаржі під час холодильного зберігання. Комбіноване біополімерне покриття, яке включає 1 % рутину та 1 % хітозану (Ch+R), визначено як таке, що забезпечує обробленим пагонам спаржі найкращу товарність та найвищі органолептичні показники.

3. Досліджено вплив покриття Ch+R на біологічну цінність обробленої спаржі. Показано, що за рахунок використання покриттів в обох сортах спаржі сповільнюється деградація сухих розчинних речовин, кількість яких залишається на 5,5...7,5% вищою, ніж у відповідних контрольних зразках, навіть при довшому на тиждень періоді зберігання. Хоча динаміка вмісту цукрів, білків та фенольних речовин була сортоспецифічною, використання покриття Ch+R дозволило утримувати вищий, ніж у контрольному зразку, їх вміст, впродовж двох тижнів зберігання незалежно від сорту.

4. Показано суттєвий вплив обробки покриттями на основі хітозану на збереженість пігментів спаржі під час зберігання. На початок зберігання сорт Розалі мала вищий на 40%, ніж Пріус, вміст хлорофілів та на 17 % – каротиноїдів, однак темпи деградації пігментів у сорті Розалі вищі.

Використання біополімерних покриттів значно сповільнило деградацію пігментів, дозволяючи зберегти на 88 % більше хлорофілів і на 48 % більше каротиноїдів при обробці Ch+R, ніж у контролі.

5. Сортоспецифічність метаболічних процесів також показано у випадку динаміки зміни вмісту аскорбінової кислоти: на кінець зберігання вміст вітаміну С незначно змінюється у пагонах сорту Пріус та зростає на 32% у пагонах сорту Розалі. У випадку пагонів обох сортів, обробка біополімерними покриттями дозволила пришвидшити накопичення аскорбінової кислоти на початковому етапі зберігання за рахунок зниження оксидативного стресу, на що також вказувала динаміка активності аскорбатоксидази та поліфенолоксидази. Позитивний ефект покриття Ch+R як на товарність та збереженість спаржі, так і на підтримку її харчової цінності під час зберігання, таким чином, дозволяє рекомендувати його використання у виробництві.

6. Показано, що базальні частини спаржі сортів Розалі і Пріус, які зазвичай відносять до відходів, багаті на феноли, білки та мікроелементи, а отриманий при їх висушуванні порошок може слугувати харчовою добавкою. Експериментально обґрунтовано можливість збагачення біологічно активними речовинами хлібу за рахунок додавання в суміші для випікання такого порошку зі спаржі – на прикладі хлібів з борошна з насіння кіноа, а також амарантового та лляного борошна, фізико-хімічні показники яких при включенні в тісто порошку зі спаржі покращилися.

7. Розроблено рецептуру хліба на основі цільозернового борошна зі спельти з додаванням порошка зі спаржі (5–10%). Отриманий хліб відзначився високими органолептичними характеристиками (90–99 % від максимального значення загальної оцінки). Використання порошку спаржі у хлібопекарській промисловості, таким чином, дозволяє зменшити харчові відходи, підвищити біологічну цінність продуктів, а також розширити асортимент хлібобулочної продукції, в тому числі для споживачів із потребами у низьковуглеводних або безглютенових дієтах.

8. Встановлено, що застосування комбінованого біополімерного

покриття $Ch+R$ є економічно доцільним за рахунок скорочення втрат, підвищення виходу стандартної продукції після зберігання та подовження терміну зберігання. Так, за подовженого на 7 діб холодильного зберігання спаржі Пріус було отримано прибуток у розмірі 80400 грн/т (на 63200 грн/т більше, ніж у контролі) за рівня рентабельності 30,05, що на 21,45% вище, ніж у контролі. Аналогічні умови обробки і зберігання спаржі сорту Розалі дозволяють забезпечити прибуток у розмірі 97300 грн/т (на 64400 грн/т більше, ніж у контролі) за рівня рентабельності 32,35%, що на 18,35% вище, ніж у контролі.

ДОДАТКИ

Додаток А

Калібрування вимірювання елементного складу у порошку спаржі

Вміст макро та мікроелементів у порошку спаржі визначали методом оптико-емісійної спектроскопії з індуктивно зв'язаною плазмою (ОЕС-ІЗП) на приладі «Optima 2100 DV» фірми Perkin-Elmer (USA).

Для калібрування приладу використовували ІСР-мультиелементний стандартний розчин з вмістом 23 хімічних елементів № 111355.0100 (Merck, Німеччина). Аналіз вмісту Mg, Al, Cd, Pb, Mn, Zn, Fe, Co, Cu, Ni, Se, Mo, Cr, V, Ti, Ge – в режимі осьового огляду плазми. Межі виявлення (LOD) наведено у таблиці И.1. Для забезпечення точності вимірювання повторювали двічі. У зв'язку з цим, експериментальне значення вважалось точним, якщо відносне стандартне відхилення не перевищувало 2%. Зовнішній контроль якості лабораторних досліджень визначення вмісту токсичних металів та есенційних мікроелементів у референтних та тестових матеріалах рослинного походження (соя, соняшник, кукурудза) проводили відповідно до програми «Центр метрології і лабораторного сервісу» для наступних елементів Fe, Cu, Zn, Se, Mn, Cd, Pb у 2024 р.

Таблиця А.1.

Вимірювальні прилади

Назва ЗВТ	Відомості про калібрування	Розширена невизначеність U
Спектрометр оптичний емісійний з індуктивно зв'язаною плазмою Optima 2100 Perkin Elmer, США	Свідоцтво про калібрування № UA/37/240320/000391928 від 20.03.2024 р. видане ДП «Укрметртестстандарт»	7,40 %
Ваги лабораторні ВТУ-210	Свідоцтво про калібрування № UA/35/240320/4674 від 20.03.2024 р. видане ДП «Укрметртестстандарт»	0,0042 г
Піпетка-дозатор змінного об'єму PiPET4U	Свідоцтво про калібрування № UA/34/240320/000480 від 05.09.2024 р. видане ДП «Укрметртестстандарт»	6,90 мкл
Мірний посуд на 10 та 25 мл	Проміжні перевірки згідно ПР 6.5 та Ф.6.5/03-02-21	0,091 та 0,098 мл

Інтенсивність дихання пагонів спаржі

Таблиця Б.1

Динаміка інтенсивності дихання (мг CO₂/кг×год) спаржі, обробленої композиціями з гліцеролом, 2021р.

Доба зберігання	Розалі			Пріус		
	Контроль	G	A+G	Контроль	G	A+G
0	106,2	106,2	106,2	94,9	94,9	94,9
1	65,2	118,6	167,3	55,4	65,9	59,5
7	94,6	83	134,2	81,4	98,6	80
12	98,2	114,2	83,9	94,5	89,9	78,6
21	117,7	85,7	69,9	128,4	52,2	71
37	—	—	—	80	92,6	121,6
42	172,2	124,8	147,8	—	—	—

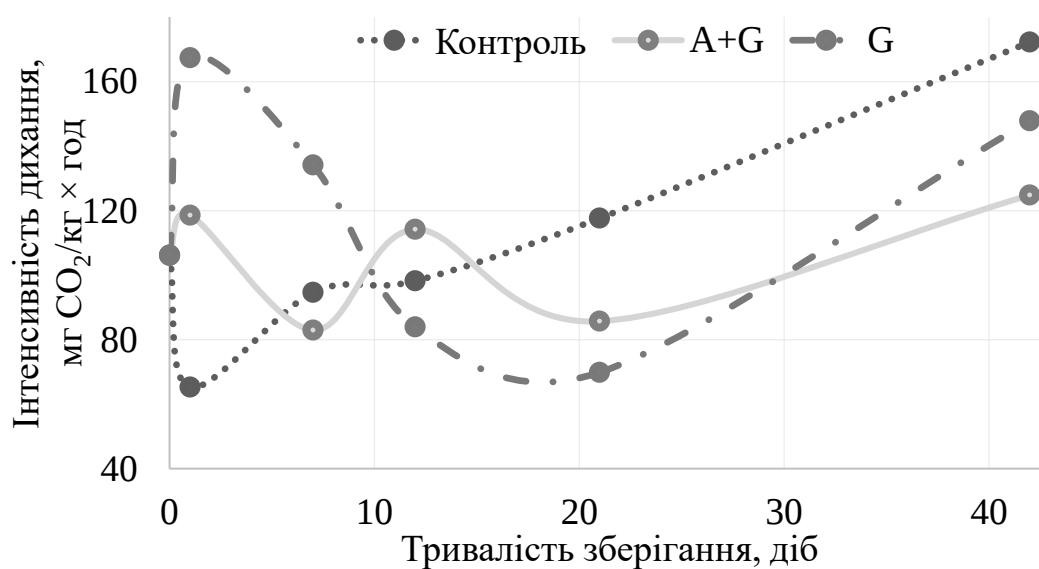


Рис. Б.1. Інтенсивність дихання пагонів сорту Розалі впродовж холодильного зберігання за обробки композиціями з гліцеролом.

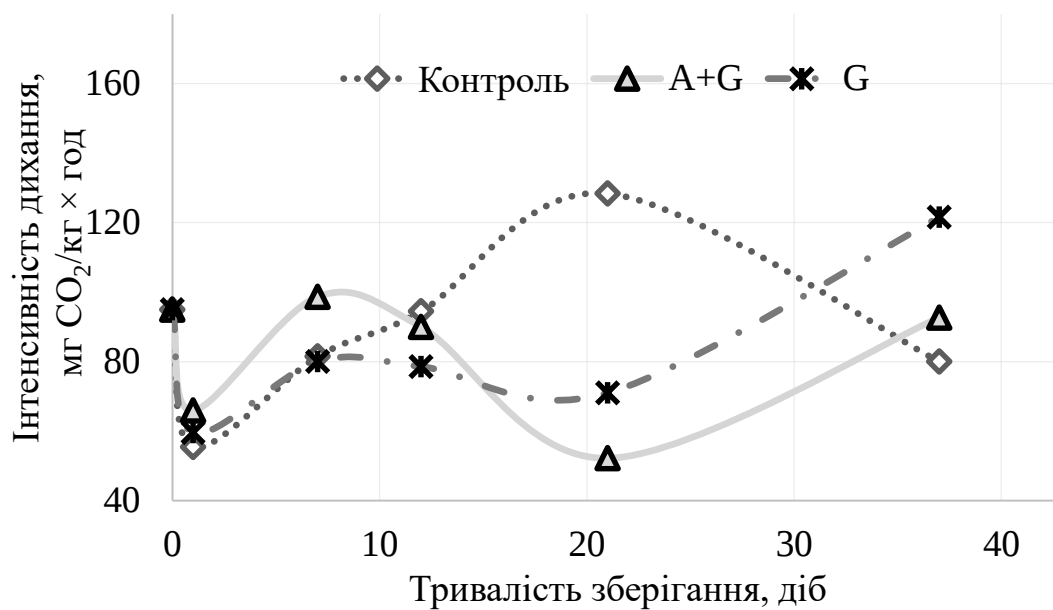


Рис. Б.2. Інтенсивність дихання пагонів сорту Пріус впродовж холодильного зберігання за обробки композиціями з гліцеролом.

Таблиця Б.2

Динаміка інтенсивності дихання (мг CO₂/кг*год) спаржі, обробленої розчинами рутину, 2021р.

Доба зберігання	Розалі				Пріус			
	Контроль	R 0,5	R 1	R 1,5	Контроль	R 0,5	R 1	R 1,5
0	106,2	106,2	106,2	106,2	94,9	94,9	94,9	94,9
1	65,2	71,7	72,7	69,2	55,4	67,0	66,8	60,4
7	94,6	88,5	82,5	88,3	81,4	65,7	88,3	78,6
12	98,2	86,8	113,7	100,2	94,5	101,1	102,1	86,7
21	117,7	110,7	87,9	74,3	128,4	66,0	112,1	74,0
37	—	—	—	—	80,0	150,4	79,8	62,9
42	172,2	127,8	96,1	141,7	—	—	—	—

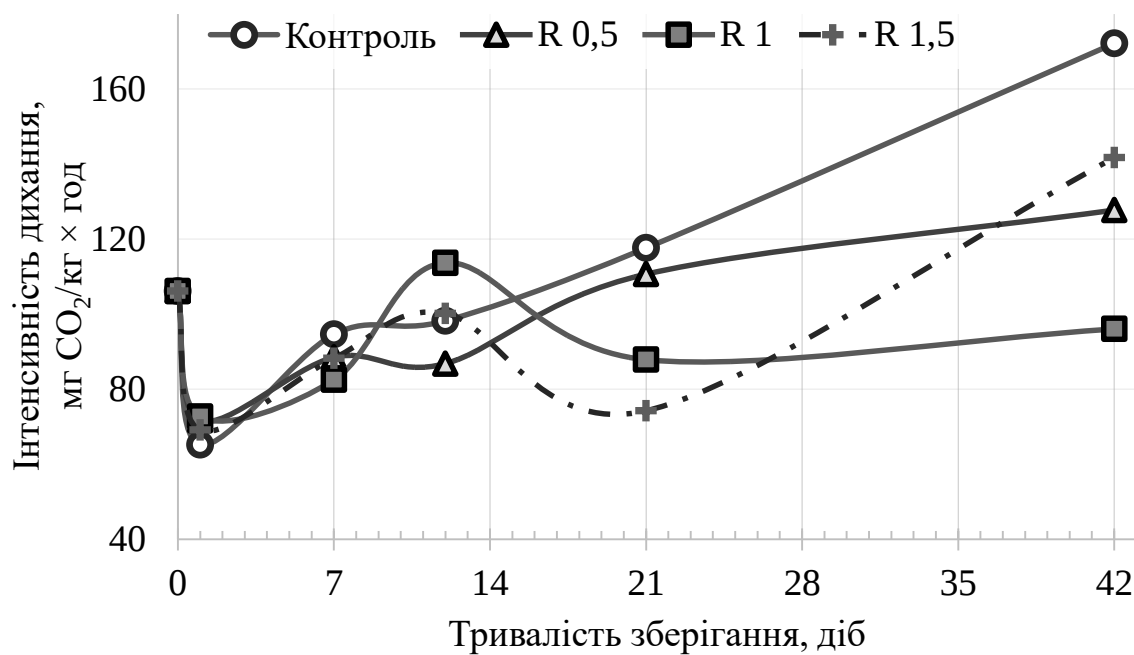


Рис. Б.3. Інтенсивність дихання пагонів сорту Розалі впродовж холодильного зберігання, після обробки розчинами рутину.

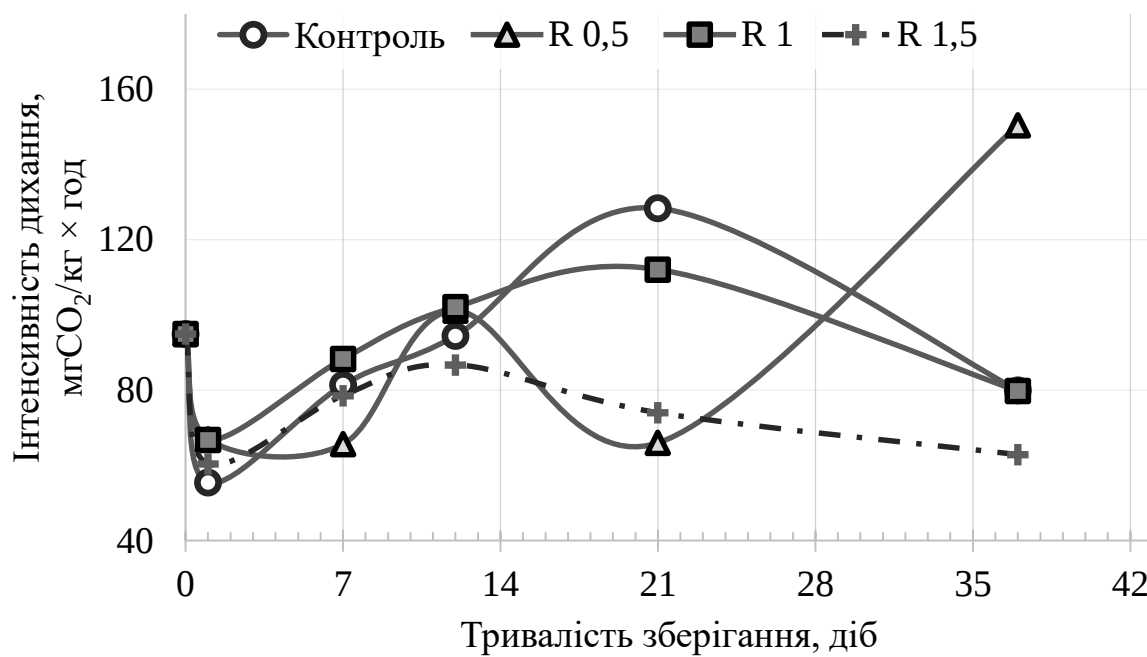


Рис. Б.4. Інтенсивність дихання пагонів сорту Пріус впродовж холодильного зберігання, після обробки розчинами рутину.

Таблиця Б.3.

Динаміка інтенсивності дихання (мг CO₂/кг*год) спаржі впродовж холодильного зберігання за умов післязбиральної обробки покриттями на основі альгінату натрію, 2021р.

Доба зберігання	Розалі				Пріус			
	Контроль	R	A	A+R	Контроль	R	A	A+R
0	106,2	106,2	106,2	106,2	94,9	94,9	94,9	94,9
1	65,2	72,7	57,0	86,2	55,4	66,8	55,4	88,7
7	94,6	82,5	69,7	105,6	81,4	88,3	91,9	76,9
12	98,2	113,7	88,4	98,4	94,5	102,1	75,3	117,3
21	117,7	87,9	82,1	85,3	128,4	112,1	67,9	106,6
37	—	—	—	—	80,0	79,8	115,0	132,0
42	172,2	96,1	138,9	138,8	—	—	—	—

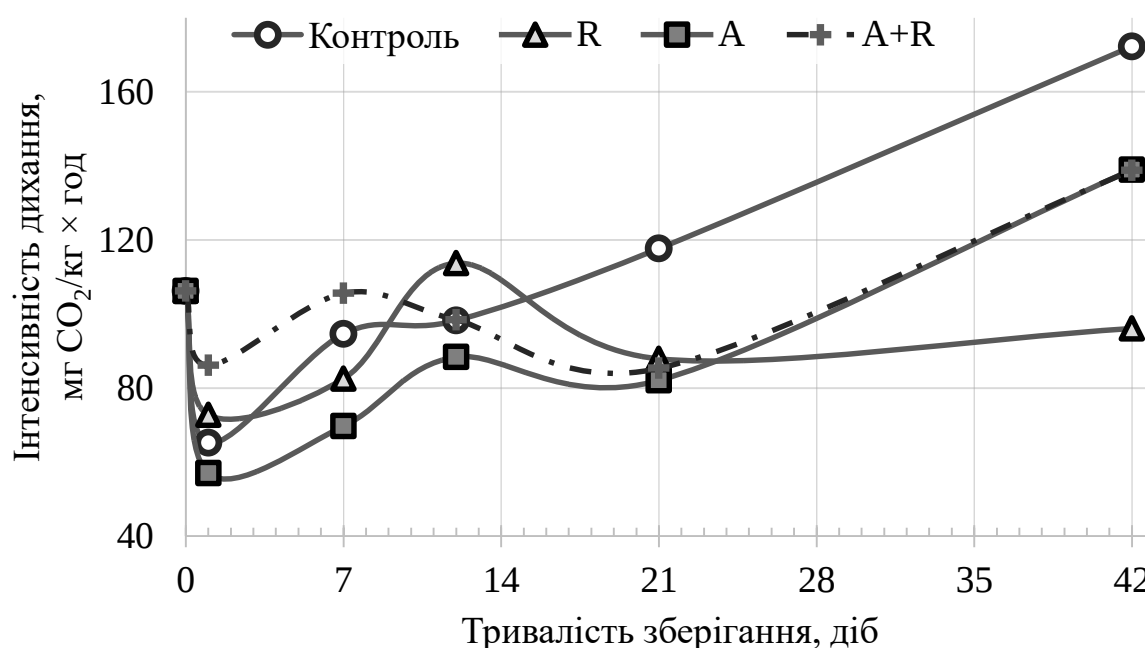


Рис. Б.5. Інтенсивність дихання пагонів сорту Розалі впродовж холодильного зберігання за умов післязбиральної обробки покриттями на основі альгінату натрію

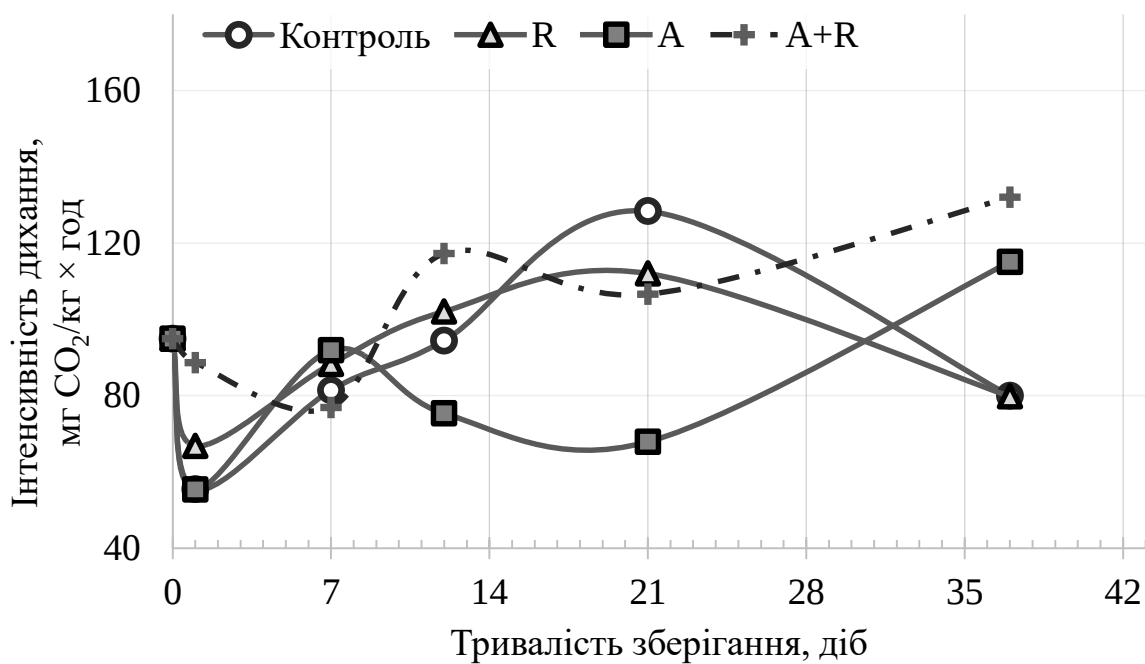


Рис. Б.6. Інтенсивність дихання пагонів сорту Пріус впродовж холодильного зберігання за умов післязбиральної обробки покриттями на основі альгінату натрію

Таблиця Б.4.

Відносне падіння інтенсивності дихання спаржі (%) внаслідок обробки покриттями (на 7й день зберігання)

Сорт	Інтенсивність дихання, мг CO ₂ /кг*год		Відносно контролю	Інтенсивність дихання, мг CO ₂ /кг*год		Відносно контролю
	Контроль	А		Контроль	Ch	
Пріус	94,6	69,7	-26,3%	56,4	51,1	-38,3
Розалі	81,4	76,9	-5,6%	56,2	45,7	-44

Таблиця Б.5.

Динаміка інтенсивності дихання (мг CO₂/кг*год) спаржі впродовж
холодильного зберігання за умов післязбиральної обробки покриттями на
основі хітозану, 2023р

Доба зберігання	Розалі			Пріус		
	Контроль	Ch	Ch+R	Контроль	Ch	Ch+R
0	75,2	75,2	75,2	66,9	66,9	66,9
1	56,4	51,1	46,4	56,2	45,7	50,5
8	86,6	53,4	55,4	87,1	48,8	60,6
14	70,0	83,2	67,9	56,2	73,0	70,2
22	86,7	80,4	93,4	66,5	52,0	65,8

Товарна якість пагонів спаржі

Таблиця В.1.

Збережність спаржі при холодильному зберіганні за обробки продукції
їстівними покриттями (2021р.)

Сорт	Варіант обробки	Тривалість зберігання,	Продукція, %		
			стандартна продукція	нестандартна	відхід
Пріус	Контроль	14	81,20 ± 1,16	14,62 ± 0,98	0,35 ± 0,19
	A+R	21	91,79 ± 1,23*	4,20 ± 0,58*	2,7 ± 0,74*
	Ch+R	21	92,20 ± 1,46*	5,46 ± 0,54*	1,8 ± 0,28*
Розалі	Контроль	14	84,91 ± 1,53	6,89 ± 0,41	4,2 ± 1,64
	A+R	21	88,14 ± 1,29*	4,90 ± 0,23*	4,3 ± 1,26
	Ch+R	21	90,60 ± 1,15*	5,30 ± 0,36	2,6 ± 0,54*

Примітка. Розрахунки товарних показників проводились на кінець зберігання, з урахуванням природних втрат маси. *Різниця достовірна ($p \leq 0,05$) при порівнянні з контролем на добу вимірювання.

Таблиця В.2.

Збережність спаржі при холодильному зберіганні за обробки продукції
їстівними покриттями на основі хітозану (2023р.)

Сорт	Варіант обробки	Тривалість зберігання,	Продукція, %		
			стандартна продукція	нестандартна	відхід
Пріус	Контроль	14	84,56 ± 0,64	8,07 ± 0,13	7,38 ± 0,76
	Ch	22	92,38 ± 1,86*	6,15 ± 0,98	1,47 ± 0,90*
	Ch+R	22	95,98 ± 1,01*	3,09 ± 0,60*	0,94 ± 0,94*
Розалі	Контроль	14	84,89 ± 1,87	9,6 ± 0,69	5,51 ± 1,40
	Ch	22	93,44 ± 1,02*	5,59 ± 0,71*	0,96 ± 0,48*
	Ch+R	22	94,44 ± 0,75*	4,52 ± 0,44*	1,04 ± 0,53*

Примітка. Розрахунки товарних показників проводились на кінець зберігання, з урахуванням природних втрат маси. *Різниця достовірна ($p \leq 0,05$) при порівнянні з контролем на добу вимірювання.

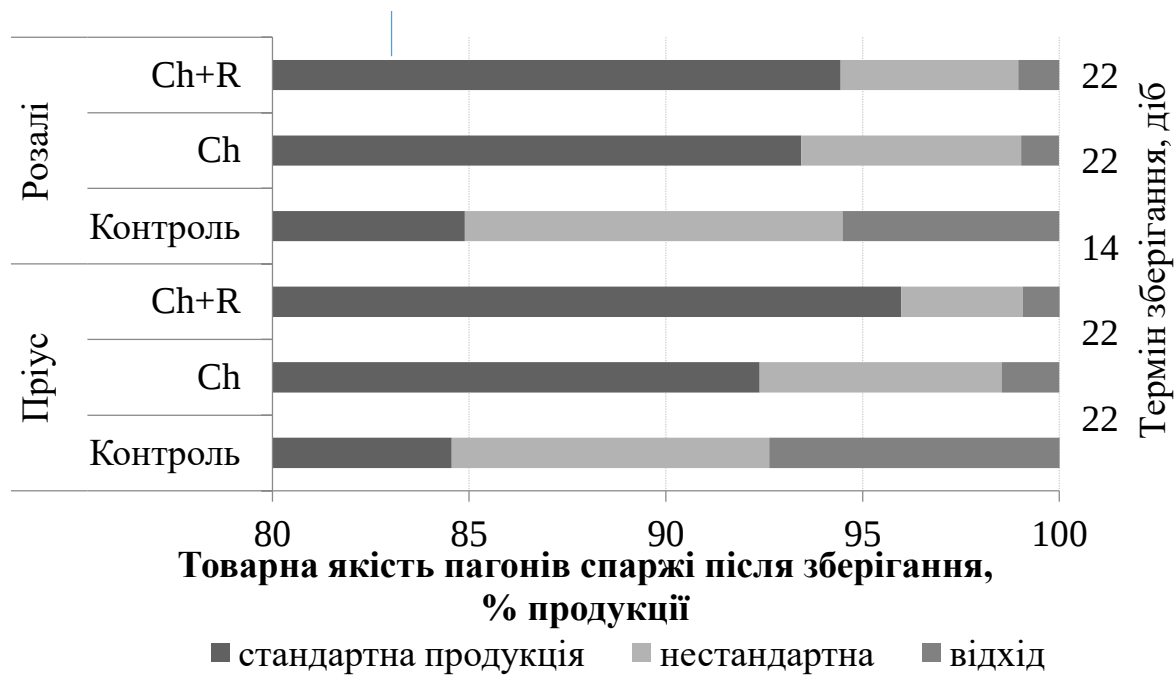


Рис. В.1. Вплив застосування їстівних покриттів на основі хітозану на тривалість холодильного зберігання спаржі.

Таблиця В.3.

Результати дисперсійного аналізу впливу факторів на вихід стандартної продукції (А – сорт, В – обробка)

Джерело варіації	Сума квадратів	Ступені свободи	Середній квадрат	F		t
				факт.	теор.	
Загальне	472,52	17	—	—	—	—
Повторень	1,61	2	—	—	—	—
Фактора А	0,37	1	0,37	0,06	4,96	—
Фактора В	402,64	2	201,32	33,37	4,10	—
Взаємодії АВ	7,56	2	3,78	0,63	4,10	—
Похибка (C_z)	60,33	10	6,03	—	—	2,228

Втрата маси пагонів спаржі

Таблиця Г.1.

Динаміка природних втрат маси (%) пагонів спаржі під час зберігання при обробці рутином і альгінатом натрію, 2021р. $M \pm SD$, $n=5$

Сорт	Термін зберігання, діб	Контроль	A	R	A+R
Пріус	0...7	2,20±0,17	1,15±0,02*	2,12±0,05	1,10±0,16*
	7...14	2,84±0,23	2,15±0,07*	1,19±0,04*	1,79±0,02*
	14...18	3,70±0,05	3,50±0,04	2,91±0,05*	2,21±0,03*
	18...21	5,44±0,09	4,73±0,09*	2,68±0,04*	4,75±0,02*
	Сума за 14 діб	5,04±0,39	3,30±0,07*	3,32±0,06*	2,89±0,16*
	Сума за 21 добу	14,18±0,48	11,53±0,16*	8,90±0,08*	9,84±0,13*
Розалі	0...7	2,35±0,11	1,28±0,17*	2,32±0,08	1,01±0,09*
	7...14	4,00±0,11	2,24±0,04*	1,18±0,04*	1,84±0,12*
	14...18	3,29±0,07	2,97±0,03	2,91±0,03	2,39±0,07*
	18...21	5,86 ± 0,07	3,38±0,07*	1,79±0,05*	2,8±0,07*
	Сума за 14 діб	6,35±0,21	3,52±0,18*	3,50±0,07*	2,85±0,20*
	Сума за 21 добу	15,5 ±0,32	9,87±0,26*	8,21±0,12*	8,04±0,32*

*– різниця вірогідна як порівнювати з контролем при $p \leq 0,05$

Таблиця Г.2.

Динаміка природних втрат маси (%) пагонів спаржі під час зберігання при обробці покриттями на основі хітозану, 2023р. $M \pm SD$, $n=3$

Сорт	Термін зберігання, діб	Контроль	Ch	Ch+R	НІР ₀₅
Пріус	0...1	0,74±0,04	0,62±0,02	0,48±0,02	0,60
	2...7	3,92±0,13	1,76±0,19*	1,67±0,12*	
	8...14	3,66±0,21	1,99±0,20*	1,61±0,04*	
	15...22	4,00±0,26	2,33±0,16*	2,2±0,1*	
	Сума за 14 діб	8,33±0,18	4,37±0,05*	3,76±0,13*	
	Сума за 21 добу	12,32±0,23	6,70±0,19*	5,96±0,21*	
Розалі	0...1	1,62±0,08	1,45±0,11	1,24±0,04	0,42
	2...7	3,50±0,11	2,03±0,09*	1,36±0,16*	
	8...14	3,68±0,11	1,2±0,04*	1,42±0,25*	
	15...22	4,48 ± 0,24	2,33±0,25*	2,17±0,08*	
	Сума за 14 діб	8,80±0,12	4,68±0,19*	4,02±0,21*	
	Сума за 21 добу	13,28 ± 0,30	7,01±0,39*	6,20±0,17*	

*– різниця вірогідна як порівнювати з контролем при $p \leq 0,05$

Таблиця Г.3.

Результати дисперсійного аналізу впливу факторів на втрату маси (А – сорт, В – обробка)

Джерело варіації	Сума квадратів	Ступені свободи	Середній квадрат	F		t
				факт.	теор.	
Загальне	78,55	17	—	—	—	—
Повторень	0,28	2	—	—	—	—
Фактора А	0,55	1	0,55	9,06	4,96	—
Фактора В	77,07	2	38,53	628,98	4,10	—
Взаємодії АВ	0,04	2	0,02	0,29	4,10	—
Похибка (Cz)	0,61	10	0,06	—	—	2,228

Вміст сухих речовин у пагонах спаржі

Таблиця Г.1.

Зміна загального вмісту сухих розчинних речовин в спаржі різних сортів,
2021р.

Тривалість зберігання, діб	сухі речовини, %		сухі розчинні речовини, °Brix	
	Розалі	Пріус	Розалі	Пріус
0	8,4	7,95	7,3	4,9
7	8,3	7,9	6,0	4,1
14	8,2	7,8	6,1	4,2
21	8,1	7,7	6,0	4,8
НІР ₀₅	0,52		0,36	

Таблиця Г.2.

Зміна загального вмісту сухих розчинних речовин в спаржі під час зберігання
з використанням покриттів на основі хітозану (2023р.)

Сорт	Варіант	до зберігання	7 доба	14 доба	22 доба	НІР ₀₅
Пріус	Контроль	5,87 ± 0,03	5,49 ± 0,03	5,14 ± 0,03	5,20 ± 0,05	2,49
	Ch	0,03	5,85 ± 0,03	5,90 ± 0,05	5,52 ± 0,05	
	Ch + R		5,89 ± 0,01	5,85 ± 0,05	5,51 ± 0,01	
Розалі	Контроль	6,10 ± 0,06	5,63 ± 0,03	5,52 ± 0,03	5,38 ± 0,03	2,53
	Ch	0,06	5,93 ± 0,03	5,85 ± 0,03	5,71 ± 0,03	
	Ch + R		5,94 ± 0,03	5,98 ± 0,03	5,76 ± 0,03	

Вміст цукрів у пагонах спаржі

Таблиця Д.1

Динаміка зміни вмісту цукрів ($\text{г} \times 100 \text{ г}^{-1}$) в спаржі сорту Пріус
під час зберігання з використанням покриттів на основі хітозану

Цукор	Варіант	до збері- гання	7 доба	14 доба	22 доба	НІР ₀₅
Глюкоза	Контроль	1,16 ± 0,01	0,8 ± 0,01	0,78 ± 0,01	0,81 ± 0,01	0,37
	Ch		0,85 ± 0,01	0,74 ± 0,02	0,61 ± 0,02	
	Ch + R		0,93 ± 0,01	0,75 ± 0,02	0,56 ± 0,02	
Фруктоза	Контроль	1,47 ± 0,01	1,15 ± 0,02	1,11 ± 0,01	1,12 ± 0,01	0,48
	Ch		0,98 ± 0,01	1,02 ± 0,01	0,83 ± 0,01	
	Ch + R		1,14 ± 0,01	1,01 ± 0,02	0,82 ± 0,01	

Таблиця Д.2

Динаміка зміни вмісту цукрів ($\text{г} \times 100 \text{ г}^{-1}$) в спаржі сорту Розалі
під час зберігання з використанням покриттів на основі хітозану

Цукор	Варіант	до збері- гання	7 доба	14 доба	22 доба	НІР ₀₅
Глюкоза	Контроль	1,28 ± 0,01	1,11 ± 0,02	0,76 ± 0,01	1,44 ± 0,01	0,59
	Ch		1,52 ± 0,01	0,99 ± 0,01	1,23 ± 0,01	
	Ch + R		1,68 ± 0,01	0,96 ± 0,02	1,26 ± 0,01	
Фруктоза	Контроль	1,61 ± 0,01	1,36 ± 0,01	1,14 ± 0,01	1,98 ± 0,01	0,66
	Ch		0,74 ± 0,01*	1,19 ± 0,01	1,75 ± 0,01	
	Ch + R		2,12 ± 0,02*	1,46 ± 0,02	1,73 ± 0,01	

*Різниця достовірна ($p \leq 0,05$) при порівнянні з контролем на добу
вимірювання

Вміст білків у пагонах спаржі*Таблиця Е.1*

Вміст білків під час зберігання спаржі свіжої овочевої

	Варіант		
Сорт	Контроль (до зберігання)	Контроль на 23 добу зберігання	Ch+R на 23 добу зберігання
Пріус	2,450 ± 0,038	2,805 ± 0,008	3,297 ± 0,016*
Розалі	1,958 ± 0,019	2,493 ± 0,032	2,490 ± 0,041

*Різниця достовірна ($p \leq 0,05$) при порівнянні з контролем на добу вимірювання

Вміст пігментів у пагонах спаржі

Таблиця Є.1

Вміст пігментів в спаржі після зберігання з використанням рутину (2021р.)

Варіант	хлорофіли, мг×100 г ⁻¹		каротиноїди, мг×100 г ⁻¹	
	Розалі	Пріус	Розалі	Пріус
контроль до зберігання	38,82±1,6	27,34±1,24	4,47±0,96	3,85±0,87
контроль	14,6±0,82	14,76±0,95	1,88±0,24	2,25±0,35
R 0,5	26,6± 0,73*	24,46± 0,74*	2,81± 0,39*	3,29± 0,45*
R 1	29,85± 0,76*	26,88 ± 0,72*	3,38 ± 0,47*	3,65 ± 0,22*
R 1,5	30,05 ± 0,68*	26,58 ± 0,66*	3,38 ± 0,59*	3,67 ± 0,63*

Примітка. Дані наведені на 18 добу зберігання, окрім варіанту «контроль до зберігання» (доба 0).

*Різниця достовірна ($p \leq 0,05$) при порівнянні з контролем

Таблиця Є.2

Динаміка зміни вмісту хлорофілів ($\text{мг} \times 100 \text{ г}^{-1}$) в спаржі
під час зберігання з використанням покриттів на основі хітозану (2023р.)

Сорт	Варіант	до збері- гання	7 доба	14 доба	22 доба	НІР ₀₅
Пріус	Контроль	27,26 ± 0,37	22,74±0,17	16,48±0,35	13,04±0,19	10,66
	Ch		25,73±0,69	23,88±0,49*	21,03±0,15	
	Ch + R		26,93±0,45	25,04±0,43*	23,71±0,21*	
Розалі	Контроль	38,61 ± 1,18	24,98±0,48	16,06±0,68	13,13±0,38	12,08
	Ch		29,1±0,55	24,11±0,55	21,09±0,94	
	Ch + R		31,9±0,69	26,54±0,31	25,56±1,2*	

*Різниця достовірна ($p \leq 0,05$) при порівнянні з контролем на добу
вимірювання

Таблиця Є.3.

Динаміка зміни вмісту каротиноїдів ($\text{мг} \times 100 \text{ г}^{-1}$) в спаржі
під час зберігання з використанням покриттів на основі хітозану (2023р.)

Сорт	Варіант	до збері- гання	7 доба	14 доба	22 доба	НІР ₀₅
Пріус	Контроль	3,76 ± 0,15	2,88±1,34	2,31±0,99	2,19±0,84	1,46
	Ch		3,48±0,39	3,37±0,33	3,01±0,76	
	Ch + R		3,54 ± 0,62	3,36±0,62	3,17±1,89	
Розалі	Контроль	4,39 ± 0,52	2,92±0,08	1,93±0,07	1,82±0,08	1,35
	Ch		3,05±0,03	2,68±0,1	2,34±0,14	
	Ch + R		3,06±0,05	3±0,02	2,75±0,08	

Вміст фенольних речовин у пагонах спаржі*Таблиця Ж.1.*

Динаміка зміни вмісту фенольних речовин ($\text{мг} \times 100 \text{ г}^{-1}$) в спаржі під час зберігання з використанням покриттів на основі хітозану

Сорт	Варіант	до зберігання	7 доба	14 доба	22 доба
Пріус	Контроль	$93,9 \pm 1,24$	$95,04 \pm 1,12$	$119,28 \pm 1,07$	$122,51 \pm 1,27$
	Ch		$97,03 \pm 0,54$	$110,06 \pm 1,20$	$124,65 \pm 0,42$
	Ch + R		$107,86 \pm 0,24$	$102,33 \pm 1,02^*$	$120,7 \pm 0,79$
Розалі	Контроль	$93,15 \pm 0,99$	$99,04 \pm 0,64$	$127,31 \pm 2,71$	$133,63 \pm 0,77$
	Ch		$96,8 \pm 0,80$	$113,54 \pm 0,64$	$131,04 \pm 1,03$
	Ch + R		$109,52 \pm 2,06$	$106,7 \pm 0,96^*$	$125,18 \pm 1,16$

*Різниця достовірна ($p \leq 0,05$) при порівнянні з контролем на добу вимірювання

Таблиця Ж.2.

Вміст фенольних речовин у різних зразках спаржі, $\text{мг}/100\text{г}$

Сорт спаржі	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4
Пріус	$93,90 \pm 1,24$	$74,77 \pm 1,54$	$102,23 \pm 1,07$	$74,67 \pm 1,29$
Розалі	$93,15 \pm 1,00$	$67,73 \pm 1,68$	$127,31 \pm 0,80$	$77,10 \pm 0,75$

Активність поліфенолоксидази у пагонах спаржі

Таблиця 3.1.

Динаміка активності поліфенолоксидази (мкмольАК/г*хв) в спаржі під час зберігання з використанням покриттів на основі хітозану

Сорт	Варіант	до зберігання	7 доба	14 доба	22 доба	Кореляція з кількістю фенольних речовин	
Пріус	Контроль	12,36	12,31 ± 0,36	1,29 ± 0,03	1,14 ± 0,05	r = -0,9967	r = -0,7683
	Ch	± 0,61	22,52 ± 0,33*	2,62 ± 0,14	4,95 ± 0,15	r = -0,7055	
	Ch + R		7,36 ± 0,15	10,26 ± 0,3*	7,73 ± 0,1*	r = -0,8525	
Розалі	Контроль	7,44	4,73 ± 0,1	3,63 ± 0,12	2,59 ± 0,13	r = -0,8997	r = -0,8535
	Ch	± 0,33	5,28 ± 0,05	4,97 ± 0,24	2,65 ± 0,11	r = -0,9189	
	Ch + R		5,48 ± 0,18	7,19 ± 0,17*	5,00 ± 0,14*	r = -0,8664	

*Різниця достовірна ($p \leq 0,05$) при порівнянні з контролем на добу вимірювання

**Вміст аскорбінової кислоти та активність аскорбатоксидази у
пагонах спаржі**

Таблиця И.1.

Динаміка зміни вмісту аскорбінової кислоти ($\text{мг} \times 100 \text{ г}^{-1}$) в спаржі під час
зберігання з використанням покриттів на основі хітозану

Сорт	Варіант	до збері- гання	7 доба	14 доба	22 доба
Пріус	Контроль	$17,07 \pm 0,52$	$16,53 \pm 0,10$	$18,38 \pm 0,15$	$16,99 \pm 0,10$
	Ch		$18,41 \pm 0,06$	$20,51 \pm 0,25$	$17,82 \pm 0,06$
	Ch + R		$15,56 \pm 0,19$	$16,38 \pm 0,45$	$17,82 \pm 0,17$
Розалі	Контроль	$14,08 \pm 0,13$	$18,14 \pm 0,28$	$18,82 \pm 0,10$	$18,22 \pm 0,21$
	Ch		$18,16 \pm 0,20$	$17,92 \pm 0,20$	$18,97 \pm 0,21$
	Ch + R		$14,34 \pm 0,59^*$	$14,04 \pm 0,16^*$	$17,95 \pm 0,20$

*Різниця достовірна ($p \leq 0,05$) при порівнянні з контролем на добу
вимірювання

Таблиця И.2.

Динаміка активності аскорбатоксидази ($\text{мкмольАК/г} \cdot \text{хв}$) в спаржі під час
зберігання з використанням покриттів на основі хітозану

Сорт	Варі- ант	до збері- гання	7 доба	14 доба	22 доба	Кореляція з кількістю вітаміну С	
Пріус	К	$1,39 \pm 0,1$	$1,68 \pm 0,15$	$0,2 \pm 0,06$	$0,72 \pm 0,06$	$r = -0,9666$	$r_{\text{загальний}} = -0,8256$
	Ch		$0,09 \pm 0,02$	$0,07 \pm 0,02$	$2,29 \pm 0,11$	$r = -0,6740$	
	Ch+R		$3,2 \pm 0,17^*$	$2,55 \pm 0,09^*$	$1,22 \pm 0,17$	$r = -0,9659$	
Розалі	К	$1,47 \pm 0,08$	$0,55 \pm 0,03$	$0,42 \pm 0,02$	$0,49 \pm 0,01$	$r = -0,9985$	$r_{\text{загальний}} = -0,9817$
	Ch		$0,51 \pm 0,02$	$0,53 \pm 0,02$	$0,53 \pm 0,01$	$r = -0,9772$	
	Ch+R		$1,19 \pm 0,04^*$	$1,29 \pm 0,07^*$	$0,58 \pm 0,01$	$r = -0,9664$	

*Різниця достовірна ($p \leq 0,05$) при порівнянні з контролем на добу
вимірювання

Борошно цільнозернове зі спельти (б), кіноа (в) та льону (г) та в сумішах з порошком зі спаржі (а)





«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з наукової роботи
Таврійського державного
агротехнологічного університету
імені Дмитра Моторного
д.т.н., проф. Панченко А.І.
«16» червня 2024 р.

АКТ

дегустації спаржі зеленої і фіолетової після зберігання за дії обробки Ch + R
(хітозан та рутин)

«15» червня 2024 р.

м. Київ

На дегустаційній нараді присутні:

1. Д.т.н., професор Прісс О. П.
2. Аспірант Булгаков П. О.
3. Агроном Лисенко О. В.
4. Агроном Шепель О. А.
5. Зав. складу Зелінська О. В.
6. Директор Малимон В. П.

Нарада проведена з метою оцінювання органолептичних показників спаржі сортів Пріус та Розалі, що зберігалась за технологією з використанням обробки Ch + R, розробниками якої є аспірант Булгаков П. О. та д.т.н. Прісс О. П.

Органолептичні показники визначали за характеристиками тургору (від свіжого вигляду до сильної втрати тургору), поздовжньої строкатості (від відсутності смуг до сильної строкатості), висихання зрізів (від відсутності висихання до сильного висихання), зміни кольору (яскраво-зелений чи фіолетово-зелений характерний для сорту, аж до пожовтіння), наявності сторонніх запахів (від відсутності запахів, до помітних запахів) і відсутності мікробіологічних уражень. Була використана чотирибальна шкала (4 – дуже добре; 3 – добре; 2 – прийнятно; 1 – неприйнятно). Крім того, для загальної оцінки вводили коефіцієнт важливості з огляду на критичність впливу показника на задоволеність кінцевих споживачів: 0,3 – для тургору; 0,2 – для наявності сторонніх запахів та відсутності мікробіологічних уражень; 0,1 – для інших показників.

Відмічено, що застосування обробки Ch + R у технології зберігання спаржі позитивно вплинуло на консистенцію, стабілізацію зеленого забарвлення, зменшення кількості загнилої спаржі та не змінювало смаку та аромату притаманного свіжій сировині.

У результаті роботи дегустаційна комісія постановила:

1. Відзначити високі органолептичні показники спаржі обох гібридів після зберігання з використанням обробки Ch + R.

2. Схвалити запропоновану розробниками технологію зберігання спаржі за використання обробки $Ch + R$.

3. Рекомендувати дану технологію зберігання спаржі до впровадження в промислових умовах.

Підписали

1. Д.т.н., професор Прісс О. П.
2. Аспірант Булгаков П. О.
3. Агроном Лисенко О. В.
4. Агроном Шепель О. А.
5. Зав. складу Зелінська О. В.
6. Директор Малимон В. П.



«ПОГОДЖЕНО»

Проректор з наукової роботи
Таврійського державного
агротехнологічного університету
доцент кафедри Моторного



Панченко А.І.

2024 р.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Голова ФГ «Журавель»



Журавель О.М.

«15» червня 2024 р.

АКТ

ПРОМИСЛОВОЇ АПРОБАЦІЇ УДОСКОНАЛЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ
ЗБЕРІГАННЯ СПАРЖІ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМБІНОВАНОГО
БІОПОЛІМЕРНОГО ПОКРИТТЯ

Ми, представники ФГ «Журавель» голова – Журавель О.М. агроном – Іванина Д.О., головний бухгалтер – Чадасва Г.І. та представники Таврійського державного агротехнологічного університету: доцент кафедри технологій переробки та зберігання продукції сільського господарства д.т.н. професор Прісс О. П.; аспірант Булгаков П. О., склали дійсний акт в тому, що за період з 21.05.2024 по 13.06.2024 р. на ФГ «Журавель» була проведена виробнича апробація технології зберігання спаржі з використанням комбінованого біополімерного покриття.

На зберігання було закладено 1,5 т продукції. Застосування способу зберігання спаржі дозволило подовжити термін зберігання до 7 діб з виходом стандартної продукції 91 %.

1. Підстава для проведення роботи.

Потреба в забезпеченні подовженого періоду реалізації по завершенню періоду збору.

2. Мета проведення досліджень.

- Перевірка ефективності застосування обробки комбінованим біополімерним покриттям для подовження термінів зберігання і збереження якості спаржі у виробничих умовах;

- Підтвердження можливості використання існуючого обладнання для забезпечення технологічних операцій та параметрів зберігання спаржі

3. Післязбиральна підготовка. На зберігання відбирали плоди спаржі неущкоджені, довжиною 19 - 24 см. Перед закладанням на зберігання спаржу занурювали у комбіноване біополімерне покриття (хітозан + рутин).

4. Призначення продукту

Після зберігання спаржу використовувати в їжу, та подальшої реалізації у свіжому вигляді.

5. Контроль технологічного процесу.

В ході проведення досліджень технологічні параметри режимів зберігання контролювали системами контролю температури Eliwell EWDR 902 і датчиками відносної вологості повітря Eliwell EWHS 31.

6. Контроль якості продукції після зберігання.

За органолептичними, фізико-хімічними та мікробіологічними показниками продукт відповідає вимогам ДСТУ 293-91.

7. Висновки

В ході проведення досліджень доведена ефективність технології зберігання спаржі з використанням комбінованого біополімерного покриття в умовах виробництва:

7.1 Реалізація запропонованої технології зберігання здійснюється на типовому технологічному обладнанні.

7.2 В результаті використання способу зберігання спаржі, після реалізації 1,365 т продукції отримано чистий прибуток 78500 грн.

Від ФГ «Журавель»
Голова Журавель О.М.
Агроном Іванина Д.О.
Головний бухгалтер Чадаєва Г.І.



Від Таврійського державного
агротехнологічного університету:
д.т.н. професор Прісс О. П.
аспірант Булгаков П. О.

Міністерство освіти і науки України
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного

УЗГОДЖЕНО



Директор з наукової роботи

Панченко А.І.

2024 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ТОВ «Агропартнер»

(найменування організації)



(Підпис)

(ПІБ керівника організації)

«24» червня 2024 р.

АКТ

ВПРОВАДЖЕННЯ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ

Замовник ТОВ «Агропартнер-1»

(найменування організації)

Резченко Володимир Олексійович
(ПІБ керівника організації)

Цим актом підтверджується, що результати «Удосконалення технології зберігання спаржі з використанням комбінованого біополімерного покриття»
(найменування теми, № держ. реєстрації)

яку виконано на кафедрі харчових технологій та готельно-ресторанної справи
вартістю _____

(цифрами та прописом)

яка виконувалася з 27.05.2024 по 19.06.2024

впроваджені ТОВ «Агропартнер-1»

(найменування підприємства, де здійснювалось впровадження)

1. Вид впроваджених результатів технологія зберігання спаржі з використанням комбінованого біополімерного покриття

(експлуатація виробу, роботи, технології; виробництво виробу, роботи, технології, функціонування системи)

2. Характеристика масштабу впровадження дослідно-промислова партія
3. Форма впровадження дослідно-промислова партія

(унікальне, одиначке, партія, масове, серійне)

4. Новизна результатів науково-дослідних робіт: якісно нові

5. Впроваджені:

- в промислове виробництво технологія зберігання спаржі
(уласток, шм (н), процес)

6. Річний економічний ефект

очікуваний не визначали тис. грн.
(від впровадження в проект)

фактичний 142.7 тис. грн.

7. Обсяг впровадження спаржа зелена 1 тона, фіолетова 1 тона

9. Соціальний і науково-технічний ефект впроваджено технологію зберігання спаржі з використанням комбінованого біополімерного покриття. Використання даної технології зберігання дозволяє продовжити термін зберігання та підвищити вихід товарної продукції спаржі після зберігання, чим дозволяє вирішити проблему забезпечення споживачів продукцією високої якості та харчової цінності протягом подовженого терміну. Використання розробленого способу сприяє максимальній реалізації харчового потенціалу спаржі та одержанню високоякісної сировини після зберігання. Реалізація нової технології не потребує залучення до технологічного циклу її виробництва спеціалізованого технологічного устаткування.

Від ТОВ Агропарітер-1
(найменування підприємства)
Григорук д.І.І.
(Підпис)
Редченко С.В.
(Підпис)
Агропарітер
(Підпис)
Павличенко Ю.В.
(Підпис)

Від Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного:
(найменування установи)

д.т.н. професор Прісс О. П.
(Підпис) (ПІБ посадової особи)

Аспірант Булгаков П. О.