

УДК 575:633.11

Н. Ж. ОМИРБЕКОВА

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДЕЙСТВИЯ СОЛИ ХЛОРИСТОГО КАДМИЯ И СУПЕРМУТАГЕНА НИТРОЗОМЕТИЛМОЧЕВИНЫ НА МЯГКУЮ ПШЕНИЦУ (*TRITICUM AESTIVUM* L.)

(Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы)

Проведено сравнительное изучение действия хлористого кадмия и нитрозометилмочевины на частоту структурных нарушений хромосом в меристематических клетках пшеницы, морфометрические показатели. Установлено, что хлористый кадмий является не только токсикантом, но и мутагеном, обладающим способностью изменять структуру цитоскелета и вызывать структурные нарушения хромосом в соматических клетках пшеницы.

Тяжелые металлы и их соединения являются токсикантами, которые определяют антропогенное воздействие на окружающую среду и человека. Тяжелые металлы делят на три класса по степени опасности, и наиболее опасными являются Cd, Hg, Se, Pb, Zn. Кадмий среди тяжелых металлов является одним из наиболее токсичных веществ. Он обладает высоким кумулятивным эффектом, не подвергается биодеградации и практически не выводится из организма. Молекулярный механизм токсичности тяжелых металлов полностью не выяснен. Благодаря своей способности связываться с жизненно важными сульфгидрильными, амин- и фосфатными группами, они могут инактивировать белки, вызывать аллостерические изменения, индуцировать как генные, так и структурные мутации хромосом, и приводить к образованию опухолей [1].

При изучении действия Co, Ni, Cr, Zn, Mn, Hg, Cd показано, что тяжелые металлы, проникая в клеточное ядро, изменяют структурно-функциональную организацию ядерного генома. Например, ртуть связывается с пуринами ДНК, магnezия вызывает транзиции у бактерий и фагов, а Mn влияет на ДНК-полимеразу [2]. Обнаружено, что кадмий вызывает нарушения в расхождении сестринских хромосом у *Vicia faba* и влияет на деление клеток [3]. Показано, что высокая концентрация кадмия ( $5,34 \cdot 10^{-5}$  М) на *Allium cepa* оказывает достоверные токсические и мутагенные эффекты [4]. При проведении сравнительного анализа влияния солей Cd, Pb, Ni, Al, Cu и Zn в разных концентрациях на цитогенетические параметры клеток апикальной меристемы *Allium cepa* L. Установлено, что соединения этих ме-

таллов могут вызывать как кластогенные, так и анеугенные эффекты (включая нарушения хода митоза и цитокинеза). По способности вызывать хромосомные aberrации соли металлов, расположили в следующем порядке:  $ZnSO_4 > Pb(CH_3COO)_2 > Al(NO_3)_3 > NiSO_4 > CdCl_2 > CuSO_4$ . Исследованные соединения кадмия, свинца, никеля и алюминия оказались более эффективными анеугенами, нежели класстогенами [5].

Выявление новых источников мутагенной активности показывает высокую эффективность метода экспериментального мутагенеза, актуальность исследований, которые направлены на расширение спектра генетической изменчивости, создание нового исходного материала с селекционно-ценными хозяйственными признаками и свойствами, в мире было создано более 164 сортов пшеницы [6].

Мировые достижения индуцированного мутагенеза указывают на роль генотипа в мутационном процессе. Низкомутабельными являются рожь, овес и твердая пшеница, а высокомутабельными – ячмень, рис и мягкая пшеница. Генотипическая специфичность мутабельности в первую очередь объясняется эффективностью функционирования репарирующих систем генотипа [7].

В связи с этим, использование тяжелых металлов, как источников мутагенной активности, является актуальным для мутационной селекции мягкой пшеницы.

В наших предыдущих исследованиях предпосевная обработка семян водным раствором  $CdCl_2$  (0,01 %) индуцировала изменение признаков. Установлено, что обработка семян  $CdCl_2$

индуцирует у мягкой пшеницы изменения, которые выражаются в появлении в первом поколении ( $M_1$ ) мощных растений с продуктивными селекционно-ценными признаками. Эти растения, имели характерные признаки исходного сорта, но по ряду количественных признаков превосходили контрольные варианты. Мутантные формы имели высокую продуктивную кустистость, удлиненные колосья и колосковую чешую, крупное стекловидное зерно, увеличенное число и массу зерен главного колоса, массу 1000 зерен, антоциановую окраску и др. Измененные признаки наследовались в ряду поколений ( $M_2 - M_4$ ) [8].

Целью данной работы является сравнительное изучение действия на мягкую пшеницу соли хлористого кадмия с супермутагеном нитрозометилмочевиной для определения генотоксичности кадмия.

### Материал и методы исследования

В качестве объекта исследования использовали мягкую пшеницу местной селекции сорта Шагала. Мягкая пшеница имеет диплоидный набор хромосом ( $2n = 42$ ), хорошо изучена как в генетическом, так и в цитологическом плане.

В эксперименте использовали водные растворы хлористого кадмия ( $CdCl_2$ ) и супермутагена нитрозометилмочевины (НММ) в концентрациях 0,005, 0,01 и 0,02%. В качестве контроля использовали семена, замоченные в охлажденной кипяченой воде в течение 3, 7 и 12 часов.

Для цитологических и полевых исследований обработку семян мягкой пшеницы НММ и  $CdCl_2$  проводили в течение 3, 7 и 12 часов. После обработки семена промывали в проточной воде в течение 30 минут, слегка подсушивали и проращивали в термостате в чашках Петри на фильтровальной бумаге, смоченной дистиллированной водой при  $t = 25 \pm 1$  °C.

Для получения анафазных пластинок корешки фиксировали в смеси Карнуа. Во всех вариантах проводили по 2 фиксации с интервалом в 5 часов. В качестве красителя использовали кармин. Цитологические препараты готовили по общепринятой методике [9]. Анализ хромосомных нарушений в клетках корневой меристемы проростков мягкой пшеницы проводили с помощью анафазного метода на светооптическом

микроскопе *microsc.* В каждом варианте опыта просматривали не менее 300 анафаз, при этом в каждом корешке учитывали не менее 50 клеток. Так как достоверной разницы по частоте перестроек хромосом между отдельными фиксациями не обнаружено, анализ полученных результатов проводили по суммарным данным. При анализе структурных мутаций хромосом учитывали не только общее количество нарушений, но и типы перестроек – мосты, фрагменты и отставание хромосом. Во всех случаях определяли общую частоту клеток с перестройками хромосом в процентах от общего количества изученных анафаз, число перестроек на 100 изученных анафаз, а также процентное содержание каждого типа перестроек от общего количества индуцированных нарушений хромосом.

В полевых условиях посев контрольных и обработанных семян ( $n = 100$ ) проводили согласно стандартным агротехническим приемам на полях ТОО «Растениеводство и земледелие» АО «КазАгроИнновация». При структурном анализе количественных признаков учитывали следующие параметры: высоту растений, продуктивную кустистость, длину главного колоса, число цветков, число и массу зерен в главном колосе. В первом поколении определяли растения с измененной морфологией вегетативных органов.

Статистическую обработку проводили общепринятыми методами [10].

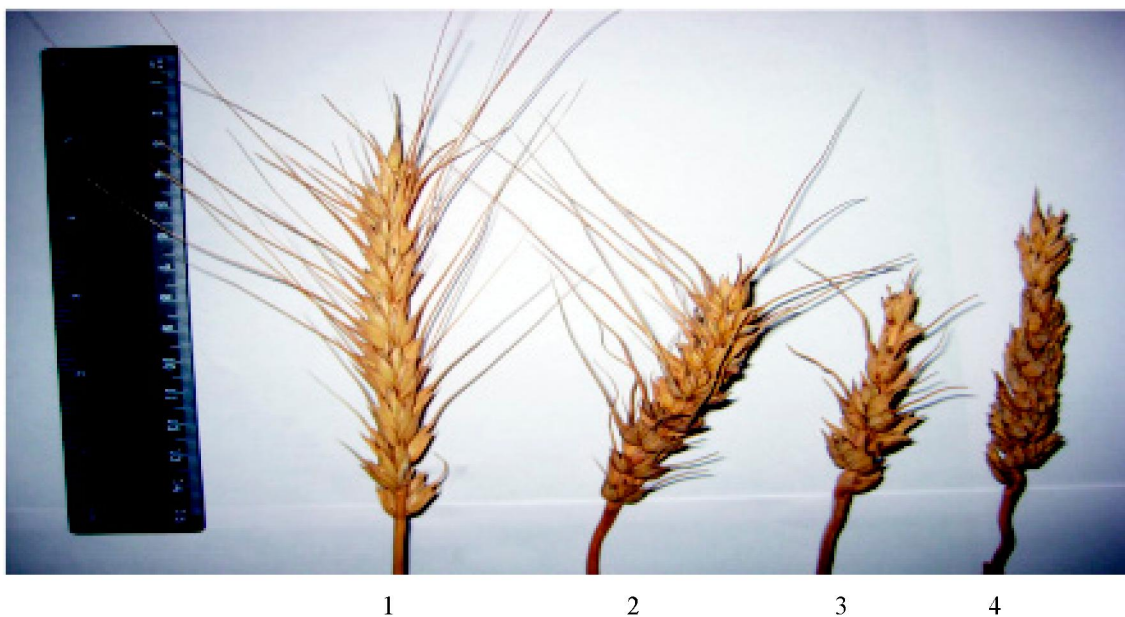
### Результаты исследования и их обсуждение

Обработку растений  $CdCl_2$  и НММ в разной концентрации проводили перед посевом. В результате обработки растений химическими соединениями в одной и той же популяции происходило разделение растений на «чувствительные» и «устойчивые». Среди популяции «чувствительных» особей фиксировались модифицирующие изменения.

После обработки семян мягкой пшеницы НММ и  $CdCl_2$  в популяции были обнаружены поврежденные растения с измененной морфологией вегетативных органов – растения с увеличенным числом колосков на колосковом уступе, искривленными остями, нарушением рядности в главном колосе и др. (рис. 1, 2).



**Рис. 1.** Типы морфозов у мягкой пшеницы сорта Шагала, индуцированные НММ:  
1 – нормальный колос; 2 – колос с нарушением рядности колосков; 3 – колос с удлинённой колосковой чешуей;  
4 – безостый колос; 5 – безостый колос с нарушением рядности колосков



**Рис. 2.** Типы морфозов у мягкой пшеницы сорта Шагала, индуцированные  $\text{CdCl}_2$ :  
1 – нормальный колос; 2 – колос с нарушением рядности колосков; 3 – полустистый колос  
с нарушением рядности колосков; 4 – безостый колос с нарушением рядности колосков

Показано, что при воздействии  $\text{CdCl}_2$  на мягкую пшеницу количество морфозов в первом поколении варьирует от 37 до 66 %, а при действии супермутагена – от 25 до 57 %. Процент морфозов зависит от концентрации химических соединений и времени экспозиции. Следует заметить, что процент растений с морфологическими изменениями при действии соли тяжелого

металла на пшеницу выше, чем при индукции супермутагеном, что свидетельствует о высокой токсичности  $\text{CdCl}_2$ . Известно, что морфозы листа и колоса встречаются в посевах злаковых культур в контрольных условиях, но в случае обработки мутагенами их процент увеличивается до 40–50 %. Склонность к морфозам, как наследственно обусловленное свойство, отражает

прежде всего чувствительность генотипа к факторам окружающей среды [11]. Однако, при изучении влияния высоких концентраций  $CdCl_2$  на этиолированные проростки пшеницы (*Triticum aestivum* L.) и рапса (*Brassica napus* L.) было отмечено, что высокие концентрации хлористого кадмия практически полностью ингибируют увеличение веса и роста проростков у рапса, при этом у пшеницы данные эффекты выражены в меньшей степени. Также установлено, что влияние кадмия на процессы перекисного окисления липидов, у рапса вызывал

интенсификацию процессов ПОЛ, а у пшеницы – снижение интенсивности процессов ПОЛ. Выявлено, что более высокая активность пероксидазы пшеницы по сравнению с пероксидазой рапса свидетельствует об устойчивости пшеницы к действию токсиканта [12].

Структурный анализ показал: морфологические параметры мягкой пшеницы, за исключением признака «продуктивная кустистость», при обработке семян  $CdCl_2$  в разных концентрациях ингибируются по сравнению с контрольным опытом (табл. 1).

Таблица 1. Морфологические параметры мягкой пшеницы сорта Шагала, индуцированные НММ и  $CdCl_2$

Концентрация, %	Время обработки, ч	Высота, см	Продукт. кустист., шт.	Главный колос			
				длина колоса, см	число цветков, шт.	число зерен, шт.	масса зерна, г
Контроль		0,6±0,2	3,5±0,1	9,4±0,13	43,2±0,9	39,6±0,7	1,5±0,01
НММ							
0,005	12	59,5±1,0	3,0±0,1	9,0±0,1	41,5±1,2	36,6±1,2	1,3±0,05
	7	62,6±0,7	2,4±0,08	9,4±0,1	45,2±1,1	36,6±1,6	1,1±0,1
	3	67,1±0,6	2,6±0,1	9,6±0,1	47,1±1,8	42,16±2,0	1,4±0,1
0,01	12	55,4±0,1	2,8±0,07	8,3±0,2	39,3±0,9	32,5±1,2	1,0±0,03
	7	58,2±0,9	2,2±0,09	8,7±0,5	43,8±2,6	32,2±3,7	1,0±0,1
	3	69,0±1,1	3,1±0,07	8,8±0,04	47,6±0,4**	42,0±0,7*	1,5±0,05
0,02	12	51,8±2,0	2,7±0,2	8,3±0,1	25,7±0,4	20,0±0,5	0,5±0,04
	7	55,4±1,8	2,2±0,1	8,5±0,2	34,4±2,3	24,2±2,0	0,7±0,1
	3	60,8±0,6	2,5±0,1	8,5±0,1	32,3±0,7	36,5±0,7	1,0±0,03
$CdCl_2$							
0,005	12	51,0±1,2	2,5±0,1	8,2±0,6	31,7±1,3	25,5±1,5	0,7±0,05
	7	53,5±0,6	2,5±0,1	8,8±0,1	33,5±0,2	27,0±0,4	0,7±0,02
	3	44,7±0,2	4,2±0,7	7,2±0,1	27,5±1,0	26,5±1,2	0,9±0,04
0,01	12	53,5±1,0	2,0±0,1	8,5±0,1	36,8±1,2	32,6±1,3	1,0±0,04
	7	55,2±1,2	2,2±0,1	7,7±0,1	20,2±0,6	14,2±0,3	0,4±0,02
	3	55,5±0,1	5,5±0,1**	8,2±0,1	28,0±1,0	26,0±1,2	0,9±0,04
0,02	12	61,5±1,2	2,5±0,2	8,8±0,1	36,3±1,1	31,5±1,1	0,7±0,04
	7	58,4±0,4	2,2±0,2	8,5±0,1	24,8±0,5	18,0±0,8	0,5±0,04
	3	56,2±0,3	3,2±0,1	7,9±0,1	36,2±1,1	24,2±0,8	0,8±0,10
* t > 2,0 – разность достоверна при 95 % уровне вероятности, **t > 3,0 – разность достоверна при 99 % уровне вероятности.							

Обработка семян растений  $CdCl_2$  в течение 3 часов приводит к появлению дополнительных побегов независимо от его концентрации. Вероятно, соли хлористого кадмия оказывает стимулирующее действие на рост апикальной меристемы стебля. Так, продуктивная кустистость пшеницы возрастает по сравнению с контролем при 0,005 % концентрации соли хлористого кадмия от

3,5±0,1 шт. до 4,2±0,7 шт., 0,01 % – до 5,5±0,1 шт. и 0,02 % – до 3,2±0,1 шт.

По сравнению с  $CdCl_2$  супермутаген НММ снижал высоту растений и в зависимости от концентрации и времени обработки влиял на элементы продуктивности, такие как «число продуктивных стеблей», «число цветков в главном колосе», «число зерен в главном колосе» и «масса зерна в

главном колосе». При действии НММ в концентрации 0,02 % в течение 12 часов все вышеуказанные признаки снижались по сравнению с контрольным вариантом. Так, признаки «число продуктивных стеблей» от  $3,5 \pm 0,1$  шт. до  $2,7 \pm 0,2$  шт., «число цветков в главном колосе» от  $43,2 \pm 0,9$  шт. до  $25,7 \pm 0,4$  шт., «число зерен в главном колосе» от  $39,6 \pm 0,7$  шт. до  $20,0 \pm 0,5$  шт., «масса зерна в главном колосе» от  $1,5 \pm 0,01$  г. до  $0,5 \pm 0,04$  г.

Одной из причин снижения элементов продуктивности может являться высокая частота мутаций хромосом. В связи с этим изучили влияние соли хлористого кадмия и супермутагена НММ на частоту структурных мутаций хромосом в меристематических клетках проростков семян мягкой пшеницы.

Согласно литературным данным тяжелые металлы проявляют не только токсическое действие, но и являются химическими мутагенами. Они способны связываться с ферментами репликации, репарации и рекомбинации, снижать их ферментативную активность и тем самым способствовать появлению мутаций, при этом их не относят к группе классических истинных мутагенов. Способность солей металлов индуцировать нарушения типа отставания хромосом, накопления двуядерных клеток, мультиполярных анафаз, К-митозов по сравнению с контролем свидетельствует об их способности нарушать процесс цитокинеза, и клеточной мишенью может служить цитоскелет. Наиболее сильный антимитотический эффект проявляет  $\text{NiSO}_4$ , а остальные тяжелые металлы располагаются в последовательности  $\text{CdCl}_2 > \text{Al}(\text{NO}_3)_3 > \text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 > \text{CuSO}_4 > \text{ZnSO}_4$  [5].

Известно, что супермутагены, способные вызывать до 100 % и более наследственных перемен, включают производные нитрозоалкилмочевины, нитрозоалкиламинов, нитроалкилуретана, нитрозоалкиламинов, этиленмина и др. Они обладают огромной мутагенностью, при этом не влияют на жизнеспособность клеток. Для них характерна универсальность в отношении объекта действия: до сих пор отсутствуют какие-либо организмы, которые были бы нечувствительны к их мутагенному действию [13, 14]. Известно, что для получения индуцированных мутаций у растений используют самые различные мутагены. Дозу этих мутагенов подбирают таким образом, чтобы погибало не более 30–50 % обра-

ботанных объектов. При использовании химических мутагенов применяют их водные растворы с концентрацией 0,01–0,2 %; время обработки – от 6 до 24 часов и более [7].

Сравнительный анализ всхожести семян пшеницы, обработанных  $\text{CdCl}_2$  и НММ в различных концентрациях, показал наличие четкого дозозависимого эффекта. Наблюдается ингибирование всхожести семян, обработанных  $\text{CdCl}_2$  и НММ по сравнению с контролем. Всхожесть семян пшеницы, обработанные НММ варьировала от 30 до 70 % в зависимости от концентрации и времени обработки (контроль 97 %). При обработке семян пшеницы  $\text{CdCl}_2$  в разных концентрациях и экспозициях всхожесть семян составляло 30–75 %. При действии токсиканта  $\text{CdCl}_2$  в концентрации 0,005, 0,01 и 0,02 % на семена пшеницы погибло 30 % обработанных объектов, что позволяет использовать  $\text{CdCl}_2$  для получения индуцированных мутаций у растений.

Результаты цитогенетического изучения спонтанного и индуцированного НММ и  $\text{CdCl}_2$  мутационного процесса в семенах мягкой пшеницы сорта Шагала представлены в табл. 2.

При изучении мутационного процесса в меристематических клетках первичных корешков мягкой пшеницы проанализировано 6765 анафазных клеток.

Уровень естественного мутационного процесса в клетках семян пшеницы при экспозиции 12 часов составило ( $2,2 \pm 0,1$ ) %, 7 часов – ( $1,8 \pm 0,1$ ) % и 3 часа – ( $1,3 \pm 0,1$ ) %. В контроле спектр структурных мутаций хромосом представлен в виде одиночных и множественных фрагментов и отставания хромосом. В контрольном варианте (12 часов) частота отставания хромосом составляет ( $1,3 \pm 0,1$ ) %, одиночных фрагментов ( $0,6 \pm 0,1$ ) %, а множественных фрагментов ( $0,3 \pm 0,1$ ) %. При снижении времени замачивания общая частота спонтанных нарушений хромосом в соматических клетках пшеницы снижается за счет нарушения типа отставания хромосом (от  $1,3 \pm 0,1$  до  $0,6 \pm 0,1$  %).

Результаты цитогенетического анализа показали, что все исследуемые концентрации НММ и  $\text{CdCl}_2$  вызывали нарушения хромосом с частотой, достоверно превышающей естественный уровень мутирования независимо от времени обработки. По сравнению с токсикантом, супермутаген обладал более высокой мутагенной

Таблица 2. Частота структурных нарушений хромосом в семенах пшеницы, индуцированная CdCl<sub>2</sub> и НММ в разных концентрациях

Вариант опыта	Концентрация, %	Время обработки, ч	Кол-во анафаз	Анафазы с aberrациями хромосом		Всего перестроек	Количество перестроек на 100 анафаз
				число	%±m		
Контроль		12	304	7	2,2±0,1	7	2,3±0,1
		7	336	6	1,8±0,1	6	1,8±0,1
		3	301	4	1,3±0,1	4	1,3±0,1
НММ	0,005	12	308	21	6,8±0,4**	23	7,5±0,4
		7	306	27	8,9±0,8**	30	9,8±0,6
		3	309	33	10,7±0,6**	34	11,0±0,6
	0,01	12	303	37	12,2±0,8**	38	12,5±0,7
		7	319	42	13,1±0,7**	44	13,8±0,7
		3	302	47	15,6±0,8**	47	15,6±0,9
	0,02	12	320	60	18,7±1,0**	61	19,1±1,1
		7	302	47	15,6±0,8**	49	16,2±0,9
		3	300	82	27,3 ±1,5**	83	27,6±1,5
CdCl <sub>2</sub>	0,005	12	307	18	5,9±0,3**	18	5,9±0,3
		7	384	16	4,1±0,2**	16	4,1±0,2
		3	338	12	3,8±0,2**	12	3,8±0,2
	0,01	12	324	22	6,7±0,4**	23	6,8±0,4
		7	336	19	5,6±0,3**	19	5,6±0,3
		3	380	17	4,5±0,2**	17	4,5±0,2
	0,02	12	303	25	8,3±0,5**	25	8,3±0,5
		7	311	22	7,1±0,4**	23	7,4±0,4
		3	372	21	5,7±0,3**	21	5,7±0,3

\*\*t > 3,0 – разность достоверна при 99 % уровне вероятности.

активностью. Практически во всех вариантах эксперимента прослеживался дозозависимый эффект – с увеличением концентраций повышался выход aberrаций хромосом. Так, при обработке семян пшеницы НММ в течение 3 часов в низкой концентрации (0,005 %) общая частота нарушений хромосом в анафазных клетках составляло (10,7±0,6) %, а при высокой (0,02 %) – (27,3 ±1,5) % перестроек.

При воздействии CdCl<sub>2</sub> получены аналогичные данные: при обработке семян пшеницы в концентрации 0,005 % уровень мутирования хромосом был равен (3,8±0,2) %, а при концентрации 0,02 % – (5,7±0,3) %.

При сравнительном анализе спектра структурных мутаций хромосом показано, что хлористый кадмий повышает общий уровень мутирования по сравнению с контролем, в основном за счет увеличения нарушения типа отставания хромосом, одиночных фрагментов и появления одиночных мостов, а нитрозометилмочевина – одиночных и множественных фрагментов, отставания

хромосом и появления одиночных, двойных и множественных мостов. Причина возникновения отставания хромосом, скорее всего, связана с нарушением веретена деления. Механизмы нарушения веретена остаются до сих пор неизвестными, возможно, в результате воздействия химических мутагенов изменяется структура цитоскелета, и это приводит к нарушению расхождения хромосом в ходе митоза. Предполагают, что механизм нарушения веретена может быть следствием неравномерного роста его волокон, вследствие чего быстрорастущие нити веретена образуют изгибы, в результате этого хромосомы задерживаются в экваториальной части клетки или нарушается формирование дочерних клеток [15].

Таким образом, анализируя митотические нарушения в соматических клетках мягкой пшеницы, образовавшиеся в результате индукции тяжелого металла и супермутагена в разных концентрациях и экспозициях, следует отметить, что они вызывают не только изменения общей частоты

мутаций хромосом, но и влияют на спектр аберраций хромосом. Цитогенетические эффекты определяет не только концентрация, но и величина экспозиции. В спектре аберраций хромосом, индуцированных НММ, преобладали основные типы перестроек – одиночные и множественные фрагменты, одиночные и множественные мосты, а также были зарегистрированы двойные мосты. В отличие от супермутагена хлористый кадмий вызывал в основном нарушения в виде отставания хромосом, одиночных мостов и одиночных фрагментов. Хлористый кадмий является не только токсикантом, который ингибирует морфологические параметры растительного организма, но и мутагеном, обладающим способностью вызывать структурные нарушения хромосом и изменять структуру цитоскелета.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва–растение. Новосибирск: Наука, 1991. 150 с.
2. Ауэрбах Ш. Проблемы мутагенеза. М.: Мир, 1978. 463 с.
3. Gomes-Arroyo S., Cortes-Eslava J., Bedolla-Cansino R.M. and all. Sister chromatid exchanges induced by heavy metals in *Vicia faba* // *Biologia Plantarum*. 2001. N 44(4). P. 591-594.
4. Евсеева Т.И., Майстренко Т.А., Гераськин С.А., Белых Е.С., Казакова Е.В. Токсические и цитогенетические эффекты, индуцируемые у *Allium cepa* низкими концентрациями Cd и  $^{232}\text{Tl}$  // *Цитология и генетика*. 2005. Т. 39, № 5. С. 73-80.
5. Довгалюк А.И., Калиняк Т.Б., Блюм Я.Б. Оценка фитотоксической активности соединений тяжелых металлов и алюминия с помощью корневой апикальной меристемы лука // *Цитология и генетика*. 2001. №. 35, № 1. С. 3-9.
6. Добровольский С., Кубарев В., Шабайлов В. и др. Мутагенез и рекомбиногенез сельскохозяйственных культур // *Наука и инновация*. 2009. № 7(77). С. 10-16.
7. Сидорова К.К. Специфичность химического мутагенеза. М.: Наука, 1968. 204 с.
8. Чунетова Ж.Ж., Омйрбекова Н.Ж., Шулембаева К.К. Морфогенетическая изменчивость сортов мягкой пшеницы индуцированная  $\text{CdCl}_2$  // *Генетика*. 2008. № 11. С. 1503-1507.
9. Паушева З.П. Практикум по цитологии растений. М.: Колос, 1970. 255 с.
10. Рокицкий П.Ф. Биологическая статистика. М.: Колос, 1973. 327 с.
11. Кириллова Г.А., Немцева Н.С., Фадеева Т.С. О появлении растений с морфоэмами колоса в посевах ячменя после их обработки гербицидом 2,4 Д // *Генетика*. 1984. Т. XX, № 7. С. 1182-1189.
12. Колесниченко В.В. Изучение влияния разных концентраций кадмия на этилированные проростки пшеницы (*TRITICUM AESTIVUM* L.) и рапса (*BRASSICA NAPUS*) // *Журнал стресс-физиологии и биохимии*. Сибирский Институт физиологии и биохимии растений СО РАН. 2009. № 1-2. Т. 5. С. 16-31.
13. Рапопорт И.А. Особенности механизма действия супермутагенов // *Супермутагены*. М., 1966. С. 9-18.
14. Рапопорт И.А., Шигаева М.Х., Ахматуллина Н.Б. Химический мутагенез. Алматы: Наука КазССР, 1980. 320 с.
15. Кожуро Ю.И., Максимова Н.П. Действие гербицидов на цитоскелет клеток растений // *Цитология*. СПб., 2003. Т. 45. С. 887-888.

#### Резюме

Бидайдың меристемалық клеткаларындағы хромосомалардың құрылымдық бұзылыстардың жиілігіне нитрозометил мочевины мен хлорлы кадмий әсеріне салыстырмалы зерттеу жүргізілді. Зерттеу нәтижесінде хлорлы кадмийдің тек токсиндік ғана емес, сонымен бірге клетка қабырғасының құрылымдық өзгерістері мен бидайдың соматикалық клеткасындағы хромосомалардың құрылымдық бұзылыстарына әкелетін мутагендік қасиеті де анықталды.

#### Summary

Comparative study on the action of cadmium chloride and nitrozomethyl urea on the frequency of malfunctions in the structure of chromosomes in meristematic cells of soft wheat as well as on morphometric characteristics of the latter has been carried out. It was established that cadmium chloride is not only a toxicant, but is also a mutagenic agent, possessing ability to change the structure of cytoskeleton and cause malfunctions in the structure of chromosomes in somatic cells of soft wheat.