

3. Велисевич С.Н., Петрова Е.А., Бендер О.Г., Зотикова А.П. Формирование структуры популяций сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) в заболоченных экотопах юга Томской области // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2008. – № 1. – С. 13–22.
4. Седелникова Т.С., Муратова Е.Н. Кариологические особенности сосны кедровой сибирской // Экология. – 2002. – № 5. – С. 323–328.
5. Devey M.E., Bell J.C., Smith D.N., Neale D.B., Moran G.F. A genetic linkage map for *Pinus radiata* based on RFLP, RAPD, and microsatellite markers // Theor. Appl. Genet. – 1996. – 92, № 6. – P. 673–679.
6. Salzer K., Sebastiani F., Gugerli F., Buonamici A., Vendramin G.G. Isolation and characterization of polymorphic nuclear microsatellite loci in *Pinus cembra* L. // Molecular Ecology Resources. – 2009. – № 9. – P. 858–861.
7. Van Oosterhout C, Hutchinson W.F., Wills D.P.M., Shipley P. MICRO-CHECKER: software for identifying and correcting genotyping errors in microsatellite data // Molecular Ecology Notes. – 2004. – № 4. – P. 353–358.
8. Peakall R., Smouse P.E. GenAEx V6: Genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research // Molecular Ecology Notes. – 2006. – 6, № 1. – P. 288–295.
9. Mantel N. The detection of disease clustering and a generalized regression approach // Cancer Research. – 1967. – 27. – P. 209–220.
10. Chakraborty R., De Andrade M., Daiger S.P., Budowle B. Apparent heterozygote deficiencies observed in DNA typing data and their implications in forensic applications // Ann. Hum. Genet. – 1992. – 56. – P. 45–57.
11. Мудрик Е.А., Белоконь М.М., Белоконь Ю.С., Жулина Е.В., Политов Д.В. Генетическая изменчивость и доля перекрестного опыления *Pinus cembra* L. в Украинских Карпатах и Австрийских Альпах по аллозимным и микросателлитным локусам // Вестник МГУЛ. Лесной вестник. – 2012. – 84, № 1. – С. 112–117.
12. Guries R.P., Ledig F.T. Gene diversity and population structure in pitch pine (*Pinus rigida* Mill.) // Evolution. – 1982. – 36. – P. 387–402.
13. Nei M. Genetic distance between populations // Amer. Natur. – 1972. – 106. – P. 283–291.

ORESHKOVA N.V., SEDEL'NIKOVA T.S., PIMENOV A.V., EFREMOV S.P.

Sukachev Institute of Forest SB RAS,

Russia, 660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/28, e-mail: tss@ksc.krasn.ru

GENETIC DIFFERENTIATION OF BOG AND DRY LAND POPULATIONS OF *PINUS SIBIRICA* ON SSR-MARKER DATA

Aims. The evaluation of population structure of bog and dry land populations of Siberian pine (*P. sibirica*) in Western Siberia was studied by markers of a nuclear genome. **Methods.** Six pairs of nuclear microsatellite loci were used for this analysis. 30 allelic variants were detected in 120 individuals of four populations of *P. sibirica*. **Results.** The most essential genetic distinctions were observed between of *P. sibirica* population from oligotrophic bog and the group of populations from a dry land, eutrophic bog and near settlement *P. sibirica* forest ($F_{ST} = 0.019$; $D_N = 0.053$). The differentiation of West Siberian populations of *P. sibirica* on SSR markers exceeded 2.4 % ($F_{ST} = 0.024$). **Conclusions.** The studied populations differ on the genetic structure due to various environmental conditions of ecotopes.

Key words: populations of *Pinus sibirica*, microsatellite loci, genetic differentiation.

УДК 575.167 + 57.043

СОЗІНОВ І.О.¹, КОЗУБ Н.О.^{1, 2}, БІДНИК Г.Я.^{1, 2}, ДЕМ'ЯНОВА Н.О.^{1, 2}, КАРЕЛОВ А.В.^{1, 2}, БЛЮМ Я.Б.², СОЗІНОВ О.О.^{1, 2}

¹ *Інститут захисту рослин НААН,*

Україна, 03022, м. Київ, вул. Васильківська, 33, e-mail: sia1@i.com.ua

² *ДУ «Інститут харчової біотехнології і геноміки НАН України»,*

Україна, 04123, м. Київ, вул. Осиповського, 2а

ВПЛИВ ГАММА-ОПРОМІНЕННЯ НА ОЗНАКИ ПРОДУКТИВНОСТІ М'ЯКОЇ ПШЕНИЦІ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ГЕНОТИПУ І УМОВ ВИРОЩУВАННЯ

Відомо, що гамма-опромінення у високих дозах (150–200 Гр і більше) сухих зерен приводить до пригнічення показників

фізіологічного стану рослин, яке проявляється, зокрема, у зниженні ознак продуктивності [1, 2]. У дослідженнях різних авторів показано

відмінності в реакції сортів пшениці м'якої *Triticum aestivum* L. на гамма-опромінення за зниженням ознак продуктивності [2–6]. Однак становить інтерес дослідження генетичної основи цих відмінностей. Для цього зручним генетичним матеріалом можуть бути популяції рекомбінантно-інбредних ліній, дигапloidних ліній, а, в окремих випадках, і майже-ізогенні лінії. Для дослідження реакції різних генотипів за маркерними локусами (гомозигот і гетерозиготи) на гамма-опромінення за проявом ознак продуктивності в якості моделі нами використано майже-ізогенні лінії озимої м'якої пшениці за гліадиновими локусами [7] на основі сорту Безоста 1. Ці лінії відрізняються лише за присутністю житньої 1BL/1RS транслокації та за локусом *Gli-D1* і мають найбільш поширені серед сучасних українських сортів алелі за маркерним локусом *Gli-B1* [8] – алель *Gli-B1b* та *Gli-B1l* – маркер житньо-пшеничної 1BL/1RS транслокації [9]. Ця транслокація несе ряд генів стійкості до фітопатогенів – *Pm8* (ген стійкості до борошнистої роси), *Sr31* (ген стійкості до стеблової іржі), *Lr26* (ген стійкості до бурої іржі), *Yr9* (ген стійкості до жовтої іржі) [10]. Незважаючи на її негативний вплив на хлібопекарну якість [11], частка сортів з цією транслокацією, створених в селекційних установах Лісостепу України, залишається високою (40 %) [8], що свідчить про адаптивне значення цієї транслокації. Задачею даної роботи було вивчення впливу гамма-опромінення на продуктивність рослин, що відрізняються за дозою 1BL/1RS транслокації, при вирощуванні в різних умовах.

Матеріали і методи

Матеріалом дослідження слугувала популяція рослин F_2 від схрещення майже ізогенних ліній озимої м'якої пшениці *T. aestivum* L. за гліадиновими локусами GLI-D1-4 × GLI-B1-3 на основі сорту Безоста 1. Лінії створено д.б.н. М.М. Копусем [7]. Вихідні лінії відрізняються лише за присутністю пшенично-житньої транслокації 1BL/1RS (її маркером є гліадиновий алель *Gli-B1l* [10]) та за гліадиновим локусом *Gli-D1* і мають наступні генотипи за маркерними локусами (позначення алелів за каталогом [9]): лінія GLI-B1-3: *Gli-B1l Gli-D1b*; лінія GLI-D1-4: *Gli-B1b Gli-D1j*. Сухі зерна F_2 були опромінені гамма-радіацією в дозах 150, 200 і 300 Гр. Контрольні та опромінені зерна F_2 були посіяні у 2005 р. широкорядним посівом у двох місцевостях на дослідній ділянці (м. Київ, Інститут агроєкології та біотехнології НААН) в оптимальні строки

(початок вересня) (далі – Лісостеп) та в м. Одеса (Селекційно-генетичний інститут) (далі – Степ) в пізні строки (кінець жовтня) з чергуванням рядів «контроль», «варіант з гамма-опроміненням зерен дозою 150 Гр», «варіант з гамма-опроміненням зерен дозою 200 Гр», «варіант з гамма-опроміненням зерен дозою 300 Гр». Розмір ділянок та кількість посіяних зерен і вирощених рослин кожного варіанту в м. Києві описано раніше в [12]. Нижче наведено інформацію про дослід в м. Одеса: Довжина ряду – 2,50 м, відстань між рядами – 30 см, відстань між рослинами в ряду – 5 см. Посіяно по 880 зерен кожного варіанту. Вирощено 801 рослину F_1 контрольного варіанту, 611 рослин варіанту з гамма-опроміненням зерен дозою 150 Гр, 317 рослин варіанту з гамма-опроміненням зерен дозою 200 Гр, рослин варіанту з гамма-опроміненням зерен дозою 300 Гр практично не отримано. Кожну рослину F_2 охарактеризовано – за ознаками «кількість продуктивних стебел», «маса зерна з рослини» та «маса зерна з колоса».

Для визначення генотипу за локусами гліадинів з кожної рослини F_2 проаналізовано суміш 7 зернівок F_2 (1–3 повторності) електрофорезом гліадинів за методикою [8]. Виживання рослин визначали як відношення кількості рослин F_2 до кількості висіяних зерен F_2 . Відносне зниження ознаки порівняно з контролем визначали як відношення різниці між значенням у контролі (К) та у варіанті з опроміненням (О) до значення ознаки у контролі * 100 %: $(K-O) * 100 / K$. Достовірність різниці за кількісними ознаками оцінювали за критерієм Стьюдента.

Результати і обговорення

Умови вирощування досліджуваної популяції рослин F_2 поділяли на «сприятливі» і «несприятливі» на основі середньопопуляційного значення маси зерна з рослини в контрольному варіанті, яка становила $5,92 \pm 0,13$ г в умовах зони Степу (несприятливі умови) та $12,36 \pm 0,31$ г при вирощуванні в зоні Лісостепу [12] (сприятливі умови).

Виживання популяції рослин F_2 у несприятливих умовах зони Степу становило $0,892 \pm 0,010$ у контролі, $0,667 \pm 0,016$ після опромінення сухих зерен дозою гамма-опромінення 150 Гр, (76% від виживання у контролі) (табл. 1). Після опромінення дозою 200 Гр виживання рослин становило лише 40% від виживання у контролі. При опроміненні сухих зерен дозою 300 Гр рослин практично не отримано при даних умовах вирощування. У сприятливих умовах вирощування (в умовах

Лісостепу в оптимальні строки посіву [12]) зниження виживання у два рази (ЛД50) у гібридній популяції на базі сорту Безоста 1 спостерігається при 300 Гр, тоді як при вирощуванні в умовах Степу (засушливі умови) дозою ЛД50 є доза, близька до 200 Гр. Ці дані показують, що рівень виживання рослин озимої м'якої пшениці після опромінення сухих зерен гамма-променями залежить від умов вирощування.

Гамма-опромінення сухих зерен призвело до суттєвого зниження ознак продуктивності популяції рослин F₂ порівняно з контролем (табл. 2).

Найістотніше зменшення ознаки при опроміненні спостерігалось для маси зерна з рослини. Так, при опроміненні дозою 200 Гр маса зерна з рослини зменшується на 60%, число продуктивних стебел – на 22 %, тоді як маса зерна з колоса – на 48%. Отже, при вирощуванні рослин у відносно несприятливих умовах при пізніх строках посіву вплив гамма-опромінення сухих зерен F₂ на зниження урожайності рослин озимої пшениці в значній мірі реалізується через формування меншої маси зерна з колоса, а не через закладку меншого числа стебел при осінньому кущенні, як спостерігалось при оптимальних строках сівби і відносно сприятливих умовах [12].

Досліджено значення ознак продук-

тивності рослин F₂ при опроміненні сухих зерен у залежності від генотипу за присутністю житньої транслокації. Середні значення ознак продуктивності рослин F₂ з певним генотипом за *Gli-B1* в контролі і при опроміненні сухих зерен наведено в табл. 3. Наведені групи рослин відрізняються за коротким плечем хромосоми 1В. *Gli-B1l.1* – гомозиготи за присутністю житньої 1BL/1RS транслокації (дві дози житнього плеча 1RS), *Gli-B1b.1* – гетерозиготи (мають одну дозу плеча 1RS), рослини з генотипом *Gli-B1b.b* мають пшеничне плече 1BS.

Проаналізовано відносно зниження (порівняно з контролем) у різних генотипів за локусом *Gli-B1* при використаних дозах гамма-опромінення (табл. 4).

Виявлено, що у варіантах з опроміненням (150 Гр і 200 Гр) при вирощуванні у відносно несприятливих умовах найменше знижує число продуктивних стебел і масу зерна з рослини гомозигота за житньою транслокацією, а найбільше – гомозигота без транслокації. При 150 Гр рівень зниження продуктивного кушення у генотипів *Gli-B1l.1* в два рази менший, ніж у гомозигот *Gli-B1b.b*, а за масою зерна з рослини – в півтора рази. Подальше збільшення дози гамма опромінення (200 Гр) нівелює відмінності за рівнем зниження цих ознак продуктивності.

Таблиця 1. Виживання рослин F₂ гібридній популяції на базі сорту Безоста 1 після опромінення сухих зерен гамма-променями при вирощуванні в різних умовах

Варіант	Виживання		Частка від контролю	
	Степ	Лісостеп	Степ	Лісостеп
Контроль	0,892 ± 0,010	0,754 ± 0,014		
150 Гр	0,667 ± 0,016	0,755 ± 0,014	76 %	100 %
200 Гр	0,335 ± 0,016	0,714 ± 0,015	40 %	95 %
300 Гр	-*	0,385 ± 0,016	-*	51 %

Примітка: * рослин практично не отримано.

Таблиця 2. Середні значення ознак продуктивності ± стандартна похибка у популяції рослин F₂ (Степ) у контролі та після гамма-опромінення зерен, в дужках – відносне зниження ознак (порівняно з контролем), %

Варіант	Число продуктивних стебел	Маса зерна з рослини, г	Маса зерна з колоса, г
Контроль	4,40 ± 0,07	5,92 ± 0,13	1,33 ± 0,02
150 Гр	3,93 ± 0,08* (10,7%)	4,27 ± 0,11* (28,0%)	1,09 ± 0,02* (18,2%)
200 Гр	3,43 ± 0,11* (22,0%)	2,38 ± 0,12* (59,8%)	0,69 ± 0,02* (48,2%)

Примітка: * відрізняється від значення в контролі при P < 0,001.

Таблиця 3. Середні значення ознак продуктивності рослин F₂ (Степ) з певним генотипом за *Gli-B1* в контролі і при опроміненні сухих зерен

Варіант	<i>Gli-B1b.b</i>	<i>Gli-B1b.l</i>	<i>Gli-B1l.l</i>
Число продуктивних стебел			
Контроль	4,44 ± 0,132	4,556 ± 0,107	3,924 ± 0,147
150 Гр	3,894 ± 0,145**	4,036 ± 0,108***	3,663 ± 0,183
200 Гр	3,276 ± 0,209***	3,571 ± 0,154***	3,255 ± 0,280*
Маса зерна з рослини			
Контроль	5,8 ± 0,23	6,26 ± 0,197	5,211 ± 0,283
150 Гр	4,025 ± 0,187***	4,448 ± 0,157***	4,142 ± 0,334*
200 Гр	1,977 ± 0,172***	2,668 ± 0,171***	2,164 ± 0,278**
Маса зерна з колоса			
Контроль	1,309 ± 0,034	1,356 ± 0,025	1,311 ± 0,049
150 Гр	1,06 ± 0,034***	1,11 ± 0,025***	1,084 ± 0,053**
200 Гр	0,603 ± 0,035***	0,75 ± 0,031***	0,655 ± 0,054***

Примітка: відрізняється від значення в контролі при ** P < 0,01; *** P < 0,001.

Таблиця 4. Відносне зниження ознак продуктивності рослин F₂ з різним генотипом за локусом *Gli-B1* після гамма-опромінення зерен (порівняно з контролем),% (С – Степ, Л – Лісостеп [12])

Варіант	<i>Gli-B1b.b</i>		<i>Gli-B1b.l</i>		<i>Gli-B1l.l</i>	
	С	Л	С	Л	С	Л
Число продуктивних стебел						
150 Гр	12,30	19,92	11,41	7,84	6,65 ^{н**}	16,27
200 Гр	26,22	23,22	21,62	19,04	17,05	12,69
300 Гр	–*	51,74	–	49,85	–	48,81
Маса зерна з рослини						
150 Гр	30,60	26,11	28,95	7,47 ^н	20,51 ^н	20,19
200 Гр	65,91	27,27	57,38	24,17	58,47	14,90 ^н
300 Гр	–	60,62	–	66,24	–	61,11
Маса зерна з колоса						
150 Гр	19,02	6,06	18,14	-0,96 ^н	17,32	7,98 ^н
200 Гр	53,93	5,30 ^н	44,69	8,38	50,04	5,59 ^н
300 Гр	–	23,13	–	9,34	–	27,27

Примітка: * рослин практично не отримано; ** н – відмінності від значення в контролі статистично неістотні.

За рівнем зниження маси зерна з рослини у різних генотипів варіант з дозою опромінення 150 Гр при вирощуванні у відносно несприятливих умовах (Степ) є близьким до варіанту з дозою опромінення 200 Гр при вирощуванні у сприятливих умовах [12]) (Лісостеп, табл. 4). Величини зниження ознак продуктивності, отримані в цих популяціях, дозволяють припустити більшу нечутливість генотипів з присутністю 1BL/1RS транслокацією до стресових факторів (опромінення сухого насіння гамма-променями у високих дозах) порівняно з генотипами без цієї інтрогресії.

Висновки

У варіантах з гамма-опроміненням високими дозами сухих зерен пшениці при

вирощуванні у відносно несприятливих умовах найменше знижує число продуктивних стебел і масу зерна з рослини гомозигота за житньою транслокацією, а найбільше – гомозигота без транслокації. За рівнем зниження маси зерна з рослини у різних генотипів варіант з дозою опромінення 150 Гр при вирощуванні у відносно несприятливих умовах є близьким до варіанту з дозою опромінення 200 Гр при вирощуванні у сприятливих умовах. Отримані результати вказують на меншу чутливість генотипів з присутністю 1BL/1RS транслокацією до стресових факторів (опромінення сухого насіння гамма-променями у високих дозах) порівняно з генотипами без даної транслокації.

Література

1. Гродзинский Д.М. Радиобиология растений.– Киев: Наук. думка.– 1989.– 384 с.
2. Моргун В.В., Логвиненко В.Ф. Мутационная селекция пшеницы. – Киев: Наук. думка, 1995. – 626 с.
3. Din R., Qasim M., Ahmad K. Radio sensitivity of various wheat genotypes in M₁ generation // Int. J. of Agriculture&Biology. – 2004. – 6, N 5.– P. 898–900.
4. Оксьом В.П. Вплив мутагенних чинників на рослини M₁ озимої пшениці та його зв'язок із частотою змінених форм у другому поколінні // Физиол. и биохим. культ. раст. – 2010. – 42, № 5. – С. 153–162.
5. Назаренко М.М. Вживаність і структура врожайності як показники мутагенної депресії у першому поколінні мутантів сортів озимої м'якої пшениці // Физиол. и биохим. культ. раст. – 2007. – 39, № 5. – С. 438–446.
6. Irfaq M., Nawab K. Effect of gamma irradiation on some morphological characteristics of three wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars // OnLine J. Biol. Sci. – 2001. – 1, N 10. – P. 935–937.
7. Копусь М.М. О естественной геногеографии глиадиновых аллелей у озимой мягкой пшеницы // Селекция и семеноводство. – 1994. – № 5. – С. 9–14.
8. Kozub N.A., Sozinov I.A., Sobko T.A., et al. Variation at storage protein loci in winter common wheat cultivars of the Central Forest-Steppe of Ukraine // Цитология и генетика. – 2009. – 43, № 1. – С. 69–77.
9. Metakovsky E.V. Gliadin allele identification in common wheat. II Catalogue of gliadin alleles in common wheat // J. Genet. Breed. – 1991. – 45. – P. 325–344.
10. Rabinovich S.V. Importance of wheat-rye translocations for breeding modern cultivars of *Triticum aestivum* L. // Euphytica. – 1998. – 100. – P. 323–340.
11. Созинов А.А. Полиморфизм белков и его значение в генетике и селекции – М. : Наука, 1985. – 272 с.
12. Козуб Н.О., Созинов І.О., Бідник Г.Я., Дем'янова Н.О., Карелов А.В., Блюм Я.Б., Созинов О.О. Вплив гамма-опромінення сухих зерен на продуктивність рослин м'якої пшениці, що відрізняються за присутністю житньої 1BL/1RS транслокації // Фактори експериментальної еволюції організмів. – К.: Логос, 2013. – 12. – 2013. – С. 42–46.

SOZINOV I.A.^{1, 2}, KOZUB N.A.^{1, 2}, BIDNYK H.Ya.^{1, 2}, DEMIANOVA N.A.^{1, 2}, KARELOV A.V.^{1, 2},
BLUME Ya.B.², SOZINOV A.A.^{1, 2}

¹ Institute of Plant Protection, NAAS,

Ukraine, 03022, Kyiv, Vasylykivska str., 33, e-mail: sia1@i.com.ua

² Institute of Food Biotechnology and Genomics, NAS of Ukraine,

Ukraine, 04123, Kyiv, Osypovskogo str., 2a

THE EFFECT OF GAMMA-IRRADIATION ON PRODUCTIVITY TRAITS OF COMMON WHEAT DEPENDING ON THE GENOTYPE AND GROWTH CONDITIONS

Aims. The effect of gamma-irradiation on productivity of common wheat plants differing in the dose of the 1BL/1RS translocation under different growth conditions was studied. **Methods.** Dry F₂ seeds from crossing Bezostaya 1 lines were treated with gamma-radiation at 150, 200, and 300 Gy and grown in two localities. Each F₂ plant was characterized with respect to yield traits. The presence of the translocation was analyzed by electrophoresis of gliadins. **Results.** Under unfavorable conditions the LD50 dose was close to 200 Gy, whereas under favorable ones it was 300 Gy. In variants with irradiation under unfavorable conditions homozygotes for the rye translocation showed the least decrease in the main productivity traits, the highest decrease was observed in homozygotes without it. **Conclusions.** The results suggest lower sensitivity of genotypes with the 1BL/1RS translocation to stress factors (high-dose gamma-irradiation of dry seeds) in comparison with genotypes without it.

Key words: *Triticum aestivum* L., 1BL/1RS translocation, gamma-irradiation, productivity.