

Анализируя показатель подразделенности, нужно отметить, что для 6 белорусских популяций коэффициент F_{ST} был равен 0.015. Это означает, что 98.5 % всей изменчивости сосредоточено внутри популяций, а на межпопуляционную изменчивость приходится 1.5 %. При объединении белорусских, российских, латвийской и украинской популяций значение F_{ST} достигает величины 0.019 (табл. 1).

Полученные нами данные по F_{ST} позволили определить показатель генного потока $N_e m(F)$, который для белорусских популяций составил 16.42. Это указывает на то, что в среднем белорусские популяции обмениваются друг с другом генетическим материалом с интенсивностью 16 мигрантов за поколение. При добавлении к ним популяций сопредельных государств величина $N_e m(F)$ незначительно снижается и составляет 13 мигрантов за поколение. Значения генного потока, рассчитанные по уникальным аллелям, существенно отличаются от данных, полученных на основе коэффициента подразделенности и указывают на менее интенсивный обмен генетическим материалом в белорусских популяциях, где параметр $N_e m(p)$ составил 10.36 мигрантов на поколение, и более интенсивный генетический поток для объединенного массива ($N_e m(p)=11.40$) (табл. 1).

Исходя из полученных данных следует, что популяции сосны обыкновенной, за счет переноса пыльцы и семян, довольно интенсивно обмениваются генетическим материалом. В работе Хемрика [5] отмечается, что наиболее высокие значения $N_e m$, составляющие в среднем около 5 мигрантов за поколение, характерны для видов, являющихся ветроопыляемыми перекрестниками. Полученные данные значительно превосходят этот уровень генетической миграции, и следствием такого интенсивного обмена является сходство генофондов популяций сосны обыкновенной Беларуси и сопредельных государств.

1. *M. Slatkin*. Gene flow in natural populations // *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 1985a. V. 16. P. 393-430.
2. *S. Wright*. The interpretation of population structure by F-statistics with special regards to systems of mating // *Evolution*. 1965. V. 19. P. 395-420.
3. *M. Slatkin*. Rare alleles as indicators of gene flow // *Evolution*. 1985b. V. 39. P. 53-65.
4. *N. H. Barton, M. A. Slatkin*. Quasi-equilibrium theory of the distribution of rare alleles in a subdivided population // *Heredity*. 1986. V. 56. P. 409-416.
5. *J. L. Hamrick*. Isozymes and analysis of genetic structure in plant populations / *Soltis D.E., Soltis P.S. Isozymes in Plant Biology*. Portland, OR Dioscorides Press, 1989 - P. 87-105.

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ТРИТИКАЛЕ К СТРЕССОВЫМ КОНЦЕНТРАЦИЯМ ИОНОВ МЕТАЛЛОВ

Е.А. Сычева, Н.И. Дубовец, Т.И. Штык, Л.А. Соловей, Е.Б. Бондаревич

ГНУ «Институт генетики и цитологии НАН Беларуси», Минск, Беларусь

E.Sycheva@igc.bas-net.by, N.Dubovets@igc.bas-net.by

С ростом техногенного воздействия на агроценозы одним из важнейших критериев реализации потенциальной продуктивности сельскохозяйственных растений становится уровень их устойчивости к фитотоксическому действию ионов тяжелых металлов и алюминия. За последнее время накоплена обширная информация о влиянии ионов металлов на рост и развитие растений, об индуцируемых ими изменениях метаболизма, получены данные о молекулярных и физиологических механизмах формирования устойчивости [1-3]. Вместе с тем, в связи с селекцией основных сельскохозяйственных культур на устойчивость к ионной токсичности особую актуальность приобретают исследования генетической природы данного признака [4-5]. В сообщении представлены результаты изучения генетического вклада индивидуальных хромосом А, В и D геномов пшеницы в формирование чувствительности тритикале к стрессовым концентрациям ионов меди и алюминия.

В качестве экспериментального материала в работе использованы созданные авторами

оригинальные коллекции тетраплоидных и гексаплоидных тритикале (табл. 1, 2). В основу формирования коллекций положен принцип подбора пар линий, различающихся между собой по составу лишь одной из семи гомеологических групп пшеничного компонента кариотипа. Парное сравнение линий по степени проявления анализируемых признаков позволяет выявить индивидуальные хромосомы субгеномов пшеницы, вносящие наибольший вклад в формирование компонентов стрессочувствительности.

Таблица 1

Хромосомный состав пшеничного компонента кариотипов линий тетраплоидных тритикале**

Линия	Хромосомный состав гомеологических групп						
	1	2	3	4	5	6	7
пара сравнения по 1-ой группе							
ПРАТ 245(1)	AA	AA	A*A*	AA	AA	AA	BB
ПРАТ 289	B*B*	A*A*	AA	AA	AA	AA	BB
пара сравнения по 2-ой группе							
ПРАТ 245(1)	AA	AA	A*A*	AA	AA	AA	BB
ПРАТ 16(10)	AA	BB	AA	AA	AA	AA	BB
пара сравнения по 3-ей группе							
ПРАТ 196(3)	B*B*	AA	AA	AA	AA	AA	BB
ПРАТ 72(31)	B*B*	A*A*	BB	AA	AA	AA	BB
пара сравнения по 7-ой группе							
ПРАТ 69(2)	B*B*	A*A*	A*A*	AA	AA	AA	AA
ПРАТ 289	B*B*	A*A*	AA	AA	AA	AA	BB

Примечания: 1. * обозначает транслоцированную хромосому;
2. ** Ржаной компонент кариотипа у всех форм идентичен.

Таблица 2

Типы D(A)- и D(B)-замещений хромосом у гексаплоидных тритикале

Линия	Типы межгеномных замещений хромосом
бх-тритикале сорт «Лана» MV(4)	Без замещений 1D(1A)
MV(4) MV(1)	1D(1A) 1D(1A), 2D(2B)
MV(4) MI(2)	1D(1A) 1D(1A), 6D(6B)
MV(1) MIII(2)	1D(1A), 2D(2B) 1D(1A), 2D(2B), 3D(3A)

Чувствительность различных генотипов тритикале к фитотоксическому действию ионов металлов оценивали с помощью лабораторного теста по скорости прироста главного корня проростков [6]. Для характеристики степени чувствительности генотипов вычислялся индекс толерантности (ИТ) линии:

$$\text{ИТ (\%)} = \frac{\text{длина главного корня опытных растений}}{\text{длина главного корня контрольных растений}} \times 100$$

Анализ воздействия ионов металлов на проростки показал, что наиболее характерным ранним симптомом ионной токсичности является задержка роста и развития корневой системы растения. Присутствие ионов меди в среде вызывало торможение роста главного

корня у всех включенных в анализ форм тетраплоидных и гексаплоидных тритикале. При этом наибольшей степенью угнетения корневой системы характеризовались линии ПРАТ 69(2) и MV(4). Наиболее сформированная корневая система отмечена у форм тетраплоидных тритикале ПРАТ 245 (1), ПРАТ 196(3), ПРАТ 289 и гексаплоидных тритикале МП(2), М(2) и Лана.

Линия ПРАТ69(2) также характеризовалась наименьшей величиной индекса толерантности (ИТ) в присутствии в среде ионов алюминия ($1,8 \times 10^{-5} \text{M AlSO}_4$), что свидетельствует о ее общей высокой чувствительности к фитотоксическому действию ионов металлов. Низкие показатели индекса толерантности при стрессовых концентрациях ионов алюминия выявлены также для линий тетраплоидных тритикале ПРАТ 196(3) и ПРАТ 289, тогда как у форм ПРАТ 245(1) и ПРАТ 16(10) не только не наблюдалось задержки развития корневой системы проростков, но отмечено ускорение динамики роста главного корня. Тестирование D(A)- D(B)- замещенных форм гексаплоидного тритикале на чувствительность к ионам алюминия было проведено при большей концентрации AlSO_4 ($3,8 \times 10^{-5} \text{M}$), поскольку при добавлении в среду $1,8 \times 10^{-5} \text{M AlSO}_4$ достоверных отличий анализируемых параметров от контроля выявлено не было. Наибольшую чувствительность к стрессовым концентрациям ионов алюминия в эксперименте показали формы М(2) и МП(2), в то время как линии MV(4), напротив, по степени формирования корневой системы превосходила контрольные растения.

Для выявления генетического вклада отдельных хромосом А, В и D субгеномов мягкой пшеницы в контроль чувствительности к ионам меди и алюминия было проведено попарное сравнение степени проявления исследуемых характеристик у линий, различающихся по хромосомному составу только одной гомеологической группы пшеничного компонента кариотипа. Статистический анализ полученных данных показал, что «критическими» для формирования чувствительности к действию ионов меди являются хромосомы 1-й и 2-й гомеологических групп пшеничного компонента. Статистически достоверный ($p \leq 0,05$) положительный эффект наблюдался при наличии в кариотипе пшенично-ржаных амфидиплоидов хромосом 1A, 2A и 2D, а негативный – 1D, 1B и 2B. При этом увеличение стрессочувствительности гексаплоидных тритикале с 1D(1A) замещением хромосом может являться как следствием интрогрессии в кариотип 1D хромосомы, так и быть обусловлено удалением из кариотипа 1A хромосомы.

На формирование чувствительности к действию ионов алюминия оказывали влияние хромосомы 1, 2, 3 и 6-й гомеологических групп пшеничного компонента кариотипа. Статистически достоверный положительный эффект наблюдался при наличии в кариотипе тритикале хромосом пшеницы 1D, 1A, 2A и 3B, тогда как хромосомы 1B, 2B, 3A, 3 D и 6D оказывали негативное влияние на формирование признака.

Тот факт, что наименьшей степенью угнетения морфогенеза корневой системы среди замещенных бх-тритикале характеризовалась линия с 3 парами хромосом D-генома пшеницы (МП(2)), позволяет сделать заключение о большей стрессоустойчивости рекомбинантных форм тритикале с множественными межгеномными замещениями хромосом.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований.

1. Ф.Т. Бингам, М. Коста, Э. Эйхенбергер. Некоторые вопросы токсичности ионов металлов. М.: Мир, 1993. 366 с.
2. S.-W. Breckle. Growth under Stress: heavy metals // Plant roots: the hidden half / eds Waisel Y. et al. N.Y. Marcel Dekker, 1991. – P. 351-373.
3. А.И. Довгалюк, Т.Б. Калиняк, Я.Б. Блюм // Цитология и генетика, 2001. – Т.35, №1. – С. 3-9.
4. H. Schat, W.M. Ten Bookum // Heredity, 1992. - V.68. – P. 219-229.
5. R.S. Jessop. Triticale: today and tomorrow: Proc. 3rd Int. Triticale Symp.- Lisbon, 1996.- P.419-427.
6. Н.П. Демченко, И.Б. Калимова, К.Н. Демченко // Физиология растений, 2005. – Т.52, №2. – С. 250-258.