

Встановлено, що основним показником хімічного складу, який має домінуючий вплив на інтенсивність втрат маси плодів сливи, є вміст сухих речовин. Серед досліджених погодних чинників найбільш істотний вплив має сума активних температур останнього місяця формування плодів. За допомогою регресійного аналізу були розроблені математичні моделі для завчасного прогнозування втрат маси

Ключові слова: слива, плоди, втрати маси, зберігання, погодні умови, цукри, сухі речовини

Установлено, что основным показателем химического состава, который имеет доминирующее влияние на интенсивность потерь массы плодов сливы, является содержание сухих веществ. Среди исследованных погодных факторов наиболее существенное влияние оказывает сумма активных температур последнего месяца формирования плодов. С помощью регрессионного анализа были разработаны математические модели для заблаговременного прогнозирования потерь массы

Ключевые слова: слива, плоды, потери массы, хранение, погодные условия, сахара, сухие вещества

УДК 664.8.03:634.11

DOI: 10.15587/1729-4061.2016.59694

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ВТРАТИ МАСИ ПЛОДІВ СЛИВИ ПІД ЧАС ЗБЕРІГАННЯ

М. Є. Сердюк

Кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Кафедра технології переробки і
зберігання продукції сільського господарства*
E-mail: igorserduk@mail.ru

Д. С. Степаненко

Кандидат технічних наук, доцент
Кафедра «Екологія та зоологія»
Мелітопольський державний педагогічний
університет ім. Богдана Хмельницького
вул. Леніна, 20, м. Мелітополь, Україна, 72313
E-mail: asija-2008@mail.ru

С. В. Кюрчев

Кандидат технічних наук, доцент
Кафедра технології конструкційних матеріалів*
E-mail: lyidmila2007@mail.ru

*Таврійський державний агротехнологічний університет
пр. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь, Україна, 72312

1. Вступ

Для нормальної життєдіяльності людині необхідні продукти рослинного походження. Проте всім відомо, що в природних умовах України урожай збирають один раз на рік. При цьому перед виробниками стоять дві проблеми: отримати хороший врожай плодоовочевої продукції і зберегти його таким чином, щоб уникнути втрат [1].

Основними причинами втрат і зниження якості плодів при зберіганні вважаються ураження їх фізіологічними і мікробіологічними захворюваннями, а також втрати маси. Маса продукції зменшується в результаті витрачання сухих речовин на дихання і транспірації вологі [2, 3]. Ці втрати є неминучими, тому їх називають природними. Величина природних втрат плодів безпосередньо впливає і на економічну ефективність зберігання. Незважаючи на те, що норма природних втрат маси знаходиться на рівні 1...3 %, як показує практика, вона може досягати 10...12 % і більше. Пов'язано це, насамперед, як з умовами формування плодів, так і з недотриманням технологічних режимів та недосконалістю холодильного обладнання [4].

Отже, оптимізація умов і термінів зберігання з урахуванням сортних біологічних особливостей і результатів прогнозу інтенсивності природних втрат маси є одним з елементів вдосконалення системи зберігання

плодової продукції. Нажаль, дослідження в цьому напрямку не отримали належного розвитку в Україні. У зв'язку з цим проведення комплексних досліджень об'єктивних показників, які мають найбільший вплив на інтенсивність процесу природних втрат маси плодів, є актуальним. Завчасне прогнозування втрат маси дасть можливість визначити теоретичну лежкість плодів ще до початку зберігання.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Однією з найбільш поширених кісточкових культур в Україні вважається слива. Вперше її почали вирощувати в Ірані та деяких районах Кавказу. Ці плоди вирощуються вже протягом 2000 років. Деякі автори налічують від 1000 до 2000 сортів сливи та 14...15 її видів, які використовувалися в той чи інший період часу. Зараз ця культура поширена набагато ширше, в тому числі і в помірному кліматі північних широт [3, 5, 6].

Окрім привабливого смаку плоди сливи володіють безліччю корисних властивостей. В них багато вітамінів та мінералів. В залежності від сорту вміст тієї чи іншої корисної речовини може відрізнятися. Однак, всі плоди містять багато вітаміну А, РР, С, Е та вітаміни групи В (В₁, В₂, В₆). А якщо говорити про мінерали, то особливо багата слива калієм, натрієм,

кальцієм, фосфором, марганцем, міддю, йодом та цинком. Також у сливі багато харчових волокон, вільних органічних кислот, білків та вуглеводів. Велику роль відіграє вміст у плодах сливи вітаміну Р, який впливає на міцність стінок судин та сприяє зниженню кров'яного тиску. Навіть термічно оброблена слива утримує достатньо багато цієї корисної речовини. Ці плоди містять також пектин та каротин. Що стосується калорійності, то на 100 г плодів сливи приходить 30 ккал. Особливу користь слива приносить людині при вживанні її у вигляді свіжих плодів [2, 3, 4, 6].

Аналіз динаміки виробництва плодів, проведений за даними Держкомстату України [7], показує, що починаючи з 60-х років валовий збір слив постійно зростає, та найвищим у всіх категоріях господарств він був у 1975–1980 роках. Після чого почалося стабільне зменшення цього показника, яке тривало до 2005 року. Починаючи з 2006 року відзначається поступове і дуже повільне зростання виробництва плодів. Сьогодні валове виробництво плодів сливи в Україні досягає 145 тис. тонн.

Але для забезпечення населення країни плодами протягом усього року необхідно не тільки збільшити їх виробництво, а й забезпечити збереження, значно скоротивши втрати при зберіганні.

Плоди та овочі вважаються живими біологічними об'єктами, тому фізіологічні процеси їх життєдіяльності продовжуються і у період зберігання. Для їх протікання потрібна енергія, яка постачається за рахунок окислення енергетичних сполук, накопичених у період формування та дозрівання плодів. Відомо, що у період зберігання постачання енергії зовні припиняється, тому для продовження життєдіяльності витрачається енергія окислення вуглеводів, жирів, органічних кислот, білків тощо. Вміст цих сполук зменшується, що призводить до втрат маси сировини, зниження харчової та біологічної цінності й споживчих властивостей плодів. Це зменшення пропорційно інтенсивності фізіологічних процесів та тривалості зберігання [8].

Транспірація, тобто процес втрати вологи поверхнею плодів, вважається наступною причиною природної втрати маси.

За даними науковців, що займалися даною проблемою, при температурі зберігання не вище мінус 5 °С на випаровування вологи приходить біля 80 % природних втрат маси у рослинній сировині і близько 20 % витрачається на окислення органічних речовин. Встановлено, що втрати значно зростають при підвищенні температури зберігання [9].

Сорт, хімічний склад плодів, їх морфологічна будова суттєво впливають на втрати води від випаровування в процесі зберігання. Так, велика поверхня плоду, відсутність воскового нальоту, незначна товщина кутикулярного шару клітин сприяють значним втратам води від випаровування.

Наслідками втрати вологи поверхнею плодів являються зниження стійкості продукції до ураження мікроорганізмами, погіршення смаку, втрата соковитості та свіжості, послаблення тургору клітин. Транспірація вологи з поверхні плодів супроводжується розбалансуванням процесу обміну речовин, в результаті чого змінюється стан ферментів та їх функції і значно підсилюється розклад біологічних речовин, що су-

проводжується підвищенням інтенсивності дихання, порушується енергетичний баланс.

Дослідниками відмічено, що передчасний і неякісний (з механічними пошкодженнями) збір продукції, низький вміст сухих речовин та надлишок вологи у плодах, сприяють посиленню процесів випаровування води. Встановлено, що при зберіганні плодів, які мають однаковий розмір і якість, інтенсивність випаровування води підвищується із збільшенням температури у камері зберігання, підвищенням інтенсивності руху повітря в ній та зменшенням відносної вологості [4, 10–12].

Аналіз висновків науковців, що досліджували проблему втрати маси плодів у процесі зберігання [8, 9, 13, 14], показав, що на цей показник впливають багато різних чинників, які поділяють на внутрішні та зовнішні.

Найважливішими внутрішніми чинниками являються співвідношення вільної та зв'язаної вологи у плодівих тканинах, інтенсивність дихання, проникність цитоплазматичних мембран та покривних тканин по відношенню до води.

Умови вирощування, ступінь стиглості, технології збирання і післязбиральної обробки та умови зберігання відносяться до зовнішніх чинників [8].

Експериментальні дані різних авторів, отримані у процесі досліджень, показали, що фактори навколишнього середовища оказують сильніший вплив на менш продукт з меншою лежкістю. Автори також зазначають, що величина швидкості втрат маси на різних етапах зберігання відрізняється між собою. На початку та наприкінці процесу вона має найбільше значення. Більш повільні втрати маси зафіксовані на проміжному етапі. Останнє зростання величини втрати маси зафіксовано після 30–50 % загального терміну зберігання [15].

На інтенсивність втрат маси плодів при зберіганні сильно впливають погодні умови періоду формування плодів [9, 16].

У роботах багатьох дослідників відзначено, що суми активних та ефективних температур, мінімальні та максимальні температури, середню та мінімальну відносну вологість повітря, кількість опадів та гідротермічний коефіцієнт як всього вегетаційного періоду, так і останнього місяця формування плодів вважають стресовими чинниками погодних факторів.

Збереженість плодів сильно залежить від вмісту в них накопичених сухих речовин, що відзначено у роботах багатьох дослідників. Ними встановлено, що надмірні опади перед збиранням врожаю сприяють зниженню вмісту сухих речовин у плодах, що значно погіршує їх подальшу збереженість [17, 18].

Таким чином, природну втрату маси плодової продукції можна віднести до інтегральних показників, що характеризують її здатність забезпечувати якісну стабільність при зберіганні. Точне визначення цього параметру має велике наукове та практичне значення. Знаючи і регулюючи фактори, які впливають на втрати маси плодів сливи при зберіганні, можна їх істотно скоротити.

3. Ціль та задачі дослідження

Проведені дослідження ставили за мету наукове обґрунтування впливу основних компонентів хімічного складу та стресових погодних чинників вегетації-

йного періоду на інтенсивність природних втрат маси плодів сливи під час зберігання та створення математичної моделі прогнозування даного процесу.

Для реалізації поставленої мети було необхідним вирішити наступні завдання:

- проаналізувати погодні умови вегетаційного періоду;
- визначити вміст основних компонентів хімічного складу плодів сливи;
- визначити природні втрати маси плодів сливи під час зберігання;
- встановити взаємозв'язок між інтенсивністю втрат маси плодів сливи та стресовими погодними чинниками і компонентами хімічного складу;
- розробити математичні моделі для прогнозування даного процесу.

4. Матеріали та методи дослідження інтенсивності процесу природних втрат маси плодів сливи під час зберігання

Дослідження були проведені у 2003–2012 роках в Таврійському державному агротехнологічному університеті (м. Мелітополь, Україна). Об'єктами досліджень були плоди сливи сортів Волошка, Стенлей та Угорка італійська, які внесені до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні.

Зберігали плоди при температурі $-1...0\text{ }^{\circ}\text{C}$, відносній вологості повітря $90\pm 1\%$.

Визначення вмісту основних компонентів хімічного складу плодів, а саме сухих речовин, цукрів, органічних кислот, фенольних речовин, аскорбінової кислоти, виконували за стандартними методиками [19]. Величину природних втрат маси плодів сливи під час зберігання визначали за методом фіксованих проб [19].

При формуванні багатофакторної моделі залежності втрат маси плодів сливи від погодних чинників та компонентів хімічного складу використовували лінійну функцію: $Y=a_0+a_1X_1+a_2X_2+...+a_nX_n$.

При аналізі та обробці експериментальних даних і прогнозуванні кінцевого результату використовували методи варіаційної статистики: проводили математичну обробку, парний і множинний кореляційний і регресійний аналізи [20], використовуючи комп'ютерні програми «MS office Excel 2007», пакет «Statistica 6» і персональний комп'ютер.

5. Результати досліджень інтенсивності процесу втрати маси плодів сливи під час зберігання

5. 1. Загальна характеристика змін водно-температурного режиму та визначення основних стресових факторів при формуванні плодів сливи

Сучасні інтенсивні технології виробництва плодів повинні бути адаптовані до природно-кліматичних умов зон вирощування, забезпечувати стабільність плодоношення, оптимальну урожайність, високу якість і збереженість плодів.

Для різних зон і районів плодівництва ступінь прояву тих чи інших стресових кліматичних чинників також різна. Тому виникає необхідність визначити, в якій мірі кліматичні умови південної степової підзони

України відповідають вимогам аналізованої плодової культури на певних етапах формування якості та збереженості плодів.

Забезпеченість рослин теплом в період вегетації визначають за сумою активних температур (САТ) і сумою ефективних температур вище $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (СЕТ). Протягом дослідних років встановлена чітка тенденція до підвищення активних температур. Найменша середньорічна сума активних температур ($3431\text{ }^{\circ}\text{C}$) була відзначена у 2006 році, а найбільша – у 2012 – $4281\text{ }^{\circ}\text{C}$. Слід зазначити, що за період до 2006 року щорічні показники САТ один раз, у 2005 році, перевищували середнє багаторічне значення цього показника ($3682\text{ }^{\circ}\text{C}$). Натомість, за період з 2007 до 2012 щорічні показники САТ на $71...600\text{ }^{\circ}\text{C}$ перевищували середнє багаторічне значення, за виключенням тільки 2011 року. Аналогічна динаміка була відзначена і для суми ефективних температур. Значне перевищення над середнім багаторічним показником СЕТ відзначено у 2010 році – на $222\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2007 році – на $243\text{ }^{\circ}\text{C}$ та найбільше – у 2012 році – на $500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Середній багаторічний показник САТ від початку вегетації до збирання плодів сливи знаходився в межах $3069,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, що значно перевищує потрібні біологічні норми. Таким чином температурні показники південної степової підзони України значно перевищують потреби аналізованої плодової культури, що може стати причиною температурного стресу плодів.

Серед інших факторів, що визначають якість і збереженість плодів сливи, найважливіше місце належить водному режиму рослин. Основним джерелом надходження вологи в ґрунт є опади. Кількість опадів за аналізований період коливалась від $345,4\text{ мм}$ у 2012 році до 655 мм – у 2004 з коефіцієнтом варіації $20,2\%$. Середній багаторічний показник становив $513,2\text{ мм}$. Протягом 4 років – 2004, 2006, 2010 і 2011 – річна сума опадів перевищувала 600 мм . Протягом інших 6 дослідних років кількість опадів була значно нижчою. Аналіз розподілення опадів свідчить про нерівномірність їх випадання протягом року. Так, протягом холодного періоду – з листопаду до березня випадає в середньому $39,5\%$ опадів з коливанням від $22,7$ до $50,4\%$. В період інтенсивного витрачання вологи випадає в середньому $60,5\%$ опадів. Що стосовно вегетаційних періодів, то кількість опадів, в середньому, становить 232 мм . Максимально зволожений він був у 2004 році.

Найбільш сприятливими для плодів культур є райони, де в період вегетації випадає не менше $350...400\text{ мм}$, а протягом року – $700...800\text{ мм}$ опадів [21]. Наведені вище результати свідчать про те, що даний регіон придатний для вирощування плодів культур зі зрошенням, а опади є одним із основних стресових факторів.

Інтегрованим показником температури й опадів є гідротермічний коефіцієнт (ГТК). Прийнято вважати, що при $\text{ГТК}<1,0$ територія належить до зони недостатнього, а менше $0,7$ – до зони нестійкого зволоження. Протягом аналізованих років спостерігалася значна мінливість ГТК. З наведених даних видно, що найбільш зволожений був 2004 рік з ГТК $1,9$, а найбільш посушливим – 2012 рік (ГТК $=0,8$). Середнє багаторічне значення ГТК для аналізованого регіону знаходиться на рівні $1,4$. Умови вегетаційних періодів аналізованих років були більш посушливими. Протягом аналізованих років середнє значення ГТК за вегетаційні періоди сливи коливалось від $0,3$ (2007 рік)

до 1,5 (2004 рік), з середнім багаторічним значенням 0,8. Таким чином, південно-стєпова підзона України відноситься до зони нестійкого зволоження.

Ще однією найважливішою характеристикою погоди та клімату є відносна вологість повітря. Для аналізу впливу погодних умов на якість та збереженість плодів використовують показники середньої відносної вологості за рік і за вегетаційний період та мінімальної відносної вологості повітря за вегетаційний період. За період з 2003 до 2012 рр. середня річна відносна вологість повітря коливалась в межах від 68 % до 74 %, з середнім багаторічним значенням 73 %. Що стосується періоду вегетації, то встановлено, що середня відносна вологість змінювалась в межах від 57 % до 70 %. Середня мінімальна відносна вологість повітря за аналізований період не перевищувала 50 %. Абсолютний мінімум цього показника за дослідний період – 17 % – зафіксований у 2012 році, що свідчить про глибоку поверхневу засуху повітря в даний період.

Таким чином, погодні умови дослідних років характеризувалися високим ступенем мінливості та наявністю багатьох стресових факторів, основними з яких були: високі суми активних та ефективних температур протягом вегетаційного періоду і, особливо, в останній місяць формування плодів; значні перепади температур та відсутність опадів влітку.

5. 2. Аналіз вмісту основних компонентів хімічного складу плодів сливи при закладанні на зберігання

Під час закладання плодів сливи на зберігання були визначені основні компоненти хімічного складу, які можуть мати найбільший вплив на формування їх лежкості: сухі речовини (СР), цукри, органічні кислоти, аскорбінова кислота та фенольні речовини. Результати визначень наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Вміст основних компонентів хімічного складу плодів сливи (середні 2000–2003 рр.)

Компонент хімічного складу	Вміст компонентів за сортами			
	Волошка	Стенлей	Угорка італійська	середній
Сухі речовини, %	19,314± ±1,198	17,939± ±2,040	16,085± ±1,654	17,779± ±2,097
Загальний цукор, %	11,627± ±2,845	11,455± ±2,674	11,087± ±2,071	11,389± ±2,472
Органічні кислоти, %	0,722± ±0,268	0,681± ±0,319	0,543± ±0,285	0,649± ±0,292
Аскорбінова кислота, мг/100 г	7,748± ±1,186	5,956± ±1,258	8,375± ±0,762	7,359± ±1,482
Фенольні речовини, мг/100 г	275,368± ±37,328	308,654± ±54,306	258,858± ±40,375	280,959± ±47,983

Дані, наведені в табл. 1, констатують, що найбільшим вмістом сухих речовин, у тому ж числі цукрів та органічних кислот, характеризувалися плоди сливи сорту Волошка, вищим вмістом аскорбінової кислоти – плоди сливи сорту Угорка італійська, а фенольних речовин – плоди сорту Стенлей. Слід зазначити, що рівень мінливості аналізованих компонентів хімічного складу за роками досліджень оцінювався як середній, за виключенням вмісту органічних кислот, мінливість якого була високою.

За допомогою методу аналізу ієрархій [22] була визначена комплексна оцінка антиоксидантного статусу плодів сливи. За результатами розрахунків найвищу оцінку антиоксидантного статусу мали плоди сливи сорту Стенлей (0,49 в. о.), другу сходинку займали плоди сливи сорту Угорка італійська (0,42 в. о.), і найменшою вона була у плодів сорту Волошка (0,16 в. о.).

5. 3. Дослідження інтенсивності процесу втрат маси плодів сливи під час зберігання

Середні втрати маси за період зберігання плодів сливи були на рівні 7,7 %, при цьому втрати за добу зберігання становили 0,23 % (табл. 2). Сортова мінливість аналізованого показника знаходилась на низькому рівні тільки у плодів урожаю 2007 року, на середньому – урожаїв 2008, 2010, 2011 та 2012 років. Протягом усіх інших років досліджень була виявлена значна варіабельність даного показника залежно від помологічного сорту (коефіцієнт варіації $V=22...34,4$ %).

Таблиця 2

Середні втрати маси плодів сливи за період зберігання, % (2003–2012 рр.)

Помологічний сорт	Термін зберігання, діб	Втрати маси, %		Варіабельність V, %
		Середнє значення	min max	
Волошка	44	8,248±2,261	5,632 12,803	27,4
Стенлей	54	7,216±1,414	5,761 10,067	19,6
Угорка італійська	47	7,699±1,176	6,534 10,146	15,3
Середнє за сортами	48	7,721±1,679	5,632 12,803	21,8

Серед вивчених сортів найбільшими втратами маси характеризувалися плоди сливи сорту Волошка (майже 8,3 %) з щодобовими втратами 0,284 %. Мінімальними втратами маси були у плодів сливи сорту Стенлей (7,216 %). При цьому значення аналізованого показника було нижчим у 1,2 рази порівняно зі середньосортовим значенням, та у 1,6 рази – порівняно з плодами сорту Волошка. Мінливість аналізованого показника за роками досліджень оцінювалась як висока, та варіювала в межах від 64 % у плодів сливи сорту Угорка італійська до 75 % у плодів сорту Волошка.

З метою визначення кількісного значення природних втрат маси плодів сливи на будь-яку добу зберігання був проведений регресійний аналіз та отримані лінійні та поліноміальні рівняння залежності втрат маси (y) від терміну зберігання (x) (табл. 3).

Таблиця 3

Залежності втрат маси плодів сливи (y) від терміну зберігання (x)

Сорт	Рівняння	R ²	δ
Волошка	$y=0,135x+1,999$	0,990	0,098
	$y=-0,000x^2+0,161x+1,569$	0,991	0,449
Стенлей	$y=0,113x+1,076$	0,996	0,035
	$y=-0,000x^2+0,138x+0,626$	0,998	0,788
Угорка італійська	$y=0,138x+1,001$	0,996	0,040
	$y=-0,000x^2+0,156x+0,699$	0,997	0,748

Отриманні залежності майже не відрізняються за коефіцієнтами детермінації, але середня похибка для поліному другого порядку залежно від сорту коливається в межах 0,45...0,79, а для прямої – 0,035...0,098. Отже, похибка для прямолінійної залежності менша, і вона краще згладжує експериментальні данні.

Для більш повної характеристики динаміки втрат маси плодів сливи при зберіганні була визначена константа швидкості даного процесу. Для її визначення було прийнято природне допущення, що швидкість втрати маси пропорційна наявній масі плодів на даний час.

Позначимо через $M(\tau)$ втрати маси плодів в момент часу τ (від початку зберігання). Матимемо диференціальне рівняння:

$$M'(\tau) = kM(\tau). \tag{1}$$

Загальний розв'язок якого

$$M(\tau) = Ce^{k\tau}. \tag{2}$$

Вкажемо спосіб визначення констант C та k за даними двох спостережень $M(\tau_1)=M_1$, $M(\tau_2)=M_2$, коли $\tau_2 > \tau_1$. Маємо систему:

$$\begin{cases} Ce^{k\tau_1} = M_1, \\ Ce^{k\tau_2} = M_2. \end{cases} \tag{3}$$

Звідки:

$$k = \frac{\ln \frac{M_2}{M_1}}{\tau_2 - \tau_1}, \tag{4}$$

$$C = (M_1^{\tau_2} \cdot M_2^{-\tau_1})^{\frac{1}{\tau_2 - \tau_1}}. \tag{5}$$

Константи швидкості процесу втрати маси плодами сливи протягом зберігання, розраховані за формулою (4), наведені в табл. 4.

Таблиця 4

Константи швидкості зростання втрат маси при зберіганні плодів сливи

Сорт	Константа швидкості, % діб ⁻¹
Волошка	0,0222
Стенлей	0,0226
Угорка італійська	0,0252

Отримані константи швидкості свідчать, що максимальною була швидкість зростання втрат маси у плодів сливи сорту Угорка італійська, дещо меншою та майже однаковою вона була у плодів сортів Волошка і Стенлей.

Аналіз структури втрат маси плодів сливи свідчить, що вищий їх відсоток припадає на випаровування вологи. За середніми десятирічними даними на втрати маси за рахунок транспірації припадає від 66 % у плодів сорту Волошка до 69,3 % у плодів сорту Стенлей. Відповідно, втрати маси плодів за рахунок витрачання сухих речовин на дихання були мінімальними у пло-

дів сорту Стенлей та становили близько 31 %. Менш інтенсивні витрати сухих речовин можна пояснити порівняно нижчою активністю фізіологічних процесів, що відбуваються при зберіганні плодів сливи даного помологічного сорту, яка багато в чому залежить від їх антиоксидантного статусу. Результати досліджень показали, що плоди сливи сорту Стенлей мають найвищу оцінку антиоксидантного статусу та, відповідно, мінімальні втрати маси і найбільший середній термін зберігання (табл. 1).

5. 4. Прогнозування втрат маси плодів сливи залежно від вмісту компонентів хімічного складу та стресових погодних чинників

Результатами кореляційного аналізу встановлено існування тісного оберненого зв'язку між щодобовими втратами маси плодів сливи під час зберігання і вмістом в них сухих речовин і загального цукру (табл. 5).

Таблиця 5

Коефіцієнти парної кореляції між втратами маси та основними компонентами хімічного складу плодів сливи (середнє 2003–2012 рр.)

Компоненти хімічного складу	Помологічний сорт			Середнє по сливам
	Волошка	Стенлей	Угорка італійська	
Сухі речовини	-0,85	-0,87	-0,79	-0,91
Загальний цукор	-0,45	-0,81	-0,91	-0,84
Органічні кислоти	0,59	0,81	0,38	0,64
Аскорбінова кислота	0,56	0,83	0,31	0,64
Фенольні речовини	0,52	0,65	0,45	0,65

Загальна регресійна модель взаємозв'язку щодобових втрат маси плодів сливи та вмісту компонентів хімічного складу описується наступним рівнянням:

$$y = 1,07751 - 0,06905x_1 - 0,00815x_2 - 0,26671x_3 - 94,29436x_4 - 0,19764x_5,$$

де y – щодобові втрати маси плодів сливи, %; x_1 – вміст сухих речовин, %; x_2 – вміст цукрів, %; x_3 – вміст вільних кислот, %; x_4 – вміст аскорбінової кислоти, %; x_5 – вміст фенольних речовин, %.

При цьому, коефіцієнт множинної кореляції $R = 0,92$, коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,84$, скорегований коефіцієнт детермінації – 0,64, критерій $F(5,4) = 4,2056$, рівень значимості – 0,09444, при стандартній помилці оцінки – 0,08786.

Після виключення факторів, які у незначній мірі впливають на результат, а також колінеарних факторів, рівняння прийняло остаточний вигляд:

$$y = 1,715997 - 0,084039x_1,$$

де y – щодобові втрати маси плодів сливи, %; x_1 – вміст сухих речовин, %.

При цьому, коефіцієнт множинної кореляції $R = 0,91$, коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,83$, скорегований коефіцієнт детермінації – 0,80, критерій $F(1,8) = 37,722$, рівень значимості – 0,00028, при стандартній помилці оцінки – 0,650.

Таким чином, можна зробити висновок, що серед компонентів хімічного складу плодів сливи, домінуючий вплив на рівень їх щодобових втрат маси має вміст сухих речовин. Це пояснюється тим, що зі зменшенням вмісту сухих речовин в плодах зростає вміст вологи, у тому ж разі і частка вільної вологи. Зі збільшенням частки вільної вологи у плодах збільшуються їх природні втрати маси під час холодильного зберігання [12].

При подальшому проведенні регресійного аналізу було встановлено, що найкращим чином описує експериментальні дані поліном 2 порядку, що підтверджено розрахованою середньою похибкою, яка для поліному другого порядку становить 0,0025, а для прямої – 0,0033.

Отже, найкраще наближення до експериментальних даних досягається функцією:

$$y=0,018x^2-0,759x+7,715,$$

де y – щодобові втрати маси плодів сливи при зберіганні, %; x – вміст сухих речовин, %.

З метою встановлення впливу стресових погодних чинників на рівень природних втрат маси плодів сливи під час зберігання був проведений дисперсійний аналіз, результатами якого встановлено, що найбільший вплив на рівень щодобових природних втрат маси плодів сливи мають погодні чинники (фактор А), з долею участі 83,4 %. Доля участі інших факторів є значно меншою і становить: фактору сорту (фактор В) – 6,2 %, взаємодії факторів А і В – майже 10 % (табл. 6).

Таблиця 6

Результати двохфакторного дисперсійного аналізу впливу погодних чинників на втрати маси плодів сливи за тривалого зберігання

Джерело варіації	Сума квадратів	Ступінь свободи	Дисперсія	$F_{\text{факт}}$	$F_{\text{таб.095}}$	Вплив, %
Фактор А (рік)	2,6445	9	0,2938	1812,738	2	83,405
Фактор В (сорт)	0,1952	2	0,0976	602,215	3,1	6,157
Взаємодія АВ	0,3166	18	0,0176	108,509	1,8	9,985

Отже, подальше прогнозування втрат маси плодів сливи під час зберігання будемо виконувати за середньосортним значенням.

Кореляційним аналізом встановлено, що рівень щодобових природних втрат маси сильно корелює з 11 погодними чинниками, до яких відносять САТ за вегетаційний період, $СЕТ > 10^\circ\text{C}$ та $СЕТ > 15^\circ\text{C}$, а також умови останнього місяця формування плодів:

абсолютні та середні максимальні і мінімальні температури, САТ, середня ВВП та абсолютна і середня мінімальна ВВП.

За результатами множинного регресійного аналізу отримана загальна математична модель залежності рівня щодобових втрат маси плодів сливи під час зберігання від погодних чинників:

$$y=1,874262-0,00211x,$$

де y – щодобові втрати маси плодів сливи, %; x – сума активних температур останнього місяця формування плодів, $^\circ\text{C}$, (в межах 679...871 $^\circ\text{C}$).

При цьому, коефіцієнт множинної кореляції $R=0,94$, коефіцієнт детермінації $R^2=0,89$, скорегований коефіцієнт детермінації – 0,87, критерій $F(1,8)=61,352$, рівень значимості – 0,00005, при стандартній помилці оцінки – 0,05278.

Таким чином, в умовах Південної степової підзони України, зростання суми активних температур останнього місяця формування плодів сливи супроводжується більш інтенсивним накопиченням сухих речовин і зменшенням рівня природних втрат маси при їх зберіганні.

6. Висновки

1. Погодні умови дослідних років характеризувалися високою ступеню мінливості та наявністю багатьох стресових факторів.

2. Найбільшим вмістом сухих речовин, у тому числі, цукрів та органічних кислот характеризувалися плоди сливи сорту Волошка, вищим вмістом аскорбінової кислоти – плоди сливи сорту Угорка італійська, а фенольних речовин – плоди сорту Стенлей. Найвищу оцінку антиоксидантного статусу мали плоди сливи сорту Стенлей.

3. Середні втрати маси за період зберігання плодів сливи були на рівні 7,7 %, при цьому, втрати за добу зберігання становили 0,23 %. За розрахованими константами швидкості було визначено, що максимальною була швидкість зростання втрат маси у плодів сливи сорту Угорка італійська.

4. Серед компонентів хімічного складу плодів сливи домінуючий вплив на рівень їх щодобових втрат маси має вміст сухих речовин. Регресійна модель для прогнозування втрат маси залежно від вмісту сухих речовин, має вигляд: $y=0,018x^2-0,759x+7,715$.

5. Серед досліджених погодних чинників найбільш істотний вплив має сума активних температур останнього місяця формування плодів. У якості регресійної моделі для прогнозування втрат маси від абіотичних чинників слід користуватися рівнянням $y=1,874262-0,00211x$.

Література

- Fourie, P. C. Fruit and human nutrition [Text] / P. C. Fourie // Fruit Processing, 1996. – P. 20–39. doi: 10.1007/978-1-4615-2103-7_2
- Dikeman, C. L., Carbohydrate Composition of Selected Plum/Prune Preparations [Text] / C. L. Dikeman, L. L. Bauer, G. C. Fahy // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2004. – Vol. 52, Issue 4. – P. 853–859. doi: 10.1021/jf034858u
- Guerra, M. Effect of harvest date on cold storage and postharvest quality of plum cv. Green Gage [Text] / M. Guerra, P. A. Casqueiro // Postharvest Biology and Technology. – 2008. – Vol. 47, Issue 3. – P. 325–332. doi: 10.1016/j.postharvbio.2007.07.009

4. Manganaris, A. Effect of preharvest and postharvest conditions and treatments on plum fruit quality [Text] / A. Manganaris, A. P. Vicente, C. H. Crisosto // *Agric. Food Chem.* – 2007. – Vol. 55, Issue 17. – P. 7015–7020.
5. Ramming, D. W. Plums (*Prunus*) [Text] / D. W. Ramming, V. Cociu Plums // *Acta Horticulturae*. – 1991. – Vol. 290, Issue 6. – P. 235–290. doi: 10.17660/actahortic.1991.290.6
6. Заремчук, Р. Ш. Качество плодов перспективных сортов сливы домашней для Краснодарского края [Текст] / Р. Ш. Заремчук, С. В. Богатырева, Т. Л. Смелик // *Плодоводство и виноградарство Юга России*. – 2014. – № 28 (04). – С. 9. – Режим доступа: <http://www.journal.kubansad.ru/pdf/14/04/03.pdf>
7. Статистичний збірник «Рослинництво України у 2012 році» / Державний комітет статистики України. Департамент сільськогосподарства і навколишнього середовища [Текст] / за ред. Ю. М. Остапчука. – Київ, 2012. – 108 с.
8. Логінов, М. І. Технологія виробництва і переробка продуктів рослинництва: навч. посібник [Текст] / М. І. Логінов, М. Г. Росновський, А. М. Логінов. – Глухів: ГНПУ, 2014. – 229 с.
9. Paull, R. E. Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality [Text] / R. E. Paull // *Postharvest Biology and Technology*. – 1999. – Vol. 15, Issue 3. – P. 263–277. doi: 10.1016/s0925-5214(98)00090-8
10. Mikhailik, V. A. Change in the Specific Heat Capacity of Parenchymal Tissues of Apples due to Dehydration [Text] / V. A. Mikhailik, N. V. Dmitrenko, Yu. F. Snezhkin // *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. – 2014. – Vol. 87, Issue 1. – P. 48–53. doi: 10.1007/s10891-014-0983-7
11. Roweands, R. Fruit juice flows with growing soft drinks market [Text] / R. Roweands // *Brew. and Beverage Ind. Int.* – 1998. – Vol. 1. – P. 23–24, 26.
12. Мурашев, С. В. Влияние свободной влаги на естественную убыль массы плодовой и ягодной продукции при холодильном хранении [Текст] / С. В. Мурашев, Н. Н. Калацевич, В. Г. Вержук // *Научный журнал СПбГУНИИПТ. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств (электронный журнал)*. – 2012. – № 2. – Режим доступа: http://processes.ihbt.ifmo.ru/ru/article/9194/vliyanie_svobodnoy_vlagi_na_estestvennuyu_ubyl_massy_plodovoy_i_yagodnoy_produkcii_pri_holodilnom_hranenii.htm
13. Casquero, P. A. Harvest parameters to optimise storage life of European plum 'Oullins Gage [Text] / P. A. Casquero, M. Guerra // *International Journal of Food Science & Technology*. – 2009. – Vol. 44, Issue 10. – P. 2049–2054. doi: 10.1111/j.1365-2621.2009.02029.x
14. Ghaouth, A. Use of chitosan coating to reduce water loss and maintain quality of cucumber and bell pepper fruits [Text] / A. Ghaouth, J. Arul, R. Ponnampalam, M. Boulet // *Journal of Food Processing and Preservation*. – 1991. – Vol. 15, Issue 5. – P. 359–368. doi: 10.1111/j.1745-4549.1991.tb00178.x
15. Балан, Е. Ф. Динамика потерь плодовоовощной продукции по этапам непрерывной холодильно-транспортной цепи (ХТЦ) [Текст] / Е. Ф. Балан, И. Г. Чумак, В. Г. Картофяну, Э. Ж. Иукурдзе // *Холодильщик. Интернет-выпуск*. – 2007. – № 3 (27). – Режим доступа: http://www.holodilshchik.ru/index_holodilshchik_best_article_issue_3_2007.htm
16. Sánchez-González, L. Effect of hydroxypropylmethylcellulose and chitosan coatings with and without bergamot oil on quality and safety of cold-stored grapes [Text] / L. Sánchez-González, C. Pastor, M. Vargas, A. Chiralt, González- C. Martínez, M. Cháfer // *Postharvest Biology and Technology*. – 2011. – Vol. 60, Issue 1. – P. 57–63. doi: 10.1016/j.postharvbio.2010.11.004
17. Бублик, М. О. Інтегральна оцінка погодних факторів для вирощування плодкових культур [Текст] / М. О. Бублик // *Вісник аграрної науки*. – 2002. – № 6. – С. 31–33.
18. Радюк, В. А. Влияние метеорологических условий года на лежкость плодов яблок и груш [Текст]: межвед. тематич. сб. / В. А. Радюк // *Плодоводство*. – 1980. – № 4. – С. 161–165.
19. Найченко, В. М. Технологія зберігання і переробки плодів та овочів [Текст] / В. М. Найченко, І. Л. Заморська. – Умань: видавець «Сочінський», 2010. – 328 с.
20. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) [Текст] / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
21. Иванов, В. Ф. Экология плодовых культур [Текст] / В. Ф. Иванов. – Киев: Волна, 1998. – 405 с.
22. Саати, Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий [Текст] / Т. Л. Саати. – М.: Радио и связь, 1989. – 316 с.