

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗМІНИ МАСИ ТРАВМОВАНИХ БУЛЬБ КАРТОПЛІ ПРИ ТРИВАЛОМУ ЗБЕРІГАННІ

І. Г. Грабар, д. т. н., професор,  
О. І. Грабар, к. т. н., доцент,  
Житомирський національний агроекологічний університет  
Житомирський державний технологічний університет

При тривалому зберіганні овочів, плодів та ягід, що не підлягають термічній обробці та сушці, відбуваються певні зміни, що впливають на їх споживчі якості, а також на їх облікову вагу. І якщо перший чинник – справа смаку, то другий – матеріальної відповідальності з серйозними наслідками, в деяких випадках – не тільки адміністративними. З позиції синергетики зміна маси в часі овочів, фруктів та ягід – це нерівновісний процес. Існує градієнт концентрації складових всередині овочу та в навколишньому середовищі. Саме цей градієнт спонукає систему до рівноваги, тобто до зменшення наявного градієнту. В більшості випадків, при дотриманні технологій зберігання, наявність даного градієнту і його знак направлені на зменшення маси овочів, фруктів і ягід в часі. Даний процес характерний і для нетравмованих, і для травмованих плодів, однак швидкість його суттєво залежить від ступеню травмування. В той же час травмування бульб картоплі в процесі збирання врожаю, транспортування та підготовки до зберігання технологічно пов'язано з травмуванням. Будь-яка технологія має мінімізувати долю травмованих бульб, але уникнути цього явища на даний час і в майбутньому мабуть не вдасться позбутися. Більше того, зростання вимоги до збільшення продуктивності машин так чи інакше веде до зростання швидкостей і прискорень робочих органів с/г машин, а значить – і до зростання ймовірності травмування [1-3].

Відсоток травмованих бульб, що закладаються на зберігання, має бути мінімальний, має виявлятися при сортуванні, однак повністю

уникнути неможливо. Травмовані ділянки бульб при зберіганні несуть дві основні загрози:

- Проникнення і ріст інфекцій;
- Пришвидшена втрата маси навіть при вберіганні від інфекцій.

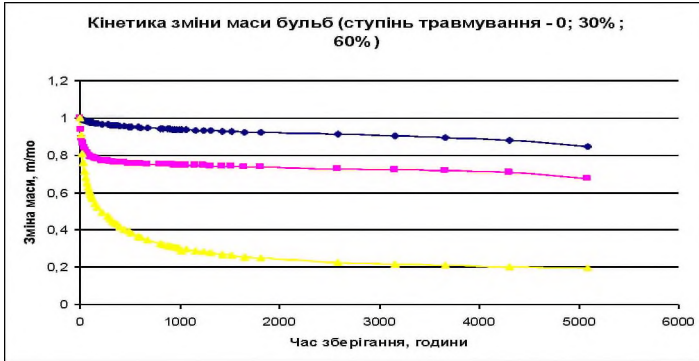
У випадку інфекції тривале зберігання призводить до гниття та повної втрати травмованих бульб. У випадку запобігання інфекціям втрати маси значно перевищують нормативи, що може вносити значні проблеми у звітність. Навіть при середніх рівнях при збиранні врожаю травмується до 30% врожаю, при транспортуванні – ще 3%, при сортуванні – до 10%, при укладанні в бурти – ще до 3% [1]. При цьому на сумарний відсоток травмованих бульб впливає сорт, розміри клубнів, вологість ґрунту тощо [1].

**Мета дослідження** – встановити кількісні залежності впливу рівня травмування бульб на кінетику втрати їх маси при тривалому зберіганні та побудувати математичні моделі цього процесу [4-6].

**Методика експерименту.** На тривале зберігання в умовах, близьких до овочесховища, закладались три типи бульб: нетравмовані, травмовані 30% поверхні оболонки; травмовані 60% поверхні оболонки. Травмування бульб виконувалось штучно: скальпелем, попередньо обробленим 96% розчином  $C_2H_5OH$ , виконувались надрізи поверхневої оболонки бульб заданого відсотку травмування. В момент закладки досліду і кожні наступні 24 години зберігання контрольні зразки зважувались аналітичними електронними вагами з точністю 0,01 Г. При цьому реєструвалася температура та вологість в камері зберігання. Враховувалось, що на зберігання бульб впливає, крім травмування, спосіб завантаження в овочесховище, його конструкція, система вентиляції, керування температурою та вологістю в сховищі тощо [2].

**Моделювання процесу.** Процес втрати маси бульб є природнім, і фізично означає, що і через зовнішню оболонку, і через травмовані ділянки бульб відбувається видалення (випаровування) складових будови бульб, і, очевидно, найперш – води. Так, за даними [3], біохімічний склад бульб картоплі містить наступні складові: (у % до сирої маси) – води  $76\pm 10\%$ , крохмалю  $17,5\pm 10\%$ , цукру – біля 1%, клітковини – біля 1%, сірого протеїну – біля 2%.

**Результати експерименту.** На рис. 1-4 наведені графіки залежностей маси зразків бульб від часу зберігання.



**Рис.1** Кінетика зміни відносної маси бульб з різним ступенем травмування при тривалому зберіганні

Як слідує із рис.1, кінетика зменшення маси бульб суттєво залежить від ступеня травмування бульб. Так, не травмовані бульби протягом 5400 годин зберігання втрачали 15,3% маси, з поверхнею травмування 30% – втрачали протягом 5400 годин 32,5% маси, а з площею травмованої поверхні 60% втратили 80,5% маси. При цьому на рис.1 чітко можна виділити три характерні стадії:

- Перша – для нетравмованих бульб та травмованих до 30% – тривалістю 0 - 50 годин – експоненціального зменшення маси; Для бульб, травмованих на 60% – тривалістю до 1500 годин з експоненційним зменшенням маси;
- Друга стадія – відповідно від кінця першої стадії до 4500 годин – лінійного зменшення маси в часі;
- Третя стадія – від 4500 до 5500 годин – теж лінійного зменшення маси, але з більшою швидкістю.

Для першої стадії характерно прискорене видалення вологи з поверхні травм і при поверхневих шарів не травмованих бульб. На другій стадії відбувається видалення вологи практично рівномірно з усього об'єму, в умовах, близьких до стаціонарних, свіже утворені ділянки травм підсихають і утворюють корку, що слугує бар'єром для міграції вологи з бульби в навколишнє середовище. Очевидна, саме умови, близькі до стаціонарних, забезпечують лінійний закон зменшення маси. На третій стадії відбувається пробудження та проростання бруньок, що, очевидно, збільшує швидкість видалення вологи з бульб.

Для першої стадії зберігання вдалося побудувати єдину залежність зміни маси від площі травмування  $S$  та часу зберігання  $t$ :

$$m(t) = m_0 \cdot \exp[-(0,0003 + 0,0127S) \cdot t], \quad R_{21/1} = 0,9509$$

На рис.2 наведено залежності зміни маси на першій стадії:

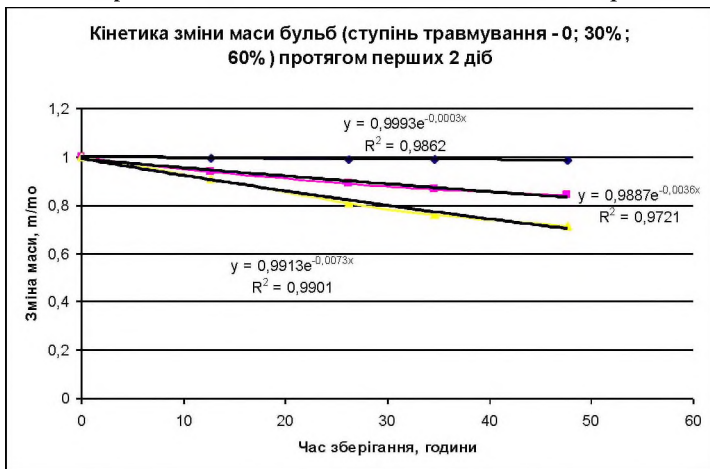


Рис.2. Перша стадія зберігання травмованих бульб (експоненційного зменшення маси).

На рис.3 наведені результати побудови єдиної математичної моделі процесу зміни маси бульб з різним ступенем травмування їх поверхні. Як слідує з рис.3, така математична модель дає суттєві похибки на третій стадії – пробудження та проростання паростків.

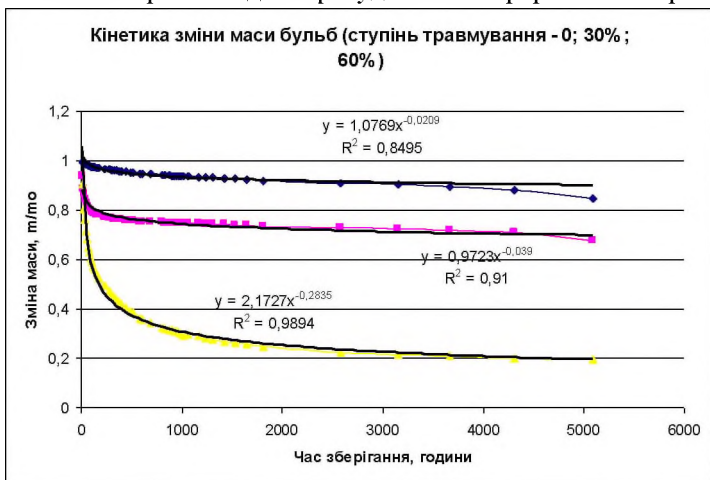
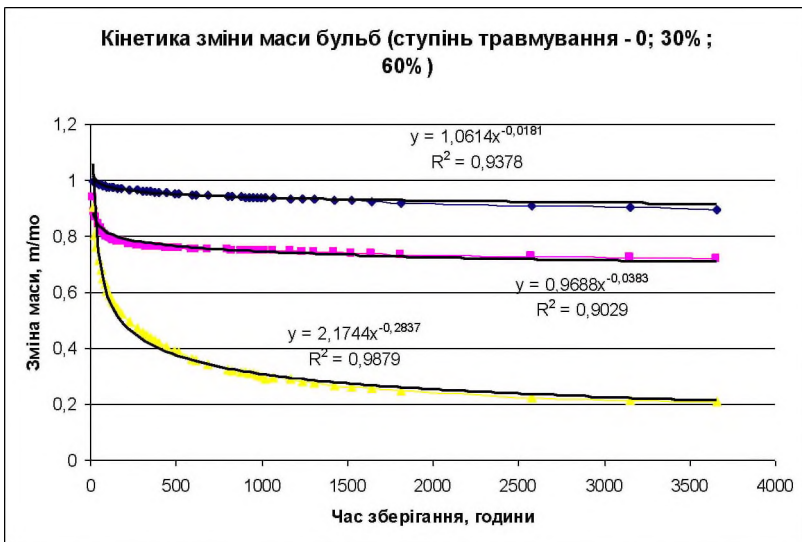


Рис.3. Спільна математична модель для стадій I, II та III



**Рис.4.** Спільна математична модель для I та II стадій.

Однак, як показує експеримент, коефіцієнти дифузії в нетравмованих та травмованих ділянок суттєво різні. Поверхнева оболонка виконує роль захисного подвійного бар'єру в обидві сторони міграції: збудників хвороб із зовні всередину бульб та вологи разом з крохмалем та поживними речовинами із бульб в навколишнє середовище. При видаленні частини зовнішньої оболонки висота бар'єру суттєво зменшується, і, відповідно, швидкість процесу випаровування (дифузії), як реакція арреніусівського типу, суттєво зростає.

Кількісно виміряні параметри зміни маси бульб з різними долями травм протягом тривалого зберігання (до 5400 годин). Показано існування трьох стадій в процесі зберігання. Показано, що побудова єдиної математичної моделі для всіх трьох стадій має складнощі.

### Список літератури

1. [http://agrokorenevo.ru/mechanicheskie\\_povrezhdeniya](http://agrokorenevo.ru/mechanicheskie_povrezhdeniya)
2. Пшеченков К. А., Зейрук В. Н., Еланский С. Н., Мальцев С. В. Технологии хранения картофеля. – Картофелевод. – 2007. – 191 с.
3. Кучко А. А. Соматоклональнaмнливiсть у картоплi / А. А. Кучко, Т. М. Олійник. – К. : Довiра. 1998. – С. 191.

4.Грабар І. Г., Грабар О. І., Гутніченко О. А., Кубрак Ю. О. Перколяційно-фрактальні матеріали: властивості, технології, застосування. – Житомир:ЖДТУ. – 2007. -354 с.

5.Грабар І.Г.,Грабар О.І. Фрактали і тензори в наукових дослідженнях. – Житомир:ЖДТУ.- 2007. – 70 с.

6.Грабар І. Г. Термоактиваційний аналіз та синергетика руйнування. – Житомир:ЖДТУ. – 2002. – 312 с.