

- urozhaynost kukuruzy* [The productivity of photosynthesis and productivity of corn]. *Kukuruza i sorgo* [Corn and sorghum]. No. 4, pp. 3–5 (in Russian).
6. Volkohon V.V., Nadkernychna O.V., Tokmakova L.M. (2010). *Eksperymentalna gruntova mikrobiolohiia: monohrafiia* [Experimental soil microbiology: Monograph]. Kyiv: Ahrarna nauka Publ., 464 p. (in Ukrainian).
 7. Andreiuk K.I., Iutynska H.O., Antypchuk A.F. (2001). *Funktsionuvannia mikrobnykh tsenoziv irtu v umovakh antropohemoho navantazhennia* [The functioning of microbial communities in soil under anthropogenic load]. Kyiv: Oberehy Publ., 240 p. (in Ukrainian).
 8. Zvyagintsev D.G. (1991). *Metody pochvennoy mikrobiologii i biokhimii* [Methods of soil microbiology and biochemistry]. Moskva: MGU Publ., 304 p. (in Russian).
 9. Edwards Dzh., D. Uoker. (1986). *Fotosintez S_3 - i S_4 -rastenyi: mekhanizmy i regulyatsiya* [Photosynthesis C_3 and C_4 plants: Mechanisms and regulation]. Moskva: Mir Publ., 598 p. (in Russian).

УДК 577.34:574.64:504.062

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ТОКСИЧНОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ

Е.О. Аристархова

Інститут агроекології і природокористування НААН

*Розглянуто проблему визначення токсичності питної води у системі водопостачання м. Житомира. Доцільно для виявлення токсичної дії компонентів води застосовувати так звані набори тест-організмів, у яких обов'язковими складовими повинні стати представники рослинних і тваринних форм. Обґрунтовано, що результати такого біотестування дають можливість всебічно оцінити вплив забруднювальних речовин на живі істоти. Запропоновано під час тестування якості питної води використовувати *Daphnia magna* Straus та *Tradescantia fluminensis* Vellozo. На основі реакцій тест-об'єктів розраховано індекс токсичності питної води. Відзначено шкідливу дію вторинного забруднення води (індекс токсичності 50%, група Д1) на живі організми. Виявлено специфічність чутливості *T. fluminensis* (на восьму добу) і *D. magna* (на 15-ту) до хронічного ефекту компонентів питної води.*

Ключові слова: *токсичність питної води, біотестування, *Daphnia magna* Straus, *Tradescantia fluminensis* Vellozo, індекс токсичності, хронічний ефект.*

Води більшості поверхневих джерел питного водопостачання України характеризуються помірним і високим рівнем забруднення. Нині майже немає поверхневої водойми, яку можна віднести до водойм першої категорії за ступенем забрудненості води та екологічним станом [1]. Основними забруднювальними речовинами впродовж багатьох років залишаються органічні речовини, синтетичні поверхнево-активні речовини, важкі метали, радіонукліди, пестициди тощо. Останнім десятиліттям їх накопичення інтенсивно збільшується через

забруднювачі, що потрапляють у водойми внаслідок застосування сучасних інноваційних технологій у сільськогосподарському виробництві та промисловості, зокрема наночастинки штучного походження, які істотно відрізняються від решти складових води за фізико-хімічними та біологічними властивостями [2]. Вивчення впливу таких частинок на стан водних екосистем достатньою мірою ще не проводилось. Вказані зміни у складі природних вод відбуваються на фоні вже давно існуючого низького рівня (або взагалі відсутності) процесів самоочищення водних об'єктів. За таких умов різко ускладнюється можливість

отримання якісної питної води, оскільки водопровідні станції не здатні ефективно затримувати більшість техногенних хімічних речовин [1–2].

Традиційна технологія водопідготовки, що застосовується в Україні, розрахована на доведення природних вод до вимог ДСанПіНу лише за їх відносно невисокої забрудненості. А широке застосування для дезінфекції питної води хлору та хлоромісних сполук спричиняє утворення токсичних хлороорганічних речовин, що мають до того ж мутагенні і канцерогенні властивості [3]. На якість води негативно впливає і незадовільний технічний стан водопровідних споруд і мереж, їх зношеність та забруднення тощо. Тому важливо, щоб за якістю питної води постійно здійснювався належний контроль, який би виявляв основні негативні впливи та відтворював реальний стан небезпеки щодо вживання питної води споживачами [4]. Подібний контроль є можливим лише за умови проведення біотестування — методу екологічного моніторингу, що має низку переваг порівняно з іншими. Так, біотестування дає змогу визначити дію токсикантів, які містяться у водному середовищі, навіть у малих кількостях, не потребує значних матеріальних витрат та підготовки кваліфікованих кадрів для проведення таких досліджень. До того ж біотестування включено до ДСанПіНу 2.2.4-171-10 як метод, за даними якого розраховується інтегральний (експресний) показник якості питної води — індекс токсичності [3–5].

Основою біотестування якості води є відповідна тест-реакція різних організмів на пригнічувальний чи згубний вплив токсичних речовин, які потрапили у воду. Тест-об'єктами можуть бути істоти всіх таксономічних груп — від бактерій до ссавців. Біотестування є можливим на всіх рівнях організації живої матерії (генетичному, цитологічному, гістологічному та ін.). Проте лише незначну частину організмів визнано уніфікованими (водорості, інфузорії, риби гупі та форель, планктонні рачки, цибуля звичайна, салат посівний тощо), на основі

чого і були розроблені стандартні дослідження [6].

У багатьох дослідженнях було продемонстровано [4, 6, 7], що ефективність методу біотестування істотно зростає за використання не поодиноких організмів (навіть якщо вони уніфіковані), а так званих наборів тест-об'єктів, до складу яких входять тваринні та рослинні форми. Серед тваринних форм найчастіше використовують дафнії (*Daphnia magna* Straus) — стандартизовані тест-організми, а рослинні форми (як додаткові до уніфікованих дафній) часто репрезентують *Allium cepa* L. та *Lactuca sativa* L. Упродовж тривалого часу подібні набори тест-об'єктів застосовували для визначення токсичності природних та стічних вод, а з розробкою ДСанПіНу 2.2.4-171-10 їх використання було «перенесено» і на питну воду. Однак для біотестування токсичності питної води, що є значно чистішою порівняно з іншими водами, традиційні тест-об'єкти не завжди виявляються достатньо чутливими. Тому доцільно як додаткові тестори випробувати ті рослини, які мають вищу чутливість до забруднення довкілля, ніж традиційні. Доволі відомою в цьому аспекті є традесканція (*Tradescantia fluminensis* Vellozo), яка широко використовується для визначення токсичності (у т.ч. генотоксичності) атмосферного повітря та ґрунту, а також може бути застосована для біотестування води.

Мета дослідження — обґрунтувати можливість визначення шляхом біотестування на дафніях і традесканції хронічного ефекту дії питної води.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Експериментальні дані щодо токсичності питної води, підготовленої на КП «Житомирводоканал», отримували за допомогою методик тестування на дафніях та традесканції [7–8]. Для цього було сформовано по три групи організмів-аналогів ($n = 20$), кожна з яких піддавали дії води. Дафнії були аналогами за віком (24 год), живці традесканції — за висотою стебел (10 см), числом та розміром листків (шість на кожному, довжиною 6–7 см).

Проби води відбирали у вересні 2014 р. у кількості 1 дм³ на одну групу щоденно за загальноприйнятими методиками [3, 7]. Дослідження проб води проводили у хімічних ємностях (0,5 дм³), у яких щоденно здійснювали заміну протестованої води на воду відповідної якості.

Експерименти проводили за такою схемою:

- *Контрольна група* — проби дехлорованої (24 год) питної води.
- *Дослідна група Д1*: проби води — з РЧВ (резервуари чистої води) 5000 м³ (двоступенева очистка).
- *Дослідна група Д2*: проби води — з РЧВ 20000 м³ (одноступенева очистка).

Біотестування — на основі кількості активних та іммобілізованих дафній (перехід до стану нерухомості) та кількості живців традесканції з корінцями (утворення першого кореневого пучка довжиною не менше 3 мм): на першу, восьму та 15-ту добу.

Тест-об'єкти: нове покоління *Daphnia magna* Straus та живці *Tradescantia fluminensis* Vellozo.

Індекс токсичності питної води розраховували за результатами біотестування:

$$T = (I_K - I_D) 100 / I_K,$$

де T — індекс токсичності, %; I_K — величина тест-реакції дафній та живців традесканції у контрольному варіанті; I_D — величина тест-реакції дафній та живців традесканції у досліді.

Індекс токсичності питної води не повинен перевищувати 50% незалежно від тест-об'єктів, що використовуються [3–5].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Визначення токсичності питної води за застосування наборів тест-об'єктів ґрунтується на особливостях прояву їх реакцій у певні періоди спостережень. За тестування на дафніях та церіодафніях найчастіше визначається їх виживання або іммобілізація (досягнення стану нерухомості). Як правило, впродовж першої доби за чітко вираженою тест-реакцією орга-

нізмів визначається гостра токсичність, а з сьомої доби (± 1 доба) — хронічна. Для рослинних організмів стандартні умови визначено лише для цибулі *A. cepa* (3 доби) та насіння *L. sativa* (5 діб), що реагують на токсичність води зниженням швидкості росту й цитогенетичними порушеннями в ході клітинного поділу, змінами у формуванні клітинних ядерць тощо [1, 4, 5, 8]. Проте біотестування якості питної води здійснюють і за інших умов, з використанням інших видів тест-організмів [4, 8–10].

У проведеному нами тестуванні питної води на гостру та хронічну токсичність були визначені такі показники: кількість активних (неіммобілізованих) дафній та кількість живців традесканції з корінцями (мінімум з одним кореним пучком). На основі цих показників розраховували коефіцієнти токсичності питної води в одні і ті самі терміни для тваринної і рослинної форм.

Результати біотестування токсичності питної води з РЧВ КП «Житомирводоканал» на дафніях наведено у табл. 1.

Результати досліджень засвідчили відсутність гострої дії складових питної води на дафній. Деякі ознаки хронічної дії води, що зводилися до іммобілізації особин, почали спостерігатись з восьмої доби. Проте 50%-ий індекс токсичності був визначений лише на 15-ту добу біотестування у групі Д1. Можна припустити, що вода в цій групі має хронічну токсичність. У групі Д2 вода була дещо вищої якості, ніж у групі Д1 (індекс токсичності питної води не перевищив норматив — був на 11,12% нижчим).

Найменшу кількість іммобілізованих особин виявлено на контролі, а найбільшу — у дослідній групі Д1 (вода з РЧВ 5000). Загиблих дафній, серед іммобілізованих, виявилось на одну особину (5%) більше у групі Д2 порівняно з Д1. Більшою у групі Д2 була і кількість дафній, які дали потомство (на 5%), порівняно з групою Д1.

Подібна ситуація, однак у більш ранній термін, спостерігалась і за додаткового тестування токсичності води на традесканції (табл. 2).

Таблиця 1

Біотестування токсичності питної води з визначенням іммобілізації *D. magna* ($n = 20$)

Доба дослідю / індекс токсичності води (Т)	Кількість активних дафній:					
	контрольна група (К)		дослідні групи			
			Д1		Д2	
	особин	%	особин	%	особин	%
1	20	100	19	95	20	100
T ₁	–		5,00		–	
8	19	95	14	70	16	80
T ₈	–		26,32		15,79	
15	18	90	9	45	10	50
T ₁₅	–		50,00		44,44	
Кількість дафній:						
– які дали потомство	12	60	7	35	8	40
– іммобілізованих	2	10	11	55	10	50
– загиблих	–	–	3	15	4	20

Таблиця 2

Біотестування токсичності питної води з визначенням коренеутворення у живців *T. fluminensis* ($n = 20$)

Доба дослідю / індекс токсичності води (Т)	Кількість живців з корінцями:					
	контрольна група (К)		дослідні групи			
			Д1		Д2	
	шт.	%	шт.	%	шт.	%
1	1	5	–	–	–	–
T ₁	–	–	–	–	–	–
8	18	90	9	45	11	55
T ₈	–	–	50,00	–	38,89	–
15	1	5	7	35	6	30
T ₁₅	–	–	–	–	–	–
У т.ч. живців:						
– з порушенням розвитку корінців	–	–	2	10	2	10
– без корінців	–	–	4	20	3	15

Вже на восьму добу експерименту була виявлена хронічна токсичність питної води щодо живців традесканції, а саме — їх коренеутворення. Кількість живців з корінцями у групі Д1 поступалась їх кількості на контролі (вдвічі) та у групі Д2 (на 10%). Відповідно індекс токсичності питної води у групі Д1 досягав 50%, а у групі Д2 був на 22,22% нижчим. Разом з тим чітко виражених порушень розвитку корінців (формування поодиноких корінців замість кореневого пучка) на цьому етапі ще неможливо було виявити, однак це вдалося зробити на 15-ту добу, а також підрахувати і кількість живців, у яких корінці взагалі були відсутні.

У досліді на традесканції також підтверджено хронічну токсичність питної води, яка одночасно була визначена на дафніях. До того ж коренеутворення у живців традесканції виявилось більш чутливою тест-реакцією на хронічну токсичність води порівняно з іммобілізацією дафній.

Певна відмінність токсичності води дослідних груп пояснюється використанням різних технологій підготовки питної води, проби якої були відібрані з РЧВ 5000 і РЧВ 20000 на КП «Житомирводоканал». У групі Д1 була протестована вода, що перед тим пройшла двоступеневу підготовку на швидкісних фільтрах, а у групі Д2 — одноступеневу на контактних освітлювачах. Якщо природна вода є доволі прозорою, то водопідготовка на контактних освітлювачах вважається більш ефективною порівняно з підготовкою води на швидкісних фільтрах. Однак за підвищеної каламутності вихідної води ситуація, як правило, змінювалась.

Під час біотестування питної води каламутність води з водозабору була у нормі. І звичайно, двоступенева очистка (група Д1), розрахована для сильнокаламутної води, виявилась ефективнішою щодо зниження її каламутності, ніж одноступенева (група Д2). Однак вторинне забруднення питної води (хлоридами, сполуками алюмінію та хлороформом) було вищим за

двоступеневої водопідготовки, що вдалося підтвердити результатами тестування на дафніях і традесканції.

Використання традесканції як тест-об'єкта дало змогу запропонувати метод визначення токсичності питної води, що істотно спрощує техніку, скорочує термін та розширює можливості біотестування порівняно з уніфікованими методами. Так, прийнята за тест-реакцію ознака відносної кількості живців з відрослими корінцями є більш придатною для розрахунку індексу токсичності води в умовах водоканалу, ніж традиційне вимірювання довжини корінців. До того ж різницю якості води за процесом коренеутворення у живців традесканції можливо виявити значно раніше, ніж за іммобілізацією у дафній. Імовірно, це обумовлено особливостями кумуляції хлороорганічних сполук у тваринних та рослинних організмах. Крім визначення хронічної токсичності, живці традесканції у подальших дослідженнях доцільно використати також для виявлення генотоксичності питної води, адже до її вмісту входить мутаген та канцероген хлороформ.

ВИСНОВКИ

Для визначення токсичності питної води використано *D. magna* та *T. fluminensis*. На основі реакцій тест-об'єктів розраховано індекс токсичності питної води, за значеннями якого продемонстровано шкідливу дію вторинного забруднення (індекс токсичності 50%, група Д1) на живі організми. Гостру токсичність питної води за умов низького вмісту у ній забруднювальних речовин у проведених експериментах не виявлено. Натомість, було зафіксовано хронічну токсичність, починаючи з 8-ї доби у традесканції та з 15-ї — у дафній за специфічною чутливістю організмів до компонентів питної води. Обґрунтовано можливість визначення шляхом біотестування хронічного ефекту дії води за допомогою запропонованого способу на КП «Житомирводоканал».

ЛІТЕРАТУРА

1. Запольський А.К. Охорона питних вод від виснаження і забруднення / А.К. Запольський, І.В. Шумигай // Агроекологічний журнал. — 2015. — № 3. — С. 6–15.
2. Nanostructured zinc oxide-cotton fibers: synthesis, characterization and applications / I.M. El-Nahhal, S.M. Zourab, F.S. Kodeh et al. // Journal of Materials Science: Materials in Electronics. — 2013. — No. 24 (10). — P. 3970–3975.
3. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною / ДСанПіН 2.2.4-171-10. № 452/ 17747. — [Чинний від 1.07.2010 р.]. — К: Міністерство охорони здоров'я України, 2010. — 50 с. — (Державні стандартні норми та правила).
4. Скок С.В. Оцінювання якості питної води м. Херсона методом біотестування / С.В. Скок // Агро-екологічний журнал. — 2015. — № 2. — С. 26–30.
5. Water quality. Determination of long term toxicity of substances to *Daphnia magna* Straus (*Cladocera*, *Crustacea*): ISO 10706: 2000. — 26 p.
6. Zooplankton (*Cladocera*) species turnover and long-term decline of *Daphnia* in two high mountain lakes in the Austrian Alps / L. Nevalainen, M. Ketola, J.B. Korosi et al. // Hydrobiologia. — 2014. — Vol. 722 (1). — P. 75–91.
7. Цитофізіологічна експрес-оцінка токсичності води (Біотестування): СТП 17-08 (Методика) / Затв. комунальним підприємством «Житомир-водоканал». — [Чинний від 10.09.2008 р.]. — Житомир, 2008. — 15 с.
8. Genotoxicity evaluation of water soil leachates by Ames test, comet assay, and preliminary *Tradescantia* micronucleus assay / B. Lah, T. Vidic, E. Glasencnik et al. // Environmental Monitoring and Assessment April. — 2008. — Vol. 139 (1–3). — P. 107–118.
9. Lampert W. Limnecology / W. Lampert, U. Sommer / Oxford University Press: Oxford, New York, 2007. — 324 p.
10. Bottom-up control of whitefish populations in ultra-oligotrophic Lake Brienz / R. Müller, M. Breitenstein, M. Bia et al. // Aquatic Sciences. — 2007. — Vol. 69. — P. 271–288.

REFERENCES

1. Zapolskyi A.K., Shumigay I.V. (2015). *Okhorona vod vid vysnazhennia i sabrudnennia* [Protection of drinking water from depletion and pollution] *Agroecological journal* [Agroecological Journal], no. 3, pp. 6–15 (in Ukrainian).
2. El-Nahhal I.M., Zourab S.M., Kodeh F.S. (2013). Nanostructured zinc oxide-cotton fibers: synthesis, characterization, and applications. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, No. 24 (10), pp. 3970–3975 (in English).
3. DСанПіН 2.2.4-171-10 «*Higiyenichni vymogy do vody pytnoi, prysnachenoi dlya spo vzhycannya ludy-noiu*» [State Sanitary rules and norms 2.2.4-171-10 «Hygiene requirements to drinking water intended for human consumption»]. No. 452/17747. Kyiv: *Ministerstvo okhorony zdorovia Ukrainy, Derzhavni standartni normy ta pravyla (chynnyi vid 1.07.2010)*. 50 p. (in Ukrainian).
4. Skok S.V. (2015). *Otsiniuvannia yakosti pytnoi vody m. Khersona metodom biotestuvannia* [Assessment of quality of drinking water. Kherson by bioassay]. *Ahroekologichnyi zhurnal* [Agroecological journal], No. 2, pp. 26–30 (in Ukrainian).
5. ISO 10706:2000. Water quality. Determination of long term toxicity of substances to *Daphnia magna* Straus (*Cladocera*, *Crustacea*), 26 p. (in English).
6. Nevalainen L., Ketola M., Korosi J.B. (2014). Zooplankton (*Cladocera*) species turnover and long-term decline of *Daphnia* in two high mountain lakes in the Austrian Alps. *Hydrobiologia*, Vol. 722(1), pp. 75–91 (in English).
7. СТП 17-08 *Tsitofiziologichna ekspres-otsinka toksichnosti vody (Biotestuvannia) Metodyka*. [Cytophysiological express-evaluation of water toxicity (Biotesting) Method]. *Komunalne pidpriemstvo «Zhytomyrvodokanal»* [Municipal Enterprise «Zhytomyr Waterworks»], Zhytomyr (diisnyi vid 10.09.2008), 15 p. (in Ukrainian).
8. Lah B., Vidic T., Glasencnik E. (2008). Genotoxicity evaluation of water soil leachates by Ames test, comet assay, and preliminary *Tradescantia* micronucleus assay. *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 139 (1–3), pp. 107–118 (in English).
9. Lampert W., Sommer U. (2007). *Limnecology*. Oxford University Press: Oxford, New York, 324 p. (in English).
10. Müller, R., M. Breitenstein, M. Bia (2007). Bottom-up control of whitefish populations in ultra-oligotrophic Lake Brienz. *Aquatic Sciences Publ.*, Vol. 69, pp. 271–288 (in English).