

ЦИТОТОКСИЧНИЙ ВПЛИВ ГЕРБІЦИДІВ «УРАГАН» ТА «ОБЕРІГ» НА КОРЕНЕВІ МЕРИСТЕМИ *ALLIUM CEPA* Й *ALLIUM PORRUM*

Олена ВОЙТОВИЧ, Діана ЧЕБОТАР, Олена ДУБОВА

У статті подано результати дослідження цитотоксичного впливу гербіцидів «Ураган» та «Оберіг». Мета роботи – вивчення характеру й частоти порушень мітозу та хромосомних аберацій, індукованих цими гербіцидами. Об'єкт дослідження – клітини апікальних меристем корінців двох видів рослин роду *Allium*: *Allium cepa* L. та *Allium porrum* L. Для експерименту використовували 0,1 %, 1 % і 2 % розчини гербіциду «Ураган» (діюча речовина – гліфосат) і 0,08 %, 0,75 % та 1,5 % розчини гербіциду «Оберіг» (діюча речовина – хізалофоп-П-етил). Проростки піддавали 24- і 48-годинній експозиції в розчинах. Цитогенетичний аналіз проводили за стандартною методикою *Allium*-тесту. У результаті дослідження в клітинах кінчика кореня обох видів спостерігали зміни в організації та морфології хромосом. На різних стадіях клітинного циклу зафіксовані хромосомні аберації, зокрема двоядерні клітини, мікроядра, мости, фрагменти хромосом, відставання хромосом, затримка анафази та к-мітоз. Загальна кількість хромосомних аберацій зростала зі збільшенням концентрації гербіцидів і часу експозиції. Максимальні показники спостерігали при 48-годинній експозиції у 2 % розчині гербіциду «Ураган» та 1,5 % розчині гербіциду «Оберіг». Водночас наявна видоспецифічна реакція на стресовий чинник. Частота патологій мітозу в клітинах *Allium cepa* вища за умови впливу «Урагану», тоді як клітини *Allium porrum* виявили більшу чутливість до «Оберегу». Гербіциди «Ураган» та «Оберіг» виявили цитотоксичний вплив на клітини корінців обох видів цибулі, що проявлялося у збільшенні кількості клітин із патологією процесу чи структур. Найбільш розповсюдженими аномаліями були поява мікроядер і двоядерність. Виявлено залежність типу порушень від хімічної природи гербіциду. Отримані результати підтверджують цитотоксичний потенціал досліджених гербіцидів і вказують на необхідність урахування видоспецифічних особливостей рослин під час оцінювання їхньої чутливості до агрохімікатів.

Ключові слова: хромосомні аберації, порушення мітозу, тест-система, мікроядра, гліфосат, хізалофоп-П-етил.

Запорізький національний університет, вул. Університетська, 66, Запоріжжя, 69011, Україна; e-mail: helenVoit@gmail.com; dianachebotar22@gmail.com; edubova17@gmail.com

Cytotoxic effect of herbicides “Uragan” and “Oberig” on root meristems of *Allium cepa* and *Allium porrum* **Voitovych O., Chebotar D., Dubova O.**

The work presents the results of a study of the cytotoxic effect of the herbicides “Uragan” and “Oberig”. The aim of the work was to study the character and frequency of mitosis disorders and chromosomal aberrations induced by these herbicides. The object of the study were the cells of the apical meristems of roots of two species of plants of the genus *Allium*: *Allium cepa* L. and *Allium porrum* L. The experiment used 0.1 %, 1 % and 2 % solutions of the herbicide “Uragan” (active ingredient – glyphosate) and 0.08 %, 0.75 % and 1.5 % solutions of the herbicide “Oberig” (active ingredient – khizalofop-P-ethyl). The seedlings were exposed to 24 and 48 hours of exposure in the solutions. Cytogenetic analysis was performed using the standard *Allium* test method. As a result of the study, changes in the organization and morphology of chromosomes were observed in the root tip cells of both species. Chromosomal aberrations were recorded at different stages of the cell cycle, including binucleated cells, micronuclei, bridges, chromosome fragments, chromosome lag, anaphase delay, and k-mitosis. The total number of chromosome aberrations increased with increasing herbicide concentration and exposure time. The maximum values were observed at 48-hour exposure in a 2 % solution of the herbicide “Uragan” and a 1.5 % solution of the herbicide “Oberig”. At the same time, a species-specific response to the stress factor is observed. The frequency of mitotic pathologies in *Allium cepa* cells is higher under the influence of “Uragan”, while *Allium porrum* cells showed greater sensitivity to “Oberig”. The herbicides “Uragan” and “Oberig” showed a cytotoxic effect on root cells of both onion species, which was manifested in an increase in the number of cells with pathological processes or structures. The most common anomalies were the appearance of micronuclei and binucleation. The dependence of the type of disorders on the chemical nature of the herbicide was revealed. The results obtained

confirm the cytotoxic potential of the studied herbicides and indicate the need to take into account the species-specific characteristics of plants when assessing their sensitivity to agrochemicals.

Key words: chromosomal aberrations, mitotic abnormalities, test system, micronuclei, glyphosate, quizalofop-P-ethyl Zaporizhzhia National University, Universytetska St., 66, Zaporizhzhia, 69011, Ukraine; helenVoit@gmail.com; dianachebotar22@gmail.com; edubova17@gmail.com

Вступ

Підтримка якості й гарантування безпеки сільськогосподарських продуктів уже давно є важливим завданням сучасності, оскільки невибіркове та все більше використання агрохімікатів, зокрема гербіцидів, яке є нині безальтернативним, може негативно впливати на нецільові організми й стан довкілля. Гербіциди, призначені для контролю бур'янів, потенційно можуть проявляти цитотоксичну дію й щодо інших організмів, що становить загрозу для біорізноманіття та стабільності екосистем. Зокрема, широко застосовувані препарати на основі гліфосату й хізалофоп-П-етилу є ефективними в боротьбі з бур'янами, проте їхній можливий побічний вплив на клітинному рівні потребує ретельного вивчення (Sharma, Vig 2012, Verholias 2019, Deveci, Aksoy 2017, De Souza et al, 2016, Nazra et al, 2023).

Оскільки рослини – прямі реципієнти агро-токсикантів, вони є важливим матеріалом для генетичного тестування й екологічного моніторингу. Для оцінювання цитотоксичного потенціалу широко використовується *Allium*-тест. Цей фітотест базується на аналізі мітотичної активності клітин меристеми коренів цибулі ріпчастої (*Allium cepa* L.), є зручним, економічним, швидким і досить чутливим інструментом для виявлення й кількісного оцінювання генотоксичності та хромосомної нестабільності (Mustafa, Suna Arıkan 2008, Das, Ray 2024).

Численні роботи присвячені вивченню впливу гербіцидів різних класів, включаючи похідні сечовини, триазини, фосфорорганічні сполуки, на мітотичну активність і спектр хромосомних аберацій у клітинах *Allium cepa*. Крім гербіцидів, *Allium*-тест успішно застосовується для оцінювання токсичності важких металів, лікарських препаратів, промислових забруднювачів та інших факторів навколишнього середовища, у тому числі біологічно активних метаболітів, що підкреслює його універсальність та інформативність. Найбільш використовувані біомаркери оцінювання впливу різних агентів – це мітотичний індекс, хромосомні аберації, поява мікроядер і сестринські хроматидні обміни (Mercado, Caleno 2020, Tkachuk, Zelena 2022).

Метою роботи є дослідження цитотоксичного ефекту гербіцидів «Ураган» та «Оберіг» за порушеннями мітозу й появою хромосомних аберацій

у клітинах апікальних меристем корінців *Allium cepa* й *Allium porrum*. Завдання полягали в обліку кількості аномалій залежно від дози та тривалості впливу препаратів.

Матеріал та методики

Досліджували мутагенну активність гербіцидів з торговими назвами «Ураган форте» (концентрація 500 г/л калійної солі гліфосату – 100 мл, у вигляді водорозчинного концентрату, виробник – компанія Sygenta) та «Оберіг» (концентрація 90 г/л – 100 мл, у вигляді концентрату емульсії, виробник – Презенс Компані Лтд.), діючими речовинами яких є гліфосат і хізалофоп-П-етил відповідно. Ці препарати є однокомпонентними й найбільш популярними серед покупців сільгосппродукції.

Використовували 0,1 %, 1 % і 2 % розчин «Урагану» й 0,08 %, 0,75 % та 1,5 % розчин «Оберегу». Обрані концентрації рекомендовані для застосування виробниками препаратів.

Об'єктом дослідження були клітини апікальних меристем корінців двох видів рослин роду *Allium*: *Allium cepa* Linnaeus, 1753 й *Allium porrum* Linnaeus, 1753. Для експерименту обрані цибулини ріпчастої цибулі, пророщені *in vitro* в хімічному посуді, і насіння цибулі-порей, пророщене в чашках Петрі на фільтрувальному папері за нормальних умов.

Дводобові проростки піддавали 24- і 48-годинній експозиції в розчинах гербіцидів різної концентрації.

Фіксація корінців фіксатором Кларка (охолоджені $C_2H_5OH:CH_3COOH$ 3:1), їх мацерація (45 % CH_3COOH), фарбування ацетоорсеїном і приготування тимчасових давлених препаратів проводили згідно зі стандартною методикою *Allium*-тесту (Fiskesjo 1985).

У кожному варіанті аналізували 8–10 проростків корінців, загальна кількість опрацьованих мікропрепаратів – 240. Середня кількість проаналізованих клітин одного препарату – 300. Ураховували стадію клітинного циклу й наявність порушень нормального сценарію процесу мітозу (фізіологічні порушення) і хромосомних аберацій різних типів.

Результати та обговорення

Під впливом гербіцидів у клітинах кінчика кореня *Allium cepa* й *Allium porrum* спостерігали

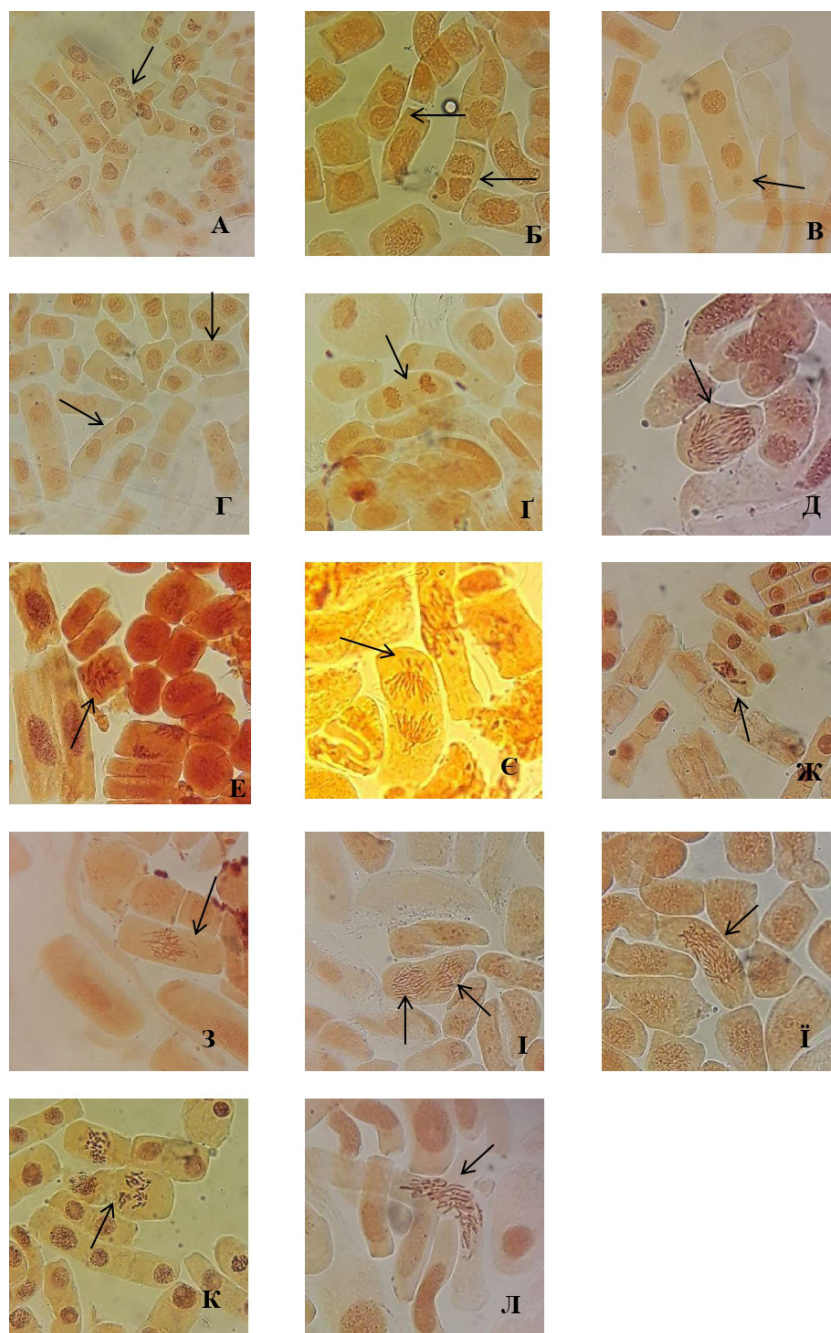


Рис. 1. Гербіцид-індуковані хромосомні аберації: (А–Б) двоядерні клітини; (В–Г) мікроядра; (Г–Д) мости; (Е–Є) фрагменти хромосом; (Ж–З) відставання хромосом; (І–І) затримка анафази; (К–Л) к-мітоз

Fig. 1. Herbicide-induced chromosomal aberrations: (A–B) binucleated cells; (C–D) micronuclei; (D–E) bridges; (E–E) chromosome fragments; (G–Z lag of) chromosomes; (I–J) anaphase arrest; (K–L) k-mitosis

зміни в організації та морфології хромосом. На різних стадіях клітинного циклу, переважно в анафаза-телофазних клітинах, зафіксовано досить широкий спектр цитогенетичних пошкоджень, зокрема хромосомних аберацій, що є свідченням негативного впливу застосованих хімічних препаратів, а саме: виявлені двоядерні клітини, мікроядра, мости, фрагменти хромосом, відставання хромосом, затримка анафази та к-мітоз (рис. 1).

Мікроядра фіксували як округлі хроматинові утворення в цитоплазмі клітин у період інтер-

фази. Утворюються мікроядра зазвичай у результаті нерозходження або відставання в розходженні хроматид до полюсів як результат порушення веретена поділу. Також утворення мікроядер із фрагментів хромосом відбувається в разі переміщення аберантних хроматинових структур із ядра в цитоплазму.

Двоядерність виникає внаслідок амітозу, коли ядро ділиться на дві відносно рівні частини без утворення мітотичного апарату й візуалізації хромосом.

Хромосомні мости є наслідком фрагментації хромосом. У процесі з'єднання фрагментів утворюється дицентрична хромосома, яка під час анафази розтягується між протилежними полюсами поділу, утворюючи міст. До кінця анафази мости рвуться в результаті надмірного розтягування хромосом. Утворення мостів призводить до генотипової різноманітності дочірніх клітин, а також порушує продовження завершальних стадій поділу й затримує цитокінез.

Колхіциновий мітоз, або к-мітоз – одна з форм патології мітозу, коли затримка на стадії метафази пов'язана з дезорганізацією різних компонентів мітотичного веретена поділу – центріолей, мікротрубочок, кінетохор.

Відставання хромосом виникає в разі пошкодження хромосом у ділянці кінетохора. Пошкоджені хромосоми пасивно «дрейфують» у цитоплазмі, руйнуються або утворюють окреме мікроядро.

Загальна кількість хромосомних аберацій зростає зі збільшенням концентрації обох гербіцидів і часу експозиції. Максимальні показники спостерігали при 48-годинній експозиції корінців *Allium cepa* у 2 % розчині гербіциду «Ураган» та 1,5 % розчині гербіциду «Оберіг» (рис. 2). Визначено підвищення рівня абераційних клітин із 2,5 % за 24 год до 4,5 % за 48 год.

За окремої дії гербіциду «Ураган» у концентрації 0,1 % визначено підвищення рівня абераційних клітин із 0,44 % за 24 год до 1,63 % за 48 годин; для концентрації 1 % динаміка змін аналогічна: з 0,73 % до 2,10 %. Розчин «Урагану» 2 % мав найбільшу

патогенну дію (1,11 % пошкоджень) за 24 год експозиції, яка за ще одну добу збільшилася в 5 разів і становила 5,57 %.

Динаміка змін за окремої дії гербіциду «Оберіг» загалом аналогічна. Спостерігали збільшення кількості абераційних клітин у 0,1 % розчині від 0,64 % за 24 год експозиції до 0,86 % за 48 годин експозиції. Для максимальної концентрації 1,5 % збільшення становило від 0,62 % до 1,27 %.

Водночас спостерігається видоспецифічна реакція на стресовий чинник. Частота зустрічання патологій мітозу в клітинах *Allium cepa* вища за умов впливу «Урагану», тоді як клітини *Allium porrum* виявили більшу чутливість до «Оберегу» (рис. 3).

Кількість хромосомних аберацій у клітинах кореневої меристеми *Allium porrum* на тлі впливу «Урагану» становила 0,48–1,58 % (за винятком виключно цитотоксичної дії в концентрації 2 % упродовж 24 год – 4,02 % порушень). Гербіцид «Оберіг» мав значно більш виражений ефект – кількість порушень фіксувалася в діапазоні 1,2–3,07 %.

Досліджено розподіл цитогенетичних пошкоджень клітин за типами фізіологічних патологій мітозу та кластогенних аберацій, пов'язаних із розривами хромосом і спричинених гербіцидом «Ураган» (таблиця 1) та «Оберіг» (таблиця 2).

Увесь спектр аномалій (визначено сім типів порушень нормального мітотичного циклу) представлений лише в одному з досліджуваних варіантів – 2 % «Ураган» 48 год. Досить поліморфними стосовно різноманіття прояву патологій виявилися варіанти 0,1 та 1 % «Ураган» 48 год для *Allium*

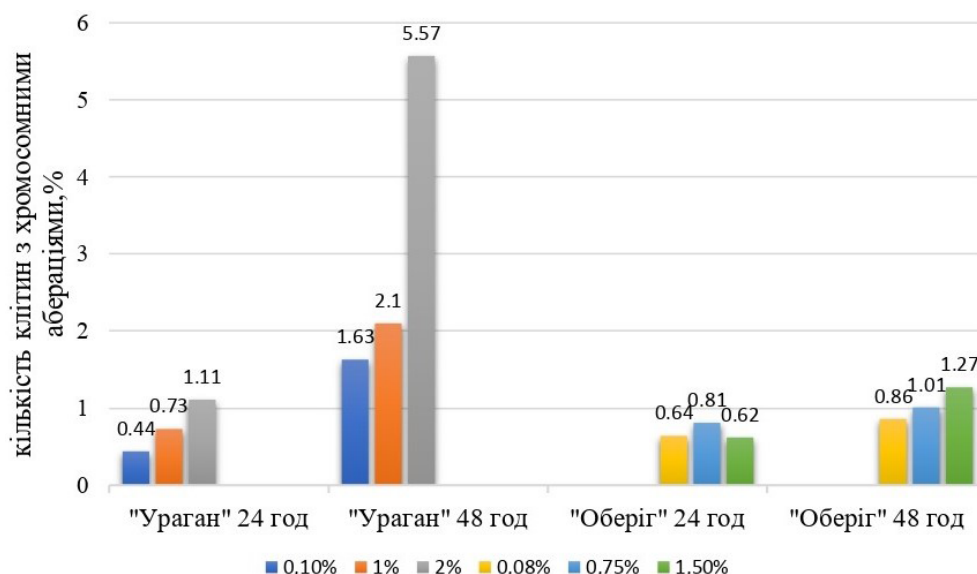


Рис. 2. Загальна кількість хромосомних аберацій у клітинах корінців *Allium cepa* на тлі застосування гербіцидів

Fig. 2. Total number of chromosomal aberrations in *Allium cepa* root cells amidst the herbicide application

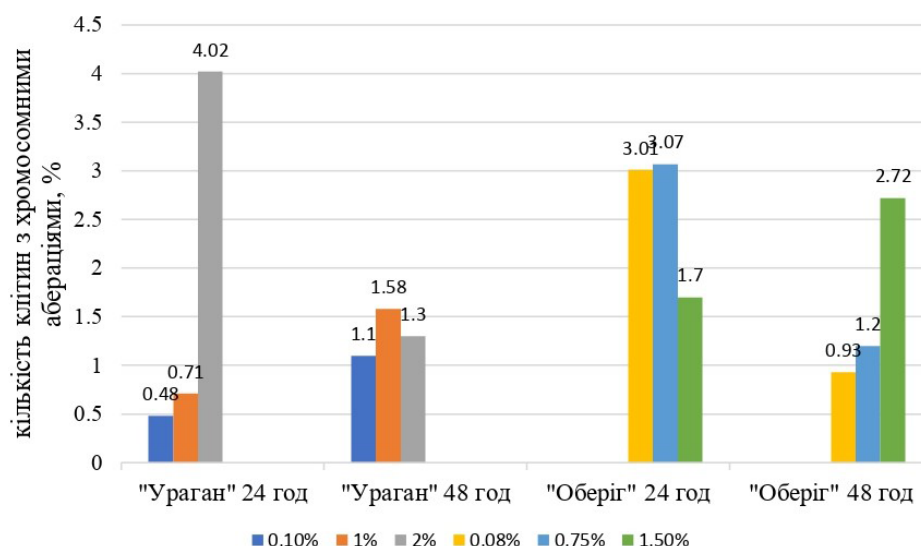


Рис. 3. Загальна кількість хромосомних аберацій у клітинах корінців *Allium porrum* на тлі застосування гербіцидів

Fig. 3. Total number of chromosomal aberrations in *Allium porrum* root cells amidst the herbicide application

сера й 2 % «Ураган» 24 год для *Allium porrum*, серед клітин яких спостерігали по п'ять типів різних порушень. Більшість інших комбінацій доз-час для цього гербіциду фіксувала по чотири типи хромосомних аномалій.

Вплив гербіциду «Оберіг» виявився більш однозначним стосовно спектра хромосомних аберацій, пов'язаних із затримкою мітозу або фрагментацією хромосом. У більшості варіантів спостерігалася

лише поява мікроядер або двоядерності клітин. Лише в окремих варіантах додатково фіксували мости або відставання чи фрагменти хромосом.

Найбільш поширеними аномаліями, що спостерігалися абсолютно в усіх варіантах, були поява мікроядер і двоядерність. Мікроядра фіксували в інтерфазних клітинах, і кількість клітин, що їх містила, варіювала від 2/1000 в найменш агресивних варіантах впливу до 45/1000 (мак-

Таблиця 1. Вплив гербіциду «Ураган» на частоту хромосомних аберацій у клітинах корневих меристем рослин роду *Allium*

Table 1. Effect of herbicide “Hurricane” on the frequency of chromosomal aberrations in root meristem cells of plants of the genus *Allium*

Експозиція, год	Концентрація гербіциду, %	Кількість клітин	Частота зустрічання хромосомних аберацій, клітин						
			мікроядра	двоядерність	мости	фрагменти хромосом	к-мітоз	відставання хромосом	затримка анафази
Allium cepa									
24	0,1	2047	4	1	2	–	2	–	–
	1	2193	12	1	2	–	–	1	–
	2	2243	23	2	–	–	–	–	–
48	0,1	1843	2	18	6	–	3	1	–
	1	3002	51	7	3	1	–	1	–
	2	2569	115	19	2	1	2	2	1
Allium porrum									
24	0,1	1459	3	1	2	1			
	1	1402	3	–	–	–			
	2	1442	32	16	8	–			
48	0,1	1276	7	5	2	–			
	1	1142	12	3	1	–			
	2	1318	11	2	3	–			

Таблиця 2. Вплив гербіциду «Оберіг» на частоту хромосомних аберацій у клітинах кореневих меристем рослин роду *Allium*

Table 2. Effect of herbicide “Oberig” on the frequency of chromosomal aberrations in root meristem cells of plants of the genus *Allium*

Експозиція, год	Концентрація гербіциду, %	Кількість клітин	Частота зустрічання хромосомних аберацій, клітин						
			мікроядра	двоядерність	мости	фрагменти хромосом	к-мітоз	відставання хромосом	затримка анафази
Allium cepa									
24	0,08	1243	2	4	1	1	–	–	–
	0,75	1106	2	3	2	2	–	–	–
	1,5	1132	4	3	–	–	–	–	–
48	0,08	1280	1	3	7	–	–	–	–
	0,75	1189	8	4	–	–	–	–	–
	1,5	1423	12	6	–	–	–	–	–
Allium porrum									
24	0,08	1233	14	23	–	–	–	–	–
	0,75	1595	22	21	–	–	–	6	–
	1,5	1760	24	6	–	–	–	–	–
48	0,08	1182	7	4	–	–	–	–	–
	0,75	1840	12	10	–	–	–	–	–
	1,5	1471	18	15	7	–	–	–	–

симум для *Allium cepa*) і 22/1000 (максимум для *Allium porrum*). Двоядерні клітини виявляли на мікропрепаратах із частотою до 11/1000–18/1000 (максимум для *Allium porrum* на тлі «Урагану» й «Оберегу» відповідно).

Цитотоксичні ефекти використаних у дослідженні гербіцидів, що містять у складі гліфосат і хізалофоп-П-етил, узгоджуються з результатами попередніх досліджень на *Allium cepa* (Tkachuk, 2022; Mercado, Caleno, 2020; Mustafa, Suna Arikian, 2008; Sharma, Vig, 2012) та на інших тест-об'єктах (Pavliukova, Bohuslavska, 2015; Verholias, 2019; Kuznetsov, Sichniak, 2024), серед яких Верголяс, Луценко, Гончарук (2013) запропонували застосовувати цибулю-батун *Allium fistulosum*.

Використання в дослідженні корінців *Allium porrum* показало свою інформативність і перспективність як тест-системи для оцінювання цитотоксичного впливу. Виявлена видоспецифічна реакція на хімічний склад гербіциду серед рослин роду *Allium* указує на необхідність урахування генотипово зумовленої чутливості до препарату, що застосовується. Так, мікропрепарати корінців *Allium cepa*, вирощених за умов цитотоксичного впливу гліфосату (гербіцид «Ураган»), демонстрували наявність до 5,6 % клітин із порушеннями мітозу, тоді як за впливу хізалофоп-П-етилу (гербіцид «Оберіг») аналогічна кількість становила

лише 0,62–1,27 %. Натомість у клітинах меристем корінців *Allium porrum* більш пошкоджувальним виявився саме «Оберіг» – до 3,07 % аномалій при середніх показниках для «Урагану» 0,7–1,58 %.

Показані залежності доза-ефект і час впливу-ефект корелюють з аналогічними попередніми дослідженнями. Виявлений цитотоксичний ефект 0,08 % хізалофоп-П-етилу на обох об'єктах указує на розширення діапазону впливу цієї речовини, установленого Мустафа, Арікан (2008), для 0,75, 1,5 та 3 %.

Діючі речовини використаних гербіцидів насамперед призводили до збільшення кількості клітин із мікроядрами або двоядерних клітин, що разом з іншими патологіями поділу супроводжується загальним пригніченням мітотичної активності. Відомо, що з найменшої використаної концентрації гербіцидів насамперед порушується веретено поділу й функціонування хромосомних білків, опосередковане дією активних форм кисню, що, у свою чергу, викликає затримки в проходженні фаз мітозу та фрагментацію хромосом (Mercado, Caleno (2020), Das, Ray (2024), Pavliukova, Bohuslavska (2015)). Для *Allium cepa* частка клітин із мікроядрами під впливом «Урагану» становила від 44 % до 81 % від загальної кількості клітин з абераціями, під впливом «Оберегу» – від 25 % до 67 %. Для *Allium porrum* аналогічні показники були від 30–67 % і 33–80 %. Кількість двоядерних

клітин у середньому була у 2–3 рази меншою для *Allium cepa* (окрім варіанта 0,1 % «Ураган» при 24-годинній експозиції, де цей тип порушень був основним) та *Allium porrum* у разі використання «Урагану». Спровокована «Оберегом» частота появи двоядерних клітин у корінцях цього виду зівставна з частотою клітин із мікроядрами, а у варіанті 0,08 % 24 год навіть перевищувала її. Отже, загалом простежується залежність типу порушень від хімічної природи шкодочинного фактора. Цікавим є визначене Верголяс, Луценко, Гочарук (2013) переважання частоти двоядерних клітин над клітинами з мікроядрами за гострої токсичної дії пентахлорфенолу та трихлорфенолу.

Спектр інших спостережених хромосомних аберацій у разі застосування «Урагану» становив від 2 до 5 типів. Найчастіше це були мости й відставання хромосом, в окремих випадках фіксували фрагменти хромосом, к-мітоз і затримку анафази. Найбільш нетиповий спектр порушень зафіксували у варіанті 1 % 24 год для *Allium porrum*, де фізіологічне порушення відставання хромосом зустрічалося вдвічі частіше за появу мікроядер.

Хізаллоф-П-етил, діюча речовина гербіциду «Оберіг», виявила значно більш однозначний

цитотоксичний ефект на клітини корінців обох досліджуваних видів цибулі. Лише в окремих варіантах дослідів спостерігали відмінні від двох основних типів патології мітозу, зокрема велику кількість мостів у варіанті *Allium cepa* на найменшій концентрації за умов 48-годинної експозиції та відставання хромосом на 24 год в *Allium porrum*.

Висновки

Цитогенетичний аналіз виявив фітотоксичний вплив монокомпонентних гербіцидів «Ураган» та «Оберіг» на клітини корінців *Allium cepa* й *Allium porrum* у всіх досліджених концентраціях. Мітозмодифікувальна активність спричиняла виражене підвищення кількості хромосомних аберацій і фізіологічних порушень із прямою залежністю доза – ефект і час впливу – ефект. Спостерігали великий спектр морфологічних аномалій із суттєвим переважанням утворення мікроядер і двоядерних клітин. Отримані дані вказують на видоспецифічні особливості кількості і типів патологічних змін для використаних тест-об'єктів і свідчать про потребу подальших досліджень із залученням зручних для застосування та генетично поліморфних видів роду *Allium*.

-
- DAS, R., RAY, S. (2024) *Allium cepa* tests: Exploring bleomycin induced cyto-genotoxicity and altered cell cycle kinetics in root tips meristematic cells. *Mutation Research – Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 828, January-June, 111851. DOI: 10.1016/j.mrfmmm.2024.111851
- DE SOUZA, C. P., GUEDES, T. D. A., FONTANETTI, C. S. (2016) Evaluation of herbicides action on plant bioindicators by genetic biomarkers: a review. *Environmental monitoring and assessment*, 188, 1–12. DOI: 10.1007/s10661-016-5702-8
- DEVECI, A., AKSOY, O. (2017) Investigation of the effects of quizalofop-P-ethyl on pollen germination of *Hyacinthus orientalis* L. *Caryologia*, 70(1), 77–81. DOI: 10.1080/00087114.2016.1275931
- FISKESJO, G. (1985) The *Allium* test as a standard in environmental monitoring. *Hereditas*, 102, 92–112.
- HAZRA, D. K., MONDAL, P., PURKAIT, A. (2023) Determination of quizalofop-P-ethyl in onion: residual dissipation pattern, weed control efficiency, and food safety assessment under field conditions. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195, 1067. DOI: 10.1007/s10661-023-11691-y
- KUZNETSOV, M. K., SICHNIAK, O. L. (2024) Doslidzhennia henotoksychnoho vplyvu herbisydu “Federal” na modelnomu obiekty Danio rerio, Hamilton, 1822. Povidomlennia 1. Vplyv vysokykh kontsentratsii. *Visnyk ONU. Biologiya*, 29, 1(54), 7–18 (in Ukrainian). DOI: 10.18524/2077-1746.2024.1(54).30903515
- MERCADO, S.A.S, CALENO, J.D.C. (2020) Cytotoxic evaluation of glyphosate, using *Allium cepa* L. as bioindicator. *Science of The Total Environment*, 700, 134452. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.134452
- MUSTAFA, Y., SUNA ARIKAN, E. (2008) Genotoxicity testing of quizalofop-P-ethyl herbicide using the *Allium cepa* anaphase-telophase chromosome aberration assay. *Caryologia*, 61(1), 45–52. DOI: 10.1080/00087114.2008.10589608
- PAVLIUKOVA, N., BOHUSLAVSKA, L. (2015) Proliferatyvna aktyvnist tvirnykh tkanyn koreniv kukurudzy za dii herbisydu ta hipertermii. *Visnyk Lvivskoho universytetu*, 70, 266–270 (in Ukrainian).
- SHARMA, S., VIG, A. P. (2012) Genotoxicity of atrazine, avenoxan, diuron and quizalofop-P-ethyl herbicides using the *Allium cepa* root chromosomal aberration assay. *Terrestrial and Aquatic Environmental Toxicology*, 6(2), 90–95.
- TKACHUK, N., ZELENKA, L. (2022) An onion (*Allium cepa* L.) as a test plant. *Biota. Human. Technology*, 3, 50–59. DOI: 10.58407/bht.3.22.5
- VERHOLIAS M. R. (2019) Vyznachennia toksychnoho vplyvu herbisydiv na test-orhanizmy u vodi. *Ekologichni nauky*, 3 (26), 84–87 (in Ukrainian). DOI: 10.32846/2306-9716-2019-3-26-16
- VERHOLIAS, M. R., LUTSENKO, T. V., HONCHARUK, V. V. (2013) Tsytotoksychnyi vplyv khlorfenoliv na klityny korenevoi merystemy nasinnia tsybuli batuna (*Allium fistulosum* L.). *Tsytolohiya i henetyka*, 1, 44–49 (in Ukrainian).