

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХЕРСОНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Факультет біології, географії та екології**  
**Кафедра географії та екології**

**ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ**  
**ВИКОРИСТАННЯ БУТИЛЬОВАНОЇ ПИТНОЇ**  
**ВОДИ МЕТОДАМИ ФІТОТЕСТУВАННЯ**

Кваліфікаційна робота (проект)  
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

Виконала: студентка 05-216М групи

Спеціальності 101 Екологія

Освітньо-професійної програми «Екологія»

Заїка Катерина Анатоліївна

Керівник к.б.н., доцентка Кундельчук О.П.

Рецензент д.пед.н., професорка Сидорович М.М.

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....</b>	<b>4</b>
<b>ВСТУП.....</b>	<b>5</b>
<b>РОЗДІЛ 1. Потенційна екологічна небезпека використання бутильованих питних вод.....</b>	<b>9</b>
1.1. Фактори, які сприяють переходу компонентів пластикової тари до питної води.....	9
1.2. Вплив пакувального матеріалу на якість фасованих питних вод.....	11
<b>РОЗДІЛ 2. Хімічна і біологічна оцінка якості питної води.....</b>	<b>16</b>
2.1. Методи оцінки хімічної якості питної води.....	16
2.2. Використання методів біотестування для оцінки біологічної якості питної води.....	17
<b>РОЗДІЛ 3. Встановлення екологічних ризиків використання бутильованих питних вод методами фітотестування.....</b>	<b>22</b>
3.1. Матеріали і методи дослідження.....	22
3.2. Біотестування якості питних вод м. Херсона.....	25
3.3. Дослідження впливу типу тари і умов зберігання питної води на її біологічні властивості методом фітотестування з проростками <i>Allium cepa</i> L.....	27
3.3.1. Результати експерименту в модельній системі <i>Allium</i> <i>cepa</i> L.....	27
3.3.2. Обговорення отриманих результатів ростового фітотесту з проростками <i>Allium cepa</i> L.....	33
3.4. Дослідження впливу типу тари і умов зберігання питної води на її біологічні властивості методом фітотестування з проростками <i>Hordeum vulgare</i> L.....	39
3.4.1. Результати експерименту в модельній системі <i>Hordeum</i> <i>vulgare</i> L.....	39

3.4.2. Обговорення отриманих результатів ростового фітотесту з проростками <i>Hordeum vulgare</i> L.....	44
3.5. Рекомендації щодо оптимальних умов зберігання питних бутильованих вод.....	48
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>49</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>52</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>59</b>
Додаток А. Критичні точки критерію Стьюдента при різних рівнях значущості.....	59
Додаток Б. Аналіз впливу різних типів питної води на енергію проростання насіння.....	60
Додаток В. Статистичний аналіз впливу питної води різних типів на довжину проростків цибулі.....	61
Додаток Г. Статистична достовірність результатів проведеного дослідження, щодо енергії проростання насіння.....	66

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

PETE / PET (ПЕТ) - термопластик, поліетилентерефталат;

PVC (ПВХ) - полівінілхлорид;

PE-LD (ПЕ) - поліетилен низької щільності.

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Якість питної води, яку споживає населення, на сьогоднішній день є одним з питань, яке викликає найбільше занепокоєння у лікарів. Населення, як правило, споживає воду з міськводопроводу, а також бутильовану питну воду з центральних торгівельних мереж та воду розливну (нефасовану). При цьому поширеною практикою є тривале зберігання води в пластиковій та скляній тарі.

Результати експериментальних досліджень, з одного боку, свідчать про те, що під час зберігання питної води в пластиковій тарі має місце перехід шкідливих речовин (пластифікаторів, стабілізаторів і т.п.) з пластика в воду. І цей перехід відбувається в першу чергу за умови зберігання питної води при температурах, які не відповідають нормативам [38-39, 51].

З іншого боку, в країнах Африки, Азії і Латинської Америки вже багато років здійснюють дезінфекцію питної води в прозорій пластиковій тарі шляхом її експозиції під прямими сонячними променями протягом 6 годин і більше при температурах, які перевищують +45°C. При цьому знезараження питної води відбувається в наслідок дії ультрафіолетового та світлового випромінювання і високої температури. В країнах, які розвиваються, цей дешевий метод стерилізації питної води дозволяє захистити щонайменше 50 млн. людей від зараження небезпечними мікроорганізмами. При цьому результати наукових досліджень свідчать про безпеку такої води з точки зору можливого виходу шкідливих речовин зі стінок тари в питну воду в процесі сонячної стерилізації [26, 29, 45, 49].

У зв'язку з протиріччям в наявних експериментальних даних і важливістю означеної проблеми для здоров'я людини, актуальною є

перевірка потенційної токсичності води, яка зберігалася в пластиковій і скляній тарі при різних стресових температурах, з використанням рослинної тест-системи проростаюче насіння, як такої, що є високо чутливою до присутності у воді токсичних речовин.

***Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.***

Дипломна робота виконувалась в рамках загальнодержавної цільової програми «Питна вода України» на 2011-2020 рр. (затверджена Законом України від 20 жовтня 2011 р, № 3933-VI) і обласної програми «Питна вода Херсонщини» на 2012-2020 рр. (затверджена рішенням XV сесії Обласної ради VI скликання від 12 травня 2012 р № 472).

***Мета дослідження:*** дослідити вплив типу тари та умов зберігання на якість питної води, з застосуванням ростового фітотесту як найбільш доступної і чутливої методики біотестування якості води.

У відповідності до мети роботи були поставлені наступні ***завдання дослідження:***

- 1) визначити потенційну екологічну небезпеку використання бутильованих питних вод;
- 2) проаналізувати методи хімічної і біологічної оцінки якості питної води;
- 3) експериментальним шляхом визначити екологічні ризики використання бутильованих питних вод методами фітотестування.

***Об'єкт дослідження*** - вплив типу тари та умов зберігання на якість питної води.

***Предмет дослідження*** - використання методів фітотестування для оцінки впливу тари та умов зберігання на якість питної води.

***Методи дослідження.*** Під час виконання роботи були використані літературний метод, метод експериментального виявлення біологічної дії різних зразків питної води за допомогою фітотесту «проростаюче насіння» на модельних рослинах цибулі ріпчастої (*Allium cepa* L.) та ячменю звичайного (*Hordeum vulgare* L.), методи

математичної статистичної обробки отриманих результатів, аналітичний метод.

**Структура роботи.** Робота складається зі вступу, переліку умовних скорочень, 3-х розділів, 2 рисунків, 4 таблиць, висновків, списку використаних джерел, що містить 51 найменування та 4-х додатків. Загальний обсяг роботи – 66 сторінок друкованого тексту.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Вперше було встановлено, що умови зберігання питної бутильованої води впливають не тільки на її абсолютні ростові властивості, але і на процеси координації розвитку органів рослини. На підставі отриманих результатів вперше запропоновано використання показника координації росту проростків модельної рослини для оцінки виходу зі стінок пластикової тари до питної води речовин з гормоноподібним механізмом дії.

**Практичне значення одержаних результатів.** Отримані під час дослідження дані були використані при підготовці навчально-методичного посібника до виконання завдань навчально-польової практики студентів 1 курсу спеціальності 101 Екологія (С. 205-208): Жукова Л.Р., Кундельчук О.П. Дайнеко П.М. Загально-екологічна практика. Навчально-методичний посібник до виконання завдань навчально-польової практики. Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2018. С 210. ISBN: 978-617-7573-29-5.

Крім того, одержані результати дослідження використовуються під час викладання дисциплін «Основи загальної екології (та неоекологія)», «Техноекологія» та «Методологія екологічних досліджень» для студентів РВО «Бакалавр» і «Магістр» спеціальності 101 Екологія.

**Апробація результатів дослідження.** Результати проведеного дослідження доповідалися на студентських наукових конференціях і представлені у двох статтях:

1) Дуденко К.А. (Заїка К.А.) Аналіз якості питної води в місті Херсоні з використанням метода фітотестування. *Студентські наукові студії. Збірник наукових праць студентів. Частина 1.* Херсон: ХДУ, 2018. С 221 – 224.

2) Кундельчук О.П., Заїка К.А., Семенюк С.К., Акімова М.О. Оцінка впливу типу тари та умов зберігання на екологічну безпеку питної бутильованої води методом фітотестування. *SWorld Journal. Bulgaria, Iss. 4. Part 2.* 2020. P. 67 – 77.



## РОЗДІЛ 1

### ПОТЕНЦІЙНА ЕКОЛОГІЧНА НЕБЕЗПЕКА ВИКОРИСТАННЯ БУТИЛЬОВАНИХ ПИТНИХ ВОД

#### **1.1. Фактори, які сприяють переходу компонентів пластикової тари до питної води**

Існують загальні вимоги до будь-якого типу пакувальних матеріалів, і конкретні вимоги повинні виконуватися при упаковці продукції для конкретних цілей. Ці відмінності є значними для різних типів пакувальних матеріалів. Наприклад, окрім виконання загальних вимог, споживча тара, яка використовується для харчових продуктів, також повинна відповідати певним гігієнічним вимогам, але при цьому вона не повинна мати великого запасу міцності, що безперечно є необхідним для транспортної тари у випадку упаковки машинобудівної продукції.

Для втілення своєї основної функції, а саме: забезпечити захист вмісту від дії комплексу руйнуючих факторів - тара повинна мати високі бар'єрні властивості, тобто мати достатню механічну міцність, герметичність, хімічну стійкість і мати контролюєму проникність щодо газу, води та її пари, жиру та інших речовин, включаючи агресивні речовини. Стійкість до механічного впливу характеризується стійкістю форми при статичному навантаженні, стійкістю до вібрацій та стійкістю до ударного навантаження, оптимальним значенням фізико-механічних властивостей (міцності та деформації). Вимога до стійкості форми зумовлена багатьма причинами, такими, як необхідність тривалого зберігання в штабелях, коли нижні ряди відчують значні деформації; вплив рідких і летких речовин, що знаходяться всередині тари, особливо

у випадку високої температури і подальшого розширення матеріалу, наявність гострих граней і твердих частинок всередині тари і т.н. [19]. Для транспортної ємності, яка має постійну загрозу виникнення ударів і коливань, що часто носять випадковий характер і викликають порушення різної амплітуди в матеріалі, домінують вимоги до механічної міцності та стійкості до деформацій. Підбираючи матеріали, завжди враховують характер деформації, та структурні зміни напружених матеріалів (особливо при контакті з агресивними середовищами), залежно від інтенсивності напружень та активності середовищ.

Дослідження показали, що часто має місце недотримання умов транспортування та зберігання питної води в пластиковій тарі. Перевозячи бутильовану питну воду, виробники не завжди виконують усі діючі вимоги. В результаті пляшка з водою може бути механічно пошкоджена. Однак головна проблема полягає в можливому потраплянні небезпечних речовин із пластику у питну бутильовану воду внаслідок не дотримання температурних вимог до умов зберігання такої води. Особливо актуальним це є у літній період, коли під дією високої температури та сонячного випромінювання з пластику до питної води починають надходити шкідливі речовини.

Неоднократне використання тари. Майже кожен споживач в світі, і зокрема, в Україні, досить часто повторно використовує одноразові пластикові пляшки для води. Вдруге використовуючи одноразові пляшки з водою, споживачі піддаються ризикам, пропорційним кількості повторного використання пластикової тари. Багаторазове використання призводить до утворення мікротріщин в пластиковій пляшці. Через ці тріщини токсичні речовини, що знаходяться в стінках пластикової пляшки, починають прискорено надходити в питну воду.

Крім того, в пляшках, які багаторазово використовуються, створюються умови для розмноження бактерій. Відповідно до

міжнародних стандартів в складі бутильованої води не мають перебувати кишкові палички (*Escherichia coli*), фекальні стрептококи, спорулюючі сульфит-редуючі бактерії, бактерії псевдомонас (*Pseudomonas aeruginosa*). Однак, не дивлячись на існуючі правила, - бактерії *Pseudomonas aeruginosa* найбільш часто знаходять у складі бутильованої води. небезпека полягає в тому, що не дивлячись на бідний склад води за поживними речовинами дані бактерії спроможні розмножуватися в ній, і, таким чином, можуть колонізувати бутильовану воду. При цьому бактерії *Pseudomonas aeruginosa* є стійкими до більшості антибіотиків, що використовуються сьогодні [17].

## **1.2. Вплив пакувального матеріалу на якість фасованих питних вод**

Поліетилентерефталат (ПЕТ) широко використовується як пакувальний матеріал для харчових продуктів (включаючи питну воду) завдяки своїм фізико-хімічним властивостям, особливо міцності та прозорості. Існуючі норми вимагають, щоб речовини в кількості, яка може спричинити небажані зміни властивостей харчових продуктів, не могли переноситися з пакувальних матеріалів. З цієї причини існують загальні обмеження щодо цієї міграції та спеціальні обмеження щодо окремих речовин (похідних ПЕТ-матеріалів). Наприклад, відомо, що поліетилентерефталат може зазнати термічної деструкції, продуктом якої є фталати і ацетальдегід [5]. Концентрація ацетальдегіду в ПЕТ-пляшці на 1 кг матеріалу становить 6,3 мг, а величина вимивання в воду досягає 200 мкг/дм<sup>3</sup>. Підвищення температури води (+40°C і вище) значно збільшує процес міграції ацетальдегіду.

Крім температури води на швидкість міграції карбонільних сполук з ПЕТ-тари впливають сонячне світло, тривалість і умови зберігання, концентрація і підвищений тиск вуглекислого газу і знижене значення рН. Для контролю впливу температури на зміни якості питної води пов'язані з міграцією токсичних сполук з ПЕТ-тари, вчені провели наступне дослідження: п'ять видів упакованої питної води з категорії «безпечна вода» (ІОТ = 0-40 у.о.) - «Моршинська», «Бонаква», «Каліпсо», «Ордана» та «Знаменівська» в заводській тарі помістили в шафу-термостат, де ці марки фасованих вод разом з контрольною водою в скляній тарі зберігалися протягом трьох місяців при підвищеній температурі +40°C. Через 3 місяці якість упакованої води оцінювали за допомогою біологічного тесту з використанням набору тваринних і рослинних тест-організмів (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

**Вплив підвищеної температури(+40°C), при зберіганні, на якість фасованих в ПЕТ-тару питних вод**

Марка води	<i>Careo daphni a affinis</i>	<i>Hydra attemat e</i>	<i>Brachy- danio rerio</i>	<i>Alliu m sepa</i>	Індекс загальної токсичності	Категорія води
Контрольна вода до зберігання	0	0	0	0	0	Безпечна (0-40)
Контрольна вода після зберігання	10	10	0	0	20	Безпечна (0-40)

## Продовження таблиці 1.1

«Моршинська» до зберігання	0	0	0	0	0	Безпечна (0-40)
«Моршинська» після зберігання	20	20	0	10	50	Небезпечна (41-120)
«Бонаква» до зберігання	10	0	10	15	35	Безпечна (0-40)
«Бонаква» після зберігання	30	40	20	10	100	Небезпечна (41-120)
«Каліпсо» до зберігання	10	10	0	15	35	Безпечна (0-40)
«Каліпсо» після зберігання	30	30	20	20	100	Небезпечна (41-120)
«Ордана» до зберігання	20	20	0	0	40	Безпечна (0-40)
«Ордана» після зберігання	30	40	30	10	110	Небезпечна (41-120)
«Знаменівська» до зберігання	10	20	10	0	40	Безпечна (0-40)

«Знаменівська» після зберігання	40	50	20	20		Небезпечна (41-120)
---------------------------------	----	----	----	----	--	---------------------

Результати біологічного тесту показали, що відповідно до значення загального індексу токсичності (еквівалентного категорії «небезпечна вода») зберігання фасованої питної води при підвищеній температурі протягом 3 місяців призвело до значного зниження її якості на 40-80%. Контрольна вода у скляній ємності не змінила своїх біологічних властивостей. Зважаючи на те, що ПЕТ-тара була герметично закупорена, то підвищення токсичності питної води дослідники пов'язують з тепловою деградацією матеріалів тари і переходом органічних токсичних речовин у воду.

Міграція летких органічних сполук під час деградації поліетилентерефталатових та поліетиленових пляшок, поліпропіленових кришок та етилвінілацетатних вкладок вимірювалась в озонованих водах [24]. За цих умов у воді були виявлені бутанал, пентанал, гексанал, гептанал, октанал, нонанал, 2,2-диметил пропанал, 3-гексанон, 2-гексанон та гептанон. Концентрація цих речовин зростала із збільшенням тривалості експозиції з озоном. Кількість міграції вінілхлориду в ПВХ-пляшці пропорційна часу зберігання упаковки, збільшуючись на 1 нг/дм<sup>3</sup> на добу [5].

Загальна доза вживаного мономера із питною водою може досягати навіть 100 нг на одну людину за добу, тоді як згідно з нормами максимальна добова доза хлориду вініла на людину не повинна перевищувати 25 нг. Погіршення якості упакованої питної води відбувається внаслідок зміни її хімічного складу, мікробіологічного забруднення, порушення тривалості та умов зберігання, характеристик технології очищення води та подробиці продукції (якість упакованої води не відповідає маркуванню) [6].

Таким чином, бутлювання питних вод створює потенційні ризики їх хімічного і мікробіологічного забруднення як в процесі водопідготовки і бутлювання, так і в процесі транспортування і зберігання. Недостатня стерилізація бутльованої води є фактором розвитку інфекційних захворювань у населення. Тоді як присутність у питній бутльованій воді залишкових кількостей дезінфікуючих речовин, продуктів знезараження води, а також вихід компонентів тари у питну воду погіршує біологічні властивості води і може становити ризики для здоров'я споживачів.

Переходу компонентів пластикової тари до питної води сприяє невиконання виробниками діючих вимог щодо хімічного складу і хімічної та механічної стійкості пластику, а також вимог до температури, освітлення і тривалості зберігання бутльованих питних вод. Крім того, значну небезпеку для споживачів становлять підробки відомих брендів питної бутльованої води, якість яких, зазвичай, не відповідає нормативам.

## РОЗДІЛ 2

### ХІМІЧНА І БІОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ

#### 2.1. Методи хімічної оцінки якості питної води

Використання методів хімічної перевірки якості питної води включає в себе визначення абіотичних чинників, таких як концентрація завислих речовин, іонний склад, мінералізація, концентрація біогенних елементів, органічних речовин, розчиненого у воді кисню, різноманітних токсикантів, показника рН тощо [4].

Зазвичай якість води визначається хімічними методами. Для її дослідження відбирають проби води, які потім поглиблено аналізують у спеціально обладнаних лабораторіях. Для повної характеристики хімічного складу води, виявлення у ній забруднюючих елементів застосовують різноманітні реактиви та прилади. За їх допомогою можна отримати точні данні про забруднювачів та їхню концентрацію. Але такі способи до визначення якості води мають свої недоліки, а саме:

- у разі низької концентрації речовини важко точно оцінити її шкідливий вплив для мешканців водойм та людини;
- метод не враховує можливі ефекти комбінацій забруднюючих речовин, що часто збільшує токсичність впливу.

Крім того, ці методи вимагають значних матеріальних витрат і часу, вони технічно дуже складні і їх може виконувати лише висококваліфікований фахівець [22].



## **2.2. Використання методів біотестування для оцінки якості питної води**

Біотестування відіграє дуже важливу роль у системі контролю стану природних середовищ і екосистем. Сутність цього методу полягає у визначенні впливу токсикантів на вибрані організми в стандартних умовах шляхом реєстрації різних фізіологічних, біохімічних та поведінкових показників. Біологічні випробування широко використовуються для контролю якості природних та токсичності стічних вод, з точки зору екологічного контролю нових технологій очищення стічних вод для підтвердження гранично допустимої концентрації забруднюючих речовин.

Порівняно з фізико-хімічним аналізом, використання біологічних досліджень має багато переваг, і фізико-хімічний аналіз, як правило, не може виявити нестійкі сполуки або кількісно визначити наднизькі концентрації екотоксикантів. У багатьох випадках хімічний аналіз, проведений сучасними методами, не показав присутності токсинів, тоді як використання біологічних тест-систем показало їх наявність у досліджуваному середовищі.

На відміну від біоіндикаторів (одна з основних вимог до яких є толерантність), тестові об'єкти, як правило, вибираються з найбільш чутливих компонентів до забруднення видів. Ще однією важливою вимогою є те, що вплив на тест-об'єкт токсиканта повинен викликати реакцію, подібну або близьку до реакції лабораторних тварин.

Знання механізму специфічної токсичності дозволяє послабити або посилити токсичність за допомогою спеціально підібраних фармакологічних засобів. Якщо остання характеризується селективністю, то в деяких випадках токсичний ефект можна виявити не лише за допомогою тест-об'єктів, але й провести групову ідентифікацію

токсиканта. Посилення ефекту за допомогою фармакологічних засобів може знизити поріг виявлення токсикантів без застосування його концентрування (цей прийом зазвичай використовують при фізико-хімічному аналізі домішок) [7].

Для оцінки якості вод з початку 1930-х рр. використовують дафнію (*Daphnia magna*). На сьогоднішній день проведено багато досліджень з визначення впливу більшості ксенобіотиків на дафній у водних об'єктах. Юридично в багатьох країнах цей веслоногий рачок включений до числа тест-об'єктів, які використовуються для оцінки якості води. Для біотестування води широко використовують і медичну п'явку (*Hirudo medicinalis*). Розглянемо використання цих тест-об'єктів для виявлення й ідентифікації у воді деяких класів пестицидів.

До найбільш токсичних сполук належать фосфорорганічні та карбаматні пестициди, що мають антихолінестеразну дію. До цієї групи належать також деякі токсичні бойові речовини (Сарин, Соман, газ типу V), знищення яких також спричиняє забруднення навколишнього середовища, а особливо водних об'єктів. Очищену холінестеразу зазвичай використовують для виявлення антихолінестеразних сполук у воді. Чутливість цього методу є не дуже високою, він заснований на здатності токсикантів знижувати активність ферментів. За допомогою дафній антихолінестеразні сполуки можна виявляти ефективніше, порівняно з мишами, оскільки чутливість дафній до карбаматних пестицидів у 5-18 разів вища, а чутливість до фосфорорганічних сполук - в 1000-75000 разів вища, ніж у мишей.

Методологія визначення зводиться до того, що якщо серед дафній, яких вміщено у пробу води, що проходить тестування, відзначається 50-100 відсоткова загибель, при вміщенні до тієї ж самої води з додаванням до неї алкалоїду атропіну (відомий антидот, м-холінолітик) токсична дія достовірно знижується, то це свідчить про наявність у пробі води сполук з антихолінестеразною дією. Так, при створенні у воді концентрації

атропіну 12 мг/л величина ЛД<sub>50</sub> карбаматного пестициду аміностигміну для дафній збільшувалася з 12 до 84 мкг/л, тобто у сім разів [20].

З іншого боку, додавання до води, що досліджується, міорелаксанту дитиліну передбачає зменшення напівлетальної концентрації антихолінестеразних пестицидів: загибель 50 % дафній спостерігається вже при концентраціях пестицидів на рівні 0,05-0,25 ЛК<sub>50</sub>. Такий ефект дає можливість виявити антихолінестеразні токсиканти при їхньому вмісті в нетоксичних концентраціях і, що дуже важливо, реєструвати хронічний вплив.

Експеримент із медичними п'явками також довів можливість селективного виявлення фосфорорганічних та карбаматних токсичних речовин. Якщо тварину попередньо вмістити у воду та додати до неї розчинник холінулітик (1 мг/л) або ввести внутрішньом'язово, рівень летальних отруєнь пестицидами карбаматів у воді зменшиться у чотири рази. Якщо для обробки водяних солей одночасно використовують лише педифен та будь-які інші карбамати, щоб запобігти токсичним ефектам досліджуваної проби води, це свідчить про наявність у зразку фосфорорганічних сполук. У цьому випадку дослідник має справу з прикладом групової біоідентифікації токсиканта [3].

Окрім дафній і п'явок для біотестування застосовуються бактерії, водорості, вищі рослини, молюски, риби (здебільшого на ранніх стадіях розвитку) та інші організми. Кожен із цих об'єктів має свої переваги та обмеження, і жоден організм не може виступати універсальним «випробувачем», який однаково чутливий до всіх забруднюючих речовин. З іншого боку, безглуздо нескінченно розширювати коло біологічних тест-об'єктів.

За чутливістю і ступенем вивченності з-поміж інших тест-об'єктів, окрім дафній (*D. magna*, *D. pulex*), виділяються кілька видів мікроскопічних одноклітинних зелених водоростей із класу протококових (сцендесмус *Scenedesmus quadricauda*, хлорела *Chlorella*

sp.) і п'ять-шість видів риб, як акваріумних, так і дрібних аборигенних (голець, гольян). Досвід токсикологічного нормування показує, що при використанні цих видів біотестуванням може бути охоплено понад 80 % забруднюючих воду хімікатів, що підлягають контролю [2].

Через швидке збільшення кількості потенційно небезпечних сполук, що забруднюють природні джерела питної води, особливо важливими стали біологічні методи випробувань для оцінки її якості. Фізичні та хімічні методи можуть лише визначити наявність та кількість хімічних елементів у вимірній пробі води, але не можуть визначити поведінку штучних сполук та природну вразливість водних екосистем до всебічного впливу забруднення [8].

Біологічне тестування - один із методів біологічного контролю, який передбачає цілеспрямоване використання стандартних досліджуваних організмів та методів визначення токсичності водного середовища на основі вимірювання реакції тесту на організм, його єдиної функцію або систему. Випробуваний організм у досліджуваному зразку води, незалежно від того, який вид речовин та їх поєднання спричинятиме зміну її життєвої функції, всеодно реагуватиме на небезпеку [27]. Вибір досліджуваного організму залежить від його популярності, простоти вирощування в лабораторії, доступних експериментальних методів та здатності отримання результатів.

Метод проведення біологічних випробувань на досліджуваних рослинах, як правило, є простим і чутливим методом визначення загальної токсичності води, спричиненої різними факторами. Показником токсичності є пригнічення росту коренів. Було встановлено, що ріст коренів пригнічується при менших концентраціях токсиканту, ніж ріст пагонів. Цей метод дозволяє не тільки визначити токсичність водного середовища, а й визначити його мутагенні властивості [37, 9].

Таким чином, захист населення від споживання неякісної питної води забезпечується в першу чергу шляхом хімічного аналізу складу

питних вод. Оскільки в багатьох випадках хімічний аналіз не дає однозначної відповіді на питання безпеки питної води через складні результуючі ефекти взаємодії різних хімічних речовин, які входять до складу питної води, тому, важливою вимогою до перевірки якості питної води є використання методів біотестування за допомогою модельних організмів: рачків церіодафній (*Ceriodaphnia affinis*), плодових мушок дрозофіл (*Drosophila melanogaster* Mg.), найпростіших інфузорій тетрахімен (*Tetrahymena periformis*), морських бактерій *Vibrio fischery*, бактерій мишачої сальмонели *Salmonella thyphimurium*, медичних п'явок (*Hirudo medicinalis*), різних видів риб, одноклітинних зелених водоростей із класу протококових (сцендесмус *Scenedesmus quadricauda*, хлорела *Chlorella* sp.), рослин цибулі ріпчастої (*Allium cepa* L.) та ін. При цьому рослинні біотести є високочутливими до токсичних і мутагенних ефектів компонентів питної води і демонструють високий рівень кореляції результатів дослідження з відповідними біотестами на модельних тваринах і на культурі клітин людини.

Тому в нашій роботі, для аналізу впливу на живі організми токсичних речовин, які з'являються у зразках питної води після її експозиції в тарі різних типів і за різних умов зберігання, був відібраний рослинний фітотест на модельних рослинах цибулі ріпчастої (*Allium cepa* L.) та ячменю звичайного (*Hordeum vulgare* L.).

### РОЗДІЛ 3

## ВСТАНОВЛЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ ВИКОРИСТАННЯ БУТИЛЬОВАНИХ ПИТНИХ ВОД МЕТОДАМИ ФІТОТЕСТУВАННЯ

### 3.1. Матеріали і методи дослідження

Для оцінки якості питної води в м. Херсоні нами використовувалися такі типи питної води, як колодязна (очікуваний еталон якості), фасована бутильована вода «Оболонська», розливна питна вода з пункту її продажу (п.п.), що знаходиться за адресою вул. Дружби, 10 в м. Херсоні та вода водопровідна, щойно відібрана з центральної мережі водопостачання, яка досліджувалась як одразу після відбору, так і після впливу протягом 15 діб різних температурних умов та за використання різних типів тари під час її зберігання.

При проведенні засобами фітотестування експрес-аналізу якості питної води, в якості модельної системи нами був вибраний *Allium test* з використанням насіння модельної рослини цибулі (*Allium cepa* L.) сорту «Глобус» [21], а також насіння іншої модельної рослини – ячменю звичайного (*Hordeum vulgare* L.).

*Allium test* є досить простим та швидким під час тестування впливу чинників довкілля на живі організми, а також - високочутливим і відтворювальним. Тому, незважаючи на існування великої кількості сучасних біопроб, *Allium test* все ще широко використовується для вивчення впливу різних антропогенних факторів на навколишнє середовище, що підтверджується значною кількістю відповідних робіт [10].

Відомо, що процес проростання насіння є одним з найбільш вразливих етапів у житті рослин. Тому використання його як показника негативного впливу питної води на організм може значно підвищити чутливість затверджених в даний час систем біологічного тестування [13].

Під час проведення ростового фітотесту за загальною схемою на різних зразках питної води міста Херсона, а також на зразках водопровідної води, яка пройшла 15 діб зберігання в різних температурних умовах (при  $t = +20^{\circ}\text{C}$  або при  $t = +2^{\circ}\text{C}$ ) і в різних типах тари (в пластиковій або в скляній тарі), пророщували насіння цибулі сорту «Глобус» протягом 7 діб. На 7-му добу пророщення підраховували кількість пророслого насіння і вимірювали довжину проростків. За отриманими даними обчислювали середню довжину проростків та енергію проростання. Отримані дані статистично обробляли [18].

У другій серії експериментів водопровідну воду (некип'ячену) з центральної водопровідної системи м. Херсона наливали в пластикову (з під дитячої води «Малютко») та скляну (скляна літрова банка) тару та виставляли: а) під прямими сонячними променями протягом 3-х днів при температурі  $+50^{\circ}\text{C}$  (загальний час експозиції склав 9 годин); б) піддавали триразовому циклу заморожування-танення в морозильній камері побутового холодильника «Днепр» (12 годин заморожування при  $-18^{\circ}\text{C}$  / 12 годин танення); в) експонували в темному місці при температурі  $+22^{\circ}\text{C}$ . Після впливу стресових факторів – усі зразки води зберігали протягом 2-х тижнів в темряві при температурі  $+22^{\circ}\text{C}$  в скляній або пластиковій тарі, відповідно. До того ж, в аналізі перевіряли водопровідну воду, що зберігалась в пластиковій тарі від питної води «Von Vuasson» на протязі 2-х років.

Через два тижні зберігання водопровідної води після дії на неї стресових умов, насіння другої модельної рослини ячменю звичайного

(*Hordeum vulgare*) пророщували в чашці Петрі в темряві при кімнатній температурі на підготовлених зразках води. На 4 день експерименту вимірювали довжину коренів (найбільшого кореня в мочкуватій кореневій системі) та довжину епикотилів і підраховували кількість пророслого насіння. На основі отриманих даних розраховували енергію проростання насіння, середню довжину коренів та епикотилів проростків, а також середні значення показника відношення довжини коренів до довжини епикотилу. Усі дані статистично оброблялися.

При дослідженні якості питних вод розраховували енергію проростання насіння:

$$E = \frac{n}{N} * 100\%, \quad (3.1)$$

Де: E - енергія проростання насіння, %; N - загальна кількість пророщуваних насінин; n - кількість насінин, що проросли.

Статистичний аналіз для альтернативних розподілень проводили за наступними формулами [19]:

$$E_{\text{сер.}\pm} \delta_x * tst \quad (3.2)$$

Де:  $E_{\text{сер.}}$  - середня енергія проростання насіння для певних умов пророщування,  $\delta_x$  - відхилення від середніх значень, tst – критерій Стьюдента (див. у додатку А).

Величину похибки середніх значень  $\delta_i$  розраховували наступним чином:

$$\delta_i = \sqrt{\frac{E * (100 - E)}{n}}, \quad (3.3)$$

Де,  $\delta_i$  – відхилення від середніх значень, n – об'єм вибірки (n = 100), E- доля пророщеного насіння .

Достовірність відмінностей між середнім значенням для альтернативного розподілення розраховують за наступною формулою:

$$t = \frac{|E_{\text{сер}1} - E_{\text{сер}2}|}{\sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2}} \quad (3.4)$$



Де:  $E_{сер1}, E_{сер2}$  - енергія проростання насіння при різних умовах пророщування,  $\delta_1^2, \delta_2^2$  - квадрати відхилень від середніх значень для кінцевих варіантів дослідження. За умови, якщо показник  $t$  перевищує величину критерія Стюдента ( $tst$ ), то відмінності між середніми значеннями, які порівнюються, є статистично достовірними.

Визначали середню довжину проростків і похибку середньо-арифметичних значень для нормальних розподілень:

$$l = l_{сер. проростка} \pm S_{x*} * tst, \quad (3.5)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{x=i}^n (x - \bar{x})^2}{n * (n-1)}} \quad (3.6)$$

Де:  $l_{сер. проростка}$  - середнє значення показника, що вимірювали;  $S_{x*} * tst$  - похибка середнього арифметичного значення,  $tst$  - критерій Стюдента,  $n$  - об'єм вибірки,  $\sum_{x=i}^n (x - \bar{x})^2$  - сума різниці між середнім значенням довжини проростка та довжиною даного проростка піднесені до квадрату [23].

### 3.2. Біотестування якості питних вод м. Херсона

Якість питної води, як правило, контролюється хімічними методами в лабораторії, а також методами біологічного тестування з використанням рибок, рачків, дафній, інфузорій, тощо. Ці методи або дорогі, або недоступні звичайним жителям міст. Тому в цьому дослідженні ми обрали метод фітотестування, який є простим у використанні та у багатьох випадках більш чутливим, ніж інші методи дослідження якості води. В експерименті було обрано питну воду, яку споживає населення з чотирьох джерел: міськводопроводу, з торгівельної мережі (фасована вода), з пунктів продажу (розливна вода) та вода колодязна. Обчислене значення енергії проростання для води

питної розливної показало  $41,67 \pm 5,58 \%$ , що є найкращим показником. На другому місці за енергією проростання насіння - вода водопровідна ( $34,33 \pm 5,37\%$ ). При цьому різниця між даними для води розливної та водопровідної є значною, але не статистично значущою, оскільки  $t = 1,86$ , а це менше критерія Стьюдента ( $t_{st} = 1,96$ ).

Третє місце займає вода колодязна, з показником енергії проростання насіння  $21,00 \pm 4,6\%$ . Різниця між показниками водопровідної води та колодязної є статистично значущою ( $t=3,67$ , а це більше значення критерії Стьюдента для відповідного об'єма вибірки,  $t_{st} = 1,96$ ). Найгірше значення енергії проростання показало насіння цибулі, що пророщувалось на воді бутильованій:  $4,00 \pm 2,22\%$ . Статистичний аналіз показує значну різницю між двома останніми показниками, т.т., між даними для колодязної та бутильованої води ( $t = 6,46$ , а це більше критерія Стьюдента,  $t_{st} = 1,96$ ).

Отримані результати заклали основу для наступних висновків: 1) Показники енергії проростання питної води та водопровідної води дуже близькі, оскільки різниця між даними не є статистично значущою; тому ми маємо підстави вважати, що їх якість подібна одна одній; 2) показники енергії проростання насіння цибулі пророщеного на воді колодязній є достовірно гіршими, порівняно з водою водопровідною та розливною питною; а вода питна бутильована значно гірша, ніж вода колодязна, що є статистично достовірним результатом.

Аналіз результату впливу різних видів питної води на довжину проростків цибулі показав, що найбільша довжина проростків була відмічена у насіння цибулі, яке проростало на питній розливній воді ( $8,82 \pm 1,07$  мм). Насіння, яке пророщували на водопровідній воді, мало значно менші показники довжини проростків, середня довжина яких становила  $6,48 \pm 0,84$  мм. Середня довжина проростків, які вирости на воді колодязній, становила  $4,57 \pm 0,54$  мм, що є достовірно меншими значеннями, порівняно з водою водопровідною. Найгірші показники

росту продемонстрували проростки, вирощені на бутильованій питній воді: їх середня довжина становила  $2,42 \pm 0,78$  мм, що є статистично меншим значенням порівняно з водою колодязною.

### **3.3. Дослідження впливу типу тари і умов зберігання питної води на її біологічні властивості методом фітотестування з проростками *Allium cepa* L.**

#### **3.3.1. Результати експерименту в модельній системі *Allium cepa* L.**

На рисунках 3.1-3.2 та в таблицях 3.1-3.2 наведені результати досліджень щодо впливу типу тари та температурних режимів зберігання води на проростання насіння та ріст проростків цибулі сорту «Глобус».

Експериментальні дослідження та подальші розрахунки показали, що енергія проростання насіння цибулі залежить від типу ємності та температурних умов зберігання питної води, на якій проводили пророщування. Насіння, пророщене на водопровідній воді, щойно відібраній з центральної водопровідної мережі, має найбільшу енергію проростання,  $49 \pm 9,88\%$ .



Рисунок 3.1. Пророщування насіння цибулі сорту «Глобус» на водопровідній воді, щойно відібраній з центральної мережі водопостачання.

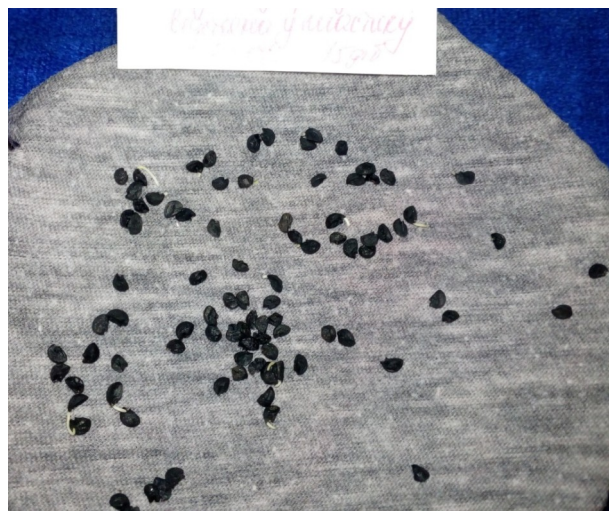


Рисунок 3.2. Пророщування насіння цибулі сорту «Глобус» на воді водопровідній, що зберігалась 15 діб у пластиковій тарі при температурі +2°C.

Енергія проростання насіння на водопровідній воді, що була відстояна у скляній тарі при  $t = +20^{\circ}\text{C}$ , була дещо меншою і становила  $37 \pm 9,56$ . Однак ці відмінності не є статистично достовірними. Порівняно з водою, що зберігається у скляній ємності при  $t = +20^{\circ}\text{C}$ , енергія проростання насіння цибулі у водопровідній воді, що зберігається у скляній ємності при  $t = +2^{\circ}\text{C}$  була нижчою і становила  $30 \pm 9,07\%$ . Але різниця між значеннями показника енергії проростання для

різних температур зберігання води в скляній тарі не є статистично достовірною.

Вода питна водопровідна показала найгірші показники проростання за умови її зберігання протягом 15 діб у пластиковій тарі. При цьому рівень гальмування росту коренів насіння залежав від температурних умов експозиції питної води: в даному випадку, кращий результат показала вода, яка зберігалась при  $t = +2^{\circ}\text{C}$  порівняно з водою, яка зберігалась при  $t = +20^{\circ}\text{C}$  (енергія проростання насіння становила  $20 \pm 7,92\%$  та  $6 \pm 4,83\%$ , відповідно).

Необхідно підкреслити статистично значущу різницю: а) між значеннями показника енергії проростання насіння для двох температурних режимів зберігання питної води в пластиковій тарі; б) між даними для пластикової тари та даними для скляної тари при температурі зберігання  $t = +20^{\circ}\text{C}$ .

Цікаво те, що зберігання водопровідної питної води в пластиковій тарі за низьких температурних умов (при  $t = +2^{\circ}\text{C}$ ) дало значення енергії проростання насіння, яке статистично не відрізняється від даних для водопровідної води, яка зберігалася при відповідній температурі в скляній тарі ( $20 \pm 7,92\%$  та  $30 \pm 9,07\%$ , відповідно для пластика і скла).

**Дослідження впливу типу тари та температури зберігання  
питної води на енергію проростання насіння цибулі**

Тип тари та температурний режим експозиції питної водопровідної води:	Кількість пророслого насіння:	Кількість насіння, яке пророщували:	Енергія проростання насіння,%, $E_{сер. \pm \delta_x} * tst$
Вода водопровідна, щойно відібрана з центральної мережі водопостачання	49	100	$49 \pm 9,88\%$
Вода водопровідна, яка зберігалась у пластиковій тарі при $t = +20^\circ\text{C}$ протягом 15 діб	6	100	$6 \pm 4,83\% \text{ * } \blacktriangle$
Вода водопровідна, яка зберігалась у пластиковій тарі при $t = +2^\circ\text{C}$ протягом 15 діб	20	100	$20 \pm 7,92\% \text{ * } \blacksquare$
Вода водопровідна, яка зберігалась у скляній тарі при $t = +20^\circ\text{C}$ протягом 15 діб	37	100	$37 \pm 9,56\% \text{ • } \blacktriangle$
Вода водопровідна, яка зберігалась у скляній тарі при $t = +2^\circ\text{C}$ протягом 15 діб	30	100	$30 \pm 9,07\% \text{ • } \blacksquare$

**▲**- різниця в енергії проростання між водою, що зберігалась у скляній тарі при  $t = +20^\circ\text{C}$  та водою, що зберігалась у пластиковій тарі

при  $t = +20^{\circ}\text{C}$  є статистично достовірною; ■ - різниця в енергії проростання між водою, що зберігалась у скляній тарі при  $t = +2^{\circ}\text{C}$  та водою, що зберігалась у пластиковій тарі при  $t = +2^{\circ}\text{C}$  є статистично не достовірною; • - різниця в енергії проростання насіння між водою, що зберігалась у скляній тарі при  $t = +2^{\circ}\text{C}$  та при  $t = +20^{\circ}\text{C}$  є статистично не достовірною; \* - різниця в енергії проростання насіння між водою, що зберігалась у пластиковій тарі при  $t = +2^{\circ}\text{C}$  та при  $t = +20^{\circ}\text{C}$ , є статистично достовірною.

У таблиці 3.2 наведено результати досліджень впливу різних типів тари та температурних умов зберігання питної води на довжину проростків насіння цибулі. Найбільшу довжину проростків ( $4,40 \pm 0,76$  мм) мало насіння, пророщене на воді водопровідній, щойно відібраній з центральної мережі водопостачання.

Насіння, пророщене на воді водопровідній, яка зберігалась у скляній тарі при  $t = +2^{\circ}\text{C}$  та  $t = +20^{\circ}\text{C}$ , мало проростки, середня довжина яких становила  $3,60 \pm 0,79$  мм і  $3,54 \pm 0,81$  мм, відповідно. Слід зазначити, що між значеннями середньої довжини проростків для контрольного варіанта і варіантів експозиції води в скляній тарі протягом 15 діб за обох температурних режимів немає статистично значущої різниці.

Найгірші темпи зростання (всього  $1,65 \pm 0,34$  мм та  $1,5 \pm 2,46$  мм, відповідно) показали проростки, експоновані на воді водопровідній, яка зберігалась 15 діб у пластиковій тарі при  $t = +2^{\circ}\text{C}$  та  $t = +20^{\circ}\text{C}$  (див. додаток В). Статистичний аналіз підтвердив безсумнівну різницю між значеннями показника середня довжина проростків для варіантів пророщування насіння на воді, яка зберігалась протягом 15 діб в пластиковій та скляній тарі за обох температурних режимів зберігання.

Таблиця 3.2

**Вплив типу тари і температурних умов зберігання питної води на довжину проростків насіння цибулі сорту «Глобус»**

Тип тари і температурні умови зберігання питної водопровідної води:	Середня довжина проростків цибулі, мм:
Вода водопровідна, щойно відібрана з центральної мережі водопостачання	4,40 ± 0,76
Вода водопровідна, яка зберігалась 15 діб у пластиковій тарі при t = +20°C	1,50 ± 2,46*
Вода водопровідна, яка зберігалась 15 діб у пластиковій тарі при t = +2°C	1,65 ± 0,34*
Вода водопровідна, яка зберігалась 15 діб у скляній тарі при t = +20°C	3,54 ± 0,81
Вода водопровідна, яка зберігалась 15 діб у скляній тарі при t = +2°C	3,60 ± 0,79

\* - Результати статистично суттєво відрізняються від довжини проростків, отриманих при вирощуванні насіння на водопровідній воді, щойно відібраній з центральної мережі водопостачання, а також – від значень для варіантів 15-денної експозиції у скляній тарі при двох температурних режимах зберігання.



### 3.3.2. Обговорення отриманих результатів ростового фітотесту з проростками *Allium cepa* L.

Для того, щоб вивчити вплив типів тари та умов зберігання на якість питної води, ми обрали метод фітотестування, який є простим у використанні і в багатьох випадках є більш чутливим, ніж інші методи дослідження якості води.

Водопровідну воду з мережі центрального водопостачання м. Херсона зберігали на протязі 15 діб в пластиковій або скляній тарі при температурах  $+20^{\circ}\text{C}$  та  $+2^{\circ}\text{C}$ . Потім на цих зразках води проводили пророщування насіння цибулі сорту «Глобус». В експерименті для контролю було обрано водопровідну воду, щойно отриману з центральної водопровідної мережі.

Дослідження показало, що енергія проростання насіння для водопровідної води, щойно відібраної з центральної водопровідної мережі, статистично не відрізнялась від того самого показника для варіанта пророщування насіння на воді, яка зберігалась в скляній тарі при  $t = +20^{\circ}\text{C}$  ( $49 \pm 9,88\%$  та  $37 \pm 9,56\%$ , відповідно). Зберігання водопровідної води в скляній тарі при температурі  $t = +2^{\circ}\text{C}$  дало дещо меншу енергію проростання насіння ( $30 \pm 9,07\%$ ), однак ці відмінності в енергії проростання насіння між різними температурами зберігання води не є статистично значущими. Вода питна водопровідна, яка зберігалась у пластиковій тарі показала найгірші показники проростання, при цьому результат залежав від температурних умов експозиції води. Трохи кращий ефект показала вода, яка зберігалась при  $t = +2^{\circ}\text{C}$  ( $20 \pm 7,92\%$ ); найгірший результат пророщування продемонструвала вода, що зберігалась при  $t = +20^{\circ}\text{C}$  ( $6 \pm 4,83\%$ ). Відмінності між результатами є

статистично достовірними, оскільки  $t = 5,73$ , а дане значення більше критерія Стюдента ( $t_{st} = 1,98$ ) (див. додаток Г).

Отримані результати дають підставу зробити наступні висновки:

1) статистично значущої різниці в енергії проростання насіння на водопровідній воді, яка зберігалась при температурах  $+2^{\circ}\text{C}$  та  $+20^{\circ}\text{C}$  у скляні тарі немає, тому ми маємо підстави вважати, що їх якість схожа одна на одну; 2) що стосується енергії проростання насіння цибулі, вода водопровідна, яка зберігалась у пластиковій тарі при температурі  $+20^{\circ}\text{C}$  протягом 15 днів, є набагато гіршою, ніж за умов витримки тієї ж води в скляній тарі при аналогічній температурі; 3) за показником енергії проростання насіння - зберігання водопровідної питної води в пластиковій тарі при низьких температурах ( $+2^{\circ}\text{C}$ ) значно покращує її якість, порівняно зі зберіганням при температурі  $+20^{\circ}\text{C}$ .

Аналіз впливу різних видів питної води на довжину проростків цибулі показав, що найбільше значення довжини продемонстрували проростки, які сформувалися при пророщенні насіння цибулі на водопровідній воді, щойно відібраній з центральної мережі водопостачання ( $4,4 \pm 0,76$  мм), а також на водопровідній воді, яка зберігалась протягом 15 діб в скляній тарі при різних температурних умовах ( $3,6 \pm 0,79$  мм та  $3,54 \pm 0,81$  мм для  $t = +2^{\circ}\text{C}$  та  $t = +20^{\circ}\text{C}$ , відповідно). Статистичний аналіз показав, що не було значної різниці у середній довжині проростків для цих варіантів питної водопровідної води.

Насіння, що проросло на воді, яка зберігалась у пластиковій тарі при  $t = +20^{\circ}\text{C}$  та  $t = +2^{\circ}\text{C}$ , показало найгірші результати зростання: середня довжина проростків становила  $1,50 \pm 2,46$  мм та  $1,65 \pm 0,34$  мм, відповідно, що статистично суттєво відрізняються від варіантів води, яка зберігалась в скляній тарі за різних температурних умов або була щойно відібрана з центральної мережі водопостачання.

Слід зазначити, що показники середньої довжини проростків цибулі виявилися більш чутливими, порівнюючи з показником енергії проростання насіння: порівняно з питною розливною водою зазначені показники дозволяють продемонструвати статистично значуще пригнічення процесу росту під впливом водопровідної води; в той час як показник енергії проростання – не виявив статистично значущої різниці між впливом цих видів питної води.

Отже, наші дослідження біологічних характеристик показують, що під час періоду проростання у водопровідній, колодязній та питній бутильованій воді, процес росту проростків цибулі має статистично значущий гальмівний ефект. Згідно ДСанПіН 2.2.4-171-10, якщо відсоток гальмування біологічного процесу перевищує 50% під час біологічних випробувань питної води (для тест-об'єктів, рекомендованих в державному стандарті), вода вважається токсичною і непридатною для пиття [14]. Через те, що відсоток гальмування ростового процесу для бутильованої води перевищив значення 50%, порівняно з водопровідною водою, якість якої ретельно контролюється державними установами, є підстави вважати, що дана питна вода не є придатною для споживання людиною. Відповідно 50% і більше інгібування було також виявлене для показника енергії проростання насіння для питної бутильованої води.

За нашими даними, найгірша якість була виявлена у бутильованої фасованої води. Якість такої води менше контролюється відповідними організаціями порівняно з якістю водопровідної води. У той же час навіть у межах однієї партії продукції можна виявити відмінності в хімічному складі бутильованої води. Окрім відсутності контролю, є деякі сумніви щодо основи нормативів якості питної води. Тому, за результатами перевірки Держспоживінспекції - більша частина пляшкової питної води в Україні має високу якість [1]. Хоча дослідження з використанням методів біологічних випробувань упакованої води, що продається у роздрібній мережі Києва, показують,

що більше половини (54%) води потрапляє до категорій "небезпечна" та "дуже небезпечна" [12].

Можливою причиною різних висновків щодо якості бутильованої води в Україні є використання різних методів дослідження. Ми вважаємо, що технологія біологічних випробувань може найбільш об'єктивно оцінити потенційну небезпеку використання людиною бутильованої води. Необхідність використання біологічного тесту для оцінки якості питної води полягає в тому, що хімічний аналіз не завжди дає чітку відповідь на питання безпеки питної води. Згідно ДСТУ 7525:2014, якщо є підозра, що джерело води або розподільна мережа забруднені токсичними сполуками, то токсичність та генотоксичність питної води від нецентралізованого водопостачання є загальним (чітким) показником якості питної води. Токсичність та генотоксичність питної води визначаються за результатами біологічних випробувань, які проводяться на таких випробувальних тест-об'єктах: рачки церіодафнії (*Ceriodaphnia affinis*), плодові мушки дрозофіли (*Drosophila melanogaster* Mg.), найпростіші інфузорії тетрахімени (*Tetrahymena periformis*), морські бактерії *Vibrio fischeri*, бактерії мишачої сальмонели *Salmonella thyphimurium* [15].

Слід зазначити, що, хоча багато досліджень показали, що рослинні тести є більш чутливими до токсичного забруднення води, серед запропонованих тест-об'єктів відсутні фітотести. Під час випробувань на рослинах найбільш чутливим є *Allium*-тест. У міжнародній практиці це офіційно визнаний тест, що використовується для оцінки якості навколишнього середовища. Згідно методичних рекомендацій Мінздраву України, затверджених наказом № 116 від 13.03.2007 р., «Обстеження та районування території за ступенем впливу антропогенних чинників на стан об'єктів довкілля з використанням цитогенетичних методів», однією з методик оцінки стану атмосферного повітря є ростовий фітотест, в якому в якості тест-культури

використовують проростки цибулі *Allium cepa* L., при цьому методика обробки рослини-індикатора включає пророщування насіння на досліджуваних зразках субстратів.

Однак в Україні випробування рослин офіційно не використовувались для оцінки якості питної води. Але, українські та зарубіжні вчені провели низку дослідницьких робіт, включаючи фітотестування, особливо Allium-тест, для оцінки якості питної води як в Україні так і за кордоном [25].

Слід також зазначити, що дані кореляції між результатами хімічного аналізу питної води та результатами біологічних випробувань в деяких випадках суперечливі. Як правило, біологічні методи випробувань є більш чутливими до токсичності питної води, ніж методи хімічного аналізу. Так, Гончарук В. з колегами (2005) під час дослідження різних торгових марок питних фасованих вод, які реалізуються в супермаркетах України, були виявлені розбіжності між результатами хімічного аналізу і біотестування питних фасованих вод: хороша якість, отримана за хімічними параметрами, не була підтверджена в біологічному тесті, і автор дослідження також використовував Allium-тест. Причиною суперечливих даних є наявність нестандартизованих органічних речовин у досліджуваних зразках питної води [11] Більш високий рівень чутливості біотестів до якості питної води, в порівнянні з результатами приладових досліджень, було виявлено і в інших дослідженнях. Так, в роботі Biscardi D. з колегами (2003) за допомогою мікроядерного тесту на пилку традесканції було встановлено зростання рівня мікроядер вже через 2 місяці зберігання мінеральної води в пластиковій тарі; тоді як хімічний аналіз виявив в пробах мінеральної води присутність гепатоканцерогена ди-(2-етилгексил)-фталату тільки через 9 місяців зберігання мінеральної води в пластикових ємностях [30].

Тести на мутагенність (мікроядерний тест на цибулі *Allium cepa* L. і кометний тест на пошкодження ДНК в лейкоцитах людини) показали генотоксичний ефект як для мінеральної бутильованої води, що зберігалася в пластиковій тарі, так і для мінеральної води в скляних ємностях. При цьому газова хроматографія та мас-спектрометрія не показали міграції токсичних компонентів із пластикової тари у воду [31].

Як правило, однією з важливих причин невідповідності результатів хімічного аналізу та результатів біологічних випробувань є відсутність даних про біологічний вплив різних хімічних речовин, що взаємодіють на рівні організму. Однак, порівняно з біологічними методами випробувань, однією з причин меншої чутливості хімічного аналізу може бути також недосконалість методів хіміко-аналітичного аналізу. Тому Monarca S. та його колеги (1994) застосували більш чутливий метод сублімаційного сушіння для проведення фізико-хімічного аналізу води та виявили, що зразки води містять високий рівень токсичних речовин, що перевищує санітарні норми. Особливо в речовинах, які мігрували зі стінок пластикових ємностей до питної води, були виявлені потенційно генотоксичні компоненти: ацетальдегід, диметилтерефталат, терефталева кислота. Однак біологічний аналіз на мутагенність – т.зв. Амеба - був негативним [34]. Слід зазначити, що суперечливі дані, отримані Monarca S. та його колегами (1994), також можуть бути зумовлені різною чутливістю різних тест-організмів.

Порівняння результатів біотестування питних вод з використанням різних тест-організмів свідчить про різну чутливість різних тест-об'єктів. Так, в роботі Evandri M.G. з колегами (2000) з використанням *Allium test* були виявлені хромосомні аберації у проростків цибулі, експонованих на воді, бутильованій в пластиковій тарі протягом 8 тижнів [35]. З іншого боку, згідно з дослідженнями, проведеними Bach C. та його колегами (2014), вплив сонячного світла протягом 2, 6 та 10

днів на бутильовану воду спричинив міграцію формальдегіду, ацетальдегіду та сурми до неї. Однак дані біологічних випробувань зразків питної води не показали її цитогенетичної токсичності [28]. До того ж Vach C. з колегами (2014) для оцінки цитогенетичної токсичності питних вод використовували тест Амеса на бактеріях *Salmonella typhimurium* і мікроядерний тест на клітинах людини лінії HepG2. Тоді як в роботі Evandri M.G. з колегами (2000) використовувався тест на рослинах - Allium test [35]. У цьому виді досліджень рослинні тести можуть бути більш чутливими, ніж тести на клітинах бактерій і людини.

Отримані нами дані і аналіз літературних джерел свідчать про високий рівень чутливості фітотестів, і зокрема, Allium-тесту, під час дослідження якості питної води, тому цю методику можна рекомендувати для швидкого аналізу якості різних видів питної води.

### **3.4. Дослідження впливу типу тари і умов зберігання питної води на її біологічні властивості методом фітотестування з проростками *Hordeum vulgare* L.**

#### **3.4.1. Результати експерименту в модельній системі *Hordeum vulgare* L.**

Пророщення насіння ячменю на воді, яка пройшла декілька циклів заморожування-танення в пластиковій або скляній тарі, супроводжувалося зменшенням середньої довжини коренів порівняно з водою, що зберігалась протягом 2 тижнів в темному місці за кімнатної температури. Отже, довжина коренів у воді зі скляної ємності знизилася з  $28,80 \pm 6,44$  мм до  $20,54 \pm 4,67$  мм, тоді як у воді із пластикової ємності - з  $27,80 \pm 4,89$  мм до  $15,74 \pm 3,60$  мм. В обох випадках, порівняно з

контрольним варіантом води, виявлені відмінності є статистично значущими ( $t=2,24$ , при  $tst=2,5$ ;  $t=4,16$ , при  $tst=2,04$ , відповідно).

Слід зазначити, що порівняно зі скляними ємностями, ефект інгібування росту коренів на воді з пластикових ємностей є більш очевидним. Але ці відмінності між типами упаковки не є статистично значущими. Візуальний аналіз показав зміни морфології коренів проростків, отриманих при вирощуванні на воді, яка пройшла цикли заморожування-танення в пластиковій тарі порівняно зі скляною тарою, - були виявлені деформації та скручування коренів.

Порівняно з контролем, епікотилі проростків, що проросли у воді, яка пройшла три цикли заморожування-відтавання у скляній ємності, не показали суттєвих змін параметрів росту. За подібних умов водопідготовки вода з пластикової тари достовірно стимулювала ріст епікотилів проростків: з  $25,55 \pm 2,64$  мм (на воді експонованій 2 тижні в пластиковій тарі в темряві при кімнатній температурі) до  $29,63 \pm 2,74$  мм (на воді, що пройшла в пластиковій тарі цикли заморожування-танення і подальше зберігання протягом 2 тижнів) (різниця в даних є статистично значущою,  $t=2,25$ , при  $tst=2,04$ ).

Пророщування насіння ячменю на воді, яку піддавали впливу прямих сонячних променів у скляній або пластиковій ємності (сумарна тривалість експозиції за три дні становила не менше 9 год при  $+50^\circ\text{C}$ ) і потім зберігали протягом 2-х тижнів, також призвело до інгібування росту коренів порівнянню з водою, що не піддавалася сонячній обробці в скляній або пластиковій тарі: довжина коренів зменшилась з  $28,80 \pm 6,44$  мм до  $20,77 \pm 5,26$  мм на воді, яка перебувала в скляній тарі, і з  $27,80 \pm 4,89$  мм до  $16,00 \pm 2,71$  мм на воді, експонованій в пластиковій ємності.



Таблиця 3.3

**Вплив води, яка підлягала дії різних температур в скляній та пластиковій тарі, на ростові параметри 4-и денних проростків ячменю**

Варіант водопідготовки:	Довжина коренів $\pm$ Sx·tst, мм:	Довжина епикотилів $\pm$ Sx·tst, мм:	Відношення довжини коренів до довжини епикотилів $\pm$ Sx·tst
<b>Скляна тара:</b>			
Кімнатна t°, скляна тара, 2 тижні зберігання	28,80 $\pm$ 6,44	26,20 $\pm$ 3,92	1,25 $\pm$ 0,19
Мороз, скляна тара, 2 тижні зберігання	20,54 $\pm$ 4,67*	23,77 $\pm$ 5,02	0,94 $\pm$ 0,18*
Сонце, скляна тара, 2 тижні зберігання	20,77 $\pm$ 5,26*	23,00 $\pm$ 5,18	0,94 $\pm$ 0,16*
<b>Пластикова тара:</b>			
Кімнатна t°, пластикова тара, 2 тижні зберігання	27,80 $\pm$ 4,89	25,55 $\pm$ 2,64	1,10 $\pm$ 0,17
Мороз, пластикова тара, 2 тижні зберігання	15,74 $\pm$ 3,60*	29,63 $\pm$ 2,74*	0,57 $\pm$ 0,13*
Сонце, пластикова тара, 2 тижні зберігання	16,00 $\pm$ 2,71*	21,82 $\pm$ 2,71*	0,80 $\pm$ 0,16*
Кімнатна t°, пластикова	19,25 $\pm$ 3,20*	21,75 $\pm$ 2,22*	0,91 $\pm$ 0,16

тара, 2 роки зберігання			
-------------------------	--	--	--

\* - дані статистично суттєво відрізняються від водопровідної води, яку було відстояно в темному місці протягом 2 тижнів при кімнатній температурі у відповідному типі тари.

У двох серіях експерименту порівняно з контролем виявлені відмінності є статистично значущими ( $t=2,08$ , при  $tst=2,05$ ;  $t=4,47$ , при  $tst=2,04$ , відповідно). Слід зазначити, що в цьому випадку, у порівнянні зі скляними ємностями, інгібуючий вплив на процес росту був більш вираженим під впливом води з пластикових ємностей. Але різниця між типами тари не є статистично значущою.

Водопровідна вода, експонована протягом двох років в пластиковій тарі з-під води «Von Buasson», також негативно вплинула на ріст коренів проростків ячменю - середня довжина коренів не перевищувала  $19,25 \pm 3,20$  мм, в порівнянні з  $27,80 \pm 4,89$  мм для проростків, вирощених на водопровідній воді, що зберігалася в темноті при кімнатній температурі в пластиковій ємності з-під води «Малятко» на протязі 2 тижнів ( $t=3,08$ , при  $tst=2,04$ , відмінності достовірні).

Варто відзначити, що вода, яка піддавалася стресовим температурам в скляній тарі, не мала статистично достовірного впливу на ріст епикотилів проростків ячменю (для варіанту «склянна тара, кімнатна  $t^\circ$  / склянна тара, мороз»  $t=0,83$  при  $tst=2,5$ ; для варіанта «склянна тара, кімнатна  $t^\circ$  / склянна тара, сонце»  $t=1,07$ , при  $tst=2,05$ ). Тоді як вода, з пластикової ємності як після дії стресових температур, так і в результаті довготривалого зберігання води - значно змінилися темпи зростання епикотилів ячменю: у варіанті «мороз, пластикова тара, 2 тижні зберігання» - посилила процес росту у епикотилів (з  $25,55 \pm 2,64$  мм у варіанті «кімнатна  $t^\circ$ , пластикова тара, 2 тижні зберігання» до  $29,63 \pm 2,74$  мм у варіанті «мороз, пластикова тара, 2 тижні зберігання»;  $t=2,25$  при  $tst=2,04$ , різниця статистично значуща), тоді як у варіантах

«сонце, пластикова тара, 2 тижні зберігання» і «кімнатна  $t^{\circ}$ , пластикова тара, 2 роки зберігання» - інгібувала ріст епикотилів з  $25,55 \pm 2,64$  мм до  $21,82 \pm 2,71$  мм і  $21,75 \pm 2,22$  мм, відповідно ( $t=2,13$ , при  $tst=2,04$  для варіанту «сонце, пластикова тара»;  $t=2,35$ , при  $tst=2,04$  для варіанту «кімнатна  $t^{\circ}$ , пластикова тара, 2 роки»).

Аналіз співвідношення довжини кореня до довжини епикотилія показує, що умови зберігання водопровідної води не лише впливають на її абсолютні характеристики росту, а й впливають на процес координації розвитку органів рослин. Порівняно з водою, яка витримувалась у темряві протягом 2 тижнів при кімнатній температурі (контроль), порушення умов зберігання води призвело до значного зменшення цього показника.

До того ж, в скляній ємності це зниження, порівняно з  $1,25 \pm 0,19$  в контролі, склало  $0,94 \pm 0,18$  і  $0,94 \pm 0,16$  одиниць (для води, яка піддавалася замороженню-таненню і впливу сонця, відповідно) ( $t=2,33$  при  $tst=2,05$  для варіанта «мороз»;  $t=2,70$  при  $tst=2,05$  для варіанту «сонце»). А в пластиковій ємності - падіння значення показника координації росту проростків досягло  $0,57 \pm 0,13$  та  $0,80 \pm 0,16$  одиниць відповідно, порівняно з  $1,10 \pm 0,17$  для контролю (для варіантів, які підлягали заморожуванню-таненню та впливу сонячного світла) ( $t=5,30$  при  $tst=2,04$  для варіанту «мороз»;  $t=2,33$  при  $tst=2,04$  для варіанту «сонце»).

Зберігання водопровідної води протягом двох років в пластиковій ємності з-під води "Von Vuasson" призвело до певного зниження значень показника координації росту проростків: з  $1,10 \pm 0,17$  до  $0,91 \pm 0,16$  одиниць. Однак це зниження не було статистично значущим ( $t = 1,75$  при  $tst = 2,04$ ), і воно не досягло рівня, встановленого для води, що зберігалася у пластикових ємностях протягом 2 тижнів після екстремальних коливань температури.

### 3.4.2. Обговорення отриманих результатів ростового фітотесту з проростками *Hordeum vulgare* L.

Медики та екологи широко критикують зберігання питної води в пластикових ємностях через велику кількість досліджень щодо викиду токсичних компонентів у воду пластиковими компонентами. Забруднення води, спричинене цими компонентами, пов'язане з порушенням системи температурного зберігання води, тривалим зберіганням води та багаторазовим використанням пластикових ємностей [33, 38, 39, 50, 51].

Слід зазначити, що більшість досліджень використовують питну воду у скляних ємностях як контроль, оскільки вона не містить компонентів, шкідливих для здоров'я людини, які пов'язані з виділенням токсичних речовин із стінок ємності. На основі аналізу літературних даних ми очікували виявити, що в процесі дослідження, порівняно з водою у скляній ємності, вода у пластиковій тарі буде мати більший негативний вплив на ріст проростків. Однак отримані нами дані показали, що не було статистично значущої різниці у реакції росту коренів модельних рослин на воду, що зберігається в різних типах ємності. Різницю виявили лише між температурними умовами зберігання питної води: і високі температури (+50°C) за рахунок зберігання на сонці, і низькі температури морозильної камери в трьох циклах заморожування-танення порівняно зі стандартними умовами зберігання, незалежно від того, якому типу ємності піддавалася питна вода стресовим температурам, це негативно вплинуло на біологічні характеристики питної води. Інші дослідники також виявили, що вода, яка зберігається у скляній тарі, має несподівану токсичність та

мутагенний ефект. Так, Evandri M.G. з колегами (2000) [35] при використанні методики Allium-test показали збільшення рівня хромосомних аберацій в клітинах коренів рослин під впливом води, яка знаходилася в скляній тарі на прямому сонячному світлі при температурах  $+18^{\circ}\text{C}$   $+38^{\circ}\text{C}$  порівняно з водою, яка зберігалася в скляній тарі в темряві при  $+40^{\circ}\text{C}$  [35].

Дослідження, проведені Ceretti E. з колегами (2010) [32], показали, що деякі зразки бутильованої мінеральної води, що зберігалася у пластикових та скляних ємностях при  $+40^{\circ}\text{C}$  протягом 10 днів, виявляли генотоксичну дію в мікроядерному тесті на цибулі та в кометному тесті на пошкодження ДНК білих кров'яних клітин людини. У той же час статистичний аналіз показує, що вміст мінеральних речовин у питній воді позитивно корелює з рівнем її генотоксичності, а хімічний аналіз не показує, що токсичні компоненти виділяються із пластикових контейнерів у воду. Отримані дані змусили Ceretti E. та його колеги (2010) дійти висновку, що на появу генотоксичних ефектів впливає мінералогічний склад води, але не тип тари для зберігання [32].

Sauvant M.P. та його колеги (1994) [44] проводили хімічний аналіз речовин, що переносяться з тари в воду, а також тестували бутильовану в скляній і в ПЕТ-пластиковій тарі воду за допомогою війкових найпростіших *Tetrahymena pyriformis* і фібробластів. Хімічний аналіз не виявив суттєвих змін у складі води, і обидва біотести показали, що вода стає токсичною після зберігання її в будь-якому типі тари (скло, ПЕТ-пластик) більше 18 місяців [44]. Питна вода в пляшках містить розчинені мінерали та органічні компоненти, які пов'язані з природними компонентами питної води та речовинами, які потрапляють у воду під час процесу стерилізації та розливу в пляшки. Екстремальна температура навколишнього середовища під час зберігання води впливає на стабільність цих речовин та характер їх взаємодії, тим самим негативно впливає на біологічні характеристики питної води.

Зокрема, у цьому дослідженні ми використовували водопровідну воду, яка може містити залишки продуктів її хлорування. Greifenstein M. з колегами (2013) [39] було встановлено, що при довготривалому зберіганні води залишки дезінфектантів продукують тригалометани [39]. А Liu Y. і Mou S. (2004) [40] було показано, що під час зберігання бутильованої води побічні продукти хлорування води не розкладаються (крім дихлороцтової кислоти) [40]. Отже, стресові температури могли допомогти перетворити побічні продукти хлорування водопровідної води в більш токсичні похідні, що і виявив ростовий фітотест для обох типів тари, в яких зберігалася питна вода.

Слід зазначити, що виявлений нами токсичний ефект води, яка експонувалась на прямому сонячному світлі, не може бути аргументом проти використання методики SODIS сонячної стерилізації питної води, описаної вище, оскільки нами були порушені технологічні умови, які, зокрема: 1) передбачають використання нової ємності, а не тієї, що була у вживанні; 2) а також – під час періоду дезінфекції воду потрібно витягувати з ємності на ніч. Дослідження проведені іншими науковцями свідчать про те, що дотримання технологічних вимог SODIS стерилізації не призводить до виходу зі стінок тари токсичних компонентів в концентраціях, які перевищують гігієнічні нормативи [26, 45, 49] і не порушує біологічні характеристики питної води [29].

Наші дослідження виявили різницю в напрямку реакції росту епікотилів проростків під впливом води з пластикових ємностей, яка піддавалася високим та низьким стресовим температурам, що безпосередньо говорить про різний тип речовин, які з'являються у воді в результаті дії різних стресових температур. Zaki G. і Shoeib T. (2018) було встановлено, що зберігання питної води, бутильованої в ПЕТ-пластиковій ємності, на сонці при +45°C або в холодильнику при +4°C протягом 6 місяців призводить до переходу в воду інших речовин, ніж при зберіганні бутильованої води за кімнатної температури [51].

Слід відзначити, що серед речовин, що надходять у питну воду із пластикових ємностей, деякі похідні мають гормоноподібний механізм дії [41, 47, 48]. Виявлені в нашій експериментальній моделі «проростаюче насіння» морфогенетичні і ростові феномени (зміна координації росту проростків, активний ріст епикотилів проростків) можуть бути певною мірою пов'язані з регуляторним механізмом дії речовин, які надходять у воду зі стінок ємкості, або - через модифіковані побічні продукти дезінфекції водопровідної води. Зокрема, Qiu Z. з колегами (2013) було встановлено, що бісфенол А є складовою пластикових контейнерів низької щільності та речовиною, що руйнує біологічну ендокринну систему. Низькі концентрації цієї речовини можуть сприяти процесу росту бруньок саджанців сої, тоді як високі концентрації можуть гальмувати процес росту [42].

Цікаво те, що Real M. з колегами (2015) за допомогою спеціального методу біопроби було встановлено, що всі проаналізовані зразки бутильованої води мали гормональну активність: води бутильовані, як в склі, так і в пластику. Автори дослідження дійшли висновку, що джерелом гормоноподібних ефектів може бути склад води та процес розливу в пляшки, а не тара [43]. Оскільки тест на вирощування рослин, який використовується в нашому експерименті, не такий чутливий до гормоноподібного механізму дії речовин, порівняно із спеціалізованим методом біологічного аналізу на гормоноподібні речовини, це може бути однією з причин, чому ми не виявили ефекту різноспрямованого росту епикотилів при різних стресових температурах під впливом води, яка експонувалася у скляних ємностях. З іншого боку, відомо, що хімічний склад компонентів питної води певним чином залежить від типу тари, яка використовується для зберігання питної води, що вочевидь вплинуло на спрямованість ростової відповіді епикотилів проростків модельних рослин.

### 3.5. Рекомендації щодо оптимальних умов зберігання питних бутильованих вод

Як правило, питна вода зберігається в пластикових або скляних ємностях і попередньо обробляється для запобігання розмноженню шкідливих мікроорганізмів та бактерій. Для зберігання від 20 до 50 літрів рідини використовують звичайні пластикові ємності з кришками. У той же час необхідно враховувати дотримання температурного режиму – оптимальна температура не повинна перевищувати +25 градусів Цельсія. Резервуар для води повинен знаходитися в темному місці без попадання прямих сонячних променів. Найкраще зберігати воду у провітрюваному приміщенні, забороняється зберігати пляшки з водою біля батареї при увімкненому опаленні [16].

При повторному використанні та неправильному поводженні ємності з поліетилену (ПЕ), поліетилентерефталату (ПЕТ) і пляшки з полівінілхлориду (ПВХ) починають виділяти токсичні речовини, шкідливі для здоров'я людини. Зверніть увагу, що після тривалого зберігання вода починає втрачати свої корисні властивості. Наприклад, термін зберігання  $H_2O$  у скляній тарі становить 2-3 роки, а в пластиковій ємності – лише кілька місяців. Треба пам'ятати, що бутильована вода повинна бути не тільки безпечною для здоров'я, але і бути фізіологічно повноцінною, містити в собі всі необхідні елементи. Якість і термін придатності такої води залежать від правильної експлуатації бутилів, а також умов її зберігання.

Дотримання основних вимог до зберігання питної води забезпечує збереження її корисних властивостей і безпеку для організму.





## ВИСНОВКИ

1. Бутилювання питних вод створює потенційні ризики їх хімічного і мікробіологічного забруднення як в процесі водопідготовки і бутилювання, так і в процесі транспортування і зберігання. Недостатня стерилізація бутильованої води є фактором розвитку інфекційних захворювань у населення; тоді як присутність у питній бутильованій воді залишкових кількостей дезінфікуючих речовин, продуктів знезараження води, а також вихід компонентів тари у питну воду може становити ризики для здоров'я споживачів. Переходу компонентів пластикової тари до питної води сприяє невиконання виробниками діючих вимог щодо хімічного складу і хімічної та механічної стійкості пластику, а також вимог до температури, освітлення і тривалості зберігання бутильованих питних вод.

2. Захист населення від споживання неякісної питної води забезпечується шляхом хімічного аналізу складу питних вод, а також проведенням біотестування зразків води за допомогою модельних організмів, оскільки в багатьох випадках хімічний аналіз не дає однозначної відповіді на питання безпечності питної води через складні результуючі ефекти взаємодії різних хімічних речовин, які входять до складу питної води. Серед різних типів модельних організмів рослинні біотести є простими у виконанні, високочутливими до токсичних і мутагенних ефектів компонентів питної води і демонструють високий рівень кореляції результатів дослідження з відповідними біотестами на модельних тваринах і на культурі клітин людини.

3. Аналіз питних вод м. Херсона з використанням Allium тесту дозволив за біометричними показниками розташувати тестовані зразки в порядку погіршення ростових якостей води: вода питна розливна (м. Херсон, вул. Дружби, 10) > водопровідна вода з центральної мережі

водопостачання > колодязна вода > вода бутильована (торгівельна мережа «АТБ», м. Херсон, вул. Суворова 4, найгірші ростові показники).

Ростовий фітотест з використанням модельної рослини *Allium cepa* L. показав, що зберігання водопровідної питної води в пластиковій тарі протягом 15 діб порівняно зі скляною тарою призводить до достовірного погіршення якості питної води, яке засобами Allium-тесту реєструється як зменшення енергії проростання насіння та гальмування росту проростків. При цьому рівень інгібування ростових процесів залежав від температури зберігання води і був вищим для води, яка знаходилася в пластиковій тарі при +20°C.

Ростовий фітотест з модельною рослиною ячмінь звичайний (*Hordeum vulgare* L.) показав, що пророщення насіння ячменю на питній водопровідній воді, яка експонувалася на сонці або в умовах циклічного замороження-танення: 1) призводить до пригнічення росту коренів проростків порівняно зі стандартними умовами зберігання питної води як при експозиції в пластиковій, так і в скляній тарі; 2) викликає або інгібування, або стимуляцію росту епикотилів проростків в залежності від типу зовнішнього впливу на воду при експозиції води у пластиковій тарі; 3) достовірно впливає на координацію росту органів проростків в усіх серіях експерименту.

В цілому, отримані дані свідчать про те, що зберігання питної водопровідної води з порушенням температурних умов і умов освітлення призводить до погіршення її біологічних властивостей як за умов знаходження у пластиковій, так і в скляній тарі, що може бути пов'язаним із виходом токсичних речовин зі стінок пластикової тари або з перетворенням речовин, які присутні у самій питній воді. При цьому ростовий ефект води, яка зберігалася в пластиковій тарі був виражений сильніше порівняно зі скляною тарою.

Згідно ДСанПіН 2.2.4-171-10, якщо відсоток інгібування біологічних процесів під час проведення біотестування питної води

перевищує 50% (для запропонованих в держстандарті тест-об'єктів) – така вода вважається токсичною і є не придатною для споживання. Оскільки відсоток інгібування ростових процесів у проростків цибулі для води, яка зберігалася в пластиковій тарі перевищів значення 50%, порівняно з водою, яка зберігалася в скляній тарі, є підстави вважати, що означена питна вода є не придатною для споживання людиною.

Для модельної рослини ячмінь звичайний (*Hordeum vulgare* L.) відсоток гальмування ростових процесів у коренів водою, яка зберігалась в пластиковій тарі порівняно зі скляною тарою не перевищував 27,9% - 43,4% в залежності від схеми експерименту, що свідчить про меншу чутливість означеної тест-системи порівняно з *Allium* тестом.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. «Бутильована питна вода в Україні переважно якісна». Інформація Держспоживінспекції. URL: <http://ua.racurs.ua/news-16340-butylovana-pytna-voda-v-ukrayini-perevajno-yakisna-derjspojyv-inspekciya>.
2. Антонова Г.С., Засядько Т.А. Результати біотестування бутильованої питної води з використанням риб: Матеріали наукової конференції співробітників та студентів КНУ ім. Мих. Остроградського: 2008. 373 с.
3. Архипчук В.В, Гончарук В.В. Біотестування як метод оцінки якості питних вод. *Вісник НАН України*. 2006. № 10. С. 54-57.
4. Архипчук В.В., Гончарук В.В. Комплексная оценка токсичности, цито- и генотоксичности полигесаметилenguанидина с использованием растительных и животных тест-организмов и их клеток. *Химия и технология воды*. 2007. Т. 29. № 4. С. 357-369.
5. Архипчук В.В., Гончарук В.В. Проблемы качества питьевых бутилированных вод. *Химия и технология воды*. 2004. Т. 26. № 4. С. 403-414.
6. Болтіна І. В., Верголяс М. Р., Повякель Л. І., Злацький І. А., Завальна В. В., Коваленко О. В., Васецька О. П., Заєць Є. Р., Семенова А. Ю. Комплексне дослідження якості води різного призначення. Досягнення і проблеми генетики, селекції та біотехнології. УТГіС. Київ: ЛОГОС. 2012. Т. 4. С. 219–224.
7. Буданцев А.Ю., Кутышенко В.П. Действие метотрексата на первичный рост корней Allium сера. *Фундаментальные исследования*. 2012. № 11 (4). С. 833-836.
8. Верголяс М.Р., Гончарук В.В. Оценка контроля качества воды с помощью тест-организмов и их клеток. *Химия и технология воды*. 2005. Т. 38. № 1. С. 20-16.

9. Верголяс М.Р., Луценко Т.В., Гончарук В.В. Цитотоксичний вплив хлорфенолів на клітини кореневої меристеми насіння цибулі батунна (*Allium fistulosum* L.). *Цитология и генетика*. 2013. Т. 6. № 1. С. 44-49.
10. Гаранько Н.М., Ісламов В.О. Оцінка питної води за допомогою методів біотестування. *Екологія довкілля та безпеки життєдіяльності*. 2003. № 5. С. 34-37.
11. Гончарук В.В., Архипчук В.В., Терлецька Г.В. Комплексна оцінка якості фасованих вод. *Вісник НАН України*. 2005. № 3. С. 47-58.
12. Гончарук В.В., Коваленко В.Ф., Злацкий И.А. Сравнительная характеристика качества питьевых вод различного происхождения по результатам комплексного биотестирования. *Химия и технология воды*. 2012. Т. 34. № 1. С. 98-104.
13. Дегтярь С.В. Сравнительный анализ результатов биотестирования водопроводной и фасованной воды в кременчугском районе. *Екологія та ноосферологія*. 2012. Т. 23. № 1–2. С. 79-83.
14. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Державні санітарні норми та правила. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10> (дата звернення: 15.04.2019).
15. ДСТУ 7525:2014. Національний стандарт України. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. URL: [http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id\\_doc=61154](http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=61154) (дата звернення: 15.04.2019).
16. Завгородний В.К. Применение пластических масс. Машиностроение. Москва. 1970. С 596.
17. Крайнюков О.М. Дослідження залежності між узагальненим показником рівня забрудненості води та її токсичними властивостями. Збірник наукових статей. Вінниця. 2011. Т. 1. С. 207–209.

18. Кузнєцов Ю.М., Жужа В.В., Макова О.О., Борисов П.П. Аналіз якості питної води в м. Херсоні. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksna-gigienichna-otsinka-yakosti-vodi-vodozaboru-pitnoyi-vodi-ta-tehnologichnoyi-shemi-vodopidgotovki-filtruvalnoyi-stantsiyi> (дата звернення: 15.04.2019).
19. Куцоконь Н.В. Рослинні тест-системи для визначення генотоксичності. *Вісник НАН України*. 2010. № 4. С. 48-52.
20. Ломагин А.Г., Ульянова Л.В. Новый тест на загрязненность воды с использованием ряски – *Lemna minor (L.) Физиология растений*. 1993. № 2. С. 327-328.
21. Методики биотестирования. URL: <http://duckweed.kubagro.ru/method.htm> (дата звернення: 15.04.2019).
22. Онищенко Г.Г., Рахманин Ю.А., Кармазинов Ф.В. Бенчмаркинг качества питьевой воды. *Новый журнал*. Санкт-Петербург, 2013. С. 464.
23. Сидорович М.М., Алексєєва С.А., Бекеш Г.М. Визначення якості питної води за допомогою ALLIUM TEST. Теорія і практика сучасного природознавства: збірник наук. праць. Херсон. 2011. С. 245-248.
24. Яковлєв В.В. Інженерні заходи покращення якості колодязних вод. Комунальне господарство міст. Науково-техн. зб .2011.Вип..97. С.86-92.
25. Яцик А.В., Грищенко Ю.М., Волкова Л.А. Водні ресурси: використання, охорона, відтворення. К.: Генеза. 2007. С 360 .
26. Andra S.S., Makris K.C., Shine J.P. Frequency of use controls chemical leaching from drinking-water containers subject to disinfection. *Water Res.* 2011. Vol. 45(20). P. 6677-6687. DOI: 10.1016/j.watres.2011.10.001. 51

27. Arkhipchuk V.V., Goncharuk V.V.J. Estimation of drinking bottled water quality by biotesting methods. *Water Chem. and Technol.* 2004. № 4. P. 403–414.
28. Bach C., Dauchy X., Severin I., Munoz J.F. Effect of sunlight exposure on the release of intentionally and/or non-intentionally added substances from polyethylene terephthalate (PET) bottles into water: chemical analysis and in vitro toxicity. *Food Chem.* 2014. Vol. 162. P. 61-71. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.04.020.
29. Bach C., Dauchy X., Severin I., Munoz J.F., Etienne S., Chagnon M.C. Effect of sunlight exposure on the release of intentionally and/or non-intentionally added substances from polyethylene terephthalate (PET) bottles into water: chemical analysis and in vitro toxicity. *Food Chem.* 2014. Vol. 162. P. 63-71. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.04.020.
30. Biscardi D., Monarca S., Senatore F. Evaluation of the migration of mutagens/carcinogens from PET bottles into mineral water by Tradescantia/micronuclei test, Comet assay on leukocytes and GC/MS/Sci. Total Environ. 2003. Vol. 302(1-3). P. 101-108.
31. Ceretti E., Zani C., Guzzella L., Scaglia M., Berna V. Comparative assessment of genotoxicity of mineral water packed in polyethylene terephthalate (PET) and glass bottles. *Water Res.* 2010. Vol. 44(5). P. 1462-1470. DOI: 10.1016/j.watres.2009.10.030.
32. Ceretti E., Zani C., Zerbini I., Guzzella L., Scaglia M., Berna V., Donato F., Monarca S., Feretti D. Comparative assessment of genotoxicity of mineral water packed in polyethylene terephthalate (PET) and glass bottles. *Water Res.* 2010. Vol. 44(5). P. 1462-1470. DOI: 10.1016/j.watres.2009.10.030.
33. Chapa-Martinez C.A., Hinojosa-Reyes L., Hernandez-Ramirez A., Ruiz-Ruiz E., Maya-Trevino L., Guzman-Mar J.L. An evaluation of the migration of antimony from polyethylene terephthalate (PET) plastic used for



bottled drinking water. *Sci. Total Environ.* 2016. Vol. 565. P. 511-518. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.04.184.

34. De Fusco R., Biscardi D., Pasquini R., Fatigoni C., Moretti M., Zanardini A., Monarca S. Studies of migration of potentially genotoxic compounds into water stored in pet bottles. *Food Chem. Toxicol.* 1994. Vol. 32(9). P. 783-788.

35. Evandri M.G., Tucci P., Bolle P. Toxicological evaluation of commercial mineral water bottled in polyethylene terephthalate: a cytogenetic approach with *Allium cepa*. *Food Addit. Contam.* 2000. Vol. 17(12). P. 1037-1045.

36. Fernandez-Ibanez P., McGuigan K.G. A preliminary Ames fluctuation assay assessment of the genotoxicity of drinking water that has been solar disinfected in polyethylene terephthalate (PET) bottles. *J. Water Health.* 2010. Vol. 8(4). P. 712-719. DOI: 10.2166/wh.2010.136.

37. Fiskesjö G. The *Allium* test as a standard in environmental monitoring. *Hereditas.* 1985. V. 102. P. 99-112.

38. Franz R., Gmeiner M., Gruner A., Kemmer D., Welle F. Diffusion behaviour of the acetaldehyde scavenger 2-aminobenzamide in polyethylene terephthalate for beverage bottles. *Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control. Expo. Risk Assess.* 2016. Vol. 33(2). P. 364-372. DOI: 10.1080/19440049.2015.1128566.

39. Greifenstein M., White D.W., Stubner A., Hout J., Whelton A.J. Impact of temperature and storage duration on the chemical and odor quality of military packaged water in polyethylene terephthalate bottles. *Sci. Total Environ.* 2013. Vol. 456-457. P. 376-383. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.03.092.

40. Liu Y., Mou S. Determination of bromate and chlorinated haloacetic acids in bottled drinking water with chromatographic methods. *Chemosphere.* 2004. Vol. 55(9). P. 1253-1258.

41. Pinto B., Reali D. Screening of estrogen-like activity of mineral water stored in PET bottles. *Int. J. Hyg. Environ. Health*. 2009. Vol. 212(2). P. 228-232. DOI: 10.1016/j.ijheh.2008.06.004.
42. Qiu Z., Wang L., Zhou Q. Effects of bisphenol A on growth, photosynthesis and chlorophyll fluorescence in above-ground organs of soybean seedlings. *Chemosphere*. 2013. Vol. 90(3). P. 1274-1280. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2012.09.085.
43. Real M., Molina-Molina J.M., Jimenez-Diaz I., Arrebola J.P., Saenz J.M., Fernandez M.F., Olea N. Screening of hormone-like activities in bottled waters available in Southern Spain using receptor-specific bioassays. *Environ. Int.* 2015. Vol. 74. P. 125-135. DOI: 10.1016/j.envint.2014.10.006.
44. Sauvant M.P., Pepin D., Bohatier J., Groliere C.A., Veyre A. Comparative study of two in vitro models (L-929 fibroblasts and *Tetrahymena pyriformis* GL) for the cytotoxicological evaluation of packaged water. *Sci. Total Environ.* 1994. Vol. 156(2). P. 159-167.
45. Schmid P., Kohler M., Meierhofer R., Luzi S., Wegelin M. Does the reuse of PET bottles during solar water disinfection pose a health risk due to the migration of plasticisers and other chemicals into the water. *Water Res.* 2008. Vol. 42(20). P. 5054-5060. DOI: 10.1016/j.watres.2008.09.025.
46. Tucci P., Bolle P. Toxicological evaluation of commercial mineral water bottled in polyethylene terephthalate: a cytogenetic approach with *Allium cepa*. *Food Addit. Contam.* 2000. Vol. 17(12). P. 1037-1045.
47. Wagner M., Oehlmann J. Endocrine disruptors in bottled mineral water: total estrogenic burden and migration from plastic bottles. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2009. Vol. 16(3). P. 278-286. DOI: 10.1007/s11356-009-0107-7.
48. Wagner M., Schlüsener M.P., Ternes T.A., Oehlmann J. Identification of putative steroid receptor antagonists in bottled water: combining bioassays and high-resolution mass spectrometry. *PLoS One*. 2013. Vol. 8(8). DOI: 10.1371/journal.pone.0072472.

49. Wegelin M., Canonica S., Alder A.C., Marazuela D., Suter M.J.F., Bucheli T.D., Haefliger O.P., Zenobi R., McGuigan K.G., Kelly M.T., Ibrahim P., Larroque M. Does sunlight change the material and content of polyethylene terephthalate (PET) bottles. *J. Water Supply Research & Technology e Aqua*. 2001. Vol. 50 (3).
50. Westerhoff P., Prapaipong P., Shock E., Hillaireau A. Antimony leaching from polyethylene terephthalate (PET) plastic used for bottled drinking water. *Water Res.* 2008. Vol. 42(3). P. 551-556.
51. Zaki G., Shoeib T. Concentrations of several phthalates contaminants in Egyptian bottled water: Effects of storage conditions and estimate of human exposure. *Sci. Total Environ.* 2018. Vol. 618. P. 142-150. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.10.337.

## ДОДАТКИ

## Додаток А

## Критичні точки критерію Стьюдента при різних рівнях значущості

Число ступенів свободи <i>k</i>	α, %			Число ступенів свободи <i>k</i>	α, %		
	5	1	0,1		5	1	0,1
1	12,71	63,66	64,60	18	2,10	2,88	3,92
2	4,30	9,92	31,60	19	2,09	2,86	3,88
3	3,18	5,84	12,92	20	2,09	2,85	3,85
4	2,78	4,60	8,61	21	2,08	2,83	3,82
5	2,57	4,03	6,87	22	2,07	2,82	3,79
6	2,45	3,71	5,96	23	2,07	2,81	3,77
7	2,37	3,50	5,41	24	2,06	2,80	3,75
8	2,31	3,36	5,04	25	2,06	2,79	3,73
9	2,26	3,25	4,78	26	2,06	2,78	3,71
10	2,23	3,17	4,59	27	2,05	2,77	3,69
11	2,20	3,11	4,44	28	2,05	2,76	3,67
12	2,18	3,05	4,32	29	2,05	2,76	3,66
13	2,16	3,01	4,22	30	2,04	2,75	3,65
14	2,14	2,98	4,14	40	2,02	2,70	3,55
15	2,13	2,95	4,07	60	2,00	2,66	3,46

16	2,12	2,92	4,04	120	1,98	2,62	3,37
17	2,11	2,90	3,97	$\infty$	1,96	2,58	3,29
<i>P</i>	0,05	0,01	0,001	-	0,05	0,01	0,001

**Аналіз впливу різних типів питної води на енергію  
проростання насіння**

$$E = \frac{n}{N} * 100\% \qquad \delta_x = \sqrt{\frac{E * (100 - E)}{n}}$$

$$E_1 = \frac{49}{100} * 100\% = 49\%$$

$$\delta_{x1} = \sqrt{\frac{49 * (100 - 49)}{100}} = 4.99\%$$

$$E_2 = \frac{6}{100} * 100\% = 6\%$$

$$\delta_{x2} = \sqrt{6 * 6} = 2.44\%$$

$$E_3 = \frac{20}{100} * 100\% = 20\%$$

$$\delta_{x3} = \sqrt{\frac{20 * (100 - 20)}{100}} = 4\%$$

$$E_4 = \frac{30}{100} * 100\% = 30\%$$

$$\delta_{x4} = \sqrt{\frac{30 * (100 - 30)}{100}} = 4.58\%$$

$$E_5 = \frac{38}{100} * 100\% = 38\%$$

$$\delta_{x5} = \sqrt{\frac{38 * (100 - 38)}{100}} = 4.83\%$$

$$\delta = \delta_x * t_{st}$$

$$\delta 1 = \delta_1 * 1.98 = 9.88\%$$

$$\delta 2 = \delta_2 * 1.98 = 4.83\%$$

$$\delta 3 = \delta_3 * 1.98 = 7.92\%$$

$$\delta 4 = \delta_{4x} * 1.98 = 9.07\%$$

$$\delta 5 = \delta_{5x} * 1.98 = 9.56\%$$

## Додаток В

**Статистичний аналіз впливу питної водопровідної води різних типів на довжину проростків цибулі.**

**Вплив свіжої питної водопровідної води на розвиток насіння цибулі**

Довжина даного проростка	Кількість проростків даного розміру	Сумарна довжина проростків даного розміру	Різниця між середнім і кожним проростком $\Delta x = (l_{\text{сер.}} - l)$	$\Delta x^2$	$\Delta x^2 * N$  N- кількість проростків
1 мм.	5	5	$ 1-4.4 =3.4$	11.56	57.8
2 мм.	10	20	$ 2-4.4 =2.4$	5.76	57.6
3 мм.	6	18	$ 3-4.4 =1.4$	1.96	11.76
4 мм.	5	20	$ 4-4.4 =0.4$	0.16	0.8
5 мм.	8	40	$5-4.4=0.6$	0.36	2.88
6 мм.	7	42	$6-4.4=1.6$	2.56	17.92
7 мм.	4	28	$7-4.4=2.6$	6.76	27.04
9 мм.	1	9	$9-4.4=4.6$	21.16	21.16
10 мм.	1	10	$10-4.4=5.6$	31.36	31.36
12 мм.	2	24	$12-4.4=7.6$	57.76	115.52
	$\sum_{\square} \square 49$	$\sum_{\square} \square 216$			$\sum_{\square} \square 343.84$

$$l_{\text{сер.}} = 216/49 = 4.4 \text{ мм.}$$

$$l_{\text{сер.}} \pm S_x * t_{\text{st}}$$

$t_{\text{st}}$  при об'ємі виборки 49,  $k=49-1=48$ , при  $k=48$ ,  $t_{\text{st}} = 2.01$  (див. додаток А)

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{\square} \square x^2}{n * (n-1)}}, \text{ де } n = 49$$

$$S_x = \sqrt{\frac{343.84}{49 * 48}} = \sqrt{0.146} = 0.38$$

$$S_{\bar{x}} * t_{st} = 0.38 * 2.01 = 0.763.$$

$4.4 \pm 0.763$  мм.- довжина проростка у воді водопровідній свіжій.



**Вплив питної водопровідної води (що відстоювалась у пластиковій ємкості при 2°C) на розвиток насіння цибулі**

Довжина даного проростка	Кількість проростків даного розміру	Сумарна довжина проростків даного розміру	Різниця між середнім і кожним проростком $\Delta x = (l_{\text{сер.}} - l)$	$\Delta x^2$	$\Delta x^2 * N$ N- кількість проростків
1 мм.	10	10	$ 1-1.65 =0.65$	0.42	4.2
2 мм.	7	14	$2-1.65=0.35$	0.12	0.84
3 мм.	3	9	$3-1.65=1.35$	1.82	5.46
	$\sum_{i=1}^n \square 20$	$\sum_{i=1}^n \square 33$			$\sum_{i=1}^n \square 10.5$

$$l_{\text{сер.}} = 33/20 = 1.65 \text{ мм.}$$

$$l_{\text{сер.}} \pm S_x * t_{st}$$

tst при об'ємі виборки 20,  $k=20-1=19$ , при  $k=19$ ,  $t_{st} = 2.093$  (див. додаток 1)

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \square x^2}{n * (n-1)}}, \text{ де } n = 20$$

$$S_x = \sqrt{\frac{10.5}{20 * 19}} = \sqrt{0.027} = 0,16$$

$$S_x * t_{st} = 0.16 * 2.093 = 0.34$$

1.65 ± 0.34 мм.- довжина проростка пророщеного у водопровідній воді, що відстоювала у пластиковій ємкості 15 днів при температурі 2°C

**Вплив питної водопровідної води (що відстоювалась у пластиковій ємкості при 20°C) на розвиток насіння цибулі**

Довжина даного проростка	Кількість проростків даного розміру	Сумарна довжина проростків даного розміру	Різниця між середнім і кожним проростком $\Delta x = (l_{\text{сер.}} - l)$	$\Delta x^2$	$\Delta x^2 * N$ N- кількість проростків
1 мм.	4	4	4-1.5=2.5	6.25	25
2 мм.	1	2	2-1.5=0.5	0.25	0.25
3 мм.	1	3	3-1.5=1.5	2.25	2.25
	$\sum \square 6$	$\sum \square 9$			$\sum \square 27.5$

$$l_{\text{сер.}} = 9/6 = 1.5 \text{ мм.}$$

$$l_{\text{сер.}} \pm S_x * t_{\text{st}}$$

tst при об'ємі виборки 6,  $k=6-1=5$ , при  $k=5$ ,  $t_{\text{st}} = 2.571$  (див. додаток А)

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum \square x^2}{n * (n-1)}}, \text{ де } n = 6$$

$$S_x = \sqrt{\frac{27.5}{6 * (6-1)}} = \sqrt{\frac{27.5}{30}} = \sqrt{0.92} = 0.961$$

$$S_x * t_{\text{st}} = 0.961 * 2.571 = 2.46.$$

1.5 ± 2.46мм.- довжина проростка пророщеного у воді, що відстоювалась у пластиковій ємкості протягом 15 днів при температурі 20°C

**Вплив питної водопровідної води (що відстоювалась у скляній ємкості при 20°C) на розвиток насіння цибулі**

Довжина даного проростка	Кількість проросткі в даного розміру	Сумарна довжина проростків даного розміру	Різниця між середнім і кожним проростком $\Delta x = (l_{\text{сер.}} - l)$	$\Delta x^2$	$\Delta x^2 * N$ N- кількість проростків
1 мм.	11	11	$ 1-3.54 =2.54$	6.45	70.95
2 мм.	4	8	$ 2-3.54 =1.54$	2.37	9.48
3 мм.	8	24	$ 3-3.54 =0.54$	0.29	2.32
5 мм.	5	25	$5-3.54=1.46$	2.13	10.65
6 мм.	3	18	$6-3.54=2.46$	6.05	18.15
7 мм.	5	35	$7-3.54=3.46$	11.97	59.85
10 мм.	1	10	$10-3.54=6.46$	41.7	41.7
	$\sum_{\square} \square 37$	$\sum_{\square} \square 131$			$\sum_{\square} \square 213,1$

$$l_{\text{сер.}} = 131/37 = 3.54 \text{ мм.}$$

$$l_{\text{сер.}} \pm S_x * t_{\text{st}}$$

tst при об'ємі виборки 37,  $k=37-1=36$ , при  $k=36$ ,  $t_{\text{st}} = 2.03$  (див. додаток А)

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{\square} \square x^2}{n * (n-1)}}, \text{ де } n = 37$$

$$S_x = \sqrt{\frac{213.1}{37 * (37-1)}} = \sqrt{\frac{213.1}{37 * 36}} = \sqrt{0,16} = 0,4$$

$$S_x * t_{\text{st}} = 0.4 * 2.03 = 0.812.$$

3.54 ± 0.812 мм.- довжина проростка пророщеного у воді, що відстоювалась у скляній ємкості протягом 15 днів при температурі 20°C

**Вплив питної водопровідної води (що відстоювалась у скляній ємкості при 2°C) на розвиток насіння цибулі**

Довжина даного проростка	Кількість проростків даного розміру	Сумарна довжина проростків даного розміру	Різниця між середнім і кожним проростком $\Delta x = (l_{\text{сер.}} - l)$	$\Delta x^2$	$\Delta x^2 * N$ N- кількість проростків
1 мм.	5	5	$ 1-3.6 =2.6$	6.76	33.8
2 мм.	6	12	$ 2-3.6 =1.6$	2.56	15.36
3 мм.	5	15	$ 3-3.6 =0.6$	0.36	1.8
4 мм.	6	24	$4-3.6=0.4$	0.16	0.96
5 мм.	3	15	$5-3.6=1.4$	1.96	5.88
7 мм.	3	21	$7-3.6=3.4$	11.56	34.68
8 мм.	2	16	$8-3.6=4.4$	19.36	38.72
	$\sum_{\square} \square 30$	$\sum_{\square} \square 108$			$\sum_{\square} \square 131.2$

$$l_{\text{сер.}} = 108/30 = 3.6 \text{ мм.}$$

$$l_{\text{сер.}} \pm S_x * t_{\text{st}}$$

tst при об'ємі виборки 30,  $k=30-1=29$ , при  $k=29$ ,  $t_{\text{st}} = 2.045$  (див. додаток А)

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{\square} \square x^2}{n * (n-1)}}, \text{ де } n = 30$$

$$S_x = \sqrt{\frac{131.2}{30 * (30-1)}} = \sqrt{\frac{131.2}{30 * 29}} = \sqrt{0.15} = 0.39$$

$$S_x * t_{\text{st}} = 0.39 * 2.045 = 0.79.$$

$3.6 \pm 0.79$  мм.- довжина проростка пророщеного у воді, що відстоювалась у скляній ємкості протягом 15 днів при температурі 2°C

**Статистична достовірність результатів проведеного дослідження, щодо енергії проростання насіння.**

$$t = \frac{|6-20|}{\sqrt{5,95+16}} = \frac{14}{\sqrt{21,95}} = \frac{14}{4,68} = 2,99$$

Так як,  $t = 2,99$ , а це більше критерія Стьюдента ( $t_{st} = 1,98$ ), то відмінність в енергії проростання між водою, що зберігалась у пластиковій тарі при  $t = +2^{\circ}\text{C}$  та при  $t = +20^{\circ}\text{C}$  є статистично достовірною.

$$t = \frac{|37-30|}{\sqrt{4,58^2+4,83^2}} = \frac{7}{\sqrt{20,97+23,33}} = \frac{7}{6,66} = 1,05$$

Так як,  $t = 1,05$ , а це менше критерія Стьюдента ( $t_{st} = 1,98$ ), то відмінність в енергії проростання між водою, що зберігалась у скляній тарі при  $t = +2^{\circ}\text{C}$  та при  $t = +20^{\circ}\text{C}$  є статистично не достовірною.

$$t = \frac{|37-6|}{\sqrt{2,44^2+4,85^2}} = \frac{31}{\sqrt{5,95+23,33}} = \frac{31}{5,41} = 5,73$$

Так як,  $t = 5,73$ , а це більше критерія Стьюдента ( $t_{st} = 1,98$ ), то відмінність в енергії проростання між водою, що зберігалась у скляній тарі при  $t = +20^{\circ}\text{C}$  та водою, що зберігалась у пластиковій тарі при  $t = +20^{\circ}\text{C}$  є статистично достовірною.

$$t = \frac{|30-20|}{\sqrt{20,97+16}} = \frac{10}{\sqrt{36,97}} = \frac{10}{6,08} = 1,64$$

Так як,  $t = 1,64$ , а це менше критерія Стьюдента ( $t_{st} = 1,98$ ), то відмінність в енергії проростання між водою, що зберігалась у скляній тарі при  $t = +2^{\circ}\text{C}$  та водою, що зберігалась у пластиковій тарі при  $t = +2^{\circ}\text{C}$  є статистично не достовірною.

