

Міністерство освіти і науки України
Департамент науки і освіти Харківської обласної державної адміністрації
Комунальний заклад «Харківська обласна Мала академія наук
Харківської обласної ради»

Відділення: екології та аграрних наук
Секція: агрономія

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗБЕРІГАННЯ ЗЛАКОВИХ КУЛЬТУР ЗА РІЗНИХ УМОВ

Роботу виконала:

Гришко Софія Віталіївна,
учениця 11 класу Комунального
закладу «Харківський ліцей № 68
Харківської міської ради», вихованка
Комунального закладу «Харківська
обласна Мала академія наук
Харківської обласної ради»

Наукові керівники:

Гавриш Тетяна Володимирівна,
доцент кафедри технологій
переробних і харчових виробництв
Державного біотехнологічного
університету, кандидат технічних наук

Огурцова Наталія Степанівна,
керівник гуртка Комунального закладу
«Харківська обласна Мала академія
наук Харківської обласної ради»

Харків – 2024

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗБЕРІГАННЯ ЗЛАКОВИХ КУЛЬТУР ЗА РІЗНИХ УМОВ

Гришко Софія Віталіївна; Комунальний заклад «Харківська обласна Мала академія наук Харківської обласної ради»; Комунальний заклад «Харківський ліцей № 68 Харківської міської ради»; учениця 11 класу; м. Харків;

Гавриш Тетяна Володимирівна, доцент кафедри технологій переробних і харчових виробництв Державного біотехнологічного університету, кандидат технічних наук;

Огурцова Наталія Степанівна, керівник гуртка КЗ «Харківська обласна Мала академія наук Харківської обласної ради»

Вологість насіння є одним із самих важливих факторів, що впливають на проростання та тривалість життєздатності, а також на загальний фізіологічний стан насіння. Однак зерно як гігроскопічний матеріал встановлює рівновагу вологості з довкіллям у якому він зберігається. Висока вологість під час зберігання є неприйнятною через здатність схожості зерна, що скорочує термін зберігання

Дана робота присвячена дослідженню зберігання зерна злакових культур за різних умов, а саме впливу відносної вологості та температури на зміну вологості зерна при зберіганні; температури та відносної вологості під час зберігання зерна на схожість та енергію пророщування зерна; температури та відносної вологості під час зберігання зерна на кількість клейковини.

За результатами проведеного дослідження встановлено наступне:

1. Дослідження впливу відносної вологості та температури на зміну вологості зерна при зберіганні показало, що істотних змін вологості зерна відносно вологості повітря у зерносховищі не відбувається. Збільшення або зменшення вологості при різних температурах (від +2 до 90%) відбувається в незначних межах (від 0,5 до 2,6 %), при цьому пшениця виявилась більш чуткою аніж тритикале.

2. Вивчення впливу температури та відносної вологості під час зберігання зерна на схожість та енергію пророщування зерна виявило, що на життєздатність зерна впливають не тільки температура та відносна вологість повітря, а й особливості виду зерна, тобто різниця у показниках між зерном пшениці та тритикале існує. А саме, при зберіганні зерна при температурі +2...35°C та відносній вологості 45...85% суттєвої зміни схожості та енергії пророщування не відбувається. Для зерна що зберігалось за температури +45°C зниження схожості та енергії пророщування було більш значучим. Так при зберіганні за температури +35°C та відносній вологості 45% через 42...56 діб зберігання схожість зменшилась несуттєво (2-3 %), а наприкінці зберігання (через 90 днів) знизилась майже удвічі – до 45% для пшениці та 52% у тритикале. Натомість при зберіганні при температурі 25°C досліджені показники практично не змінились.

3. Визначення впливу температури та відносної вологості під час зберігання зерна на кількість клейковини показало, що кількість клейковини поступово знижується у зразках пшениці та тритікале. Показник кількості клейковини пшениці за 90 діб зберігання знижується у залежності від температури зберігання майже на третину (від 30% до 20-26% за різних температур зберігання). При цьому встановлено наступну тенденцію – чим більша температура зберігання, тим більше відбувається активність ферментів, які призводять до змін кількості сирової клейковини у зерні пшениці та тритікале, погіршую її технологічні властивості.

Ключові слова: зерно ярої пшениці, зберігання злакових культур, відносна вологість, температура, схожість та енергія пророщування зерна.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. КРИТЕРІЇ ВИЗНАЧЕННЯ БЕЗПЕЧНОГО ТЕРМІНУ	
ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА.....	7
1.1. Дихання зерна та втрати сухої речовини	8
1.2. Пліснявіння зерна під час зберігання.....	9
1.3. Схожість.....	13
Висновки по розділу.....	15
РОЗДІЛ 2. ОБ’ЄКТИ, МАТЕРІАЛИ, ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	
2.1. Об’єкти дослідження.....	16
2.2. Методи дослідження.....	17
2.3. Моделювання досліджуваного процесу.....	18
Висновки по розділу.....	19
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	
ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ.....	
3.1. Дослідження впливу відносної вологості та температури на зміну вологості зерна при зберіганні.....	20
3.2. Вплив температури та відносної вологості під час зберігання зерна на схожість та енергію пророщування зерна.....	26
3.3. Вплив температури та відносної вологості під час зберігання зерна на кількість клейковини.....	29
ВИСНОВКИ.....	32
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	34

ВСТУП

Злакові є основною продовольчою культурою у багатьох країнах світу особливо в Україні. При післязбиральній обробці та зберіганні можливі значні втрати врожаю. Післязбиральні втрати зернових культур значно різняться залежно від культури, стадії виробничо-збутового ланцюжка та географічного положення, але можуть досягати 20% і вище. Втрати насамперед пов'язані з ушкодженнями шкідників (особливо комах, гризунів та ін.) та наявністю мікотоксинів. Щоб впоратися з післязбиральними втратами під час зберігання, фермери вживають різні заходи, включаючи традиційні методи, застосування хімікатів або продаж зерна невдовзі після збирання врожаю. Багато методів зберігання мають проблеми. До них відносяться обмежений доступ та економічна ефективність, відсутність масштабованості, а в деяких випадках вони не адаптовані до місцевих умов. Продаж зерна відразу після збирання врожаю призводить до втрати потенційного доходу та відсутності продовольчої безпеки на рівні домогосподарств. Деякі дрібні фермери продають більшу частину свого зерна через потребу домогосподарств після збирання врожаю, що призводить до відсутності продовольчої безпеки в наступні місяці. Часто ціни на зерно значно підвищуються (наприклад, можуть подвоюватися) від збирання врожаю до неврожайного сезону. Отже, зберігання зерна дає можливість забезпечити продовольчу безпеку, але також дозволяє фермерам отримувати вигідніші ціни на зерно.

Мета роботи: дослідити зберігання злакових культур за різних умов.

Виходячи з мети сформульовані наступні **завдання дослідження:**

- за результатами огляду літературних джерел визначити критерії визначення безпечного терміну зберігання зерна;
- дослідити вплив відносної вологості та температури на зміну вологості зерна при зберіганні;
- вивчити вплив температури та відносної вологості під час зберігання зерна на схожість та енергію пророщування зерна;

- визначити вплив температури та відносної вологості під час зберігання зерна на кількість клейковини;

Об'єктами досліджень: зерно ярої пшениці сорту «Барвіста» та ярого тритікале сорту «Борівітер Харківський» врожаїв 2021-2022 р.

Предмет дослідження: дослідження впливу відносної вологості та температури на зміну вологості зерна при зберіганні; температури та відносної вологості під час зберігання зерна на схожість та енергію пророщування зерна; температури та відносної вологості під час зберігання зерна на кількість клейковини.

Методи дослідження: Відбір і підготовку проб сировини для лабораторних досліджень проводили згідно єдиної методики відбору проб зерна ДСТУ 4138-2002. Дослідні та контрольні зразки готували з однієї партії сировини.

Зерно ярої пшениці та ярого тритікале зберігали у змодельованих контейнерах де підтримували певну вологість, а саме, 45%, 65%, 75% та 90% за допомогою силікагелю, температуру +2°C підтримували у холодильнику, де і зберігались контейнери із зерном, +35°C – контейнери витримували у термостаті.

Вологість зерна визначали експрес методом за допомогою вологоміра фірми Wile.

Енергію пророщування та схожість насіння визначали за ДСТУ 4138-2002.

Лабораторні дослідження проводилися на базі Державного біотехнологічного університету та Інституту рослинництва імені В.Я. Юр'єва НААН України.

Наукова новизна: вперше було досліджено вплив визначення змінення вологості зерна у зерновій масі, кількості клейковини та схожості і енергію пророщування.

РОЗДІЛ 1

КРИТЕРІЇ ВИЗНАЧЕННЯ БЕЗПЕЧНОГО ТЕРМІНУ ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА

Зернові, перш ніж вживати їх у їжу, проходять процес вирощування, збирання врожаю, сушіння, підготовки та продажу (включаючи зберігання) у природних умовах і, отже, часто пов'язані з мікробіологічним забрудненням та інфекцією [2].

Отже, можна констатувати, що якість зерна починає псуватися з моменту збирання врожаю через взаємодію між фізичними, хімічними та біологічними змінними у навколишньому середовищі [3]. Зерна злаків відразу після збирання містять мікробне забруднення з кількох джерел, таких як пил, вода, заражені рослини, комахи, тверді речовини, добрива та фекалії тварин. Бактерії, виявлені в зернах, в основному відносяться до сімейства *Pseudomonadaceae*, *Micrococcaceae*, *Lactobacillaceae* і *Bacillaceae*, а цвіль в основному *Alternaria*, *Fusarium*, *Helminthosorium* і *Cladosporium*, хоча можуть бути й інші роди. Мікробний склад злаків має велике значення для зберігання зерна, тому що при високому рівні вологості мікроорганізми можуть зростати та змінювати властивості продукту [4]. Псування зерна також пов'язане з диханням самого зерна та супутніх йому мікроорганізмів. Виділення вуглекислого газу, води та тепла пов'язане з цим диханням або погіршенням стану [5].

Вологість 13 % вважається максимальним значенням для зберігання пшениці, кукурудзи, ячменю, тритікале та рису протягом коротких періодів часу, хоча температура та концентрація кисню також відіграють важливу роль [6].

Однак збирання зерна з високим вмістом вологи, такого як пшениця, кукурудза, тритікале або рис, стало звичайною практикою для захисту зерна від вологих погодних умов, які можуть спричинити вивітрювання та зараження зерна пліснявою в полі. Зерно з високою вологістю схильне до псування мікроорганізмами і, отже, повинно бути висушене до того, як відбудеться

неприйнятна втрата якості. Знання швидкості псування зерна з високою вологістю за різних умов зберігання допоможе сільськогосподарям дізнатися, як швидко висушити зерно або відрегулювати умови зберігання, щоб запобігти подальшій втраті якості [7, 42]. Вважають, що 5...15 % від загальної маси всіх зернових, олійних і бобових культур втрачається після збирання врожаю [8]. Поліпшення умов зберігання дозволило б на 10...20 % збільшити доступність харчових продуктів для людей [9].

Якість зерна має вирішальне значення в сучасній зерновій торгівлі через посилення вимог до безпеки харчових продуктів та посилення ринкової конкуренції, тому щоб уникнути псування зерна при зберіганні необхідно визначити безпечний термін зберігання зерна.

Термін безпечного зберігання – це період, протягом якого продукт при певному вмісті вологи піддається впливу певної відносної вологості та температури, нижче за які може статися псування врожаю і після якого врожай може зіпсуватися. Щоб знизити втрати, урожай необхідно висушити до безпечного вмісту вологи при зберіганні (тобто вмісту вологи, необхідного для тривалого зберігання) протягом безпечного часу зберігання [10, 41, 43].

Визначення безпечного терміну зберігання зерна є відповіддю на наступне питання: як довго можна зберігати зерно певної вологості та температури без ризику погіршення якості [11, 45].

Відомо, що у бібліографії предмета є таблиці та графіки термінів зберігання. Однак іноді математичні формули виявляються кориснішими. Їх можна легко включити в математичні моделі сушіння або аерації зерна, а також в експертні системи, які допомагають керувати зберіганням зерна [12, 13, 14, 15].

1.1. Дихання зерна та втрати сухої речовини

Псування зерна пов'язане з диханням самого зерна та супутніх йому мікроорганізмів. Дихання – це процес окислення (спалювання) вуглеводів з

виділенням вуглекислого газу, водяної пари та енергії. Отже, дихання споживає суху речовину.

Повне згоряння (аеробне дихання) типового вуглеводу, такого як крохмаль, представлено наступним рівнянням:



Відповідно до цього рівняння при розщепленні 1 г сухої речовини при аеробному диханні з використанням 1,07 г кисню виділяється 1,47 г вуглекислого газу, 0,6 г води та 15,4 кДж теплової енергії. Це означає, що втрата 1% вуглеводів у сухій речовині зерна супроводжується виділенням 14,7 г вуглекислого газу на 1 кг зернової речовини. Тому швидкість дихання тісно пов'язана із втратою сухої речовини зерна і, отже, із загальною втратою якості. Моделювання виробництва CO₂ можна використовувати для спрощення прогнозування швидкості втрати якості, припускаючи переважно аеробне дихання.

Забруднення зібраного зерна мікроорганізмами є природним та постійним. В помірному кліматі з середньовологі або зерном при збиранні врожаю *Fusarium*, *Alternaria* і *Helminthosporium* (так звана «польова флора»). При тривалому зберіганні ксерофільні гриби родів *Aspergillus* і *Penicillium* (так звана «запасна флора») поступово замінюють «польову флору» протягом декількох місяців зберігання. При вологості 15...19% більшість видів польової флори пригнічується або гине, у той час як види запасної флори ростуть повільно [16,17,44]. Оскільки дихальні процеси мікроорганізмів або прихованого зараження комахами аналогічні процесам дихання самого зерна, спалювання вуглеводів являє собою дихання зерна, мікроорганізмів і комах [18, 19].

1.2. Пліснявіння зерна під час зберігання

Псування зерна є результатом використання мікроорганізмами (бактеріями, дріжджами, грибами та пліснявою) поживних речовин, присутніх у

зерні, для зростання та репродуктивних процесів. Псування може призвести до втрати поживних речовин із зерна, оскільки мікроорганізми використовують ці поживні речовини значною мірою так само, як худоба. Крім того, мікроорганізми під час зростання виділяють тепло і вологу, що може викликати підвищення температури зерна, що зберігається. Нагрівання, викликане зростанням мікробів, може викликати «теплове пошкодження» і іноді може зробити зерно непридатним для годівлі. Відомо, що такі умови викликають пожежі та вибухи пилу у сховищах [20].

Деякі мікроорганізми, якщо їм дозволити зростати в належних умовах навколишнього середовища, можуть виробляти токсини або інші продукти, які при вживанні домашньою худобою або людьми можуть спричинити серйозне захворювання і навіть смерть. Було ідентифіковано ряд цих токсинів та мікроорганізмів, які їх продукують.

Токсигенні гриби вражають сільськогосподарські культури як у полі, і у сховищах.

Автори [21] виявили наступні різновиди грибів у кукурудзі при збиранні врожаю і після 28 днів аерації в засіках: *Fusarium*, *Cephalosporium*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Mucor*, *Nigrospora*, *Penicillium*, *Aspergillus flavus*, *A. glaucus*, *A. niger*, *A. ochraceus*.

Дослідники [22] зазначили, що первісний підрахунок грибків показав, що насіння каноли було заражене високими рівнями передзбиральних грибків. *Alternaria alternata*, а також *Cladosporium spp.* та низький рівень запасаючих грибів *Eurotium spp.*, *Aspergillus candidus Link*, and *Penicillium spp.*

Грибкові інфекції можуть знебарвлювати зерно, змінювати його хімічні та поживні властивості, знижувати схожість і, що найважливіше, забруднювати його мікотоксинами, отруйними метаболітами, які продукуються деякими видами грибів.

Спорини – захворювання зернових культур, що викликається грибом *Claviceps purpurea*. Це призводить до зниження врожайності та якості зерна.

Однак набагато більше значення має вплив алкалоїдних токсинів ріжків на людину і тварин [23].

Афлатоксини є вторинними метаболітами, що продукуються *Aspergillus flavus* Link and *A. Parasiticus* Speare. Ці сполуки є небагатьма з більш ніж 120 мікотоксинів, що продукуються грибами. Дієтична дія афлатоксину на свійську птицю може призвести до поганого зростання, підвищеної смертності, поганої конверсії корму та збільшення шлюбу. Ряд інших видів тварин також схильний до альфатоксикозу. Відомо, що афлатоксин діє як сильнодіючий токсин, канцероген, тератоген і мутаген [24, 25].

Фумонізени є вторинними метаболітами, що продукуються *Fusariummonili forme Sheldon* and *F. proliferatum*. Вони широко поширені по всьому світу і можуть бути виділені з кукурудзи, пшениці, тритікале та харчових продуктів на основі цих зернових, а також харчових продуктів, забруднених природним шляхом.

Fusarium. Фумонізени викликають лейкоенцефаломаліцію (ELEM) у коней, набряк легких свиней, діарею та зниження маси тіла у курчат-бройлерів, канцерогенність у щурів, лейкоенцефаломаліцію та крововилив у мозок кроликів. Крім того, епідеміологічні дані свідчать про кореляцію між споживанням *F. moniliforme* кукурудза і висока захворюваність на карциному стравоходу у людини [26, 27].

Кліщі також вражають зернові, що зберігаються. Ці членистоногі забруднюють зерно і викликають велике занепокоєння в галузі медицини та ветеринарії, оскільки можуть діяти як переносники бактерій та токсигенних грибів. Зерно, заражене кліщами, може спричинити гострий ентерит при ковтанні, а також важкий дерматит та алергію у тих, хто обробляє зернові. Крім того, кліщі можуть харчуватися зародками зерен, тим самим знижуючи вміст заліза та вітамінів групи В та схожість. Кліщі можуть виживати і розмножуватися, харчуючись кількома видами грибів, які переносять насіння. Грибкові спори і міцелій містять невелику кількість необхідних поживних

речовин (наприклад, вітаміни групи В і стероїди) і рівень вологості, достатній для метаболічних потреб кліщів.

Умови, що сприяють розвитку мікотоксинів у зернових до і після збирання врожаю, є важливими для країн-експортерів зерна, зацікавлених у збуті високоякісної продукції. У післязбиральній ситуації псування врожаю, зростання грибків та утворення мікотоксинів є результатом взаємодії кількох факторів в умовах зберігання. До цих факторів належать: вологість, температура, час, комахи-переносники, пошкодження насіння, рівень кисню, склад субстрату, рівень грибкової інфекції, переважання токсигенних штамів грибів та мікробіологічні взаємодії.

Вивчення умов, що сприяють розвитку мікотоксинів у зерні до та після збирання врожаю, проводилося багатьма дослідниками для наступних зернових культур: ячменю [28], ріпаку [29], кукурудза [30], рис [31], пшениця [32].

Дослідники [33], встановили, що середні рівні охратоксину А, цитриніну і стеригматоцистину досягли 24,38 і 411 частин на мільярд до 20 тижнів у ячмені з вмістом вологи 19%, але були відсутні в ячміні з вмістом мікотоксини не були виявлені. *Penicillium species and Aspergillusversicolor*. Автори встановили переважну мікрофлору. Вплив часу зберігання на температуру зерна проявлявся як при вмісті вологи 15, так і при 19%. При вмісті вологи 19% час зберігання також впливав на вміст вологи, рівень CO₂, вміст ергостеролу, проростання насіння та вироблення мікотоксинів. При 19% та підвищені рівня ергостеролу на 4-му та 8-му тижні, мабуть, дають раннє попередження про появу стеригматоцистину на 12-му тижні та охратоксину А і цитриніну на 20-му тижні.

Автори [34], виявили, що загальний рівень ергостеролу (грибкового специфічного ліпиду мембрани, що використовується як індикатор грибкової інфекції в зерні) в канолі, що зберігається, збільшувався з часом зберігання, температурою і вологістю насіння.

Дослідники [30], зазначили, що в цільнозерновому рисі та коричневому рисі не існує суттєвої лінійної залежності між кількістю афлатоксинів та

тривалістю зберігання. Кількість афлатоксинів у зразках цільного зерна рису у віці від 1 до 10 років коливалася від 2,79 до 2,93 мкг/кг і досягала максимуму у зразках, що зберігалися протягом 7...8 років (6,23 мкг/кг). Зі збільшенням терміну зберігання вміст афлатоксину в коричневому рисі постійно знижувалося в діапазоні від 0,74 до 1,19 мкг/кг. Однак у зразках кукурудзи кількість афлатоксинів значно збільшувалася зі збільшенням терміну зберігання. Середня кількість афлатоксинів в однорічній кукурудзі становила всього 0,84 мкг/кг, тоді як у дворічній кукурудзі воно сягало 1,17 мкг/кг. Практично жодне зерно кукурудзи не зберігалось понад 3 роки.

1.3. Схожість

Різні фактори можуть скоротити термін зберігання деяких злаків найвищої якості. Вміст вологи в зібраному зерні та температура зберігання можуть сприяти ураженню пліснявою та комахами-шкідниками. Найбільш вивченим показником якості є схожість, яка має безпосереднє значення лише зерна. Тим не менш, це, ймовірно, найкращий показник якості зерна злаків. Зернові, що зберігають високий рівень життєздатності при зберіганні, ймовірно, збережуть і інші основні параметри товарної або технологічної якості.

Проростання визначається як поява перших ознак зростання, тобто видимого випинання кореня. На проростання можуть впливати багато факторів, таких як температура зерна, вміст вологи в зерні, пошкодження зерна, грибок та зараження комахами. Було проведено багато досліджень, щоб визначити вплив різних факторів на проростання.

Встановлено [35], що сою можна зберігати протягом 12 місяців без вираженого зниження схожості, якщо підтримувати температуру нижче 16°C і вологість не вище 16,2% у перерахунку на суху масу. Відзначили, що на проростання насіння сої впливає відсоток розщеплених бобів у насінні, що зберігається, а температура зберігання і вологість відіграють важливу роль у підтримці якості насіння сої. Використовували відсоток схожості як показник

псування зерна. Він вивчав вплив багатьох рівнів вологості зерна та температури зерна на відсоток схожості. Його висновки будуть розглянуті нижче.

Також вивчали [36], поведінку насіння сої при зберіганні та втрату якості через вільне падіння з різної висоти (0,5...2 м) на різні поверхні (цемент та оцинковане залізо). Вони виявили, що насіння сої схильні до механічних пошкоджень. Тяжкість пошкодження залежить від вологості насіння, тому що більш сухе насіння твердіше. Висота падіння значно впливає на схожість. Середня втрата схожості 10% та 31% відзначена при падінні насіння з висоти 1 та 2 м відповідно на цементну підлогу. Це падіння схожості склало 7,5% і 22% при падінні з тієї ж висоти на гальванізовану підлогу. Партії насіння, що зберігалися при вологості 12 % у сухому вигляді, менше пошкоджувалися при вільному падінні з різної висоти, ніж партії, що зберігалися при 10 % та 11 % вологості.

Автори [37] заявили, що схожість знижується з часом зберігання, температурою та вологістю. Через 56 днів схожість канולי, що зберігалася при 12% вологості, вологому підставі та при 25...30°C, знизилася до 73%. Одинакові значення схожості, що зберігається: при 12% вологості та при 30-35°C проявлялися приблизно через 27 днів, при 14% і при 25-30°C проявлялися через 29 днів, при 14% і при 30-35°C проявився через 12 днів.

Вайнберг та ін. [38] досліджували відсоток проростання кукурудзи (кукурудзи), що зберігалася у саморегулюючій атмосфері у герметичних контейнерах. Вони помітили, що відсоток схожості знижувався протягом періоду зберігання та зменшувався зі збільшенням вмісту вологи. При 18% вологості відсоток схожості знижувався до нуля через 35 днів зберігання.

Генкава та ін. [39] протестували герметичне зберігання коричневого рису з низьким вмістом вологи. Вони заявили, що швидкість проростання коричневого рису з вмістом 16,2% вологості на вологій основі при 25°C знизилася з 97% до 27%, але для рису з вмістом вологості менше 12,8% при 25°C схожість була вищою за 90%.

Висновки до розділу

В сучасних умовах зерно збирають комбайном. Тому можна затягнути процес і зібрати стигле і сухе зерно без великих втрат, викликаних підгортанням зерна, але на окремих ділянках, забруднених зеленими частинами рослин, соломною та насінням бур'янів або незрілими зернівками, вологість може навіть перевищувати 30%, а температура часто вище 30°C. Цей стан може спричинити процеси саморозігріву навіть тоді, коли саме зерно вважається сухим. У такому зерні, і навіть у зерні, яке розглядається як сухе, все ще існують життєві функції, пов'язані з обміном речовин, а саме дихання зерна, зростання плісняви та інших мікроорганізмів, а також зростання комах. Ці процеси призводять до зниження якості зерна і навіть до повного його псування. Інтенсивність цих процесів залежить головним чином вологості зерна та її температури. З метою безпечного зберігання зерна слід якомога раніше обмежити його життєдіяльність шляхом зниження вологості та зниження температури. Це можна реалізувати шляхом сушіння, а потім охолодження зерна. У зв'язку з економією витрати теплової енергії зерно часто сушать атмосферним повітрям або злегка підігрітим повітрям, але такий процес протікає дуже повільно, і зерно має бути в сушильній камері досить тривалий час. Під час збирання, коли зерносховища приймають велику кількість зібраного зерна, не завжди є можливість одразу очистити, просушити та охолодити зерно через обмежену потужність пристроїв. Тому виникає необхідність періодичного зберігання свіжої зернової маси, а отже, є ризик виникнення небажаних процесів, що може призвести до зниження якості, а то й повного псування зерна. Тому необхідно визначити час безпечного зберігання зерна, тобто час, протягом якого розвиток небажаних процесів не викликає суттєвих змін якості зерна. Основними критеріями визначення тривалості цього періоду є: CO₂ продукції та пов'язані з цим втрати сухої речовини зерна, поява видимої плісняви, схожості.

РОЗДІЛ 2

ОБ'ЄКТИ, МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Об'єкти дослідження

Об'єктами дослідження було: зерно ярої пшениці сорту «Барвіста» та ярого тритікале сорту «Борівітер Харківський» врожаїв 2021-2022 р. (табл. 3.1, 3.2).

Таблиця 2.1

Вимоги до зерна ярої пшениці сорту «Барвіста»

Найменування показника	Значення
Натура, г/л	760...775
Вологість, %	13,5...14%
Зернова домішка, %	5
Смітна домішка, %	1
Масова частка:	
білка у перерахунку на суху речовину, %	14
сирої клейковини, %	30
Якість клейковини:	
група	I- II
одиниць приладу ІДК	75

Таблиця 2.2

Вимоги до зерна ярого тритікале «Борівітер Харківський»

Найменування показника	Значення
Натура, г/л	680
Вологість, %	13,5...14%
Зернова домішка, %	5
Смітна домішка, %	3
Масова частка:	
білка у перерахунку на суху речовину, %	12
сирої клейковини, %	Не менше 22
Якість клейковини:	
група	I- II
одиниць приладу ІДК	80

2.2. Методи дослідження

Лабораторні дослідження проводилися на базі Державного біотехнологічного університету та Інституту рослинництва імені В.Я. Юр'єва НААН України.



Рис. 2.1. Лабораторні дослідження на кафедрі технологій переробних і харчових виробництв Державного біотехнологічного університету

Відбір і підготовку проб сировини для лабораторних досліджень проводили згідно єдиної методики відбору проб зерна ДСТУ 4138-2002. Дослідні та контрольні зразки готували з однієї партії сировини.

Зерно ярої пшениці та ярого тритікале зберігали у змодельованих контейнерах де підтримували певну вологість, а саме, 45%, 65%, 75% та 90% за допомогою силікагелю, температуру $+2^{\circ}\text{C}$ підтримували у холодильнику де і

зберігались контейнери із зерном, $+35^{\circ}\text{C}$ – контейнери витримували у термостаті.

Вологість зерна визначали експрес методом за допомогою вологоміра фірми Wile.

Енергію пророщування та схожість насіння визначали за ДСТУ 4138-2002. Для аналізу використовували 4 проби насіння по 100 шт. кожна. Насіння розкладають на смужці фільтрувального паперу розміром 115 x 10 см. складену вдвічі та змочену до повної вологоємності водою по заздалегідь прокресленої лінії, відступаючи від верхнього краю 2 см. На цій смужці паперу укладають 100шт. насіння з інтервалом 1 см. Після укладання насіння покривають змоченою смужкою фільтрувального паперу меншого розміру, поверх якої накладають корекс. Папір згортають в рулон і поміщають в скляну посудину, яку ставляють в термостат за температурі 20°C на 7...8 днів. Під час пророщування рулони необхідно періодично зволожувати, додаючи воду в скляну посудину.

2.3. Моделювання досліджуваного процесу

Для початку експерименту вибираються вхідні та вихідні змінні, експериментальну область. Для цього ми розглядаємо велику кількість вхідних факторів, які впливають на процес зберігання зерна, і вихідних параметрів, які вказують на зміни в процесі під впливом вхідних факторів. Побудова параметричної моделі або моделі типу «чорна шухляда» заснована на виділенні системи із середовища і зображенням входів і виходів системи. В цій моделі детально не розглядається її внутрішня структура.

Досліджуючи відомі параметри, за допомогою такої моделі можна отримати уявлення про внутрішню структуру. Дані про вхідні і вихідні параметри внесені до табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Вхідні і вихідні параметри технологічного процесу

№	Найменування параметру	Вид параметру	
Вхідні			
1	Вологість	Вхідний	
2	Хімічний склад	Вхідний	
3	Виповненість	Вхідний	
4	Зараженість	Вхідний	
5	Засміченість	Вхідний	
Керуючи			
6	Температура	Керуючий	
7	Відносна вологість	Керуючий	
8	Тривалість зберігання	Керуючий	
Збурювальні			
9	Кваліфікація робітників	Збурювальний	
10	Фізіологічний стан зерна	Збурювальний	
Вихідні			
11	Енергія пророщування	Вихідний	
12	Кількість клейковини	Вихідний	
13	Вологість зерна	Вихідний	

Висновки по розділу

У даному розділі було обрано об'єкт дослідження – яра пшениця та яре тритікале врожаїв 2021-2022 р. А також обрано методики досліджень для встановлення впливу температури та відносної вологості зерна на якість зберігання, а саме визначення змінення вологості зерна у зерновій масі, кількості клейковини та схожості і енергію пророщування.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

3.1. Дослідження впливу відносної вологості та температури на зміну вологості зерна при зберіганні

Вологість насіння є одним із самих важливих факторів, що впливають на проростання та тривалість життєздатності, а також на загальний фізіологічний стан насіння. Однак зерно як гігроскопічний матеріал встановлює рівновагу вологості з довкіллям у якому він зберігається. Висока вологість під час зберігання є неприйнятною через здатність схожості зерна, що скорочує термін зберігання. Збільшена вологість у зерносховищі може призвести до інтенсивного дихання зерна, що забезпечує активність мікроорганізмів таких як грибів, бактерій а також сприятливе середовище (збільшення температури, вологи та тепловиділення) для шкідників - комахи та кліщі. Рівновага між насінням, а відносна вологість дорівнює критично для зберігання зерна. У багатьох літературних джерелах про технологію зберігання та сушіння зерна у величезній кількості досліджень було здійснено спробу кількісного виявлення зв'язку між факторами та втратою життєздатності зерна.

Відомо, що температура та відносна волога у зерносховищі, як найважливіші чинники, які є змінними, впливають на фазові перетворення зерна, що призводять до зміни його якості.

Хоча менше відомо, як значення цього параметра, які, можна сказати, визначають клімат зберігання, впливають на зерно кожного конкретного виду рослин, а іноді й сорту.

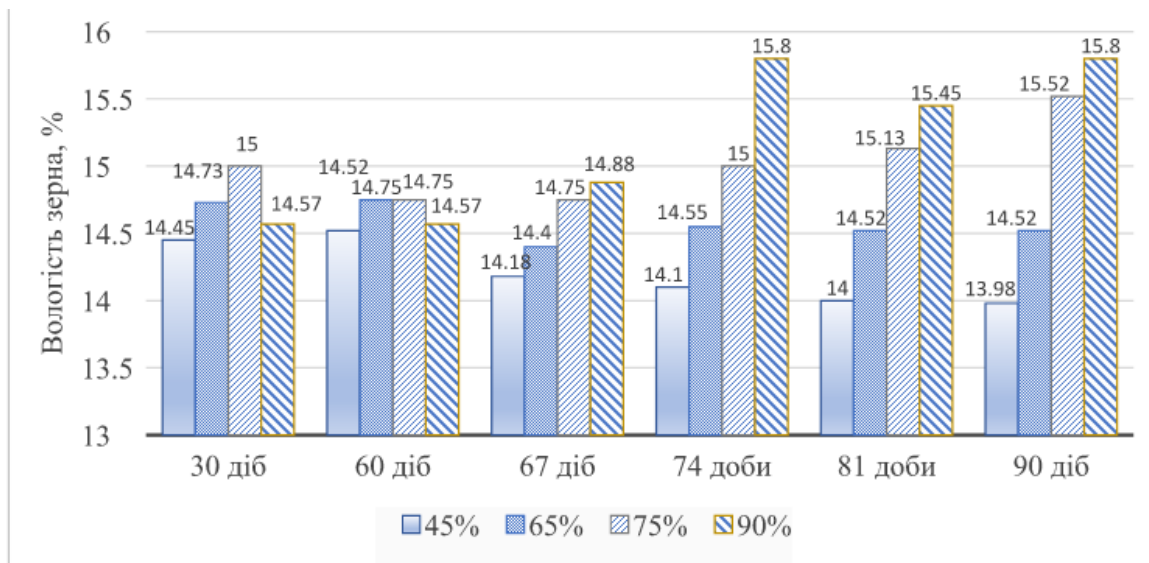
Дослідження щодо даної теми особливо актуальні для визначення режиму зберігання зерна та роботи в зерносховищах.

Тому такого роду дослідження видів та сортів, найбільш уявляє інтерес в нашому регіоні, нададуть факти про швидкість змін, і це може послужити

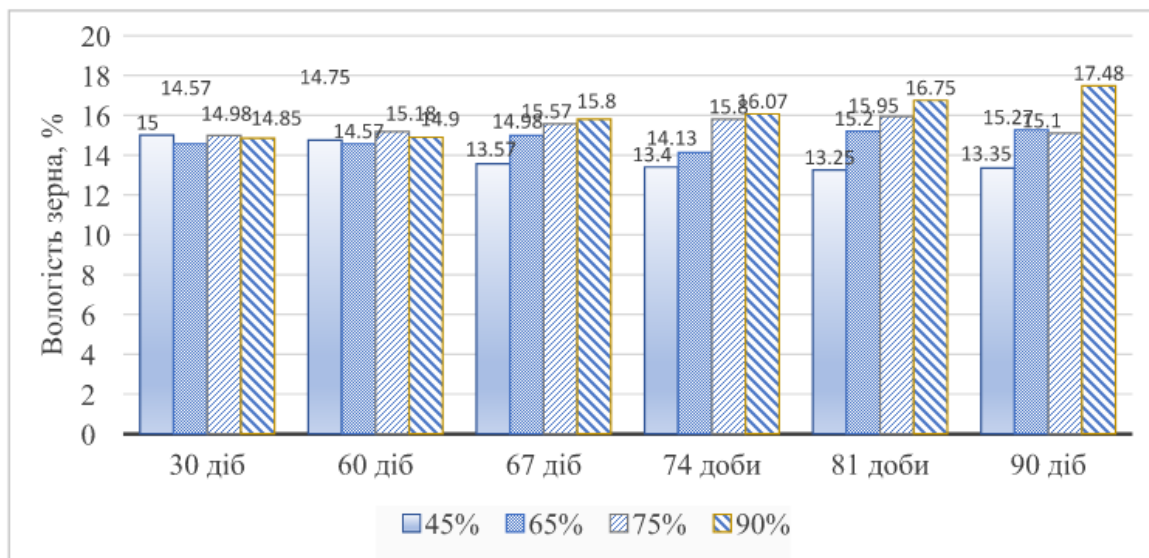
допомогою у поширенні пізнання тим, хто щодня приймає рішення щодо зміни параметрів у зерносховищі, в якому зберігається зерно.

Метою першого етапу роботи було дослідження змін відносної вологості та температури в приміщенні до вологи у зерні пшениці та ярого тритікале, що зберігається.

Зерно зберігали у змодельованих сховищах протягом 90 діб за температури $+2^{\circ}\text{C}$ та $+35^{\circ}\text{C}$, а відносну вологість підтримували на рівні 45%, 65%, 75%, 90%. Зміна вологості зерна пшениці наведена на рис. 3.1.



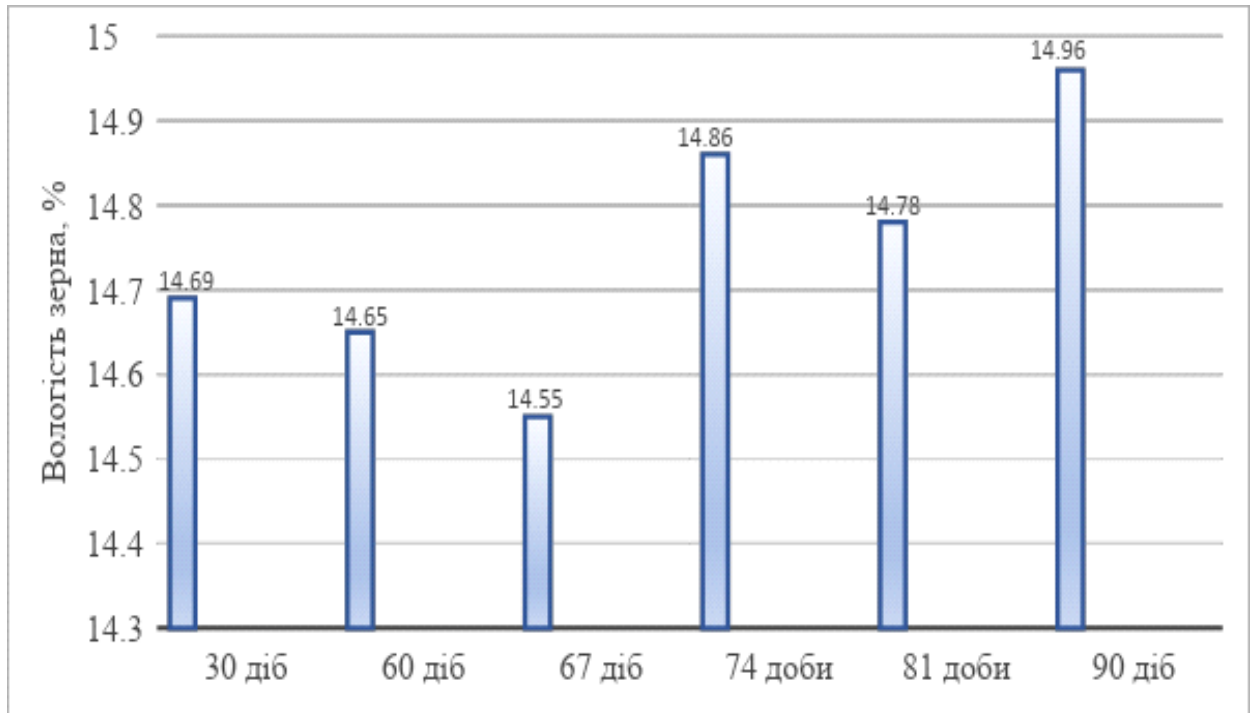
а



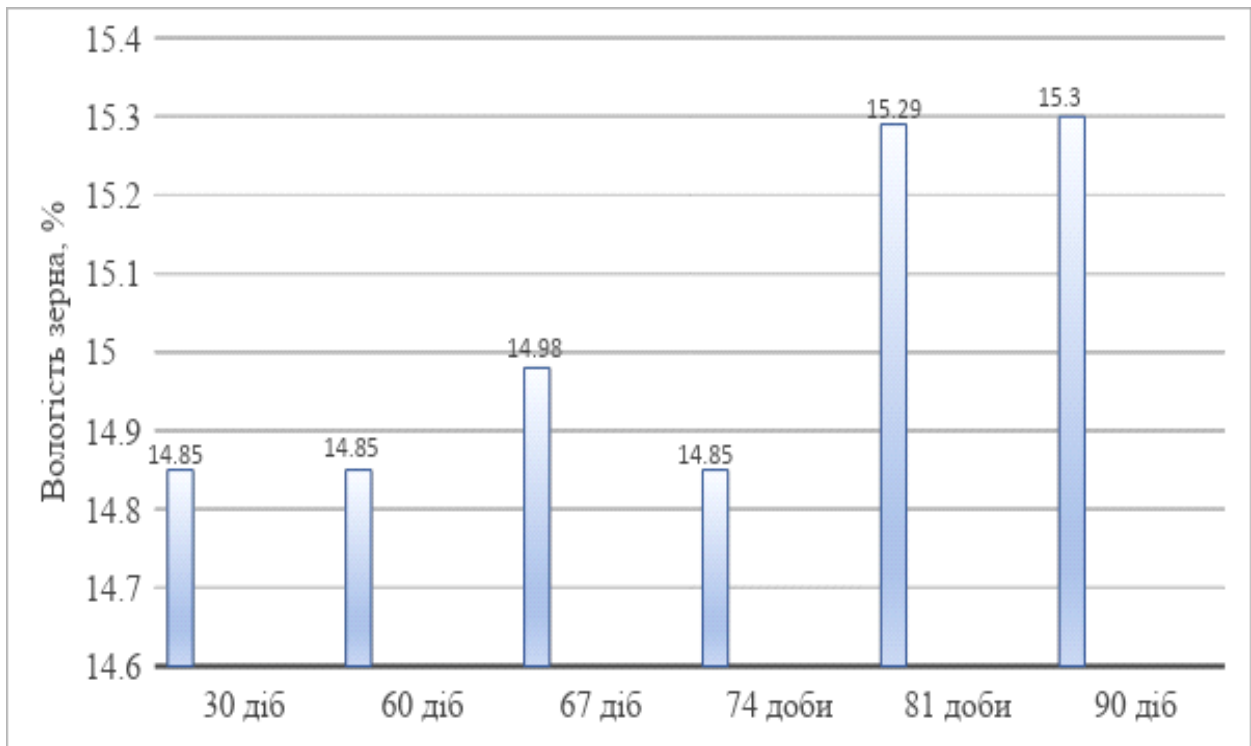
б

Рис. 3.1. Вологість зерна пшениці (%) за температури зберігання $+2^{\circ}\text{C}$ (а) та $+35^{\circ}\text{C}$ (б)

Також нами було розраховано середній показник вологості зерна пшениці під час зберігання за різної відносної вологості та температури (рис. 3.2).



а



б

Рис. 3.2. Середній показник вологості пшениці за температури зберігання +2 °C (а) та +35 °C (б)

Результати вологості зерна пшениці, що зберігалось за температури +2 °C вказує на зменшення вологості на 0,5% та 0,2% при відносній вологості зберігання 45% та 65%, а при відносній вологості 75% та 85% збільшення на 0,5% та 0,7% через 90 діб зберігання.

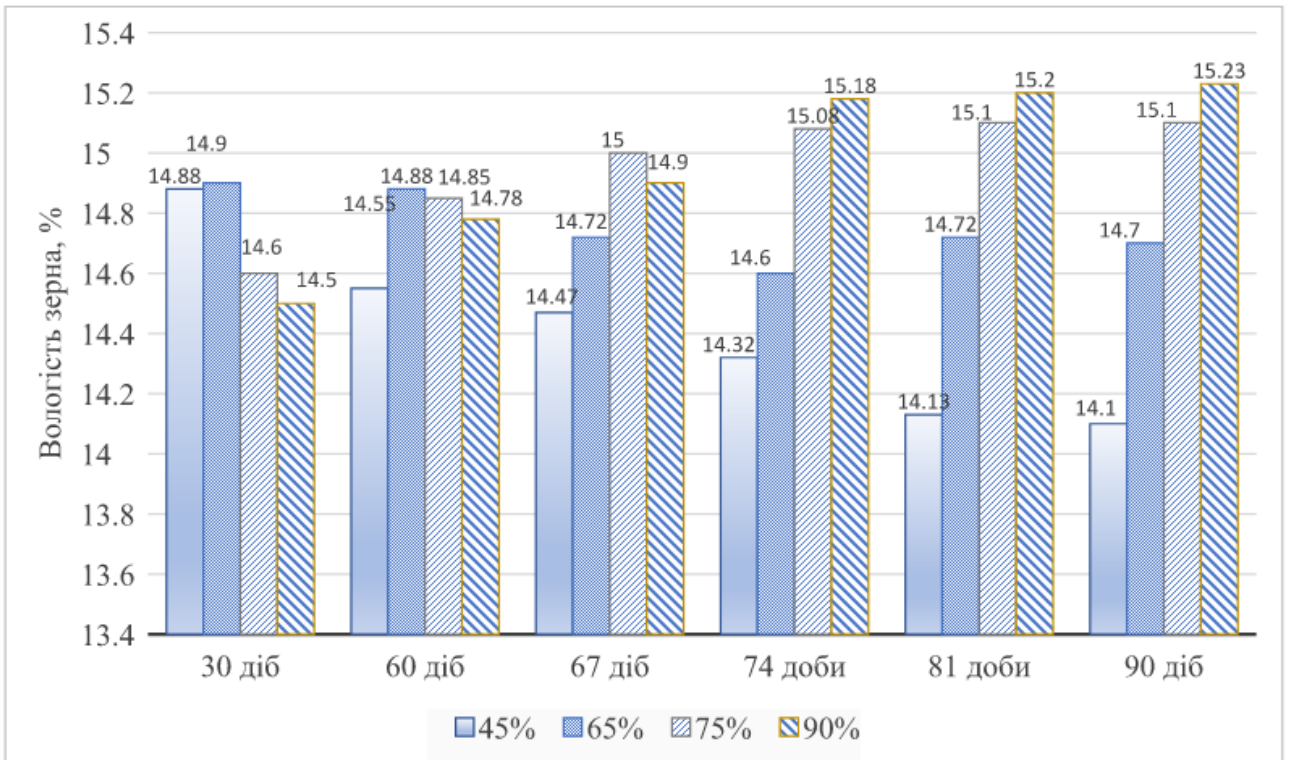
Аналіз отриманих даних, що наведені на діаграмах не вказує на зміну істотної різниці вологості зерна відносно різних значень відносної вологості сховища в якому зберігалось зерно за температури +2 °C протягом 90 діб.

Результати вологості зерна пшениці за температури зберігання +35 °C вказує на зменшення вологості на 1,6% при відносній вологості зерносховища 45%, а при відносній вологості 65%, 75% та 85% відбувається збільшення на 0,7%, 1,1% та 2,6% тощо.

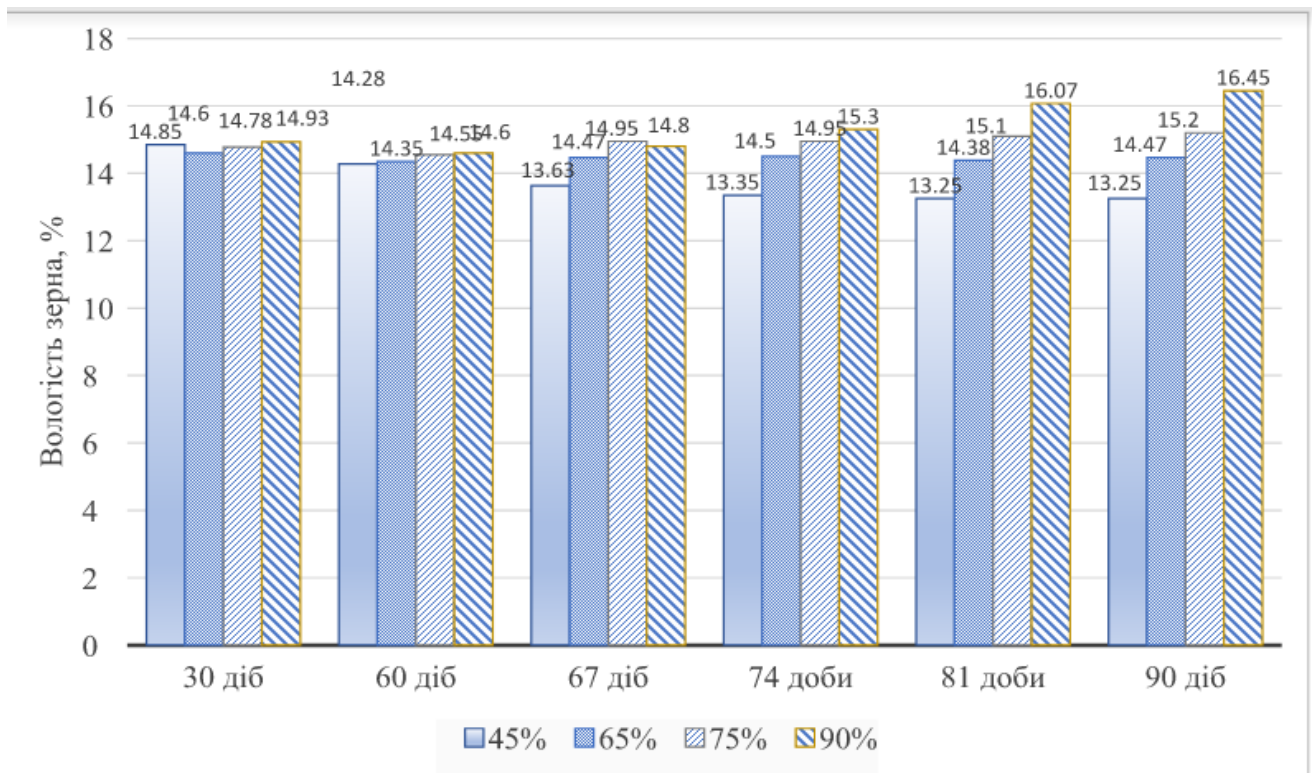
Отримані дані щодо змін вологості зерна ярого тритікале наведені на рис. 3.3 та 3.4.

За температури +35 °C вологість зерна ярого тритікале зменшилося на 1,6% та 0,1% при відносній вологості у зерносховищі 45% та 65%, тоді як при відносній вологості 75% та 90% збільшилася на 0,4% та 1,5%. Тобто можемо констатувати, що істотних змін вологості зерна не відбувається відносно вологості повітря у зерносховищі (рис. 3.3 та 3.4), але можемо припустити що для зміни динаміки вологості зерна слід його зберігати більш тривалий час (декілька років).

Основними факторами, що впливають на життєздатність зерна під час зберігання є температура, відносна вологість та вміст кисню між зернового простору. Багато дослідів було проведено щодо температури зберігання на життєздатність зерна, які в більшості випадків мають докази, що більш низька температура та більш низька відносна вологість знижують показник схожості зернівки та змінюють технологічні показники якості.



а



б

Рис. 3.3. Вологість зерна ярого тритікале (%) за температури зберігання +2 °C (а) та +35 °C (б).

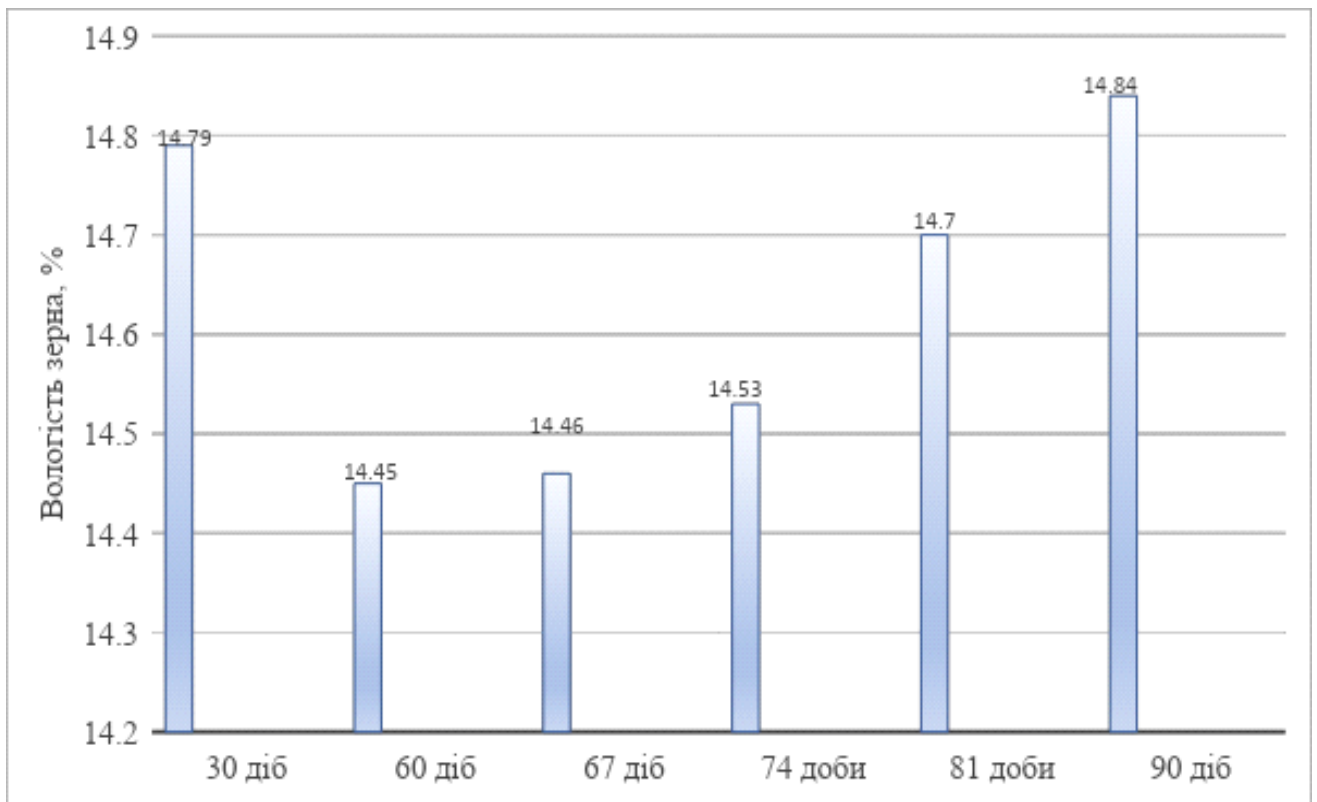
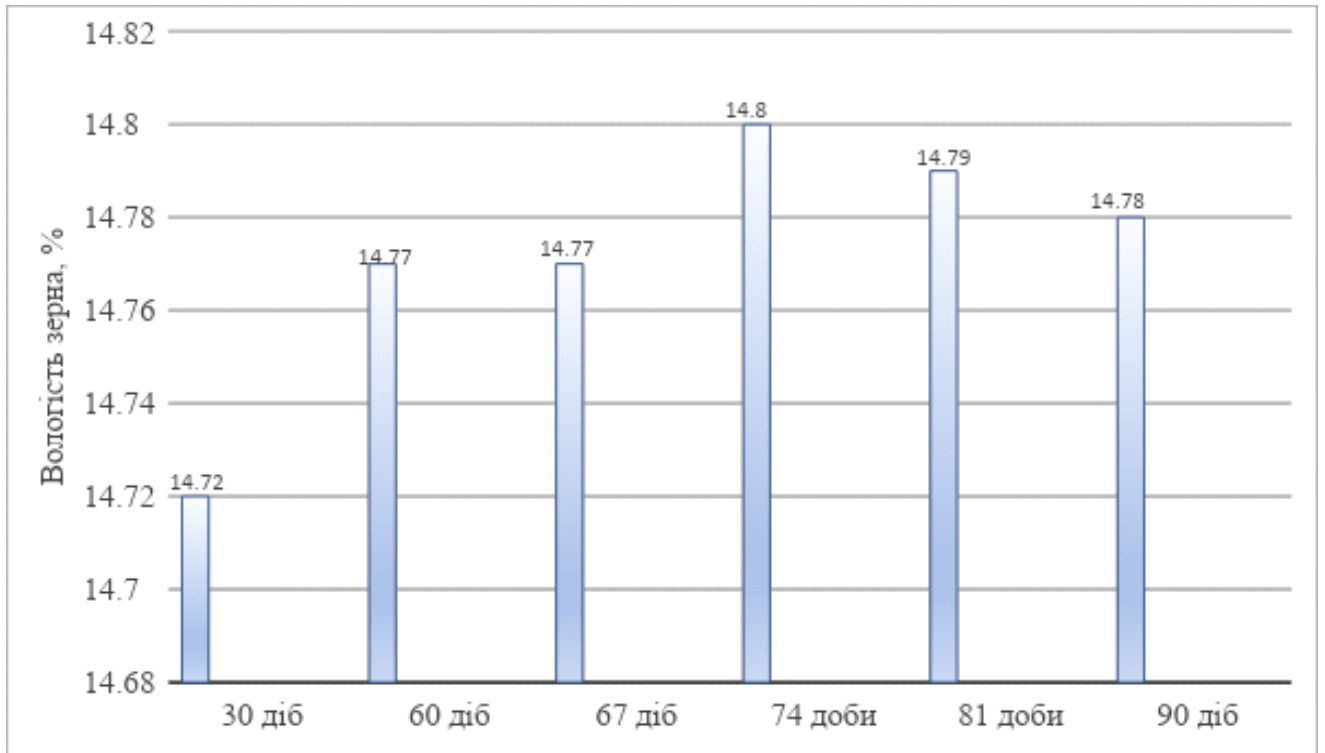


Рис. 3.4. Середній показник вологості зерна ярого тритікале за температури зберігання +2 °С (а) та +35 °С (б)

3.2. Вплив температури та відносної вологості під час зберігання зерна на схожість та енергію пророщування зерна

Температура навколишнього середовища та відносна волога є двома найбільш важливими факторами, що впливають на життєздатність зерна та терміни його зберігання.

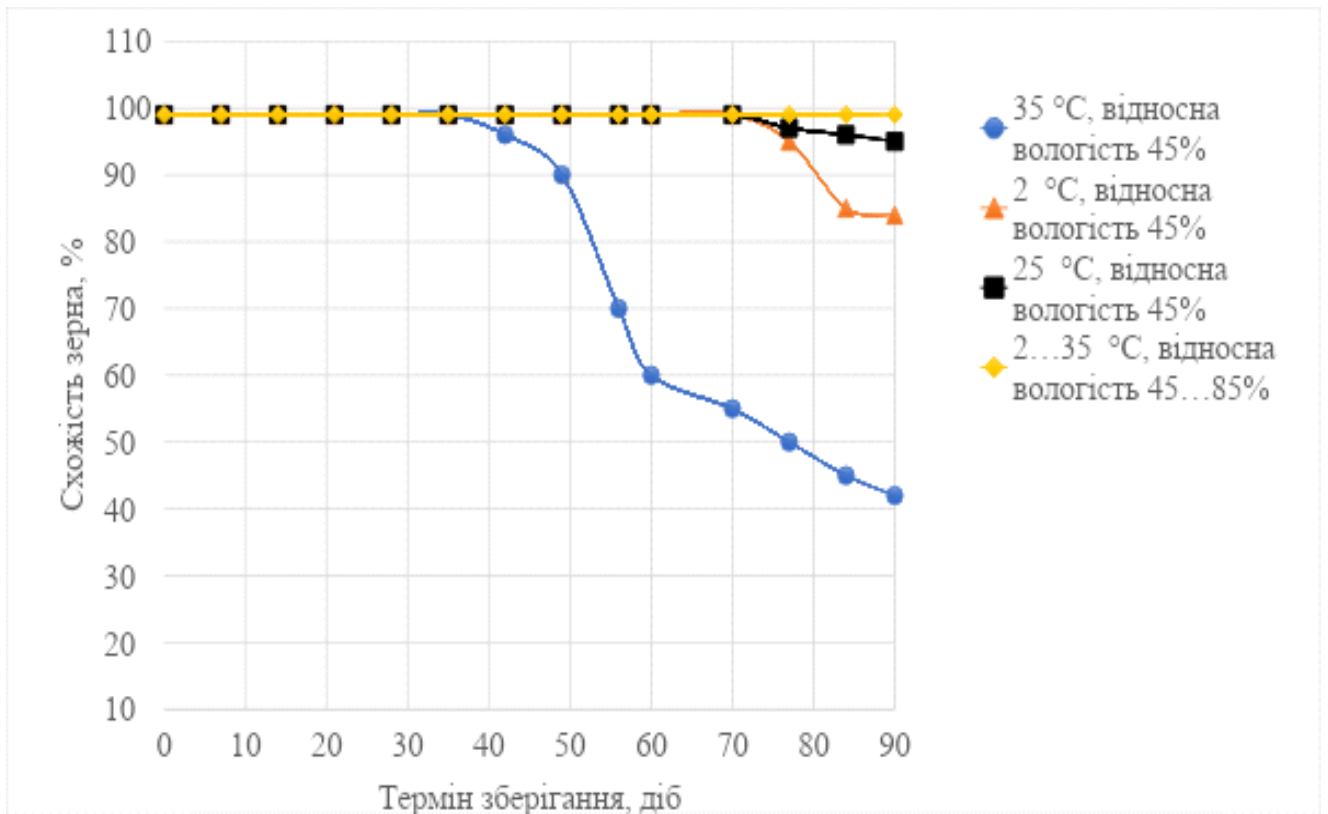
Відомо, що температура нижче 21 °С (але не нижче ніж 4 °С) і відносна вологість не вище 60...70% дозволяє зберігати зерно водночас зберегти якісні показники протягом 3...10 років. Однак, якщо метою є зберігання зерна як насіннєвого матеріалу, то реалізація в запропонованих значеннях температури та відносної вологості не доцільно із-за значних затрат на обслуговування холодильного агенту у сховищах та обладнання для сушіння. Тому насіннєвий матеріал зберігають у традиційних зерносховищах в яких умови міняються в залежності від сезону де зерно під час зберігання піддається дії низьких температур і вологості взимку, а весною і літом помірним температурам та вологості.

Виходячи з вищесказаного доцільним було дослідити вплив температури зберігання та відносної вологості як можливий фактор, що впливає на енергію пророщування та схожість зерна пшениці та ярого тритікале.

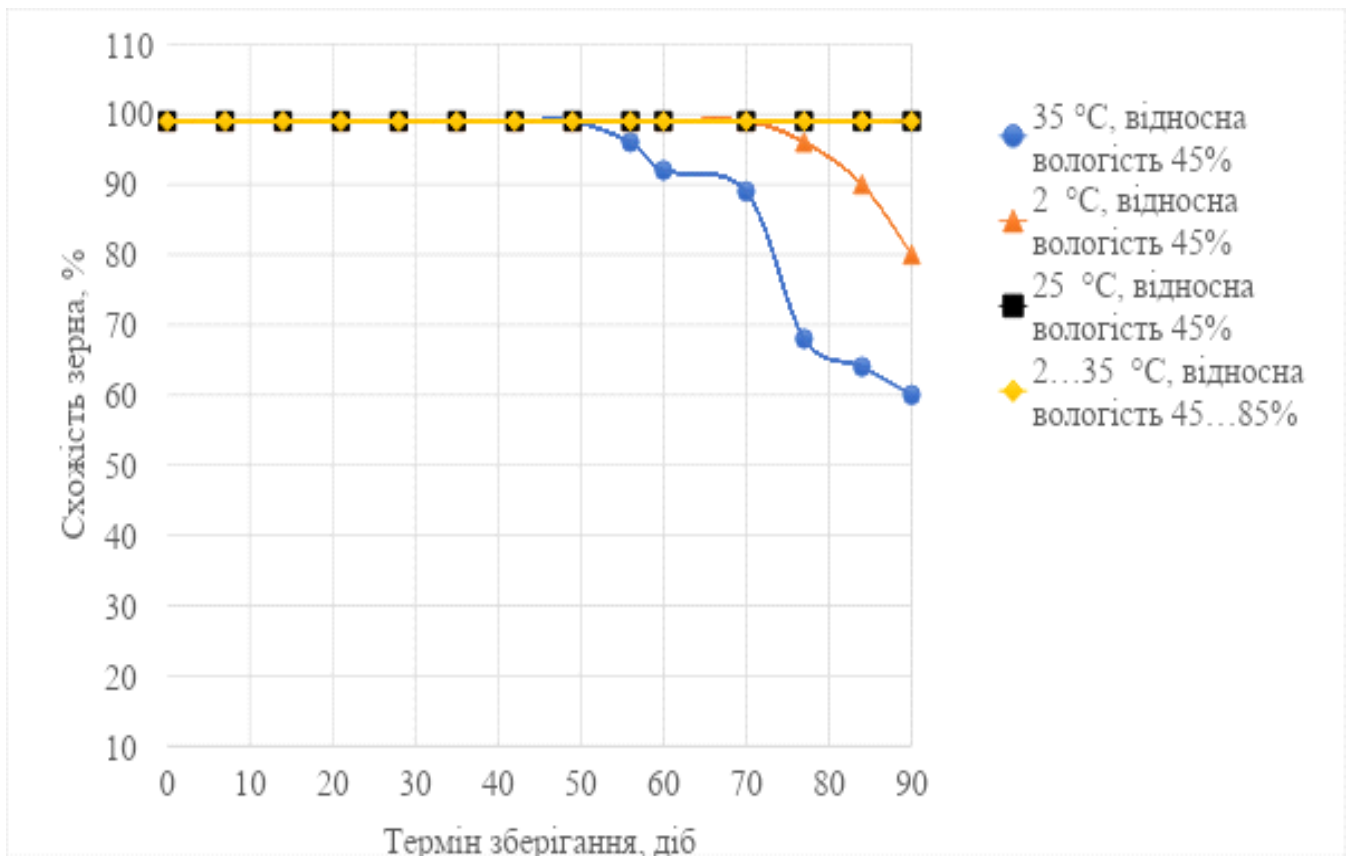
Нами було обрано для визначення схожості та енергії пророщування зерна чотири режими зберігання зерна пшениці та ярого тритікале: 1 – +35°С, відносна вологість 45%; 2 – +25 °С, відносна вологість 45%; 3 – +2 °С, відносна вологість 45%; 4 – +2...+35 °С, відносна вологість 45...85% (умови, що наближаються у сховищах з неконтрольованими показниками зберігання).

Гігроскопічність зерна дозволяє йому підтримувати рівноважну вологу за будь-якої заданої відносної вологості повітря у зерносховищі, що може призвести до зниження або збільшення початкової вологості зерна під час зберігання до досягнення рівноваги.

На рис. 3.5 та 3.6 наведено дані схожості та енергії пророщування зерна пшениці та ярого тритікале за різних умов зберігання протягом 90 діб.

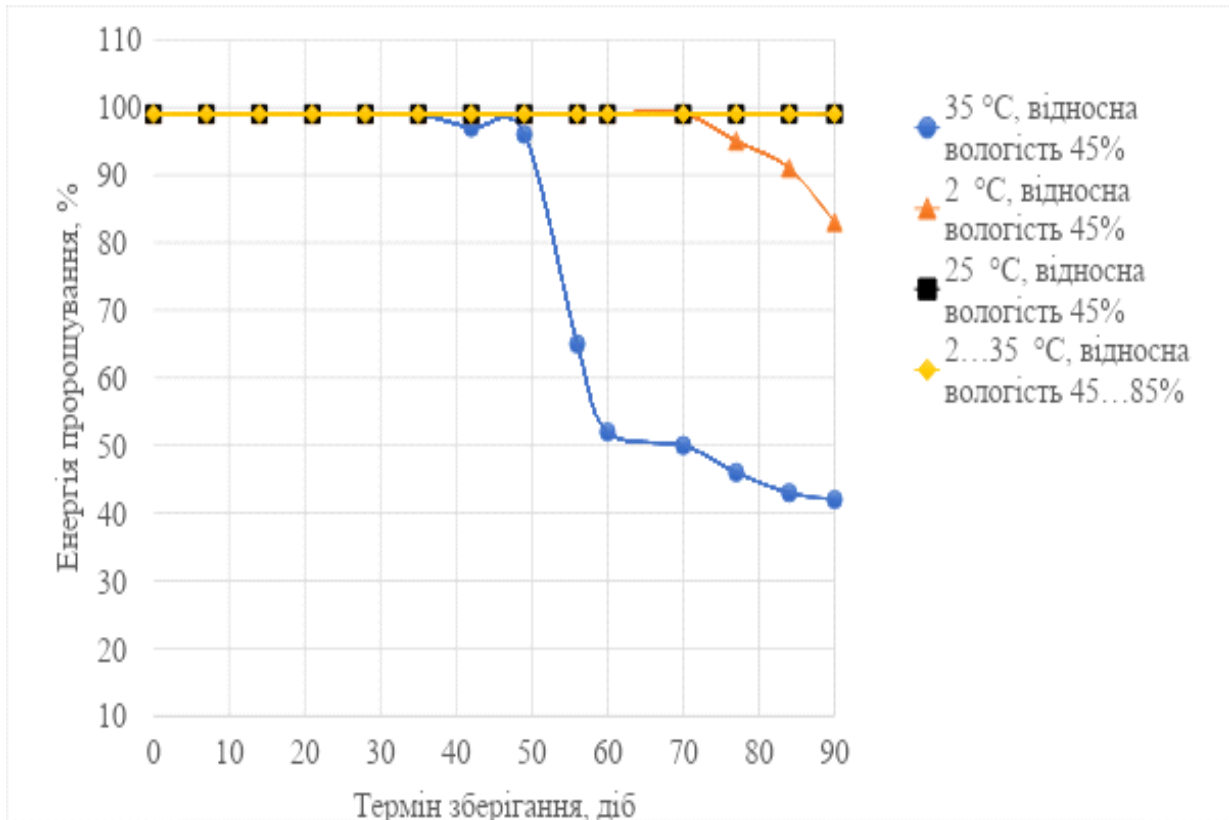


а

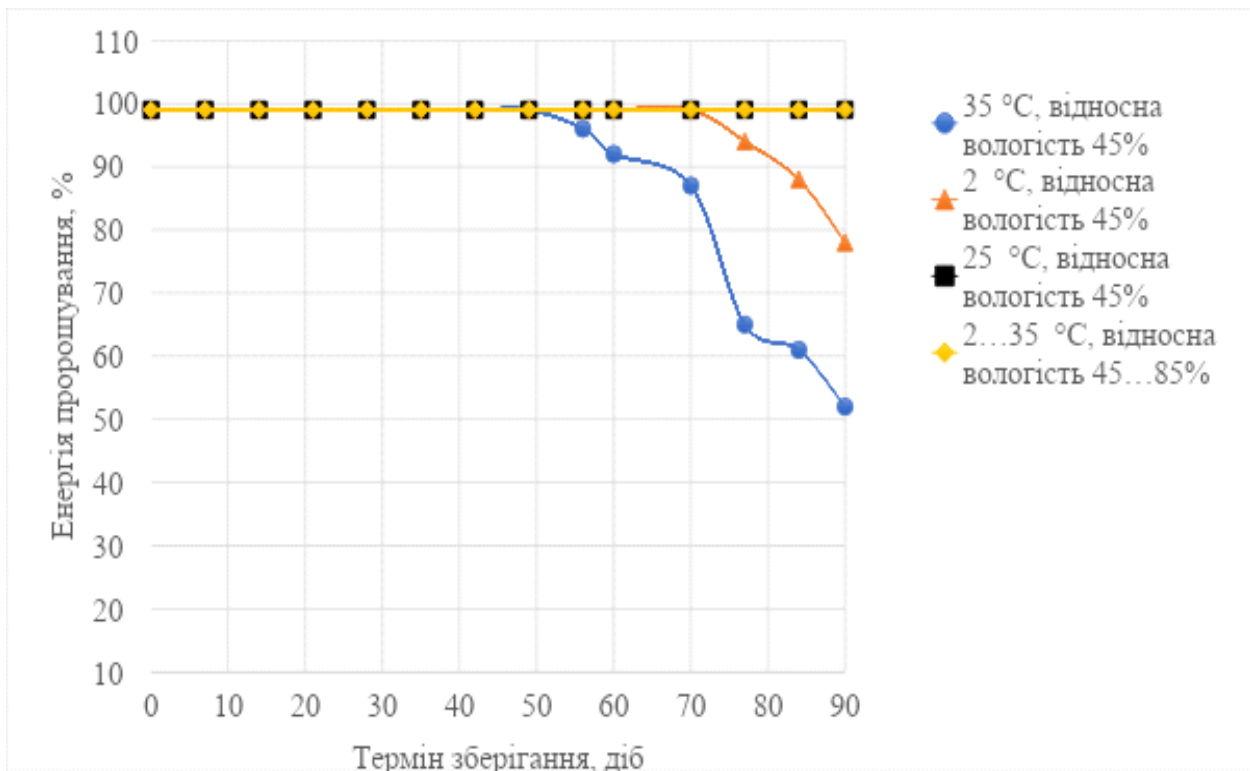


б

Рис. 3.5. Схожість зерна пшениці (а) та тритікале (б) за різних умов зберігання



а



б

Рис. 3.6. Енергія пророщування зерна пшениці (а) та тритікале (б) за різних умов зберігання

Виходячі з отриманих даних можемо бачити, що зберігання зерна при температурі +2...35 °С та відносній вологості 45...85% не показали значних змін схожості та енергії пророщування. Зниження схожості та енергії пророщування було значним для зерна, що зберігалось за температури +45 °С, ніж за температури +25 °С. Спостерігається значне зниження схожості та енергії пророщення у зразків зерна пшениці та тритікале за температури +35 °С та відносній вологості 45%. Зниження схожості та енергії пророщування почалось через 42...56 діб зберігання та досягло значень для пшениці схожість 96%, для тритікале – 95%, енергія пророщування для пшениці 95%, для тритікале – 92%.

Наприкінці терміну зберігання зерна, тобто 90 діб, пшениці при температурі +35°C показник схожості знизився до 45%, тритікале – 52% тобто на 40...47%. З іншого боку зерно пшениці та тритікале яке зберігалось за температури 25°C практично не змінили показники схожості та енергії пророщування.

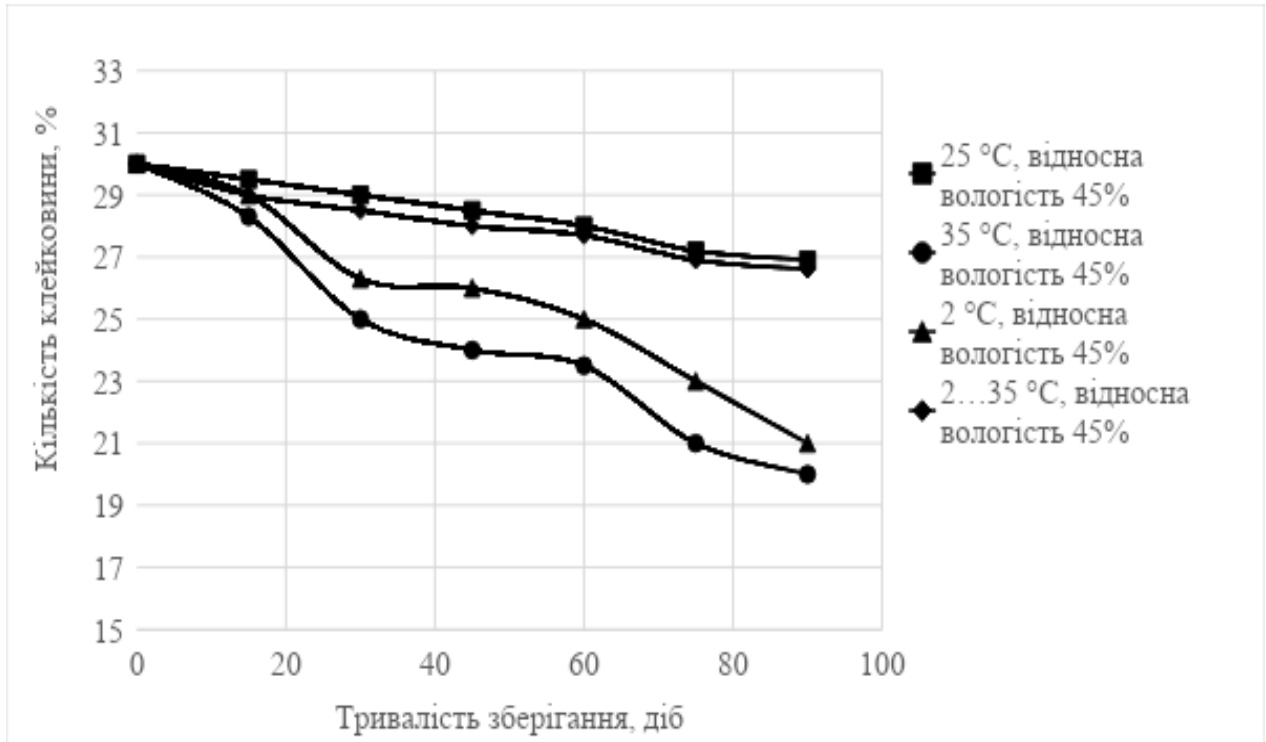
Різниця у кривих життєздатності представлених на рисунку між зерном тритікале та пшениці вказують, що на життєздатність зерна впливають не тільки температура та відносна вологість повітря але й і фізіологія виду зерна, тобто різниця у показниках між зерном пшениці та тритікале існує.

На наш погляд, це можливо відбувається за наявності хімічного складу зерна особливо відіграють велику роль у життєздатному потенціалі зерна антиоксиданти (токофероли, каратіноїди, аскорбінова кислота, поліфеноли), а також кількість протеолітичних та антиоксидантних ферментів, які здатні фіксувати клітинні порушення, що викликані зберіганням на початку і наприкінці проростання.

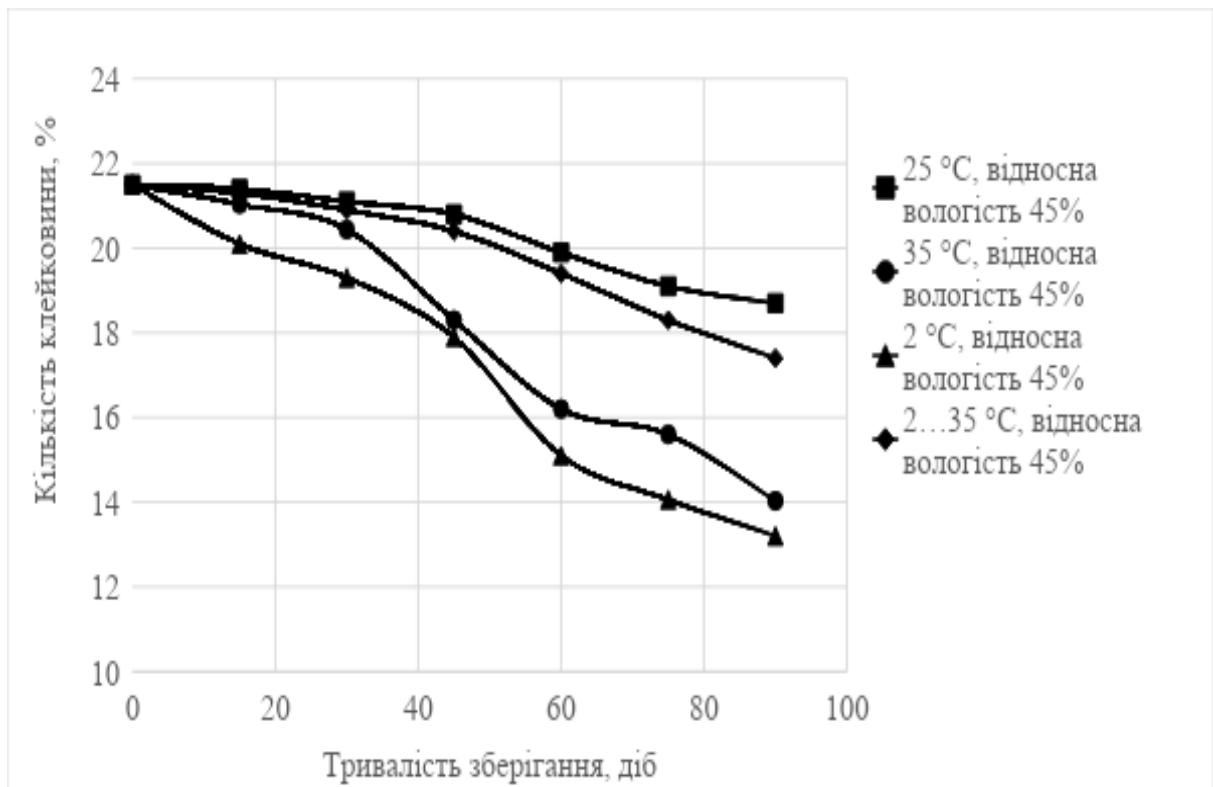
3.3. Вплив температури та відносної вологості під час зберігання зерна на кількість клейковини

Одним з найважливіших технологічних показників якості зерна, які впливають на якість готових виробів, особливо макаронних і хлібобулочних, це кількість та якість клейковини.

Тому наступним етапом досліджень було виявлення впливу температури та відносної вологості під час зберігання на кількість клейковини у зерні пшениці та тритікале (рис. 3.7).



а



б

Рис. 3.7. Зміна кількості клейковини під час зберігання зерна пшениці (а) та тритікале (б) за різної

Як видно з наведених даних на рисунку кількість клейковини поступово знижується у зразках пшениці та тритікале. Так, початковий показник кількості клейковини пшениці має значення 30% тоді як наприкінці зберігання, а саме через 90 діб при зберігання за температури +35 °С відносній вологості 45% знижується до рівня 20%, за температури +2 °С, відносній вологості 45% - 21%, за температури +25 °С, відносній вологості 45% - 26,9%, за температури +2...35°С, відносній вологості 45% - 26,6%.

Аналогічна тенденція спостерігається щодо зразків зерна тритікале.

Таким чином спостерігається тенденція чим більша температура зберігання, тим на наш погляд, більше відбувається активність ферментів, які призводять до змін кількості сирої клейковини у зерні пшениці та тритікале, погіршую її технологічні властивості.

ВИСНОВКИ

За результатами проведеного дослідження встановлено наступне:

1. Аналіз літературних джерел вказав, що безпечний термін зберігання зерна є ключовим аспектом управління якістю продукту, враховуючи його стійкість до мікробіологічного забруднення та інфекцій. Різні фактори, такі як вологість, температура, час зберігання та мікробіологічні взаємодії, впливають на умови розвитку мікотоксинів у зерні, що вимагає вивчення безпечного терміну зберігання. Аналіз дихання зерна та втрат сухої речовини вказує на важливість розуміння процесів аеробного дихання для забезпечення якості зернових культур.

Математичні моделі, включаючи таблиці, графіки та формули, можуть бути використані для оптимізації умов зберігання та контролю якості зерна. Наукове вивчення цих аспектів сприятиме розв'язанню питань безпечного зберігання зернових культур та забезпечить сталість та безпеку харчових продуктів.

Схожість визначається як критичний показник якості зерна, враховуючи його життєздатність при зберіганні. Вплив різних факторів, таких як вологість, температура, пошкодження та грибкові інфекції, важливий для збереження якості та безпеки зернових культур. Проведені дослідження вказують на зменшення схожості з часом зберігання, температурою та вологістю, що може бути ключовим фактором при визначенні оптимальних умов зберігання. При цьому, вивчення проростання також є важливим аспектом, враховуючи його вплив на якість насіння та витрати урожаю.

2. Дослідження впливу відносної вологості та температури на зміну вологості зерна при зберіганні показало, що істотних змін вологості зерна відносно вологості повітря у зерносклаві не відбувається. Збільшення або зменшення вологості при різних температурах (від +2 до 90%) відбувається в незначних межах (від 0,5 до 2,6 %), при цьому пшениця виявилась більш чуткою аніж третикале.

3. Вивчення впливу температури та відносної вологості під час зберігання зерна на схожість та енергію пророщування зерна виявило, що на життєздатність зерна впливають не тільки температура та відносна вологість повітря, а й особливості виду зерна, тобто різниця у показниках між зерном пшениці та тритікале існує. А саме, при зберіганні зерна при температурі +2...35°C та відносній вологості 45...85% суттєвої зміни схожості та енергії пророщування не відбувається. Для зерна що зберігалось за температури +45 °C зниження схожості та енергії пророщування було більш значущим. Так при зберіганні за температури +35 °C та відносній вологості 45% через 42...56 діб зберігання схожість зменшилась несуттєво (2-3 %), а наприкінці зберігання (через 90 днів) знизилась майже удвічі – до 45% для пшениці та 52% у тритікале. Натомість при зберіганні при температурі 25°C досліджені показники практично не змінились.

4. Визначення впливу температури та відносної вологості під час зберігання зерна на кількість клейковини показало, що кількість клейковини поступово знижується у зразках пшениці та тритікале. Показник кількості клейковини пшениці за 90 діб зберігання знижується у залежності від температури зберігання майже на третину (від 30% до 20-26% за різних температур зберігання). При цьому встановлено наступну тенденцію – чим більша температура зберігання, тим більше відбувається активність ферментів, які призводять до змін кількості сирої клейковини у зерні пшениці та тритікале, погіршують її технологічні властивості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://latifundist.com/novosti/59564-z-pochatku-2022-23-mr-ukrayina-eksportovala-ponad-1-mln-t-zerna--minagropolitiki>.
2. Abdullah, N., Nawawi, A., Othman, I. "Fungal spoilage of starch-based foods in relation to its water activity (aw)." *Journal of Stored Products Research*, Vol. 36, No. 1. 2000. P. 47-54.
3. Mason, L. J., Rulon, R. A., Maier, D. E. Chilled versus ambient aeration and fumigation of stored popcorn. Part 2: Pest management. *Journal of Stored Products Research*, Vol. 33, No. 1. 1997. P. 51-58.
4. Laca, A., Mousia, Z., Diaz, M., Webb, C., Pandiella, S. S. (2006). Distribution of microbial contamination within cereal grains. *Journal of Food Engineering*, Vol. 72, No. 4. 2006. P. 332-338.
5. Steele, J. L., Saul, R. A., Hukill, W. V. Deterioration of shelled corn as measured by carbon dioxide production. *Transactions of the ASAE*, Vol. 12, No. 5. 1969. P. 685-689.
6. Liu, Z., Gao, J., Yu, J. Aflatoxins in stored maize and rice grains in Liaoning Province, China. *Journal of Stored Products Research*, Vol. 42, No. 4. 2006. P. 468-479.
7. Karunakaran, C., Muir, W. E., Jayas, D. S., White, N. D. G., Abramson, D. Safe storage time of high moisture wheat. *Journal of Stored Products Research*, Vol. 37, No. 3. 2001, pp. 303-312.
8. Padin, S., Dal Bello, G., Fabrizio, M. Grain loss caused by *Tribolium castaneum*, *Sitophilus oryzae* and *Acanthoscelides obtectus* in stored durum wheat and beans treated with *Beauveria bassiana*. *Journal of Stored Products Research*, Vol. 38, No. 1. 2002. P. 69-74.
9. Christiansen, C. M., Kaufmann, H. H. Grain storage: The role of fungi quality loss. University of Minnesota Press. Minneapolis, MN, USA. 1969. P.153.

10. Ekechukwu, O. V. Review of solar-energy drying systems I: an overview of drying principles and theory. *Energy Conversion & Management*, Vol. 40, No. 3. 1999. P. 593-613.
11. Ryniecki, A. Drying and Cooling Grain in Bulk. Handbook. Questions and Answers. Part I. 2006. P. 41.
12. Arinze, E. A., Sokhansanj, S., Schoenau, G. J. Development of optimal management schemes for in-bin drying of canola grain (rapeseed). *Computer and Electronics in Agriculture*, Vol. 9, No. 2. 1993. P. 159-187.
13. Courtois, F. Computer-aided design of corn dryers with quality prediction. *Drying Technology*, Vol. 13, No. 1&2. 1995. P. 147-164.
14. Fleurat-Lessard, F. Review. Qualitative reasoning and integrated management of the quality of stored grain: a promising new approach. *Journal of Stored Products Research*, Vol. 38, No. 3. 2002. P. 191-218.
15. Kaleta, A., Górnicki, K. Databases on physical properties of plant and agricultural products. In: *Encyclopedia of Agrophysics*, J. Gliński, J. Horabik, J. Lipiec, (Eds.), 2011. P. 189-194.
16. Frisvad, J. C. Mycotoxins and mycotoxigenic fungi in storage. In: *Stored-grain Ecosystems*, D. S. Jayas, N. D. G. White, W. E. Muir, (Eds.). 1995. P. 251-288.
17. Pelhate, J. Microbiology of seeds in relation to conditioning: its influence of germinative capacity. In: *Preservation and Storage of Grains, Seeds and their By-Products*, J. L. Multon, (Ed.). 1988. P. 310-327.
18. Sinha, R. N., Waterer, D., Muir, W. E. Carbon dioxide concentrations associated with insect infestation of stored grain 1: Natural infestation of corn, barley and wheat in farm granaries. *Science des Aliments*, Vol. 6. 1986. P. 91-98.
19. Steele, J. L., Saul, R. A., Hukill, W. V. Deterioration of shelled corn as measured by carbon dioxide production. *Transactions of the ASAE*, Vol. 12, No. 5. 1969. P. 685-689.

20. Ross, I. J., Loewer, O. J., White, G. M. Potential for aflatoxin development in low temperature drying systems. Transactions of the ASAE, Vol. 22, No. 6. 1979. P. 1439-1443.
21. Converse, H. H., Sauer, D. B., Hondges, T. O. Aeration of high moisture corn. Transactions of the ASAE, Vol. 16, No. 4. 1973. P. 696-699.
22. Pronyk, C., Abramson, D., Muir, W. E., White, N. D. G. Correlation of total ergosterol levels in stored canola with fungal deterioration. Journal of Stored Products Research, Vol. 42, No. 2. 2006. P. 162-172.
23. Moreda, A., G. P., Ruiz-Altisent, M. Quality of agricultural products in relation to physical conditions. In: Encyclopedia of Agrophysics, J. Gliński, J. Horabik, J. Lipiec, (Eds.). 2011. P. 669-678.
24. Liu, Z., Gao, J., Yu, J. Aflatoxins in stored maize and rice grains in Liaoning Province, China. Journal of Stored Products Research, Vol. 42, No. 4. 2006. P. 468-479.
25. D. M., White, G. M., Taroba, J. L., Ross, I. J., Hicks, C. L., Langlois, B. E. Production of aflatoxin in damaged corn under controlled environmental conditions. Transactions of the ASAE, Vol. 29, No. 4. 1996. P. 1150-1155.
26. Martin, S., Homedes, V., Sanchis, V., Ramos, A. J., Magan, N. Impact of *Fusarium moniliforme* and *F. proliferatum* colonisation of maize on calorific losses and fumonisin production under different environmental conditions. Journal of Stored Products Research, Vol. 35, No. 1. 1999. P. 15-26.
27. Orsi, R. B., Carrêa, B., Possi, C. R., Schammas, E. A., Nogueira, J. R., Dias, S. M.C., Malozzi, M. A. B. Mycoflora and occurrence of fumonisins in freshly harvested and stored hybrid maize. Journal of Stored Products Research, Vol. 36, No. 1. 2000. P. 75-87.
28. Abramson, D., Hulasare, White, N. D. G., Jayas, D. S., Marquardt, R. R. Mycotoxin formation in hulless barley during granary storage at 15 % and 19 % moisture content. Journal of Stored Products Research, Vol. 35, No. 3. 1999. P. 297-305.

29. Pronyk, C., Abramson, D., Muir, W. E., White, N. D. G. Correlation of total ergosterol levels in stored canola with fungal deterioration. *Journal of Stored Products Research*, Vol. 42, No. 2. 2006. P. 162-172.
30. Liu, Z., Gao, J., Yu, J. Aflatoxins in stored maize and rice grains in Lioaning Province, China. *Journal of Stored Products Research*, Vol. 42, No. 4. 2006. P. 468-479.
31. Abdullah, N., Nawawi, A., Othman, I. Fungal spoilage of starch-based foods in relation to its water activity (aw). *Journal of Stored Products Research*, Vol. 36, No. 1. 2000. P. 47-54.
32. Abramson, D., Hulasare, R, York, R. K., White, N. D. G., Jayas, D. S. Mycotoxins, ergosterol, and odor volatiles in durum wheat during granary storage at 16 % and 20 % moisture content. *Journal of Stored Products Research*, Vol. 41, No. 1. 2005. P. 67-76.
33. Padin, S., Dal Bello, G., Fabrizio, M. Grain loss caused by *Tribolium castaneum*, *Sitophilus oryzae* and *Acanthoscelides obtectus* in stored durum wheat and beans treated with *Beauveria abassiana*. *Journal of Stored Products Research*, Vol. 38, No. 1. 2002. P. 69-74.
34. Abramson, D., Hulasare, White, N. D. G., Jayas, D. S., Marquardt, R. R. Mycotoxin formation in hulless barley during granary storage at 15 % and 19 % moisture content. *Journal of Stored Products Research*, Vol. 35, No. 3. 1999. P. 297-305.
35. Pronyk, C., Abramson, D., Muir, W. E., White, N. D. G. Correlation of total ergosterol levels in stored canola with fungal deterioration. *Journal of Stored Products Research*, Vol. 42, No. 2. 2006. P. 162-172.
36. McNeal, X. Conditioning and storage of soybeans. Bulletin 714. Arkansas Agricultural Experiment Station, University of Arkansas, Fayetteville, AR. 1996. P. 30
37. Parde, S. R., Kausal, R. T., Jayas, D. S., White, N. D. G. Mechanical damage to soybean seed during processing. *Journal of Stored Products Research*, Vol. 38, No. 4. 2002. P. 385-394.

38. Pronyk, C., Abramson, D., Muir, W. E., White, N. D. G. Correlation of total ergosterol levels in stored canola with fungal deterioration. *Journal of Stored Products Research*, Vol. 42, No. 2. 2008. P. 162-172.

39. Weinberg, Z. G., Yan, Y., Chen, Y., Finkelman, S., Ashbell, G., Navarro, S. The effect of moisture level on high-moisture maize (*Zea mays* L.) under hermetic storage conditions – in vitro studies. *Journal of Stored Products Research*, Vol. 44, No. 2. 2008. P. 136-144.

40. Genkawa, T., Uchino, T., Inoue, A., Tanaka, F., Hamanaka, D. Development of a low-moisture-content storage system for brown rice: Stability at decreased moisture contents. *Biosystems Engineering*, Vol. 99, No. 4. 2008. P. 515-522.

41. Ралько Н. Ю. Обґрунтування технології та вибір раціональних способів зберігання насіння промислових конопель: магістер. дипломна робота :181, Харчові технології / Ралько Наталя Юріївна; наук. керівник Сова Н. А. ; Дніпровський держ. аграрно-екон. ун-т, Інженерно-технологічний ф-т, Каф. технології зберігання і переробки сільськогосподарської продукції. – Дніпро, 2021. - 90 с.

42. Белий С. С. Обґрунтування методів і способів дослідження та підвищення якості зерна під час його приймання, обробки та зберігання: магістер. дипломна робота : 181 Харчові технології / Сергій Сергійович Белий ; наук. кер. Юрій Олексійович Чурсінов; Дніпровський держ. аграр.-екон. ун-т. Інженерно-технологічний ф-т, Каф. технології зберігання і переробки сільськогосподарської продукції. – Дніпро, 2022. – 82 с.

43. Савченко С. О. Моніторинг якості та безпеки зберігання зерна на елеваторах: кваліфікаційна робота магістра спеціальності 101 «Екологія» / наук. керівник Г. Ф. Дударєва. Запоріжжя: ЗНУ, 2020. 76с.

44. Тітов І. О., Жукова Л. В. Видовий склад збудників хвороб насіння зернових культур у Херсонській області. Проблеми екології та екологічно орієнтованого захисту рослин: матеріали Міжнар. наук-практ. конф. факту захисту рослин Харківського нац. аграрного ун-ту ім. В. В. Докучаєва, присвяч.

130-річчю з дня народж. академіка ВАСГНІЛ, член-кореспондента НАНУ, доктора біологічних наук, професора, фундатора та першого декана факультету Т. Д. Страхова, 29–30 жовтня 2020 р. Харків: «Планета–прінт», 2020. С. 149-151.

45. Кирпа М. Я., Базілева Ю. С., Лупітько О. І. Нетрадиційні методи зберігання зерна для виробництва органічної продукції. Вісник аграрної науки. 2018. № 7. С. 73–78.