

УДК 504.75.05

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF CONTAINER TYPES AND STORAGE CONDITIONS ON THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF BOTTLED DRINKING WATER BY PHYTOTESTING METHOD
ОЦІНКА ВПЛИВУ ТИПУ ТАРИ ТА УМОВ ЗБЕРІГАННЯ НА ЕКОЛОГІЧНУ БЕЗПЕКУ ПИТНОЇ БУТИЛЬОВАНОЇ ВОДИ МЕТОДОМ ФІТОТЕСТУВАННЯ

Kundelchuk O.P. / Кундельчук О.П.*c.b.s., as. prof. / к.б.н., доц.***Zaika K.A. / Заїка К.А.***stud./студ.***Semenyuk S.K. / Семенюк С.К.***c.b.s., as. prof. / к.б.н., доц.***Akimova M.O. / Акімова М.О.***assistant/ асистент**Kherson State University, Kherson, University str., 27, 73000**Херсонський державний університет, Херсон, вул. Університетська 27, 73000*

Анотація. *Вступ.* Бутильована питна вода є важливим продуктом на споживчому ринку, який користується значним попитом в усіх країнах світу. Проте, тривале знаходження питної води в тарі може мати негативний вплив на якість води. При цьому, пластикова тара вважається більш небезпечною для зберігання питної води порівняно зі скляною тарою через вихід з пластика у воду токсичних речовин (терефталатів, сурми і т.н.). Найбільшу небезпеку становить невиконання вимог до температури, освітлення та термінів зберігання питної бутильованої води. Оскільки під час зберігання або використання бутильована питна вода може потрапляти в різні температурні умови і умови освітлення – на сонці, в холодильник, в морозильну камеру, тощо - метою нашого дослідження було з'ясувати за допомогою ростового фітотесту, як порушення температури/освітлення під час зберігання питної води в різних типах тари впливає на її біологічні властивості.

Матеріали і методи. Насіння ячменю (*Hordeum vulgare*) пророщували на питній водопровідній воді, яка пройшла або експозицію на сонці (при +50 °С, 9 год), або три цикли замороження-танення в морозильній камері холодильника в скляній або пластиковій тарі і надалі протягом 2-х тижнів зберігалася у звичайних умовах температури і освітлення. На 4-у добу проростання у проростків вимірювали довжину коренів і епікотилів, розраховували відповідні середні значення ростових параметрів, а також обчислювали відношення довжини коренів до довжини епікотилів як показника координації росту органів проростка.

Результати дослідження. Пророщування насіння ячменю на питній водопровідній воді, яка експонувалася на сонці або в умовах циклічного замороження-танення: 1) призвело до гальмування росту коренів проростків порівняно зі стандартними умовами зберігання питної води; при цьому ефект пластикової тари порівняно зі скляною тарою був виражений сильніше, але відмінності між типами тари виявилися статистично не достовірними; 2) викликало гальмування або стимуляцію росту епікотилів проростків (в залежності від типу зовнішнього впливу на воду) при експозиції води у пластиковій, але не в скляній тарі; 3) достовірно вплинуло на координацію росту органів проростків в усіх серіях експерименту.

Висновки. Отримані дані свідчать про те, що зберігання питної води на сонці або в умовах циклічного замороження-танення супроводжується погіршенням її біологічних властивостей як за умов зберігання у пластиковій, так і в скляній тарі, що може бути пов'язаним із виходом токсичних речовин зі стінок пластикової тари або з термальним/фотохімічним перетворенням речовин, які присутні у питній воді або потрапляють у воду під час її дезінфекції, бутилювання і т.н.

Ключові слова: питна вода, пластикова та скляна тара, умови зберігання, ростовий фітотест.

Вступ. Результати багатьох експериментальних досліджень свідчать про те, що зберігання питної води в пластиковій тарі може становити небезпеку для здоров'я людини внаслідок переходу з пластика в воду шкідливих речовин: пластифікаторів, стабілізаторів і т.п. При цьому акцент робиться на особливу небезпеку тривалого зберігання бутильованої води в пластиковій тарі, а також її зберігання з порушенням температурних нормативів для продукції даного типу [6-8, 21].

З іншого боку, в понад 50 країнах Азії, Латинської Америки та Африки вже більше ніж 30 років використовується метод дезинфікування питної води сонячними променями (т.зв. Solar water disinfection, SODIS), який полягає в тому, що питну воду наливають в прозору тару (скляну або пластикову ПЕТ-тару) і потім експонують на сонці при температурах, що перевищують $+45^{\circ}\text{C}$. NB! ПЕТ-тара – пластикова тара, хімічну основу якої складає поліетилентерефталат. Тривалість експозиції води на сонці варіює від 6 годин і довше в залежності від інтенсивності сонячного випромінювання і стійкості патогенів. Ефект дезинфікування виникає в результаті комбінованої дії високих температур і світлового та ультрафіолетового (УФ) випромінювання. NB! Скло і пластик є прозорими для довгих УФ-А променів, але не для коротких УФ-В променів. Оскільки SODIS методика проста у використанні і не вимагає значних фінансових витрат, вона набула поширення в країнах, що розвиваються. На сьогоднішній день більш ніж 50 млн. людей п'ють воду, простерилізовану означеним способом [10]. Проте, не зважаючи на санітарно-епідемічну ефективність і економічну дешевизну методики, залишається проблема можливого виходу шкідливих речовин зі стінок тари в питну воду в процесі сонячної стерилізації.

У зв'язку з вищевикладеним, метою нашої роботи була перевірка потенційної токсичності води, яка зберігалася в пластиковій і скляній тарі при різних стресових температурах, з використанням рослинної тест-системи, кількісні параметри якої є чутливими до присутності у воді токсичних речовин.

Матеріали і методи. Підготовка води для проведення експерименту. Некип'ячену водопровідну воду з центральної водопровідної системи м. Херсона наливали в пластикову (з під дитячої води «Малютко») або скляну (скляна літрова банка) ємності і експонували: а) під прямими променями сонця протягом 3-х днів при температурі $+50^{\circ}\text{C}$ (сумарна тривалість експозиції склала 9 годин); б) піддавали триразовим циклам заморожування-танення в морозильній камері побутового холодильника «Днепр» (12 год заморожування при -18°C /12 год танення); в) експонували в темряві при кімнатній температурі $+22^{\circ}\text{C}$. Воду, яка пройшла відповідну обробку, зберігали в темряві при кімнатній температурі протягом двох тижнів. Крім того, в дослідженні тестували водопровідну воду, яка зберігалася в пластиковій тарі від питної води «Von Vuasson» протягом 2-х років.

Через два тижні в чашках Петрі на підготовлених зразках води пророщували насіння ячменю (*Hordeum vulgare*) в темряві при кімнатній

температурі. На 4 день пророщування підраховували кількість пророслого насіння, вимірювали довжину коренів (найбільшого кореня в мочкуватій кореневій системі) і довжину епикотилів. На підставі отриманих даних розраховували енергію проростання насіння, середню довжину коренів і епикотилів проростків, а також середній показник відношення довжини коренів до довжини епикотилів. Отримані дані статистично обробляли.

Результати проведених досліджень. Пророщування насіння ячменю на воді, яка пройшла кілька циклів заморожування-танення в пластиковій або скляній тарі, супроводжувалося зменшенням середньої довжини коренів в порівнянні з водою, що експонувалася протягом 2 тижнів в темному місці при кімнатній температурі. Так, довжина коренів у воді зі скляної тари знизилася з $28,80 \pm 6,44$ мм до $20,54 \pm 4,67$ мм, тоді як в пластиковій тарі - з $27,80 \pm 4,89$ мм до $15,74 \pm 3,60$ мм. В обох варіантах виявлені відмінності є статистично достовірними порівняно з контролем ($t=2,24$, при $tst=2,5$; $t=4,16$, при $tst=2,04$, відповідно). Слід зазначити, що ріст-гальмуючий ефект був більш різко виражений для води із пластикової тари порівняно зі скляною тарою. Але ці відмінності між типами тари не виявилися статистично достовірними. При цьому візуальний аналіз виявив аномальну морфологію коренів проростків, отриманих на воді, що пройшла цикли заморожування-танення в пластиковій тарі порівняно зі скляною тарою - коріння було деформованим, покрученим.

Таблиця 1.

Вплив води, яка підлягала дії екстремальних температур в скляній або пластиковій тарі, на ростові параметри 4-и денних проростків ячменю.

Варіант водопідготовки:	Довжина коренів $\pm Sx \cdot tst$, мм:	Довжина епикотилів $\pm Sx \cdot tst$, мм:	Відношення довжини коренів до довжини епикотилів $\pm Sx \cdot tst$
Скляна тара:			
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	$20,77 \pm 5,26^*$	$23,00 \pm 5,18$	$0,94 \pm 0,16^*$
Пластикова тара:			
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 тара, 2 роки зберігання	$19,25 \pm 3,20^*$	$21,75 \pm 2,22^*$	$0,91 \pm 0,16$

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

Епікотилі проростків, які пророщувалися на воді, що пройшла три цикли замороження-танення в скляній тарі, – не показали достовірних змін ростових параметрів порівняно з контролем. Тоді як вода із пластикової тари, в аналогічних умовах водопідготовки, – 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) (відмінності в даних є статистично достовірними, $t=2,25$, при $tst=2,04$).

Пророщування насіння ячменю на воді, яка експонувалася в скляній або пластиковій тарі під прямими сонячними променями (сумарна тривалість експозиції за три дні становила не менше 9 год при $+50^{\circ}\text{C}$) і потім зберігалася протягом 2-х тижнів, також призвело до гальмування росту коренів у порівнянні з водою, що не піддавалася сонячній обробці в скляній або пластиковій тарі: довжина коренів знизилася з $28,80 \pm 6,44$ мм до $20,77 \pm 5,26$ мм на воді, яка перебувала в скляній ємності, і з $27,80 \pm 4,89$ мм до $16,00 \pm 2,71$ мм на воді, експонованій в пластиковій тарі. В обох варіантах експерименту виявлені відмінності є статистично достовірними порівняно з контролем ($t=2,08$, при $tst=2,05$; $t=4,47$, при $tst=2,04$, відповідно). Слід відзначити, що і в даному випадку гальмування ростових процесів було більш яскраво вираженим в варіанті з водою, експонованій в пластиковій тарі порівняно з тарою скляною. Але відмінності між типами тари виявилися статистично не достовірними.

Водопровідна вода, експонована протягом двох років в пластиковій тарі з-під води «Von Vuasson», також мала негативний вплив 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 експонувалася в темряві при кімнатній температурі в пластиковій тарі з-під води «Малятко» протягом 2 тижнів ($t=3,08$, при $tst=2,04$, відмінності достовірні).

Слід зазначити, що вода, яка піддавалася стресовим температурам в скляній тарі, не мала статистично достовірного впливу на ріст епікотилів проростків ячменю (для варіанту «скло, кімнатна t° / скло, мороз» $t=0,83$ при $tst=2,5$; для варіанта «скло, кімнатна t° / скло, сонце» $t=1,07$, при $tst=2,05$). Тоді як вода, з пластикової тари, як після дії стресових температур, так і в результаті тривалого зберігання води - достовірно змінила інтенсивність росту епікотилів ячменю: у варіанті «мороз, пластик, 2 тижні зберігання» - посилила ростові процеси у епікотилів (з $25,55 \pm 2,64$ мм у варіанті «кімнатна t° , пластик, 2 тижні зберігання» до $29,63 \pm 2,74$ мм у варіанті «мороз, пластик, 2 тижні зберігання»; $t=2,25$ при $tst=2,04$, відмінності статистично достовірні), тоді як у варіантах «сонце, пластик, 2 тижні зберігання» і «кімнатна t° , пластик, 2 роки зберігання» - загальмувала ріст епікотилів 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, пластик»; $t=2,35$, при $tst=2,04$ для варіанту «кімнатна t° , пласти, 2 роки»).

Аналіз показника відношення довжини кореня до довжини епікотиля

дозволив встановити, що умови зберігання водопровідної води вплинули не тільки на її абсолютні ростові властивості, але і на процеси координації розвитку органів рослини. Порушення умов зберігання води призвело до статистично достовірного зниження даного показника в порівнянні з водою, відстояною протягом 2 тижнів в темному місці при кімнатній температурі (контроль). При цьому в скляній тарі 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 тарі - зниження величини показника координації росту органів проростків досягло $0,57 \pm 0,13$ і $0,80 \pm 0,16$ одиниць порівняно з $1,10 \pm 0,17$ в контролі (для варіантів, які підлягали замороженню-таненню і експозиції на сонці, відповідно) ($t=5,30$ при $tst=2,04$ для варіанту «мороз»; $t=2,33$ при $tst=2,04$ для варіанту «сонце»).

Тривале, протягом 2 років, зберігання водопровідної води в пластиковій тарі з-під води «Von Vuasson» призвело до певного зниження значень показника координації росту органів проростків: з $1,10 \pm 0,17$ до $0,91 \pm 0,16$ одиниць. Однак це зниження не є статистично достовірним ($t=1,75$ при $tst=2,04$) і не досягло рівня, встановленого для води, що зберігалася 2 тижні в пластиковій тарі після екстремальних коливань температури.

Обговорення отриманих результатів. Зберігання питної води в пластиковій тарі викликає багато зауважень у медиків і екологів через підтверджений в багатьох дослідженнях вихід з пластику у воду токсичних компонентів. При цьому рівень забруднення води означеними компонентами корелює з порушеннями температурного режиму зберігання води, а також з тривалим зберіганням води і повторним багаторазовим використанням пластикової тари [4, 6-7, 20-21]. Слід зазначити, що в більшості досліджень в якості контролю використовується питна вода, бутильована в скляній тарі, як така, що не містить небезпечних для здоров'я людини компонентів, пов'язаних із виходом токсичних речовин зі стінок тари.

На підставі аналізу літературних даних ми очікували виявити під час проведених нами досліджень більш негативний вплив на розвиток проростків води, яка зберігалася у пластиковій тарі порівняно з водою у скляній тарі. Але, отримані нами дані свідчать про відсутність статистично достовірних відмінностей в ростовій відповіді коренів модельних рослин на воду, яка зберігалася в тарі різних типів. Відмінності були виявлені лише між температурними умовами зберігання питної води: і високі температури ($+50^{\circ}\text{C}$) за рахунок експозиції на сонці, і низькі температури морозильної камери в трьох циклах заморожування-танення негативно впливали на біологічні властивості питної води, порівняно зі стандартними умовами зберігання, незалежно від типу тари, в якій вода експонувалася.

Неочікуваний токсичний і мутагенний ефект води, яка зберігалася в скляній тарі, був виявлений і іншими дослідниками. Так, Evandri M.G. з колегами (2000) [5] при використанні Allium-test методики показали збільшення рівня хромосомних аберацій в клітинах коренів рослин під впливом води,

експонованій 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 $+40^{\circ}\text{C}$ [5].

Дослідження, проведені Ceretti E. з колегами (2010) [3], показали, що деякі зразки мінеральної бутильованої води, яка зберігалася при $+40^{\circ}\text{C}$ протягом 10 днів як в пластиковій тарі, так і в скляній тарі демонстрували генотоксичний ефект в мікроядерному тесті на цибулі і в кометному тесті на пошкодження ДНК в лейкоцитах людини. При цьому статистичний аналіз виявив позитивну кореляцію між мінеральним складом питної води і рівнем її генотоксичності, а хімічний аналіз не показав виходу токсичних компонентів із пластика тари у воду. Отримані дані дозволили Ceretti E. з колегами (2010) зробити висновок про те, що на появу генотоксичного ефекту вплинув мінералогічний склад води, але не тип тари для її зберігання [3].

Sauvant M.P. з колегами (1994) [14] проводили хімічний аналіз речовин, що перейшли 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 значних змін компонентного складу води, тоді як обидва біотести показали токсичність води при її зберіганні в тарі будь-якого типу (скло, ПЕТ-пластик) більше 18 місяців [14].

Бутильована питна вода містить розчинені мінеральні і органічні компоненти, пов'язані як з природним складом питної води, так і з речовинами, які потрапляють у воду під час її стерилізації і бутильовання. Екстремальні температури навколишнього середовища під час зберігання води спроможні впливати на стабільність означених речовин і характер їх взаємодії між собою, що негативно впливає на біологічні властивості питної води.

Зокрема, в проведеному дослідженні ми використовували водопровідну воду, яка могла містити залишки продуктів її хлорування. Greifenstein M. з колегами (2013) [7] було встановлено, що при тривалому зберіганні води залишки дезінфектантів генерують тригалометанові похідні [7]. А Liu Y. і Mou S. (2004) [9] було показано, що при зберіганні бутильованої води побічні продукти хлорування води не розкладаються (крім дихлороцтової кислоти) [9]. Таким чином, стресові температури могли сприяти перетворенню побічних продуктів 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 означеної методики стерилізації, оскільки нами були порушені технологічні умови, які, зокрема: 1) передбачають використання нової тари, а не такої, яка була у вживанні; 2) а також – вимагають обов'язкового видалення води на ніч з тари протягом періода стерилізації. Дослідження проведені іншими науковими групами свідчать про те, що дотримання технологічних вимог SODIS стерилізації не призводить до виходу зі стінок тари токсичних компонентів в концентраціях, які перевищують гігієнічні нормативи [1, 15, 19] і не погіршує біологічні властивості питної води [2, 16].

В проведеному нами дослідженні були виявлені відмінності в спрямованості ростової відповіді епикотилів проростків при експозиції на воді з пластикової тари, яка підлягала дії високих або низьких стресових температур, що опосередковано свідчить про різний тип речовин, які з'являються у воді в наслідок дії різних стресових температур. Zaki G. i Shoeib T. (2018) [21] було встановлено, що при експозиції питної води, бутильованої в ПЕТ-пластиковій тарі, протягом 6 місяців на сонці при +45°C або в холодильнику при +4°C вихід речовин був більшим і в воду виходили речовини інші, ніж при зберіганні бутильованої води при кімнатній температурі [21].

При цьому, серед речовин, які виходять з пластику тари у питну воду, є похідні з гормоноподібним механізмом дії [11, 17-18]. Цілком можливо, що виявлені нами в експериментальній моделі «проростаюче насіння рослин» морфогенетичні і ростові феномени (зміни координації росту органів у проростків, активація росту епикотилів проростків) можуть бути частково пов'язані з регуляторним механізмом дії речовин, які з'являються у воді або в результаті їх виходу зі стінок тари, або - внаслідок модифікації побічних продуктів дезинфікування водопровідної води. Зокрема, Qiu Z. з колегами (2013) [12] було встановлено, що бісфенол А, який є компонентом пластикової тари і речовиною, яка руйнує ендокринну систему організмів, в низьких концентраціях сприяє ростовим процесам пагонів проростків сої, тоді як в високих концентраціях – гальмує ростові процеси [12].

Цікаво відзначити, що Real M. з колегами (2015) [13] за допомогою спеціального біотесту було виявлено, що всі проаналізовані зразки бутильованої води володіли гормональною активністю: і води, бутильованої в склі, і води, бутильованої в пластиці. Автори дослідження дійшли висновку, що джерелом гормонально-подібної дії може бути склад води і процедура бутильовання, а не пакувальна тара [13]. Оскільки ростовий фітотест, який використовувався в наших експериментах, є менш чутливим, ніж спеціалізовані біотести на гормоноподібний механізм дії речовин, це може бути однією з причин того, що нами для води, яка експонувалася в скляній тарі, різноспрямований ростовий ефект епикотилів для різних стресових температур виявлений не був. 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.

Висновки. В цілому, отримані нами в ході проведення експериментального дослідження результати, свідчать про те, що: а) зберігання води і в скляній, і в пластиковій тарі в умовах порушення температурного режиму може мати негативний вплив на біологічні властивості води вже через два тижні її зберігання; при цьому ріст-гальмуючі властивості води, експонованої в пластиковій тарі, можуть бути пояснені виходом зі стінок тари в воду токсичних речовин, тоді як гальмування росту коренів проростків, виявлене для води, експонованої в скляній тарі, може бути пояснено тим, що у водопровідній воді завжди присутні побічні продукти хлорування, які у відповідь на цикли заморожування-танення або експозиції на сонці спроможні

перетворюватися в більш токсичні похідні; б) тривале (протягом 2-х років) зберігання питної води в пластиковій тарі в стандартних умовах також супроводжується погіршенням її біологічних властивостей: або внаслідок змін в побічних продуктах стерилізації води, або в результаті виходу зі стінок тари шкідливих речовин.

Література:

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. 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.

6. 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.

7. 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.

8. Kubwabo C., Kosarac I., Stewart B., Gauthier B.R., Lalonde K., Lalonde P.J. Migration of bisphenol A from plastic baby bottles, baby bottle liners and reusable polycarbonate drinking bottles // *Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control. Expo. Risk Assess.* – 2009. – Vol. 26(6). – P. 928 - 937. doi: 10.1080/02652030802706725.

9. 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.

10. McGuigan K.G., Conroy R.M., Mosler H.J., du Preez M., Ubomba-Jaswa E., Fernandez-Ibañez P. Solar water disinfection (SODIS): a review from bench-top to

roof-top // J. Hazard Mater. – 2012. – Vol. 235-236. – P. 29 - 46. doi: 10.1016/j.jhazmat.2012.07.053.

11. 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.

12. 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.

13. 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.

14. 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.

15. 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.

16. Ubomba-Jaswa E., 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.

17. 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.

18. 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):e72472. doi: 10.1371/journal.pone.0072472.

19. 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? // Journal of Water Supply Research and Technology e Aqua. – 2001. – Vol. 50 (3). 125e133.

20. 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.

21. 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.

Abstract.

Introduction. Bottled drinking water is an important product in the consumer market and is in high demand in all countries of the world. However, long-term storage of drinking water in containers can have a negative impact on water quality. In this case, plastic containers are considered more dangerous to store drinking water than glass containers because of toxic substances (terephthalates, antimony, etc.) could coming out of the plastic. The greatest danger is the failure to meet the requirements for temperature, lighting and storage times for bottled drinking water. Because bottled drinking water can get into different temperature and lighting conditions during storage or use - in the sun, in the fridge, in the freezer, etc. - the purpose of our study was to find out by means of growth phytotest, as a violation of temperature / lighting during the storage of drinking water in different types of containers affects its biological properties.

Materials and methods. The seeds of barley (*Hordeum vulgare*) were germinated on drinking tap water, which was exposed either to the sun (at +50°C, 9 h), or three freeze-thaw cycles in the freezer compartment in a glass or plastic container and then was stored under normal temperature and lighting conditions for 2 weeks. After 4 days of germination the length of the seedlings roots and epicotyls was measured and the corresponding mean values were calculated, as well as the ratio of the length of the roots to the length of the epicotyls was calculated as an indicator of the growth coordination of the seedling organs.

Results of the research. The barley seeds germination on drinking tap water previously exposed to the sun or in cyclic freezing-melting conditions: 1) led to inhibition of seedling root growth compared to standard drinking water storage conditions; the effect of plastic containers was more pronounced compared to glass containers, but the differences between the types of containers were not statistically significant; 2) caused the inhibition or stimulation of the growth of epicotyls (depending on the type of external influence on the water) when exposed to water from plastic, but not glass containers; 3) significantly influenced the growth coordination of seedlings in all series of the experiment.

Conclusions. The obtained data indicate that the storage of drinking water in the sun or in the conditions of cyclic freezing-melting is accompanied by deterioration of its biological properties, both in terms of storage in plastic and glass containers, which may be associated with the release of toxic substances from the walls of plastic containers, or with thermal / photochemical conversion of substances present in drinking water or entering the water during its disinfection, bottling, etc.

Keywords: drinking water, plastic and glass containers, storage conditions, growth phytotest.

References:

1. Andra, S.S., Makris, K.C., Shine, J.P. (2011). Frequency of use controls chemical leaching from drinking-water containers subject to disinfection. *Water Res.* 45(20), pp. 6677-6687.
2. Bach, C., Dauchy, X., Severin, I., Munoz, J.F., Etienne, S., Chagnon, M.C. (2014). 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.* 162, pp. 63-71.
3. Ceretti, E., Zani, C., Zerbini, I., Guzzella, L., Scaglia, M., Berna, V., Donato, F., Monarca, S., Feretti, D. (2010). Comparative assessment of genotoxicity of mineral water packed in polyethylene terephthalate (PET) and glass bottles. *Water Res.* 44(5), pp. 1462-1470.
4. Chapa-Martinez, C.A., Hinojosa-Reyes, L., Hernandez-Ramirez, A., Ruiz-Ruiz, E., Maya-Trevino, L., Guzman-Mar, J.L. (2016). An evaluation of the migration of antimony from polyethylene terephthalate (PET) plastic used for bottled drinking water. *Sci. Total Environ.* 565, pp. 511-518.
5. Evandri, M.G., Tucci, P., Bolle, P. (2000). Toxicological evaluation of commercial mineral water bottled in polyethylene terephthalate: a cytogenetic approach with *Allium cepa*. *Food Addit. Contam.* 17(12), pp. 1037-1045.
6. Franz, R., Gmeiner, M., Gruner, A., Kemmer, D., Welle, F. (2016). 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. 33(2), pp. 364-372.

7. Greifenstein, M., White, D.W., Stubner, A., Hout, J., Whelton, A.J. (2013). Impact of temperature and storage duration on the chemical and odor quality of military packaged water in polyethylene terephthalate bottles. *Sci. Total Environ.* 456-457, pp. 376-383.

8. Kubwabo, C., Kosarac, I., Stewart, B., Gauthier, B.R., Lalonde, K., Lalonde, P.J. (2009). Migration of bisphenol A from plastic baby bottles, baby bottle liners and reusable polycarbonate drinking bottles. *Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control Expo. Risk Assess.* 26(6), pp. 928-937.

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

10. McGuigan, K.G., Conroy, R.M., Mosler, H.J., du Preez, M., Ubomba-Jaswa, E., Fernandez-Ibañez, P. (2012). Solar water disinfection (SODIS): a review from bench-top to roof-top. *J. Hazard Mater.* 235-236, pp. 29-46.

11. Pinto, B., Reali, D. (2009). Screening of estrogen-like activity of mineral water stored in PET bottles. *Int. J. Hyg. Environ. Health.* 212(2), pp. 228-232.

12. Qiu, Z., Wang, L., Zhou, Q. (2013). Effects of bisphenol A on growth, photosynthesis and chlorophyll fluorescence in above-ground organs of soybean seedlings. *Chemosphere.* 90(3), pp. 1274-1280.

13. Real, M., Molina-Molina, J.M., Jimenez-Diaz, I., Arrebola, J.P., Saenz, J.M., Fernandez, M.F., Olea, N. (2015). Screening of hormone-like activities in bottled waters available in Southern Spain using receptor-specific bioassays. *Environ. Int.* 74, pp. 125-135.

14. Sauvant, M.P., Pepin, D., Bohatier, J., Groliere, C.A., Veyre, A. (1994). Comparative study of two in vitro models (L-929 fibroblasts and *Tetrahymena pyriformis* GL) for the cytotoxicological evaluation of packaged water. *Sci. Total Environ.* 156(2), pp. 159-167.

15. Schmid, P., Kohler, M., Meierhofer, R., Luzi, S., Wegelin, M. (2008). 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.* 42(20), pp. 5054-5060.

16. Ubomba-Jaswa, E., Fernandez-Ibanez, P., McGuigan, K.G. (2010). 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.* 8(4), pp.712-719.

17. Wagner, M., Oehlmann, J. (2009). Endocrine disruptors in bottled mineral water: total estrogenic burden and migration from plastic bottles. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 16(3), p. 278-286.

18. Wagner, M., Schlüsener, M.P., Ternes, T.A., Oehlmann, J. (2013). Identification of putative steroid receptor antagonists in bottled water: combining bioassays and high-resolution mass spectrometry. *PLoS One.* 8(8):e72472.

19. 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. (2001). Does sunlight change the material and content of polyethylene terephthalate (PET) bottles? *J. Water Supply Research & Technology e Aqua.* 50 (3), 125e133.

20. Westerhoff, P., Prapaipong, P., Shock, E., Hillaireau, A. (2008). Antimony leaching from polyethylene terephthalate (PET) plastic used for bottled drinking water. *Water Res.* 42(3), pp. 551-556.

21. Zaki, G., Shoeib, T. (2018). Concentrations of several phthalates contaminants in Egyptian bottled water: Effects of storage conditions and estimate of human exposure. *Sci. Total Environ.* 618, pp. 142-150.

Стаття відправлена: 10.05.2020.

© Кундельчук О.П., Заїка К.А., Семенюк С.К., Акімова М.О.