

АГРОЭКОЛОГИЯ

УДК 581.331.2:581.192

Г.И. Егоркина,
Т.В. Бабич

РЕАКЦИЯ МУЖСКОГО ГАМЕТОФИТА КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВЫ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Введение

В условиях возрастающего химического загрязнения биосферы проблема оценки масштабов воздействия антропогенных мутагенов на биоту является весьма актуальной. К способам определения интегрального действия мутагенов среды относится учет нарушений микрогаметогенеза у высших растений, выраженный снижением фертильности пыльцы. Критерием пригодности вида для биоиндикации является наличие полового процесса, обеспечивающего фертильность пыльцы не менее 85-90% [1]. Природные популяции дикорастущих видов нередко представляют собой сексуально-апомиктичные комплексы [2], или популяции с постоянным и высоким уровнем частичной андростерильности [3], что затрудняет использование их в качестве индикаторов генотоксичности. Наиболее целесообразным представляется использование культурных видов для биоиндикации загрязнения почв мутагенами, по крайней мере в агроландшафтах. У большинства из них в процессе направленного искусственного отбора на высокую продуктивность сформировалась унитарная амфимиктичная система размножения с высокой оплодотворяющей способностью пыльцы. Наша работа заключалась в оценке возможности использования сельскохозяйственных культур в целях индикации повышенного содержания в почве тяжелых металлов с генотоксической активностью.

Материал и методы исследования

Исследования проводили на стационарном мелкоделяночном опытном участке Алтайского НИИ сельского хозяйства

(чернозем обыкновенный среднесуглинистый маломощный окультуренный Приобского плато) при естественном фоне по содержанию тяжелых металлов (контроль) и искусственно загрязненном фоне никелем, свинцом, кадмием. Загрязненный фон был создан путем внесения углекислых солей тяжелых металлов в почву в виде растворов из расчета, соответственно, 50, 250 и 25 мг/кг. В момент внесения превышение тяжелых металлов над фоновым содержанием достигало для никеля 45 раз, свинца – 600, кадмия – 190 раз. Многолетние наблюдения показали, что с течением времени валовое содержание элементов не снижалось, а оставалось равным суммарному их количеству в незагрязненной почве и поступившему дополнительно при закладке опыта.

На опытном участке в оптимальные сроки высевали твердую и мягкую пшеницу, эспарцет, горох, сою, нут, рапс. Площадь делянки – 0,5 м², повторность – трехкратная. Во время цветения растений определяли фертильность пыльцы у 75 цветков на вариант (в каждом повторении отбирали по пять цветков у пяти растений). После уборки урожая в зерне (у эспарцета – в зеленой массе) определяли содержание тяжелых металлов. Уровень накопления отдельных элементов характеризовали коэффициентом концентрации (Кк) – отношение содержания элемента в урожае на загрязненном фоне к содержанию в контроле. Данные по содержанию тяжелых металлов в почве и Кк растений предоставлены АНИИСХозом.

Полученные данные обрабатывали методами вариационной статистики.

**Результаты исследований
и их обсуждение**

Влияние тяжелых металлов на микрогаметогенез оценивали по нескольким параметрам: 1) среднему значению стерильности пыльцы в опытных вариантах и контроле; 2) величине дисперсий; 3) доле цветков со стерильностью пыльцы выше 10%; 4) коэффициентам стерильности каждого вида, рассчитанным для загрязненных фонов как отношение среднего процента стерильности пыльцы на загрязненных участках к контролю.

Среди изученных культур наиболее стабильный и эффективный микрогаметогенез на естественном фоне характерен для бобовых и рапса: не более 14% цветков имели больше 10% стерильной пыльцы (табл. 1). Значения дисперсий, характеризующие внутривидовую вариабельность признака, весьма невелики ($\sigma^2 = 4,3-30$), что свидетельствует о высокой однородности популяций этих культур по андростерильности.

Злаковые культуры отличает высокий уровень спонтанного образования стерильной пыльцы. Только 41-56% цветков мягкой и твердой пшеницы в контроле отвечали требованиям, предъявляемым к

растениям-индикаторам, т.е. имели фертильность пыльцы не ниже 90%.

На загрязненном фоне у всех культур в значительной степени увеличилась изменчивость цветков по изученному признаку – значения дисперсий возросли почти во всех вариантах опыта. Достоверность различий дисперсий опытных и контрольных вариантов подтверждает критерий Фишера, значения которого выше табличных в большинстве сравниваемых пар (табл. 1). Средние значения стерильности пыльцы в опытных вариантах также возросли, достоверные отличия от контрольных значений, определяемые с помощью критерия t-Стюдента, отмечены в 13 из 21 сравниваемых пар. Другой критерий токсического воздействия тяжелых металлов на генеративную сферу растений – процентная доля цветков со стерильностью выше 10% – показал аналогичные результаты, хотя и оказался менее чувствительным, так как по этому показателю достоверно отличались от контроля только 10 опытных вариантов (табл. 1). На практике правомерно использовать оба критерия, так как коэффициент корреляции между ними достаточно высокий ($r = 0,88$).

Таблица 1

Стерильность пыльцы сельскохозяйственных культур на фоне повышенного содержания тяжелых металлов в почве

СП	Твердая пшеница	Мягкая пшеница	Эспарцет	Горох	Соя	Нут	Рапс
Контроль							
$x \pm m, \%$	13,2±0,9	11,4±0,5	5,2±0,3	4,7±0,7	4,8±0,6	5,2±0,5	3,1±0,2
σ^2	63,0	13,9	29,9	8,0	10,2	15,8	4,3
n	44,0	59,4	9,0	8,2	6,0	13,7	0
Никель							
$x \pm m, \%$	14,2±1,2	15,4±0,7*	8,2±1,2*	8,6±1,0*	4,3±0,6	12,4±1,3*	3,5±0,4
σ^2	95,4	32,0	98,9	71,6	22,7	30,0	14,7
F	1,5	2,3	9,0	3,3	2,2	1,9	3,4
n	55,0	72,5	26,6*	21,8*	9,4	42,1*	6,8*
Свинец							
$x \pm m, \%$	11,7±0,6	14,6±0,6*	6,1±1,3	14,4±2,8*	7,4±0,4*	8,7±1,1*	5,4±0,6*
σ^2	23,6	15,5	83,0	527,8	6,5	80,4	25,8
F	2,7	1,1	66,0	2,8	1,6	5,1	6,0
n	59,0	73,9	18,4	30,5*	1,8	13,7	12,3*
Кадмий							
$x \pm m, \%$	17,8±0,6*	12,5±0,6	11,0±1,3*	14,8±1,6*	4,9±0,7	5,1±0,5	7,6±0,1*
σ^2	173,0	18,8	110,4	189,8	26,0	22,0	77,0
F	2,7	1,4	23,7	3,7	2,5	1,4	18,0
n	77,0*	66,6	29,1*	30,7*	9,0	9,4	17,9*

Примечание. СП – статистические показатели; $x \pm m$ – средняя и ошибка средней; σ^2 – вариация; F – критерий Фишера ($F_{табл.} = 1,35-1,44$); n – процент цветков со стерильностью пыльцы выше 10%; * значения достоверно отличаются от контроля при $p = 0,95$.

Судя по полученным данным, наиболее токсичным для генеративной сферы растений элементом является свинец, так как вызывает достоверное снижение фертильности пыльцы у большинства изученных видов. По устойчивости к тяжелым металлам виды распределились в следующем порядке: твердая пшеница, соя > мягкая пшеница, нут, рапс > эспарцет, горох.

Согласно работе Н.С. Петруниной (1966) по степени адаптации к тяжелым металлам виды растений распределяются на следующие категории: привычные концентраторы (Пк); непривычные концентраторы (Нк); индифферентные к тяжелым металлам виды (Ив).

Привычные концентраторы обычно содержат наиболее высокое количество тяжелых металлов. Несмотря на избыток химического элемента в среде, такие растения развиваются нормально. Поглощение тяжелых металлов непривычными концентраторами находится в прямой зависимости от наличия атомов этих элементов в почве. Высокие концентрации металлов могут вызывать у растений патологические изменения. Индифферентные растения, развиваясь на обогащенной тяжелыми металлами среде, не накапливают их и не дают специфических морфо- и патологических реакций.

Поскольку в нашем эксперименте критерием адаптивной реакции вида на тяжелые металлы являлось состояние генеративной сферы – уровень стерильности пыльцы, мы сопоставили коэффициенты концентрации тяжелых металлов в семе-

нах растений с коэффициентами стерильности пыльцы и распределили изученные виды растений по означенным категориям (табл. 2).

Изученные культуры накапливают кадмия значительно больше, чем никеля и свинца. Видимо, несмотря на высокую токсичность этого элемента, растения обладают эффективными механизмами защиты, поэтому кадмий оказывает влияние на состояние растений в изученном аспекте не более, чем другие элементы. Например, мягкая пшеница имеет коэффициент концентрации кадмия 12,7, при этом показатель стерильности практически не отличается от контроля, поэтому вид отнесен к привычным концентраторам по отношению к кадмию. К этой же категории можно отнести сою и нут, которые также накапливают кадмий в значительном количестве, но фертильность пыльцы у этих видов не снижается. По отношению к никелю к категории привычных концентраторов относятся соя, рапс и твердая пшеница.

К категории непривычных концентраторов следует отнести те виды растений, которые на увеличение содержания элемента в окружающей среде активно реагируют как накоплением его в своих тканях, так и увеличением количества аномалий развития пыльцы. Типичным примером непривычных концентраторов может служить горох, который в случае загрязнения почвы никелем, свинцом и кадмием накапливает в своих надземных органах токсианты и реагирует на их воздействие снижением фертильности пыльцы.

Таблица 2

Коэффициенты стерильности (Кс) цветков и коэффициенты концентрации (Кк) тяжелых металлов в зерне сельскохозяйственных культур

Культура	Ni			Pb			Cd		
	Кс	Кк	категория	Кс	Кк	категория	Кс	Кк	категория
Твердая пшеница	1,1	1,8	Пк	0,9	1,4	Пк	1,4	5,8	Нк
Мягкая пшеница	1,4	1,7	Нк	1,3	1,4	Нк	1,1	12,7	Пк
Эспарцет	1,6	2,1	Нк	1,2	0,4	-	2,1	17,4	Нк
Горох	1,8	3,1	Нк	3,1	2,4	Нк	3,2	4,1	Нк
Соя	0,9	3,0	Пк	1,5	2,4	Нк	1,0	9,2	Пк
Нут	2,4	3,1	Нк	1,7	1,0	Нк	0,9	7,6	Пк
Рапс	1,1	2,0	Пк	1,7	1,0	Нк	2,4	13,8	Нк
Среднее	1,5	2,4		1,6	1,4		1,7	10,1	

По отношению к никелю и кадмию изученные виды достаточно четко распределяются на привычные и непривычные концентраторы. Индифферентных видов к этим элементам нет. Взаимодействие растений со свинцом более сложное. Например, нут и рапс содержат одинаковое количество элемента в контроле и на загрязненном фоне, а стерильность пыльцы достоверно выше в опытных вариантах. Эспарцет на загрязненных участках накапливает свинец даже в меньших количествах, чем на естественном фоне ($K_k = 0,4$), но при этом стерильность цветков выше, чем в контроле, поэтому вид трудно отнести к какой-либо категории. Средний коэффициент концентрации свинца, вычисленный для всего списка изученных культур, самый низкий – в два раза ниже, чем у никеля, и почти в 10 раз, чем у кадмия (табл. 2). Однако повреждающее действие элемента наиболее выражено на загрязненном свинцом фоне больше всего культур относятся к непривычным концентраторам.

Выводы

Реакция генеративной сферы сельскохозяйственных культур на негативное воз-

действие тяжелых металлов видоспецифична.

Чувствительность мужского гаметофита отдельных видов не сопряжена с уровнем накопления ими того или иного тяжелого металла.

В качестве видов-индикаторов загрязнения агроландшафтов никелем можно рекомендовать эспарцет, горох и нут, свинцом – горох, нут и рапс, кадмием – эспарцет, горох и рапс.

Библиографический список

1. Нечкина М.А. Способ определения интегрального эффекта воздействия неблагоприятных факторов внешней среды / М.А. Нечкина, П.Г. Куприянов // Открытия. 1992. № 4. С. 10.
2. Петров Д.Ф. Апомиксис в природе и опыте / Д.Ф. Петров. Новосибирск: Наука, 1988. 316 с.
3. Старшова Н.П. Частичная андростерильность популяций некоторых представителей семейства Caryophyllaceae / Н.П. Старшова // Ботанический журнал. 1996. Т. 81. № 1. С. 64-74.
4. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение / В.Б. Ильин. Новосибирск: Наука, 1991. 148 с.



УДК 631.4:631.8632.95

Ю.В. Робертус,
Р.В. Любимов,
Е.Н. Куликова-Хлебникова,
В.А. Охременко

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАБОТ ПО ХИМИЧЕСКОЙ ДЕТОКСИКАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПЕСТИЦИДАМИ ПОЧВОГРУНТОВ

Введение

Среди разнообразных химических экотоксикантов антропогенного происхождения к числу наиболее опасных для окружающей среды и здоровья населения относятся хлорорганические пестициды (ХОП), интенсивно использовавшиеся в качестве инсектицидов в 60-80-е годы прошлого века в народном хозяйстве СССР, в том числе в бывшей Горно-Алтайской автономной области. ХОП

(ДДТ, ГХЦГ, линдан) применялись, в основном, в овощеводстве, садоводстве, хмелеводстве, при ветобработке животных, а также при борьбе с саранчой, иксодовым клещом, жуком короедом.

В результате длительного и не всегда безопасного хранения и широкого применения ХОП произошло загрязнение многих селитебных и прилегающих к ним территорий, где образовалось большое количество локальных очагов опасного за-