

[https://doi.org/10.18524/2077-1746.2023.1\(52\).284685](https://doi.org/10.18524/2077-1746.2023.1(52).284685)

УДК 575.224.46.044

Ю. М. Штреблева, магістр

О. Р. Омельченко, магістр

О. Л. Січняк, к.б.н., доцент

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,

Біологічний факультет, кафедра молекулярної біології, біохімії та генетики,

Одеса, вул. Дворянська, 2, 65082, Україна, e-mail: a.sechnyak@onu.edu.ua

ЦИТОГЕНЕТИЧНІ ЕФЕКТИ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН

Досліджували генотоксичний потенціал аніонних і катіонної поверхнево-активних речовин (ПАР). Як тест-об'єкт використовували пшеницю м'яку. За їх дії суттєво зменшувався мітотичний індекс в кореневій меристемі паростків та зростала частка клітин, які містять хромосомні аберації. Обробка рослин ПАР достовірного збільшувала частку аномальних мікроспороцитів в обох поділах мейозу. Ступінь порушень прямо пропорційний концентрації застосованих ПАР. За усіма дослідженими показниками дія катіонної ПАР була більшою, ніж дія обох аніонних ПАР. Обговорюється можливий вплив ПАР на генетичний поліморфізм пшениці.

Ключові слова: аніонні ПАР; катіонні ПАР; пшениця м'яка; мітотичний індекс; анафазний тест; мейоз; генетичний поліморфізм

Поверхнево-активні речовини (ПАР) широко застосовуються як мийні засоби, антикорозійні речовини, емульгатори і суспензатори пестицидів, у виробництві мінеральних добрив і кормових добавок, компонентів лікарських препаратів і косметики. Практично все населення планети контактує з ПАР, кількість яких у довкіллі зростає з кожним роком. Використання синтетичних ПАР спричиняє забруднення, порівняні із забрудненням нафтою Світового Океану і пестицидами – ґрунту і води, отже ця проблема має глобальний характер [3].

Проведено численні дослідження впливу ПАР на живі організми. Показано зв'язування ПАР поверхнево-активних білків і пептидів. Модифікація просторової структури поліпептидного ланцюга і зміна заряду може привести до незвичайної біологічної активності [11]. Аніонна ПАР додецилсульфат натрію (ДСН) викликає інгібування АТФ-азної активності Р-глікопротеїну, пошкодження мембранних структур та ініціювання відповіді на окисний стрес [18, 24]. ДСН викликає перекисне окиснення ліпідів, збільшення продукції глутатіону і зміни в метаболізмі вуглецю [24].

За дослідження впливу неіоногенної ПАР 4-н-нонілфенолу (НФ) у кінських бобів (*Vicia faba* L.) спостерігали суттєве пригнічення мітотичної активності

в кореневій меристемі, а обприскування квіткових бутонів протягом 1–4 днів викликало появу аномальних материнських клітин пилку (МКП). Спостерігали різноманітні хромосомні аномалії як мітотичних, так і мейотичних поділів. Крім того, НФ індукував зміни у спектрі ізоензимів естераз [7].

Порівняння генотоксичного потенціалу катіонної ПАР на основі глутамінової кислоти (ГК) і аніонної ПАР ДСН на кукурудзі (*Zea mays* L.), показало, що з ростом концентрації ПАР різко і суттєво зменшується мітотичний індекс клітин кореневої меристеми в порівнянні з контролем. Загальна кількість хромосомних аберацій, таких як злипання хромосом, відставання хромосом, утворення хромосомних мостів збільшується з ростом концентрації ДСН з 10 до 26%, за впливу ГК – з 6 до 9%, в той час як в контролі ця величина не перевищувала 4% [16].

Дію різних концентрацій ДСН і ГК на ДНК клітин кореня аналізували за допомогою RAPD-PCR. Виявлені зміни геному, які суттєво корелюють з пригніченням швидкості росту коренів, змінами мітотичного індексу і ростом хромосомних аберацій [16].

Метою даної роботи було дослідження генотоксичного потенціалу аніонних та катіонної ПАР.

Матеріали і методи дослідження

Матеріалом для досліджень слугувала озима м'яка пшениця *Triticum aestivum* L. cv. Фантазія одеська. В роботі використовували дві аніонні ПАР – стеарат натрію і алкілбензолсульфокислоту – і одну катіонну ПАР – Praerapagen TQ. Ці речовини застосовуються у виробництві миючих засобів, шампунів, фарб для волосся, поліолефінів, каучуків і гуми, в сухих будівельних сумішах, як емульгатори при виробництві пестицидів, у косметичці, фармацевтиці тощо.

В подібних дослідженнях концентрація ПАР від 100 до 400 ppm (або аналогічні у інших одиницях виміру) вважається високою і біологічно ефективною [15–17]. Тому було застосовано дві концентрації ПАР – 0,01% (відповідає концентрації 100 ppm) і 0,04% (відповідає концентрації 400 ppm). Як контроль використовували дистильовану воду.

Оцінювали вплив ПАР на величину мітотичного індексу, а також регулярність мітозу в кореневій меристемі паростків. Насіння пророщували за стандартною методикою, фіксували у оцтовому алкоголі (3:1). Мітотичний індекс є показником рівня мітотичної активності клітин і може вказувати на нейтральність, мітотоксичність або стимулювальну мітоз дію досліджуваного фактора. Для визначення мітотичного індексу на цитологічних препаратах враховували усі стадії мітозу, що зустрічаються серед меристематичних клітин. Величину мітотичного індексу визначали як відношення кількості клітин, що діляться, до загальної кількості переглянутих клітин, та виражали у відсотках:

$$MI = \frac{m}{n} 100, \%$$

де n – кількість досліджуваних клітин; m – кількість клітин, що діляться [23].

Обсяг вибірки для кожного варіанту складав 1,6 тис. клітин. Генотоксичність ПАР оцінювали за допомогою ана-телофазного метода [23], досліджуючи кореневу меристему паростків. Фіксовані корінці забарвлювали 1% оцтокарміном. Готували давлені препарати та переглядали 73–108 клітин (ана- і телофаз) на варіант досліду.

Для дослідження впливу ПАР на плин мейозу рослини на стадії виходу у трубку, приблизно за два тижні до здійснення мейозу однократно рясно обприскували розчинами ПАР у концентрації 0,01% і 0,04%. Як контроль використовували дистильовану воду. Колосся на стадії мейозу фіксували у оцтовому алкоголі (3:1). Матеріал забарвлювали 1% оцтокарміном після попередньої обробки 4% розчином залізоамонійних галунів і готували тимчасові давлені препарати з пиляків [23].

Отримані результати опрацьовували статистично [1], обраховуючи середні значення та похибки середніх. Для аналізу результатів використовували критерій Стьюдента.

Результати дослідження та їх обговорення

Цитогенетичні ефекти ПАР в кореневій меристемі пшениці. Дослідження мітотичного індексу в кореневій меристемі паростків показало суттєве його зменшення (табл. 1). В усіх випадках спостерігалася більш м'яка дія катіонного препарату Праераген ТQ. За дії концентрації 0,01% мітотичний індекс достовірно не відрізнявся від контролю, в той час як обидва аніонні препарати достовірно зменшували мітотичний індекс. Із збільшенням концентрації до 0,04% мітотичний індекс зменшувався сильніше. Схожі результати були отримані на багатьох рослинних об'єктах при випробуванні різних типів і концентрацій ПАР [7, 16, 19].

При вивченні цитогенетичних наслідків впливу ПАР обраховували частку клітин з хромосомними абераціями, а також спектр хромосомних аберацій. За дії ПАР (табл. 1) суттєво зростає частка клітин, які містять хромосомні аберації. Це зростання прямо пропорційне концентрації препаратів. При цьому слід зазначити, що дія катіонного препарату Праераген ТQ була менш шкідливою, ніж дія обох аніонних препаратів.

Відомості про генотоксичність різних типів ПАР різноманітні. На різних тест-об'єктах показана більша генотоксичність аніонних ПАР [16, 19, 21]. В більш ранніх роботах наводилися результати про більшу генотоксичність як аніонних, так і катіонних ПАР [10]. Ці протиріччя можна пояснити, з одного боку, тим, що за минули роки прогрес у покращанні препаратів був більшим при створенні катіонних ПАР, зокрема синтезованих на основі амінокислот.

З іншого боку, спектр препаратів сьогодні настільки широкий, що результат дослідження певною мірою залежить від набору препаратів, обраних для дослідження.

В більшості досліджених клітин мітоз протікав нормально. Серед порушень на стадії ана-телофази спостерігали клітини з відставанням хромосом, фрагментами, утворенням хромосомних мостів.

Таблиця 1

Мітотичний індекс в кореневій меристемі та частота клітин з абераціями хромосом у озимій м'якої пшениці Фантазія одеська в залежності від типу і концентрації ПАР

Варіант досліджу	Мітотичний індекс	Частка клітин з хромосомними абераціями, %
Контроль	6,8±0,6	2,8±1,6
Стеарат натрію, 0,01%	5,6±0,6*	10,0±3,2*
Стеарат натрію, 0,04%	4,6±0,5**	24,3±5,0**
АБСК ¹ , 0,01%	5,3±0,6**	11,8±3,5*
АБСК, 0,04%	4,5±0,5**	27,4±5,2**
Праераген TQ, 0,01%	6,5±0,6	6,7±2,5
Праераген TQ, 0,04%	5,5±0,6*	10,2±3,2*

* – відмінності від контролю достовірні при P≤0,05

** – відмінності від контролю достовірні при P≤0,01

¹ – алкілбензолсульфокислота

Спектр хромосомних аберацій, що спостерігався за дії ПАР, наведено у табл. 2. Всі типи хромосомних аберацій спостерігалися набагато частіше із збільшенням концентрації ПАР. За дії катіонного препарату це зростання відбувалося у меншому ступені.

Таблиця 2

Спектр хромосомних аберацій у кореневій меристемі озимій м'якої пшениці Фантазія одеська за дії ПАР (n=73–108)

Варіант досліджу	Частота клітин з, %			
	відставанням хромосом	мостами	фрагментами	комплексними порушеннями
Контроль	1,9±1,3	0,9±0,9	0,9±0,9 ²	0,9±0,9 ²
Стеарат натрію, 0,01%	4,4±2,2	2,2±1,5	1,1±1,1	2,2±1,5
Стеарат натрію, 0,04%	10,8±3,6*	4,1±2,3	8,1±3,2*	2,7±1,9
АБСК ² , 0,01%	4,7±2,3	2,4±1,7	3,5±2,0	1,2±1,2
АБСК, 0,04%	11,0±3,7*	5,5±2,7	8,2±3,2*	2,7±1,9
Праераген TQ, 0,01%	3,8±1,9	1,9±1,3	1,9±1,3	1,9±1,3
Праераген TQ, 0,04%	5,7±2,5	1,1±1,1	2,3±1,6	1,1±1,1

* – відмінності від контролю достовірні при P≤0,05

¹ – алкілбензолсульфокислота² – показник розрахований з використанням поправки Ван-дер-Вардена

Ана-телофази з відставанням хромосом зустрічалися з найбільшою частотою. Цей тип порушень мітозу пов'язують із пошкодженням кінетохору [22]. Другими за частотою були клітини з хромосомними фрагментами. Фрагментація хромосом виникає у пухлинних клітинах, за вірусної інфекції, внаслідок дії іонізуючого випромінювання або мутагенів [22], тобто фрагменти є наслідками розривів хромосом. Фрагменти можуть бути одиночними, парними і множинними. За процесів репарації розриви хромосом здатні до возз'єднання, внаслідок чого виникають мости.

Клітини з мостами складала третю за частотою групу. Наявність одиночних мостів свідчить про здійснення переважно хроматидних асиметричних обмінів [20]. Спостерігали також поодинокі клітини, в яких одночасно відбувалося декілька типів порушень.

Таким чином, основним типом цитогенетичних аберацій внаслідок дії випробуваних ПАР є пошкодження кінетохору і розриви хромосом, які проявляються у вигляді фрагментів і мостів. Разом з тим, цитоскелет клітини за дії зазначених ПАР майже не ушкоджується. Про це свідчить відсутність таких аномалій мітозу як завмирання мітозу на стадії метафази (так званий К-мітоз), розсіювання хромосом, несиметричний мітоз [22].

В інших дослідженнях спостерігався більш широкий спектр хромосомних аберацій. Так, в роботі [19] за дослідження дії різних типів ПАР повідомляється про наявність таких порушень: на стадії метафази – злипання хромосом та транслокації; на стадії анафази – утворення мостів, фрагментація та відставання хромосом, мультиполярне розходження хромосом; на стадії телофази – утворення мікроядер, багатоядерність.

За дослідження безпечності 11 ПАР (аніонних, амфотерних, неіоногенних, катіонної) визначали ступінь їхньої цитотоксичної дії з використанням суспензійної культури сперматозоїдів бика. Аналіз та узагальнення отриманих результатів досліджень дозволяє зробити висновок, що лише одна з 11 досліджених ПАР (катіонна) не спричиняє шкіро-подразнюючої дії, і її можна віднести до 4 класу небезпеки за класифікацією ДСТУ 12.1.007. Для виявлення класу токсичності та оцінки подразнюючого ефекту інших ПАР необхідно проводити додаткові розширені токсикологічні дослідження [5].

Цитогенетичні ефекти ПАР в спорогенній тканині пшениці. Застосована обробка рослин розчинами ПАР привела до високо достовірного збільшення частки аномальних МКП як у першому, так і у другому мейотичному поділі (табл. 3). Частка аномалій зростала прямо пропорційно концентрації застосованих ПАР. При цьому найбільш м'якою дією характеризувалася катіонна ПАР Pгаераген TQ. Обидві аніонні ПАР мали більш жорстку дію, причому за застосування АБСК ступінь порушень у МКП був найбільшим.

Відмінностей між першим і другим мейотичним поділами за частотою утворення дефектних МКП не виявлено. В інших дослідженнях відмічалася більша уразливість першого мейотичного поділу [7, 8, 13]. Ці розбіжності мож-

на пояснити декількома причинами. По-перше, ці результати отримані на бобових – дводольних рослинах, тоді як у представленій роботі використовувалася пшениця – злакова однодольна рослина. По-друге, відрізнявся спосіб обробки. Ми застосовували однократне обприскування за два тижні до мейозу. В роботі [7] використовували обприскування під час бутонізації, внаслідок чого частина бутонів загинула. В інших наведених роботах взагалі використовували фунгіцид [8] та інсектицид [13].

Таблиця 3

Частка аномальних МКП у мейозі озимої м'якої пшениці в залежності від типу і концентрації ПАР

Варіант досліджу	Перший поділ			Другий поділ		
	Всього МКП	Аномальних МКП		Всього МКП	Аномальних МКП	
		шт.	%		шт.	%
Контроль	900	2	0,2±0,2	902	3	0,3±0,3
Стеарат натрію, 0,01%	879	13	1,5±0,4*	925	14	1,5±0,4*
Стеарат натрію, 0,04%	919	25	2,7±0,5**	933	26	2,8±0,5**
АБСК ¹ , 0,01%	885	23	2,6±0,5**	925	23	2,5±0,5**
АБСК, 0,04%	929	33	3,6±0,6**	938	32	3,4±0,6**
Праераген TQ, 0,01%	903	13	1,4±0,4*	903	13	1,4±0,4*
Праераген TQ, 0,04%	933	18	1,9±0,4**	927	19	2,0±0,5**

* – відмінності від контролю достовірні при $P \leq 0,05$

** – відмінності від контролю достовірні при $P \leq 0,01$

¹ – алкілбензолсульфофосфат

Застосування неіоногенних ПАР Твін-20, Твін-65, Твін-85, Тритон X-100 і Тритон X-305 [2] не виявило залежності частоти аномалій від фази мейозу, однак в цій роботі наводяться неочікувано високі частоти формування МКП з аномаліями – від 19,5 до 32,5%. В нашому дослідженні за максимальної концентрації препарату АБСК складала лише 3,5%. Втім слід зазначити, що в роботі [2] застосовували інший спосіб застосування ПАР. По суті, насіння пшениці були протравлені протягом п'яти годин 1% розчином різних типів ПАР при 25 °С. Спостережувані аномалії мейозу є наслідком цієї обробки. В роботі [7] спостерігали в середньому, в залежності від способу обробки, від 0,7 до 3,7% аномальних МКП. Обприскування рослин можливо було менш шкодочинними для пшениці за рахунок наявності воскового нальоту на поверхні листків і стебла, що фактично зменшило дозу ПАР, яка проникла до спорогенної тканини.

Аналіз порушень, які спостерігалися у мікроспороцитах, можна звести до наступних явищ. На всіх стадіях мейозу спостерігалася злипання хромосом. Зокрема на рис. 1в наведено мікрофотографію діади мікроспор, в обох кліти-

нах якої замість рівномірно розподіленого по ядрах хроматину спостерігається нерівномірний розподіл глибок надспіралізованого хроматину по ядрах.

Як у першому, так і у другому мейотичному поділі спостерігалось відставання хромосом, утворення мостів, фрагментів, викид хромосом за межі основної групи хромосом, утворення мікроядер (рис. 1). Також у другому мейотичному поділі спостерігали асинхронність у клітинах діади. Так на рис. 1е наведено другий поділ у діаді, де в одній з клітин відбувається телофаза II, а в іншій – тільки починається метафаза II, хромосоми навіть ще не вишикувалися у екваторіальну пластинку. Отже, внаслідок дії ПАР спостерігалось переважно пошкодження хроматину. Подібні порушення мейозу спостерігалися і в інших роботах [2, 7].

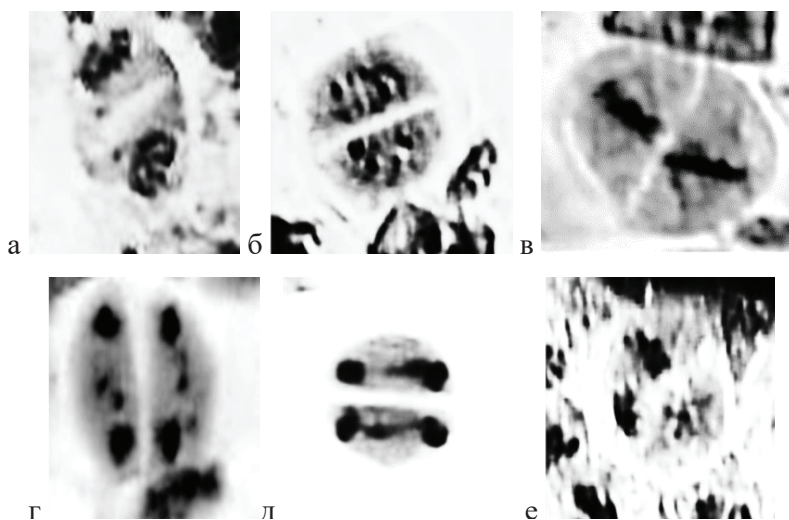


Рис. 1. Діада з мікроядрами (а); утворення в ядрах діади надспіралізованих глибок хроматину (б); метафаза II, непаралельне розташування веретен поділу в клітинах діади, викид хромосом з екваторіальної пластинки (в); телофаза II, відставання хромосом – фрагменти (г); телофаза II з мостами (д); асинхронність другого поділу – в одній клітині діади ТII (з мікроядром), в іншій – початок МII (е). Об'єктив $\times 20$. Окуляр $\times 15$.

Висловлювалася думка, що злипання хромосом є результатом зчеплення ниток хроматину внаслідок конденсації при підготовці до поділу клітини [6]. Однак це дещо механістичне уявлення. Сучасні дослідження формування хромосом, процесів їх спіралізації та запобігання передчасному розходженню відводять велику роль білку Кі-67. З'ясовано, що в клітинах зі зменшеним вмістом білка Кі-67 після фрагментації ядерної оболонки під час клітинного поділу хромосоми, які до того були представлені як просторово розділені структури за рахунок механічного контакту з ядерною оболонкою, після виходу у цитоплазму

проявляються як єдина хроматинова маса. Дослідження поведінки кінетохорів в таких клітинах показало, що хромосоми втратили здатність до нормального руху. Вони можуть переміщатися лише за рахунок адгезії. Втрата просторового розділу між хромосомами може порушити зборку веретена поділу і включення хромосом в метафазну пластинку [12].

Важливим для мети нашого дослідження є факт, що білок Ki-67 має амфіфільну структуру і має характерні риси поверхнево-активних речовин. З'ясовано, що будь-який позитивно заряджений білок, що зв'язує хромосоми, може їх розділяти. Однак білок Ki-67 має додаткові властивості, зумовлені його розмірами і особливостями розташування на поверхні хромосоми, що робить його необхідним для подальшого розділення хромосом. Білок Ki-67 потрібний для утримування окремих хромосом, диспергованих в цитоплазмі після їх вивільнення з механічно жорсткої ядерної оболонки. Білок Ki-67 забезпечує цю функцію через механізм поверхнево активної речовини на межі фаз між хроматином і цитоплазмою [12]. Слід зазначити, що розподіл фаз є важливим принципом, який лежить в основі утворення інших позаелементних клітинних органел, таких як ядерця або центросоми [9, 25]. Отже, проникнення екзогенних ПАР до спорогенної тканини може приводити до заміщення високоефективного спеціалізованого білка малоефективними речовинами з подібною дією. Наслідком цього може бути злипання хромосом.

Прихильники теорії «липкості» хромосом вважають, що цим можна пояснити формування мостів і наступне припинення анафазного поділу [14]. Однак слід мати на увазі й інші чинники, які здатні приводити до розривів хромосом, їх возз'єднання та запуску циклу «мост–розрив–злиття».

ПАР та продукти їх метаболізму – альдегіди, кетони, спирти тощо через метаболіти перекісного окиснення ліпідів – малоновий діальдегід, дієнові кон'югати, перекиси, гідроперекиси, вільні радикали, маючи мембранотропну дію, – приводять до пошкодження генетичного апарату клітини. Це виражається у виникненні хромосомних аберацій: дицентриків, транслокацій, делецій, розривів одностричаних хромосом, зменшенні синтезу ДНК, РНК і білка [4].

Як відомо, ПАР широко використовуються в агрономії та сільському господарстві для захисту рослин з метою утворення емульсій; для підвищення ефективності транспортування поживних компонентів до рослин через мембранні стінки. Але, як можна бачити з проведених досліджень, не виключений їхній вплив на генетичний апарат пшениці, і, якщо він не буде фатальним, це може привести до формування генетичного поліморфізму оброблюваних сортів. З одного боку, це вимагатиме приділяти більше уваги насінництву культур, щоб підтримувати типовість сорту. З іншого боку, це може бути корисним явищем з огляду на те, що з'являється нове джерело мінливості в генотипах оброблюваних сортів.

Висновки

1. Мітотичний індекс в кореневій меристемі паростків достовірно зменшується за дії досліджуваних ПАР. При цьому суттєво зростає частка клітин, які містять хромосомні аберації. Це зростання прямо пропорційне концентрації препаратів.

2. Обробка рослин ПАР достовірного збільшувала частку аномальних МКП як у першому, так і у другому мейотичному поділі прямо пропорційно концентрації застосованих ПАР.

3. За усіма дослідженими показниками дія катіонного препарату Праераген ТQ була більш м'якою, ніж дія обох аніонних ПАР.

Стаття надійшла до редакції 15.05.2023

Список використаної літератури

1. Буджак В. В. Біометрія. Чернівці: Рута, 2013. 327 с.
2. Омирбекова Н. Ж., Жунусбаева Ж. К., Жусупова А. И. Цитогенетический эффект поверхностно-активных веществ на мягкую пшеницу. *KazNU Bulletin. Ecology series*. 2012. № 4 (36). С. 309–315.
3. Проданчук М. Г., Мудрий І. В., Калашніков А. А. Поверхнево-активні речовини: токсиколого-гігієнічні та мікробіологічні аспекти. К.: «Медицина України», 2006. 223с.
4. Швець В. І., Тимофійчук І. Р., Семененко С. Б., Швець Н. В. Вплив поверхнево-активних речовин на організм людини. *Клінічна та експериментальна патологія*. 2017. Т. 16, № 2 (60). С. 115–119. DOI:10.24061/1727-4338.XVI.2.60.2017.23
5. Яловенко О. І., Раєцька О. В., Голіченков О. М., Бабій В. Ф., Кондратенко О. Є, Пімушина М. В. Оцінка токсичності поверхнево-активних речовин на культурі рухливих клітин. *Environment & Health*. 2014. № 2. С. 15–18.
6. Abd-El-Salam A. Z. E., Hassan H. Z., Soliman K. H. The mutagenicity of two aromatic systemic pesticides using three biological systems. *Egypt. J. Genet. Cytol.* 1996. V. 25. P. 171–184.
7. Adam F. I. M., El-Ashry Z. M. Evaluation of Genotoxicity of 4-n-Nonylphenol using *Vicia faba* L. *Journal of Biological Sciences*. 2010. V. 10, № 4. P. 368–372. <https://docsdrive.com/pdfs/ansinet/jbs/2010/368-372.pdf>
8. Amer S. M., Mohamed F. I., El-Ashry Z. M. Cytogenic effects of the fungicide benomyl on *Vicia faba* and *Pisum sativum*. *Bull. NRC. Egypt*. 1999. V. 24, № 4. P. 481–494.
9. Brangwynne C. P., Mitchison T. J., Hyman A. A. Active liquid-like behavior of nucleoli determines their size and shape in *Xenopus laevis* oocytes. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2011. V. 108, № 11. P. 4334–4339. <https://doi.org/10.1073/pnas.1017150108>
10. Buchanan G. A. Patterns of surfactant toxicity to plant tissues. Iowa: Iowa State University of Science and Technology Ames, 1965. 210 p.
11. Cserhati T., Forga'cs E., Oros G. Biological activity and environmental impact of anionic surfactants. *Environmental International*. 2002. V. 28, № 5. P. 337–348. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00032-6](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00032-6)
12. Cuylen S. Ki-67 acts as a biological surfactant to disperse mitotic chromosomes / S. Cuylen, C. Blaukopf, A. Z. Politi, T. Müller-Reichert, B Neumann, I. Poser, J. Ellenberg, A. A. Hyman, D. W. Gerlich. // *Nature*. – 2016. – V. 535, № 7611. – P. 308–3012. doi: 10.1038/nature18610
13. El-Sherbeny K. M., Mohamed F. I., Abou-Deif M. H. Genotoxic effect of insecticide cascade in mice and *Vicia faba*. *Egypt. J. Genet. Cytol.* 2002. V. 31, № 1. P. 135–150.
14. Gottschalk W., Wolf G. Induced Mutation in Plant Breeding: Monographs on Theoretical and Applied Genetics. Berlin: Springer Verlag, 1993. 230 p.
15. HarrÉus U. A., Wallner B. C., Kastenbauer E. R., Kleinsasser N. H. Genotoxicity and Cytotoxicity of 4-Nonylphenol Ethoxylate on Lymphocytes as Assessed by the Comet Assay. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2002. V. 82, № 6. P. 395–401. <https://doi.org/10.1080/0306731021000015047>
16. Kekeç G., Cosgun S. Genotoxicity potentials of anionic and cationic amino acid-based surfactants. *Toxicology and Industrial Health*. 2015. V. 31, № 4. P. 377–385. <https://doi.org/10.1177/0748233712469657>
17. Liwarska-Bizukoje E., Miksch K., Malachowska-Jutysz A., Kalka J. Acute toxicity and genotoxicity of five selected anionic and nonionic surfactants. *Chemosphere*. 2005. V. 58, № 9. P. 1249–1253. doi: 10.1016/j.chemosphere.2004.10.031

18. Nunes B., Carvalho F., Guilhermino L. Effects of widely used pharmaceuticals and a detergent on oxidative stress biomarkers of the crustacean *Artemia parthenogenetica*. *Chemosphere*. 2006. V. 62, № 4. P. 581–594. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.06.013>
19. Qureshi S. T., Soomro A. G., Bux H., Yasmeen A. Genotoxic and Carcinogenic Effects of House Hold Detergents Using Chromosomal Aberration Assay in Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Root Tip Cells. *World Applied Sciences Journal*. 2014. V. 32, № 7. P. 1381–1387. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2014.32.07.14543
20. Reviews in plant cytogenetics / M. J. Puertas, T. Naranjo, eds. 2008. Basel, Switzerland: Karger. 214 pp.
21. Rinallo C., Bennici A., Cenni E. Effects of two surfactants on *Triticum durum*. *Environmental and experimental botany*. 1988. V. 28, № 4. P. 367–374. [https://doi.org/10.1016/0098-8472\(88\)90061-5](https://doi.org/10.1016/0098-8472(88)90061-5)
22. Singh R. J. Plant Cytogenetics. CRC Press Taylor & Francis Group, 2017. 549 p.
23. Singh R. J. Practical Manual on Plant Cytogenetics. CRC Press Taylor & Francis Group, 2018. 347 p.
24. Sirisaththa S., Momose Y., Kitagawa Y. Toxicity of anionic detergents determined by *Saccharomyces cerevisiae* microarray analysis. *Water Research*. 2004. V. 38, № 1. P. 61–70. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.08.027>
25. Zwicker D., Decker M., Jaensch S., Hyman A. A., Julicher F. Centrosomes are autocatalytic droplets of pericentriolar material organized by centrioles. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2014. V. 111, № 26. P. E2636–2645. <https://doi.org/10.1073/pnas.140485511>

Ю. М. Штрebleва, О. Р. Омельченко, О. Л. Січняк

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,
біологічний факультет, кафедра молекулярної біології, біохімії та генетики,
Одеса, вул. Дворянська, 2, 65082, Україна, e-mail: a.sechnyak@onu.edu.ua

ЦИТОГЕНЕТИЧНІ ЕФЕКТИ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН

Резюме

Проблема. Широке застосування ПАР у господарській діяльності та побуті привело до забруднення, яке має глобальний характер. Виявлений негативний вплив ПАР на різноманітні характеристики живих організмів, що робить дослідження безпечності ПАР вкрай актуальними.

Мета. Метою даної роботи було дослідження генотоксичного потенціалу аніонних та катіонної ПАР.

Методика. Досліджували вплив аніонних (стеарат натрію і алкілбензолсульфокислота) та катіонної (Праераген TQ) ПАР на величину мітотичного індексу, а також на регулярність мітозу та мейозу *Triticum aestivum* L. cv. Фантазія одеська за стандартними цитогенетичними методами.

Основні результати. За дії ПАР в кореневій меристемі паростків достовірно знижувався мітотичний індекс та зростала кількість клітин, які містять хромосомні аберації. Серед аномалій на стадії ана-телофази спостерігали клітини з відставанням хромосом, фрагментами, утворенням хромосомних мостів, а також з комплексними порушеннями. Ці зміни відбувалися прямо пропорційно концентрації препаратів. Дія катіонного препарату була менш шкідливою, ніж дія обох аніонних препаратів.

Обробка рослин ПАР привела до високо достовірного збільшення частки аномальних МКП як у першому, так і у другому поділі мейозу прямо пропорційно концентрації застосованих ПАР. Відмінностей між першим і другим мейотичним поділами за частотою утворення дефектних МКП не виявлено. Обидві аніонні ПАР мали більш жорстку дію, ніж катіонна; за застосування алкілбензолсульфокислоти ступінь порушень у мікроспороцитах був найбільшим.

Висновки. Виявлене прямопропорційне концентрації ПАР достовірне зменшення мітотичного індексу та збільшення частки клітин, які містять хромосомні

аберації в кореневій меристемі паростків, також достовірне збільшення частки аномальних МКП як у першому, так і у другому поділі мейозу. За усіма дослідженими показниками дія катіонного препарату «Praepagen TQ» була більш м'якою, ніж дія обох аніонних ПАР.

Ключові слова: аніонні ПАР; катіонні ПАР; пшениця м'яка; мітотичний індекс; анафазний тест; мейоз; генетичний поліморфізм

Yu. M. Shtrebleva, O. R. Omelchenko, O. L. Sichniak

Odesa I. I. Mechnikov National University, Department of Molecular Biology, Biochemistry and Genetics, 2 Dvoryans'ka St., Odesa, 65082, Ukraine, e-mail: a.sechnyak@onu.edu.ua

CYTOGENETIC EFFECTS OF SURFACTANTS

Abstract

Introduction. The widespread use of surfactants in economic activity and life has led to global pollution. The negative impact of surfactants on various characteristics of living organisms has been revealed, which makes a research on the safety of surfactants extremely relevant.

Aim. The aim of this work was to study the genotoxic potential of anionic and cationic surfactants.

Methods. The influence of anionic (sodium stearate and alkylbenzenesulpho-acid) and cationic (Praepagen TQ) surfactants on the value of the mitotic index, as well as on the regularity of mitosis and meiosis of *Triticum aestivum* L. cv. Odesa fantasy by standard cytogenetic methods.

Main results. Under the action of surfactants in the root meristem of sprouts, the mitotic index significantly decreased and the number of cells containing chromosomal aberrations increased. Among the abnormalities at the ana-telophase stage, cells with lagging chromosomes, fragments, the formation of chromosomal bridges, and complex disorders were observed. These changes were directly proportional to the concentration of the drugs. The action of the cationic drug was less harmful than the action of both anionic drugs.

Treatment of plants with surfactants led to a highly reliable increase in the proportion of abnormal MCPs in both the first and second division of meiosis, directly proportional to the concentration of surfactants applied. No differences were found between the first and second meiotic divisions in terms of the frequency of formation of defective MCPs. Both anionic surfactants had a stronger effect than the cationic one; with the use of alkylbenzenesulfonic acid, the degree of violations in microsporocytes was the greatest.

Conclusions. A significant decrease in the mitotic index and an increase in the proportion of cells containing chromosomal aberrations in the root meristem of sprouts, as well as a significant increase in the proportion of abnormal MCPs in both the first and second division of meiosis, were found to be directly proportional to the concentration of surfactant. According to all the parameters studied, the action of the cationic drug "Praepagen TQ" was milder than the action of both anionic surfactants.

Key words: anionic surfactants; cationic surfactants; bread wheat; mitotic index; anaphase test; meiosis; genetic polymorphism

References

- Budjak V.V. (2013) *Biometrics* [Биометрија], Chernivtsi: Ruta, 327 p.
- Omirebekova N. Zh., Zhunusbaeva Zh.K., Zhusupova A.I. (2012) Cytogenetic effect of surfactants on bread wheat [Citogeneticheskij effekt poverhnostno-aktivnyh veshchestv na myagkuyu pshenicu], *KazNU Bulletin. ecology series*, 4 (36), pp. 309–315.
- Prodanchuk M.G., Mudry I.V., Kalashnikov A.A. (2006) *Surface-active speech: toxicological-hygienic and microbiological aspects* [Poverkhnevo-aktyvni rechovyny: toksykolooho-hihiienichni ta mikrobiolohichni aspekty], Kyiv: Medicine of Ukraine, 223 p.
- Shvets V.I., Timofichuk I.R., Semenenko S.B., Shvets N.V. (2017) Influx of surface-active speeches on the human body [Vplyv poverkhnevo-aktyvnykh rechovyn na orhanizm liudyny], *Clinical and experimental pathology*, 16, № 2 (60), pp.115–119. DOI:10.24061/1727–4338.XVI.2.60.2017.23
- Yalovenko O.I., Rajtska O.V., Golichenkov O.M., Babiy V.F., Kondratenko O.E., Pimushina M.V. (2014) Evaluation of the toxicity of surface-active speeches on the culture of rotten cells [Otsinka toksychnosti poverkhnevo-aktyvnykh rechovyn na kulturi rukhlyvykh klityn], *Environment & Health*, 2, p. 15–18.
- Abd-El-Salam A.Z.E., Hassan H.Z., Soliman K.H. (1996) The mutagenicity of two aromatic systemic pesticides using three biological systems, *Egypt. J. Genet. Cytol.*, 1996, 25. pp. 171–184.
- Adam F.I.M., El-Ashry Z.M. (2010) Evaluation of Genotoxicity of 4-n-Nonylphenol using *Vicia faba* L., *Journal of Biological Sciences*, 10(4), pp. 368–372. <https://docsdrive.com/pdfs/ansinet/jbs/2010/368–372.pdf>
- Amer S.M., Mohamed F.I., El-Ashry Z.M. (1999) Cytogenetic effects of the fungicide benomyl on *Vicia faba* and *Pisum sativum*, *Bull. NRC. Egypt.*, 24(4), pp. 481–494.
- Brangwynne C.P., Mitchison T.J., Hyman A.A. (2011) Active liquid-like behavior of nucleoli determines their size and shape in *Xenopus laevis* oocytes, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 108(11), pp. 4334–4339. <https://doi.org/10.1073/pnas.1017150108>
- Buchanan G.A. (1965) *Patterns of surfactant toxicity to plant tissues*, Iowa: Iowa State University of Science and Technology Ames, 210 p.
- Cserhati T., Forga'cs E., Oros G. (2002) Biological activity and environmental impact of anionic surfactants, *Environmental International*, 28(5), pp. 337–348. [https://doi.org/10.1016/S0160–4120\(02\)00032–6](https://doi.org/10.1016/S0160–4120(02)00032–6)
- Cuylen S., Blaukopf C., Politi A.Z., Müller-Reichert T., Neumann B., Poser I., Ellenberg J., Hyman A.A., Gerlich D.W. (2016) Ki-67 acts as a biological surfactant to disperse mitotic chromosomes, *Nature*, 535(7611), pp. 308–3012. doi: 10.1038/nature18610
- El-Sherbeny K.M., Mohamed F.I., Abou-Deif M.H. (2002) Genotoxic effect of insecticide cascade in mice and *Vicia faba*, *Egypt. J. Genet. Cytol.*, 31(1), pp. 135–150.
- Gottschalk W., Wolf G. (1993) *Induced Mutation in Plant Breeding: Monographs on Theoretical and Applied Genetics*, Berlin, Springer Verlag, 230 p.
- HarrÉus U.A., Wallner B.C., Kastenbauer E.R., Kleinsasser N.H. (2002) Genotoxicity and Cytotoxicity of 4-Nonylphenol Ethoxylate on Lymphocytes as Assessed by the Comet Assay, *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 82(6), pp. 395–401. <https://doi.org/10.1080/0306731021000015047>
- Kekeç G., Cosgun S. (2015) Genotoxicity potentials of anionic and cationic amino acid-based surfactants, *Toxicology and Industrial Health*, 31(4), pp. 377–385. <https://doi.org/10.1177/0748233712469657>
- Liwarska-Bizukojc E., Miksch K., Malachowska-Jutz A., Kalka J. (2005) Acute toxicity and genotoxicity of five selected anionic and nonionic surfactants, *Chemosphere*, 58(9), pp. 1249–1253. doi: 10.1016/j.chemosphere.2004.10.031
- Nunes B., Carvalho F., Guilhermino L. (2006) Effects of widely used pharmaceuticals and a detergent on oxidative stress biomarkers of the crustacean *Artemia parthenogenetica*, *Chemosphere*, 62(4), pp. 581–594. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.06.013>
- Qureshi S.T., Soomro A.G., Bux H., Yasmeen A. (2014) Genotoxic and Carcinogenic Effects of House Hold Detergents Using Chromosomal Aberration Assay in Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Root Tip Cells, *World Applied Sciences Journal*, 32(7), pp. 1381–1387. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2014.32.07.14543
- Reviews in plant cytogenetics* / Puertas MJ, Naranjo T. eds. (2008), Basel, Switzerland, Karger, 214 p.
- Rinallo C., Bennici A., Cenni E. (1988) Effects of two surfactans on *Triticum durum*, *Environmental and experimental botany*, 28(4), pp. 367–374. [https://doi.org/10.1016/0098–8472\(88\)90061–5](https://doi.org/10.1016/0098–8472(88)90061–5)
- Singh R.J. (2017) *Plant Cytogenetics*, CRC Press Taylor & Francis Group, 549 p.
- Singh R.J. (2018) *Practical Manual on Plant Cytogenetics*, CRC Press Taylor & Francis Group, 347 p.
- Sirisattha S., Momose Y., Kitagawa Y. (2004) Toxicity of anionic detergents determined by *Saccharomyces cerevisiae* microarray analysis, *Water Research*, 38(1), pp. 61–70. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.08.027>
- Zwicker D., Decker M., Jaensch S., Hyman A.A., Julicher F. Centrosomes are autocatalytic droplets of pericentriolar material organized by centrioles, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 111(26), pp. E2636–2645. <https://doi.org/10.1073/pnas.140485511>