

Soil mutagenic activity in hazardous waste site of Kalush City (Western Ukraine)

R.A. Yakymchuk, V.F. Valyuk

Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University
Sadova St. 2, Uman 20300, Ukraine

Email: peoplenature16@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6249-4304

Received: 08.02.2018. Accepted: 13.03.2018

Frequency and spectrum of cytogenetic disorders in the cells of root meristem sprouts of *Triticum aestivum* L., induced by soil contamination with hexachlorobenzene in the territory of toxic waste ground and Dombrovskiy potassium ore mine (Kalush city, Ivano-Frankivsk oblast), were studied. The concentration of hexachlorobenzene exceeded MPC (maximum permissible concentration) by 1233.3–18350 times. It has been established that chemical soil contamination causes the increase of the frequency of cytogenetic aberrations by 1.8–3.8 times. Its highest indicators were found under the most intensive soil contamination with hexachlorobenzene in the areas of toxic waste ground which were not recultivated. Frequency of cytogenetic disorders exceeded the control level by 3.4–3.8 times. The maintenance of high mutagenic activity of hexachlorobenzene remains in the soil of the recultivated area of the ground is confirmed by statistically reliable increase of the number of aberrant cells by 2.6–3 times. It has been shown that soil contamination of Dombrovskiy mine with the complex of natural-mineral compounds of mining-chemical raw materials causes the increase of mutagenic activity level of low concentrations of chemical gene-toxic factors of techno-genic origin, which is seen in the induction of higher level of cytogenic disorders compared with spontaneous indicators by 1.8–2.4 times. Spectrum of chromosome aberrations, which mostly included acentric fragments, expanded due to induced bridges, ring chromosomes and micronuclei. The share increase of the cells with dicentrics, caused by the effect of soil contamination with hexachlorobenzene in the territory of toxic waste ground, confirms the radiomimetic effect, resulted from the effect of chemical mutagen in high concentrations. Chemical pollutants of the soil of all the studied areas show the ability to cause mitosis disorder, connected with the damage of mitotic apparatus. A significant increase of disorder frequency of chromosome segregation can be the result of the interaction of mutagens not only with microtubule proteins of division spindle but also with heterochromatin of near-center areas of chromosomes, which is typical for the mechanism of the emergence of cytogenetic aberrations under the effect of chemical supermutagens in high concentrations. The increase of the cell number with multiple aberrations under the effect of soil contamination with hexachlorobenzene in different concentrations proves high gene-toxicity of the chemical compound and the threat of severe genetic outcomes when it gets into the environment.

Key words: *Triticum aestivum* L.; toxic waste contamination; chromosome aberrations; cytogenetic disorders; mutagenic activity; genetic outcomes

Мутагенна активність хімічного забруднення ґрунту полігону токсичних відходів м. Калуш (Західна Україна)

Р.А. Якимчук, В.Ф. Валюк

Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини
вул. Садова 2, м. Умань, 20300, Україна

Email: peoplenature16@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6249-4304

Вивчено частоту і спектр цитогенетичних порушень в клітинах кореневої меристеми проростків *Triticum aestivum* L., індукованих забрудненими гексахлорбензолом ґрунтами території полігону токсичних відходів (ПТВ) і Домбровського кар'єру калійних руд (м. Калуш Івано-Франківська обл.). Концентрації гексахлорбензолу перевищували ГДК в 1233,3–18350 раз. Встановлено, що хімічне забруднення ґрунту спричинює зростання частоти цитогенетичних аберацій в 1,8–3,8 рази. Найвищі її показники виявлено за найінтенсивнішого забруднення ґрунту гексахлорбензолом на ділянках полігону токсичних відходів, що не зазнали рекультивації. Частота цитогенетичних порушень перевищувала контрольний рівень у 3,4–3,8 рази. Свідченням збереження високої мутагенної активності залишків гексахлорбензолу

в ґрунті рекультивованої ділянки полігону є статистично вірогідне зростання кількості аберантних клітин в 2,6–3 рази. Показано, що забруднення ґрунту Домбровського кар'єру комплексом природно-мінеральних сполук гірничо-хімічної сировини призводить до зростання рівня мутагенної активності низьких концентрацій хімічних генотоксичних чинників техногенного походження, що виявляється в індукуванні вищого в 1,8–2,4 рази, від спонтанних показників, рівня цитогенетичних порушень. Спектр хромосомних аберацій, який переважно включав ацентричні фрагменти, розширювався за рахунок індукування мостів, кільцевих хромосом і мікроядер. Зростання серед викликаних дією забруднень ґрунту гексахлорбензолом аберантних клітин частки клітин з дицентриками свідчить про радіоміметичний ефект, спричинений дією хімічного мутагену у високій концентрації на території ПТВ. Хімічні забруднювачі ґрунту всіх досліджених територій проявляють здатність викликати порушення мітозу, пов'язані з пошкодженням мітотичного апарату. Істотне зростання частоти порушень сегрегації хромосом може бути наслідком взаємодії мутагенів не лише з білками мікротрубочок веретена поділу, але і з гетерохроматином прицентромernih ділянок хромосом, що характерно для механізмів виникнення цитогенетичних аберацій за впливу хімічних супермутагенів у високих концентраціях. Збільшення кількості клітин з множинними абераціями за дії забруднень ґрунту гексахлорбензолом у різних концентраціях свідчить про високу генотоксичність хімічної сполуки та небезпеку важких генетичних наслідків у разі потрапляння її в природне середовище.

Ключові слова: *Triticum aestivum* L.; забруднення токсичними відходами; хромосомні аберації; цитогенетичні порушення; мутагенна активність; генетичні наслідки

Вступ

На основі узагальнень результатів досліджень щодо чинників регіонального хімічного забруднення в Україні встановлено, що найбільшу небезпеку складають ТЕЦ, ТЕС, заводи, шахти, кар'єри, транспорт, полігони токсичних відходів, сховища непридатних і заборонених пестицидів. Надзвичайно високу генотоксичність проявляють відходи 1–3 класу небезпеки, яких щороку в державі утворюється до 8 млн т (Lysyuchenko, 2015). Їх масове накопичення на полігонах поблизу населених пунктів перетворило окремі регіони України, зокрема м. Горлівка Донецької обл. та м. Калуш Івано-Франківської обл., в зони екологічного лиха (Lysyuchenko, 2015).

Особливої уваги заслуговують території м. Калуш та сіл Кропивник і Сівка-Калуська Калуського району Івано-Франківської області, які згідно Указу Президента України від 10.02.2010 р. оголошено зоною надзвичайної екологічної ситуації. Інтенсивне забруднення ґрунту, води і повітря Калуського промислового району високотоксичними сполуками із найбільшого в Європі полігону токсичних відходів ТОВ «Оріана Галев» та Домбровського кар'єру, де поховано лише за офіційними даними 11087,6 т гексахлорбензолу (близько 50 % наявних на території України відходів I класу небезпеки) (Skrypnyk & Sova, 2011), призвело до зростання вроджених аномалій – на 19 %, онкозахворювань – на 11,4 %, генетичних порушень у рослинних і тваринних організмів (Shvets, 2011; Rozhko et al., 2014). За оцінкою експертів ООН та міжнародних комісій, рекультивація території Домбровського кар'єру і вивезення гексахлорбензолу з полігону для подальшої утилізації за межами країни відбувалися з грубими порушеннями екологічної безпеки. Це спричинило додаткове забруднення навколишнього середовища канцерогенними сполуками і стало причиною занепокоєння міжнародної спільноти можливістю виникнення транскордонної еколого-технологічної надзвичайної ситуації (Skrypnyk & Sova, 2011).

Серед нерозв'язаних на сьогодні питань залишається рівень мутагенної небезпеки для живих організмів, які спричиняє забруднення гексахлорбензолом ґрунту територій полігону ТОВ «Оріана Галев» і Домбровського кар'єру. Для встановлення його мутагенної активності і виявлення механізмів виникнення генетичних порушень важливо досліджувати вплив мутагенів на функціонування ядерного апарату клітини і частоту цитогенетичних порушень (Ybrahymova, 2014).

Матеріали і методи дослідження

Для вивчення мутагенної активності хімічного забруднення ґрунту в місцях захоронення токсичних відходів проведено цитогенетичний аналіз меристематичних клітин первинних корінців проростків пшениці м'якої озимої (*T. aestivum* L.) сортів Альбатрос одеський і Зимоярка, насіння якої пророщували у зразках ґрунту, відібраного 2013 р. на території полігону токсичних відходів ТОВ «Оріана Галев», його рекультивованої ділянки і відвалів Домбровського кар'єру калійних руд (м. Калуш Івано-Франківської обл.). Концентрації гексахлорбензолу в зразках ґрунту визначали в Українській лабораторії якості і безпеки продукції АПК Національного університету біоресурсів і природокористування. Проби ґрунту відбирали відповідно до стандартних методик. Концентрації гексахлорбензолу становили відповідно 550,5 мг/кг, 292,0 мг/кг і 37,0 мг/кг, що перевищує в 1233,3–18350 раз ГДК для цієї сполуки в ґрунті. Зважаючи на те що територія Полтавської обл. належить до умовно чистих регіонів України, бо її ґрунти не зазнали істотного радіонуклідного забруднення внаслідок аварії на ЧАЕС, не містять решток хлороорганічних і фосфорорганічних пестицидів, а вміст важких металів у кілька разів нижчий за гранично допустимі концентрації (Holik, 2007; Onyshchenko, 2011; Shvyd et al., 2010), за контроль було взято зразки ґрунту території с. Сватки Гадяцького р-ну Полтавської обл.

Насіння в кількості 50 шт. на варіант досліду пророщували за температури 24–26 °С в чашках Петрі у зволоженої дистильованою водою зразках ґрунту з досліджуваних ділянок. Первинні корінці завдовжки 0,8–1,0 см фіксували протягом 4 год. у фіксаторі Кларка, що складається з 96 % розчину етилового спирту і льодяної оцтової кислоти у співвідношенні 3:1. Хімічну мацерацію корінців проводили протягом 1 хв. в 1 н розчині соляної кислоти. Після мацерації з метою аналізу хромосомних аберацій та порушень мітозу корінці поміщували у розчин ацетоорсеїну на 24 год. за температури 23–25 °С.

Для мікроскопічного аналізу готували тимчасові давлені цитологічні препарати за загальноприйнятими методами (Pausheva, 1998). Мікроскопічне вивчення меристематичної зони корінців проводили з використанням мікроскопу «JENAVAL» (Carl Zeiss Jena) при збільшенні 600x. Мікрофотографування здійснювали за допомогою інтегрованої в мікроскоп фотонасадки Olympus SP-500 UZ при збільшенні мікроскопа 900x та програмного забезпечення Quick PHOTO MICRO 2,3 for Windows (Olympus). Під час визначення частоти хромосомних аберацій та порушень мітозу до уваги брали клітини, які перебували в анафазі та ранній телофазі. Вибірка для кожного варіанту становила не менше як 1000 клітин, що вивчалися в 20 і більше первинних корінцях. Враховували частоту абераційних клітин як відсоток клітин в анафазі та ранній телофазі, що містили хромосомні порушення. При обчисленні середньої кількості аберацій на абераційну клітину (КАнаАК) враховували клітини з 0, 1, 2 та множинними хромосомними абераціями («>2» аберацій). Статистичну обробку експериментальних даних здійснювали загальноприйнятими методами (Lakup, 1990), достовірність різниці оцінювали за допомогою t-критерію Стьюдента. Нульову гіпотезу відкидали за $P \leq 0,05$. Всі розрахунки проводили за допомогою редактора MS Excel 2003 та програмного пакета Statistica 6.0. У таблиці наведені відсоткові частки хромосомних аберацій та їх похибки.

Результати та їх обговорення

Пророщування насіння пшениці у пробах ґрунту із територій полігону токсичних відходів ТОВ «Оріана Галев» і Домбровського кар'єру калійних руд м. Калуш спричинило індукування в клітинах меристеми первинних корінців високу частоту хромосомних аберацій, яка перевищувала фоновий рівень контролю в 1,8–3,8 рази (табл. 1). Найвищі її показники виявлено за найінтенсивнішого забруднення ґрунту гексахлорбензолом на ділянках полігону токсичних відходів, що не зазнали рекультивациі. Частота цитогенетичних порушень перевищувала контрольний рівень у 3,4–3,8 рази ($P \leq 0,01$) і становила для сортів Альбатрос одеський і Зимоярка відповідно 2,35 % та 2,51 %. Свідченням збереження високої мутагенної активності залишків гексахлорбензолу в ґрунті рекультивованої ділянки полігону є статистично вірогідне зростання в 2,6–3 рази в кореневій меристемі проростків кількості абераційних клітин.

Аналізуючи частоту хромосомних аберацій в меристематичних клітинах первинних корінців проростків пшениці, що зазнали впливу комплексної дії хімічного забруднення ґрунту в межах відвалів Домбровського кар'єру калійних руд, встановлено, що рівень індукованих цитогенетичних порушень в 1,8–2,4 рази перевищував контрольні показники. Проби ґрунту з відвалів Домбровського кар'єру за даними Haidin (2011) та Holovchak (2010) включають розкриті породи, що наполовину складаються із соленосних глин, які вміщують галіт, кайніт, лангбейніт, сільвін, кізерит, полігаліт, ангідрит, шеніт та леоніт, та перевищуючі ГДК сполуки Ni, Fe, Mn, Pb, Cr та Me. Крім того, в межах відвалів кар'єру відбулось несанкціоноване захоронення тисяч тон особливо небезпечних хімічних речовин – гексахлорбензолу і амінів, які, в міру їх неналежного ізолювання, потрапляють до поверхневих шарів ґрунту (Skrypnyk & Sova, 2011).

Таблиця 1. Частота і спектр хромосомних аберацій в меристематичних клітинах первинних корінців озимої пшениці, індукованих забрудненням ґрунту токсичними відходами в м. Калуш

Місце відбору зразків	Вивчено ана-телофаз мітозів, шт.	Мітози з порушеннями і хромосомними абераціями		Спектр порушень мітозу та хромосомних аберацій										КАнаАК, шт.				
		шт.	%	Фрагменти		Мости		Мости + фрагменти		Мікроядра		Відстаючі хромосоми			Кільцеві хромосоми			
				шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%		шт.	%		
Альбатрос одеський																		
с. Сватки Полтавська обл. (контроль)	1291	8	0,62±0,22	1	0,08	7	0,54	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1,00
Полігон ТОВ «Оріана Галев»	1107	26	**2,35±0,46*	13	1,18*	11	0,99	0	0,00	1	0,09	0	0,00	1	0,09	0	0,00	1,19*
Рекультивована ділянка полігону ТОВ «Оріана Галев»	1133	21	1,85±0,40*	10	0,88*	6	0,53	0	0,00	0	0,00	3	0,26	2	0,18	0	0,00	1,05
Домбровський кар'єр	1126	17	1,51±0,36*	6	0,53	7	0,62	0	0,00	0	0,00	4	0,36*	0	0,00	0	0,00	1,18*
Зимоярка																		
с. Сватки Полтавська обл. (контроль)	1200	9	0,75±0,25	5	0,42	4	0,33	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1,00
Полігон ТОВ «Оріана Галев»	1592	40	**2,51±0,39*	14	0,88	17	1,07*	2	0,12	0	0,00	6	0,38*	1	0,06	0	0,00	1,45**
Рекультивована ділянка полігону ТОВ «Оріана Галев»	1219	24	1,97±0,40*	11	0,90	8	0,66	1	0,08	0	0,00	3	0,25	1	0,08	0	0,00	1,38**
Домбровський кар'єр	1166	16	1,37±0,34	5	0,43	8	0,69	0	0,00	1	0,09	1	0,09	1	0,09	0	0,00	1,19

* Різниця з контролем статистично вірогідна за $P < 0,05$. ** Різниця з контролем статистично вірогідна за $P < 0,0$

Спектр типів цитогенетичних порушень окрім ацентричних фрагментів і мостів, які були характерні також для контрольного варіанту, включав мікроядра, кільцеві та відстаючі хромосоми (рис. 1). Зростання частоти хромосомних аберацій в клітинах меристеми корінців проростків за дії забруднення ґрунту гексахлорбензолом у найвищій концентрації (територія полігону токсичних відходів ТОВ «Оріана Галев») обумовлене індукуванням переважно одиничних ацентричних фрагментів (0,88 %) у сорту Альбатрос одеський та хроматидних і хромосомних мостів (1,07 %) у сорту Зимоярка (рис. 2). Як правило, індукування з високою частотою мостів, зокрема хромосомних, є характерним

цитогенетичним наслідком впливу іонізуючих випромінювань (Medvedeva & Bolsunovskiy, 2016; Geras'kin et al., 2012). Утворення в кореневій меристемі пшениці великої кількості клітин з дицентриками, викликаних дією забруднень ґрунту гексахлорбензолом в межах полігону токсичних відходів м. Калуш свідчить про радіоміметичні властивості хімічної сполуки, які можуть проявлятися за дії високої концентрації мутагену.

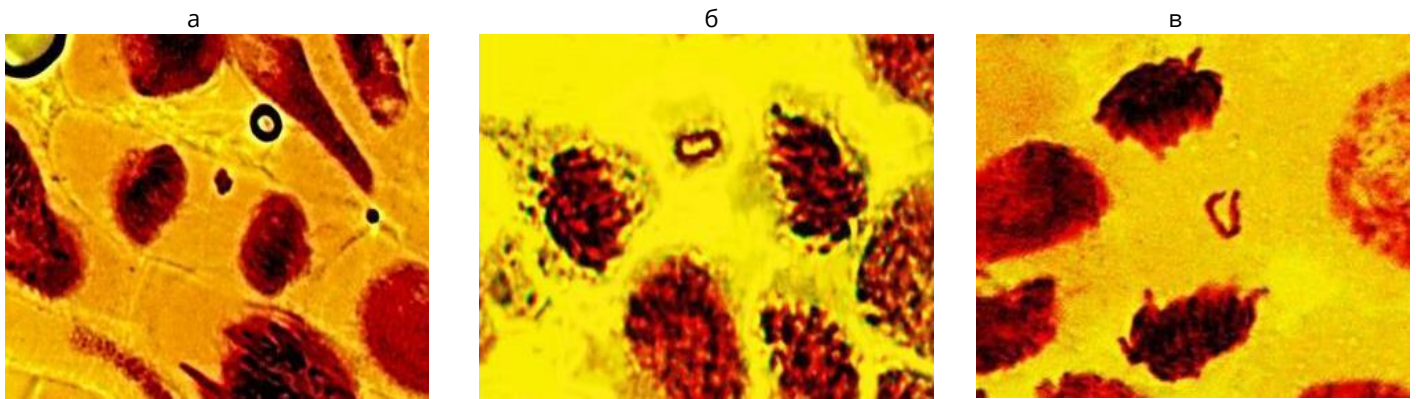


Рис. 1. Хромосомні аберації та порушення мітозу, індуковані забрудненням ґрунту токсичними відходами полігону м. Калуш: а – мікроядро, б – кільцева хромосома, в – відстаюча хромосома.

Внаслідок впливу на кореневу меристему пшениці гексахлорбензолом у низьких концентраціях, що характерно для рекультивованої ділянки полігону токсичних відходів ТОВ «Оріана Галев», частота клітин з ацентричними фрагментами зберігалась на рівні попереднього варіанту й становила 0,88 % для сорту Альбатрос одеський і 0,90 % для сорту Зимоярка. Проте частка мостів у загальній частоті цитогенетичних порушень зменшилася до показників контрольного рівня.

Збільшення кількості кластогенних порушень в клітинах меристеми первинних корінців проростків пшениці за впливу хімічного забруднення ґрунту Домбровського кар'єру обумовлене утворенням переважно ацентричних фрагментів у сорту Альбатрос одеський і дицентричних хромосом у сорту Зимоярка.

При пророщуванні насіння в пробах ґрунту, забрудненого хімічними чинниками різних досліджених об'єктів, спостерігались поодинокі випадки появи кільцевих хромосом – індикаторів радіаційного впливу, що може свідчити про відсутність спорідненості хімічних мутагенів з генетичними структурами клітини та механізмом їх дії за принципом мішені – випадково (Eihes, 2013). Їх утворення можна пояснити втратою прителомерних фрагментів, внаслідок чого втрачається зв'язок хромосом з ядерною оболонкою та порушується архітектоніка ядра (Kolomyets et al., 2013; Zuccarello et al., 2010; Basinko et al., 2012).

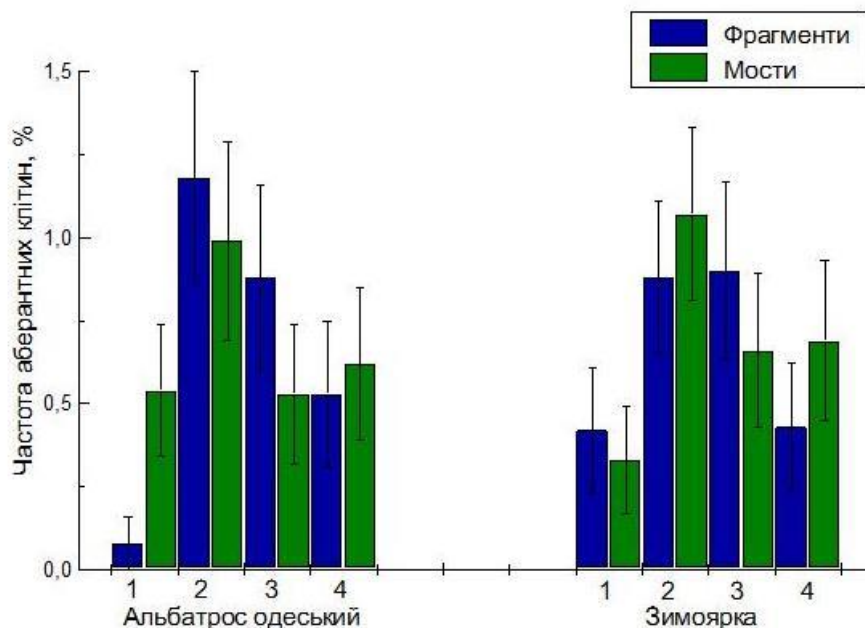


Рис. 2. Частота ацентричних фрагментів і мостів, індукованих забрудненими токсичними відходами ґрунтами м. Калуш: 1 – с. Сватки Полтавська обл. (контроль), 2 – полігон токсичних відходів ТОВ «Оріана Галев», 3 – рекультивована ділянка полігону токсичних відходів ТОВ «Оріана Галев», 4 – Домбровський кар'єр.

Хімічні забруднювачі ґрунту досліджених територій проявляють здатність викликати порушення мітозу, пов'язані з пошкодженням мітотичного апарату. Вважається, що вплив радіації призводить до зростання частоти хромосомних аберацій в клітині, а дія хімічних мутагенів найчастіше призводить до генних мутацій або пошкоджень мітотичного веретена (Shevtsova & Hudkov, 2014; Geras'kin et al., 2011, Geras'kin et al., 2012).

Статистично вірогідне зростання частоти анеуплоїдних клітин кореневої меристеми проростків спричинювала дія забруднень ґрунту гексахлорбензолом у найвищій концентрації на території полігону токсичних відходів ТОВ «Оріана Галев» у сорту Зимоярка (0,38 %) та комплексом низьких концентрацій хімічних сполук відвалу Домбровського кар'єру в сорту Альбатрос одеський (0,36 %).

З високою частотою (0,25–0,26 %) відстаючі хромосоми індукували також забруднення ґрунту гексахлорбензолом рекультивованої ділянки полігону токсичних відходів. Істотне зростання частоти порушень сегрегації хромосом може бути наслідком взаємодії мутагенів не лише з білками мікротрубочок веретена поділу, але і з гетерохроматином прицентромernih ділянок хромосом, що характерно для механізмів виникнення цитогенетичних аберацій за впливу хімічних супермутагенів у високих концентраціях.

Зростання частоти абераційних клітин не завжди супроводжується аналогічними змінами середньої КАнаАК; і навпаки, при майже незмінних значеннях частоти абераційних клітин може спостерігатися зростання КАнаАК (Shkagura et al., 2011). Серед абераційних клітин, індукованих забрудненням ґрунту хімічними мутагенами, виявлено клітини, що несли відразу більше двох хромосомних перебудов.

Найвищими показниками КАнаАК характеризувались абераційні клітини меристеми первинних корінців пророслого насіння озимої пшениці сорту Зимоярка, які зазнали впливу забруднень ґрунту гексахлорбензолом полігону токсичних відходів ТОВ «Оріана Галев» (1,45 шт.) і рекультивованої його ділянки (1,38 шт.) (рис. 3).

Комплексні цитогенетичні порушення в клітинах меристеми первинних корінців проростків сорту Альбатрос одеський утворювались з меншою частотою, проте за дії гексахлорбензолу в найвищій і найнижчій концентраціях, що характерно для забруднених ґрунтів полігону токсичних відходів ТОВ «Оріана Галев» і відвалів Домбровського кар'єру калійних руд, показник КАнаАК статистично перевищував контроль.

Важкі цитогенетичні порушення, індуковані низькими концентраціями гексахлорбензолу в ґрунті, можуть бути пов'язані з кумулятивним чи синергетичним ефектом мутагенного впливу інших хімічних чинників, зокрема важкими металами.

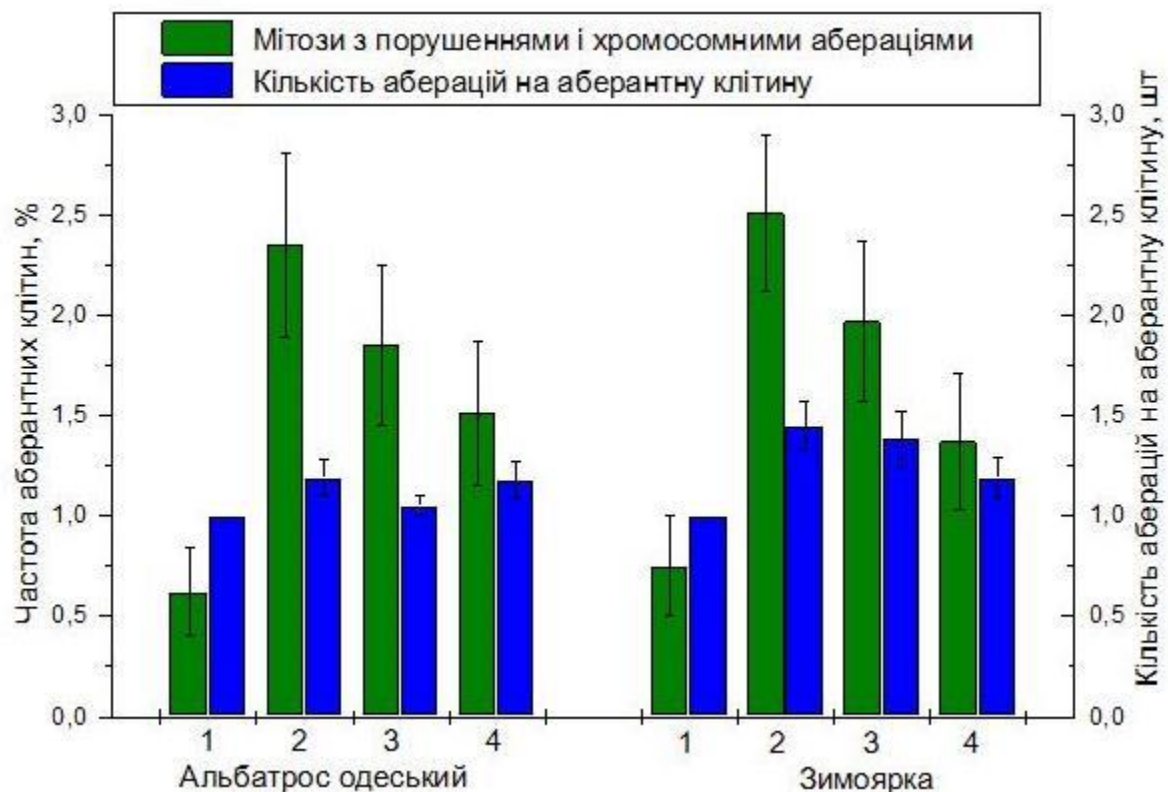


Рис. 3. Частота хромосомних аберацій і КАнаАК за дії забруднення ґрунту токсичними відходами м. Калуш: 1 – с. Сватки Полтавська обл. (контроль), 2 – полігон токсичних відходів ТОВ «Оріана Галев», 3 – рекультивована ділянка полігону токсичних відходів ТОВ «Оріана Галев», 4 – Домбровський кар'єр.

Висновки

Таким чином, хімічне забруднення ґрунту полігону токсичних відходів ТОВ «Оріана Галев» і Домбровського кар'єру калійних руд м. Калуш спричинює зростання частоти цитогенетичних аберацій в озимій пшениці в 1,8–3,8 рази. Найвищу мутагенну активність виявляють забруднення ґрунту гексахлорбензолом нерекультивованої території полігону токсичних відходів ТОВ «Оріана Галев». Частота абераційних клітин, індукованих забрудненням ґрунту гексахлорбензолом рекультивованої ділянки полігону токсичних відходів, перевищує в 2,6–3 рази спонтанний рівень та продовжує становити загрозу для геному організмів. Забруднення ґрунту відвалів Домбровського кар'єру комплексом природно-мінеральних сполук гірничо-хімічної сировини призводить до зростання рівня мутагенної активності низьких концентрацій хімічних генотоксичних чинників техногенного походження, що виявляється в індукованні рівня цитогенетичних порушень, вищого в 1,8–2,4 рази від спонтанних показників.

Спектр хромосомних аберацій, який переважно включав типові для хімічного мутагенезу ацентричні фрагменти, розширювався за рахунок індукування мостів, кільцевих хромосом і мікроядер. Зростання серед абераційних клітин, викликаних дією ґрунту полігону токсичних відходів, забрудненого гексахлорбензолом, частки клітин з дицентриками, свідчить про радіоміметичний ефект, спричинений дією хімічних мутагенів у високих концентраціях.

Хімічні забруднювачі ґрунту всіх досліджених територій проявляють здатність викликати порушення мітозу, пов'язані з пошкодженням мітотичного апарату. Істотне зростання частоти анеуплоїдних клітин виявлено за впливу забруднень гексахлорбензолом ґрунту полігону токсичних відходів ТОВ «Оріана Галев» і комплексом хімічних мутагенів Домбровського кар'єру.

Збільшення кількості клітин з множинними абераціями за дії забруднень ґрунту гексахлорбензолом у різних концентраціях свідчить про високу генотоксичність хімічної сполуки та небезпеку важких генетичних наслідків у разі потрапляння її в природне середовище. Високий показник КАнаАК за низьких концентрацій гексахлорбензолу в ґрунті відвалів Домбровського кар'єру може бути пов'язаний з кумулятивним чи синергетичним ефектом мутагенного впливу комплексу недиференційованих хімічних чинників.

References

- Basinko, A., Giovannucci Uzielli, M. L., Scarselli, G. (2012). Clinical and molecular cytogenetic studies in ring chromosome 5: Report of a child with congenital abnormalities. *European Journal of Medical Genetics*, 55(2), 112-116. DOI:[10.1155/2014/149878](https://doi.org/10.1155/2014/149878)
- Eihes, N. S. (2013). Historical role of Iosif Abramovich Rapoport in genetics. The continuation of the research with the use of the method of chemical mutagenesis. *Vavilov journal of genetics and breeding*, 17 (1), 162-172 (in Russian).
- Geras'kin, S., Oudalova, A. A., Docareva, N. S. (2011). Effects of radio active contamination on Scots pines in the remote period after the Chernobyl accident. *Ecotoxicology*, 20, 1195-1208. DOI:[10.1007/s10646-011-0664-7](https://doi.org/10.1007/s10646-011-0664-7)
- Geras'kin, S., Oudalova, A., Dikareva, N. (2012). Effects of chronic irradiation in plant populations. *Radiobiology and Environmental Security, NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security*. Dordrecht: Springer Science+Business Media B. V.
- Haidin, A. M. (2011). Ecological problems of mining industrial complexes. *Scientific-technical journal*, 4 (2), 55-62.
- Holik, Yu.S. (2007). The program of environmental protection, rational use of natural resources and the implementation of the ecological policy taking into account regional priorities of Poltava region during the period up to the year of 2010 in a new edition. Poltava: Poltava literator (in Ukrainian).
- Holovchak, V. F. (2010). The state of mining-industrial geo-economical complexes of Kalush-Holynskiy deposit of potassium salts and the measures for their ecological optimization. *Ecological safety and balanced resource use: proceedings*, 2, 4-13.
- Kolomyets, O. L., Atsaeva, M. M., Dadashev, S. Ia. (2013). Breach of synaptonic complexes and peculiarities of spermatozoa selection of I order in a mouse in response to the injection medical preparations. *Genetics*, 49 (11), 1261-1269 (in Russian).
- Lakyn, H. F. (1990). *Biometrics*. Moscow: Vysshiaia shkola (in Russian).
- Lysychenko, H. V. (2015). Problems of chemical and radiation safety of Ukraine. *Bulletin of Ukraine's NAS*, 6, 20-27. Available from: [http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/84890/](http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/84890) Accessed on 08.03.2018 (in Ukrainian).
- Medvedeva, M. Iu., Bolsunovskiy, A. Ia. (2016). Spectrum of chromosome aberrations in root meristem of *E. Canadensis* from the areas near the Yenisei River with different types of industrial contamination. *Genetic toxicology*, 16 (XIV, 2), 57-65 (in Russian).
- Onyshchenko, V. O. (2011). The regional program of environmental protection, rational use of natural resources and the implementation of the ecological policy taking into account regional priorities of Poltava region for the period of 2010-2015. Program "Environment-2015". Poltava (in Ukrainian).
- Pausheva, Z.P. (1998). *Manual on plant cytology*. Moscow: Agropromizdat (in Russian).
- Rozhko, M. M., Ersteniuk, H. M., Kryzhanivska, A. Ye. (2014). Development and introduction of the system of reduction of technogenic load on the territory and population of ecologically-declining areas. *Ecology and nature use*, 18, 97-110 (in Ukrainian).
- Shvets L. S. (2011). Bioindication of the intensity of the environmental pollution based on the fertility indicators of pollen grains of different plants. *Achievements of biology and medicine*, 17 (1), 40-44 (in Ukrainian).
- Shvyd, S. F., Shvyd, L. M., Natalochka, V. O., Tkachenko, S. K. (2010). Dynamics of remaining pesticide concentrations in the soils of Poltava region. *Bulletin of Poltava state agrarian academy*, 3, 26-31 (in Ukrainian).

Skrypnyk, O., Sova, A. (2011). Black holes of Kalush. ZN,UA. Available from: (in Ukrainian)

https://zn.ua/HEALTH/chernye_dyry_kalusha.html. Accessed on 08.03.2018 .

Shevtsova, N. L., Hudkov, D. Y.(2014). Cytogenetic effects of small doses of ionizing radiation of *Phragmites australis* L. from water reservoirs of Chernobyl alienated zone. Materials of scientific-practical conference with foreign participation. "Radioecology – 2014". Zhytomyr: Publishing house of ZhsU named after I. Franko, 236-240 (in Ukrainian).

Shkarupa, V. M., Neumerzhyska, L. V., Klymenko, S. V., Symihlazova, T. V. (2011). Dynamics of the spectrum changes of chromosome aberrations, induced by mitomycin C in *Allium cepa* L. Bulletin of UTGIS, 9 (1), 112-117 (in Ukrainian).

Ybrahymova, E.E. (2014). The study of a combined effect of remaining pesticides and heavy metals on mutation frequency of root meristem cells of *Allium cepa* L. Scientific notes of Tavriia national university named after V. I. Vernadskiy. Series: Biology, chemistry, 26(3), 31-42 (in Ukrainian).

Zuccarello, D., Dallapiccola, B., Novelli, A., Foresta, C. (2010). A zoo spermia in a man with a constitutional ring 22 chromosome. European Journal of Medical Genetics, 53(6), 389-391. DOI: [10.1016/j.ejmg.2010.07.014](https://doi.org/10.1016/j.ejmg.2010.07.014).

Citation:

Yakymchuk, R.A., Valyuk, V.F. (2018). Soil mutagenic activity in hazardous waste site of Kalush City (Western Ukraine).

Ukrainian Journal of Ecology, 8(1), 880–886.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0. License
