

БУРДЕНЮК-ТАРАСЕВИЧ Л.А.

*Білоцерківська дослідно-селекційна станція Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України,
Україна, 09175, Київська обл., Білоцерківський район, п/в Мала Вільшанка-1,
e-mail: Burdenyuk@gmail.com, (098) 475-84-20*

ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕТИЧНОЇ НЕСТАБІЛЬНОСТІ ЧОРНОБИЛЬСЬКИХ МУТАНТІВ У СЕЛЕКЦІЇ *TRITICUM AESTIVUM* L. НА АДАПТИВНІСТЬ

Спонтанні мутації є джерелом різноманіття в процесі еволюції, а також вихідним матеріалом при створенні селекційних сортів сільськогосподарських культур. Причиною їх виникнення є зміни метаболізму під впливом стресів в довколишньому середовищі або в результаті природного опромінення. Але спонтанні мутації в природі трапляються рідко, тому для створення цінних форм рослин виникла необхідність у застосуванні експериментального мутагенезу. Першими вплив рентгенівського опромінення на спадкову мінливість озимої пшениці успішно застосували ще в 1927 році на Харківській селекційній станції Л.Н. Делоне і В.І. Дідусь, а в Одеському інституті – А.А. Сапегін. Вони одержали на багатьох сортах твердої і м'якої пшениці широкий спектр спадкових змін морфологічних і біологічних ознак. Згодом метод рентгенівського опромінення набув широкого розповсюдження в селекційній практиці багатьох селекціонерів. Тому, коли трапилася аварія на Чорнобильській АЕС, поряд із вивченням впливу радіаційного опромінення на біоценоз вражених радіацією територій розпочалися дослідження генетичних наслідків дії радіації безпосередньо на культурні рослини, які на момент аварії знаходилися на полях поблизу зруйнованого реактора, в першу чергу, на озиму пшеницю. Планувалося, в разі виникнення мутацій у зібраних в зоні відчуження зразків, вивчити характер їх успадкування та спробувати використати їх для селекції одним із таких способів: 1) безпосередньо як сорт; 2) відібрати з мутантних форм кращі лінії за господарськими властивостями і константні за морфологічними і біологічними ознаками та ввести їх у схрещування для збагачення вихідного матеріалу.

Матеріали і методи

Д.М. Гродзинським, П.К. Шкварніковим,

В.Ф. Батигінім, О.Д. Коломієць у серпні 1987 р. на полях, прилеглих до Чорнобильської атомної станції, були зібрані рослини пшениці м'якої озимої сортів Білоцерківська 47, Миронівська 808, Поліська 70 і Киянка, які на всіх етапах органогенезу впродовж двох вегетаційних періодів – 1985/86 і 1986/87 рр. – знаходилися під дією хронічного опромінення, яке було викликане аварією на 4-му енергоблоці. Дози визначалися комбінацією зовнішнього гамма-опромінення і внутрішнього – бета і альфа частинами, які проникали всередину рослин із їх поверхні і локалізувалися в основному в ДНК [1]. З часом радіонукліди проникали в орний шар ґрунту, поглиналися корінням рослин, і дози від внутрішнього опромінення зростали. Генетичний ефект радіації в основному пов'язаний із прямою дією енергії квантів, які проникають у клітину і викликають зміну біохімічних, а потім і біологічних властивостей клітини. Урожай із цих рослин-самосівів був зібраний у 1987 р. і послугував початком колекції. В 1988 р. 239 зібраних зразків у вигляді окремих колосів були передані для наступного дослідження на Білоцерківську ДСС (БЦДСС). З тих пір протягом 30 поколінь (1988–2017) методом педігрі пересіваються змінені форми, яких зараз налічується понад 3 тисячі. Проводиться також гібридологічний аналіз шляхом прямих і зворотних схрещувань утворених мутантних форм з вихідними сортами, а також з сортами, що вирощуються в різних зонах України. Вивчаються морфологічні, біологічні, фізіологічні ознаки одержаних мутантів та характер їх реакції на різні агроекологічні умови. Стабільні мутантні лінії висіваються в конкурсному сортовипробуванні на станції, кращі з них передаються в державне сортовипробування для дослідження їх господарсько-цінних ознак.

Результати та обговорення

Сорти пшениці, які вивчалися, були районованими в Україні і до опромінення характеризувалися стабільністю і гомозиготністю за основними морфологічними і біологічними ознаками.

Але уже в перший рік вивчення було відмічено, що серед потомств 239-и зразків 174 були типовими представниками вихідних сортів, а 65 – являли собою форми, відмінні від них. Серед останніх частина зразків проявили себе в М3 вирівняними в межах потомства, а 44 – виявилися вже в М3 явно гетерозиготними за видимими ознаками.

Надалі потомства рослин, які в ранніх поколіннях нічим не відрізнялися від вихідних форм, в наступних, включно до М30, постійно вищеплювали змінені форми, яких раніше не спостерігалось. Оскільки виявлені зміни передавалися з покоління в покоління, є всі підстави розглядати їх як мутації.

Дослідженнями виявлено такі типи мутацій: 1) морфологічні – з різноманітними анома-

ліями структури колоса, колосків, стебла, листків; 2) фізіологічні мутації росту і розвитку з порушенням гормональної системи, зі стерильними квітками в колосі, ранньостиглі і пізньостиглі, карлики, напівкарлики та високорослі; 3) мутації стійкості до стресу і з підвищеною зимостійкістю, посухостійкістю, стійкістю до вилягання; 4) резистентні до хвороб – корневих гнилей, фузаріозу колоса, бурої іржі, снігової плісняви; 5) системні мутації, що мають ознаки інших видів, – *T. compactum* (Host) (рис. 1); *T. spelta* (L) (рис. 2), яка при обмолоті має ламкий колосовий стержень і розпадається на колоски і спельтоїди голозерні, що легко обмолочуються (рис. 3).

Серед них є як остисті, так і безості, (їх характеристики наведені в наших попередніх публікаціях [2–4]). Аналіз розщеплення первинно утворених мутантів протягом 30 поколінь показав, що частота і спектр мутацій збільшуються в пізніх поколіннях, включно до М₃₀ (рис. 4).



Рис. 1. *T. compactum* (Host) – лінія, виявлена у мутанта М₄ БЦ47 скверхед.



Рис. 2. *T. spelta* (L) – із затрудненим обмолотом, виділена у мутанта М₄ 756/89.



Рис. 3. *T. Vavilovi* (Tum. і Jakubz) лінія, виявлена у мутанта М₉ БЦ47 скверхед.



Рис. 4. Розщеплення потомства одного колоса мутанта в М₃₀.

Це явище називають генетичною нестабільністю, яка може виникати з кількох причин. По-перше, через розвиток ланцюгового процесу, який відбувається на рівні хромосоми і може охопити кілька клітинних циклів, а також у результаті збудження процесу спонтанного мутагенезу на рівні цілої рослини. Відбуваються порушення генетичного і фізіологічного збалансування мутантів і має місце плейотропна дія змутованих локусів. По-друге, появу мутацій, у пізніх поколіннях деякі автори пояснюють тим, що при опроміненні зернівки мутації можуть виникнути лише в окремих її клітинах, із такої зернівки утворюються химерні рослини, мутантними можуть бути лише окремі її органи, химерна будова рослин M_1 при дії радіації на соматичні клітини утруднює виявлення мутацій у ранніх поколіннях. По-третє, в надзвичайних умовах, які склалися в результаті техногенної катастрофи, озима пшениця зазнала дії хронічного опромінення протягом усіх стадій органогенезу. Мутації могли виникнути в клітинах будь-якої тканини і на будь-якій стадії розвитку. Якщо мутація виникла в статевій клітині, то її несуть усі клітини наступного покоління. Домінантна мутація проявиться в стадії зиготи вже в F_1 , а рецесивна – лише в $F_2 - F_n$ при переході її в гомозиготний стан, довгий час залишаючись непомітною. В той час, як при схрещуванні звичайних сортів процес самозапліднення веде до гомозиготності, яка, починаючи з F_2 , постійно збільшується, і розщеплення припиняється в $F_5 - F_6$, досягаючи в $F_6 - 96,9\%$, в $F_{10} - 99,8\%$, у радіомутантів гомозиготність, навпаки, в пізніх поколіннях зменшувалася, через появу нових змінених форм. Так, остистий сорт БЦ 47 в насінневих розсадниках мав 100% остистість, а аналіз 50 ліній нестабільного мутанта БЦ 47 скв, що утворився з нього, показав, що стабільних остистих ліній в M_{12} виявилось 52% , стабільних безостих – 20% , а 28% ліній все ще розщеплювалися на остисті і безості.

Як вихідний матеріал селекціонерів більше цікавлять так звані «малі мутації», тобто такі, що стосуються найчастіше кількісних ознак, які мають найбільше практичне значення, визначаючи урожайність, стійкість до хвороб, якість продукції, висоту рослин, тривалість вегетаційного періоду тощо. Їх можна помітити лише в M_3, M_4 і старших поколіннях за умови, якщо вони представлені великою групою. Цін-

ним для селекції є те, що генетично нестабільний мутагенез характеризується появою великого різноманіття біотипів. Серед мутантів з'являються лінії з ознаками, яких не було у вихідних сортів. Для схрещування відбираємо такі з них, які після багаторічних відборів стали стабільними за морфологічними ознаками і володіють комплексом господарсько-цінних властивостей. Завдяки мутагенезу можливий розрив небажаного зчеплення ознак. Більш детально зупинимося на характеристиці мутантів, що утворилися в пізніх поколіннях, які стали вихідним матеріалом при одержанні сортів, занесених до Державного реєстру сортів рослин України.

Високопродуктивними виявилися лінії, одержані в результаті індивідуальних відборів з мутанта 20168/89, що походить від сорту Миронівська 808. У 1991 році з нього була відібрана безоста лінія Л 147/91, яка продовжувала розщеплюватися як за висотою рослин, так і за морфологією колоса на скверхедне остисте і звичайне безосте колосся. Повторні відбори в контрольному розсаднику мутанта Л147/91 дали константні за різновидністю лінії *Lutescens*, які значно різнилися між собою за господарськими показниками: за висотою рослин коливання були від 103 до 110 см, за враженням бурою іржею – від 29 до 55 %, за врожайністю – від 54,3 до 63,5 ц/га. Але всі, без винятку, лінії мали високий вміст клейковини (32–36 %) при незадовільній її якості – ІДК 111–120 од. (табл. 1). Через низьку пружність клейковини використовувати їх безпосередньо як сорти було недоцільно. Після відбору найбільш зимостійка і сильна за хлібопекарськими якостями лінія мутанта Л147 була схрещена з цінним сортом Харківської селекції Напівкарлик 3. За комбінацією (к) 33/92 (табл. 2) спостерігається великий розмах коливання за стійкістю до бурої іржі (2–65 %), за скоростиглістю і продуктивністю (18,9–62,8 ц/га). Після станційного сортовипробування найбільш продуктивна стабільна лінія 1627 під назвою *Ясочка* була передана на Державне сортовипробування. З 2006 р. сорт було занесено до Державного реєстру сортів рослин України. Він цінний за якістю, має високу посухостійкість, вищу від середньої зимостійкість, резистентний до бурої іржі, септоріозу, стійкий до вилягання, рекомендований для зони Лісостепу України.

Таблиця 1. Характеристика ліній мутанта Л147/91 в контрольному розсаднику, 2000 р. (M₁₄)

Номери ліній – показники	1635	1637	1638	1676	1679	1682	1684
Дата колосіння	1,06	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06
Висота, см	107	108	110	110	103	107	106
Оцінка після зими, бал	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5
Ураження бурою іржею, %	29	29	29	49	55	31	38
Урожайність зерна, ц/га	63,5	60,0	60,6	59,8	56,8	56,3	54,3
+/- до стандарту	+23,3*	+19,8*	+20,4*	+8,2*	+5,2*	+4,7*	+3,1
Клейковина, %	34	34	36	36	35	36	32
ІДК, од	111	118	116	120	118	119	115

Примітка. * – суттєво при P₀₅.

Таблиця 2. Результати сортовипробування селекційних ліній від схрещування к33/92 Мутант Л147 / Напівкарлик 3, 2000 р.

Польовий № 2000 р.	Оцінка після зими, бал	Дата коло- сіння	Уражен. бур. ір- жею, %	Ви- со- та, см	Урожайність		Клейковина	
					ц/га	+/- до стандар- ту	% ІДК, од.	Пруж- ність, бал
1625	3,0	23,05	11	86	55,1	+7,3*	31/77	5
1627	4,0	25,05	14	90	62,1	+14,3*	28/64	5
1632	3,0	28,05	2	89	53,5	+13,3*	34/83	5
1759	3,5	29,05	65	81	60,7	+4,3*	32/108	2

Примітка. * – суттєво при P₀₅.

Перспективним виявилось також схрещування к 24/93 мутанта Л147 з сильним за якістю селекційним номером Новоукраїнка б.ц. В середньому за 8 років (1992–1999 рр.) мутантна лінія мала вміст клейковини 34 % при показниках ІДК 85 од. У 1994 році були одержані гібриди висотою 70 см з ураженням бурою іржею лише до 6 %. В F₂ вивчалися потомства 20 сімей, це біля 2 тисяч рослин, з них були відібрані для F₃ 105 потомств, з яких 23 виявилися константними. Для подальшого вивчення відібрано номер 728, який під назвою *Либідь* був переданий на Державне сортовипробування і з 2006 р. занесений до Реєстру сортів України. Сорт має підвищену стійкість до льодяної кори, резистентний до бурої іржі, борошнистої роси і септоріозу, високопродуктивний, сильний за хлібопекарськими якостями, рекомендований для вирощування в усіх ґрунтово-кліматичних зонах.

У колекції мутантів найбільш чисельною і генетично нестабільною була група мутантів, що походить від сорту Білоцерківська 47–БЦ 47 скверхед (БЦ47 скв.). У посіві 1989 р. таких мутантів налічувалося 40 сімей, які надалі розщеплювалися за різновидністю, висотою рослин, мали аномальні ознаки стебла, колоса і

листіків. У різних їх поколіннях з'являлися системні мутанти. Після багаторічних відборів серед ліній мутанта БЦ 47 скв. була відібрана стабільна лінія 774, яку ввели в схрещування із сортом степового екотипу Одеська 162 для підвищення зимостійкості останнього. В результаті одержали три занесені до Державного реєстру сорти: *Царівна* (2008 р.), *Лісова пісня* (з 2008 р. національний стандарт), *Романтика* (2009 р.). Всі сорти від цієї комбінації схрещування мали підвищені зимостійкість, резистентність до основних хвороб, були середньостиглі, високоврожайні, адаптовані до умов Лісостепу і Полісся України, відносяться до сильних пшениць.

Велику цінність як вихідний матеріал для селекційної роботи являє собою мутант-карлик 20104/89, він, як і попередні мутанти, виявився нестабільним, його висота варіювала від 48 до 76 см, він мав укорочений безостий колос типу компактум із різним рівнем скверхедності, дуже вражався бурою іржею. В 1990 р. серед його потомств були скверхеда і звичайні остисті і безості форми, високорослі і карлики, середньо- і пізньостиглі. Була виділена стабільна лінія, сильна за якістю: з 34 % клейковини при 76 од. ІДК. У подальшій роботі цей карлик успішно

був використаний як донор короткостебловості і високої якості зерна в схрещенні з селекційним номером Новоукраїнка б.ц. Під назвою *Відрада* з 2010 р. занесений до Державного реєстру і рекомендований для всіх зон України. Сорт має підвищені посухостійкість, зимостійкість, стійкість до хвороб, надсильний за хлібопекарськими якостями: білка – до 19,2 %, клейковини – 44 %, сила борошна – 649 од. Сорт Відрада придатний для органічного землеробства.

Висновки

У результаті 30-річних досліджень генетичних змін сортів *T. aestivum* озимої, які сталися внаслідок іонізуючого опромінення під час дворічної вегетації (1986–1987 рр.) на полях поблизу зруйнованого реактора ЧАЕС, виявлено виникнення генетично нестабільних мутантів, спектр яких збільшувався з покоління в покоління. Поряд з аномальними змінами морфології рослин виявлено системні мутації, а також цінні

для селекції мутанти з високим адаптивним потенціалом, а саме: 147/91 – стійкий до хвороб, БЦ 47 скверхед – із підвищеною зимостійкістю і посухостійкістю; мутант- карлик 20104/89 – стійкий до вилягання і з високими хлібопекарськими якостями. Адаптивний потенціал мутації активувався і був оцінений лише в роки зі стресовими умовами доквілля. Після багаторічних відборів виділено з них стабільні мутантні лінії, які введено в схрещування. Одержано 6 сортів із високим урожайним потенціалом, відмінними хлібопекарськими властивостями і стійких до несприятливих умов доквілля: Ясочка, Либідь, Царівна, Лісова пісня (національний стандарт), Романтика, Відрада.

Очевидно, явище нестабільного мутагенезу існує і в дикій природі, пояснюючи адаптацію, впливає на процес еволюції, а можливо, і видоутворення. Це питання потребує ще глибоких молекулярних і біохімічних досліджень.

Література

1. Гродзинський Д.М., Коломієць О.Д., Бурденюк Л.А. Мутагенез рослин у зоні відчуження // Бюлетень екологічного стану зони відчуження та зони безумовного відселення. – К.: Чорнобиль інтер. Інформ, 2000. – № 16. – С. 50–54.
2. Бурденюк-Тарасевич Л.А. Віддалені наслідки дії хронічного опромінення рослин *T. aestivum* L. в зоні відчуження ЧАЕС в 1986–1987 рр. // Фактори експериментальної еволюції організмів. – К.: Логос, 2011. – Т. 10. – С. 90–95.
3. Бурденюк-Тарасевич Л.А. Формотворчий процес у озимої пшениці *Triticum aestivum* L. впродовж 30 поколінь як результат післядії Чорнобильської катастрофи. Biodiversity after the Chernobyl Accident. Part II. The scientific proceedings of the International network AgroBio/N et. – 2016. – P. 29–33.
4. Amagai Y., Burdenyuk-Tarasevych L.A., Goncharov N.P., Watanabe N. Microsatellite mapping of the loci for false glume and semi-compact spike in *Triticum* L. // Genetic Resources and Crop Evolution, An International Journal ISSN 0925-9864 28 February 2017.

BURDENYUK-TARASEVICH L.A.

Bila-Tserkva Research and Breeding Station of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the National Academy of Agrarian Science of Ukraine,
Ukraine, 09175, Kyivska Oblast, Bila Tserkva District, Mala Vilshanka village, Selection Station, Centalna str., 1, e-mail: Burdenyuk@gmail.com

USE OF CHORNOBYL MUTANTS' GENETIC INSTABILITY IN BREEDING PROCESS OF *TRITICUM AESTIVUM* L. FOR ADAPTABILITY

Aim. The results of 30-yearlong study of *T. aestivum* L. winter wheat hereditary changes that took place in result of radiation exposure in the fields near the destroyed Chernobyl reactor during two year period (1986–1987) were provided. **Methods.** The modified forms of plants were cultivated by pedigree method for 30 years. **Results.** The following types of mutations were found: 1) Morphological – ear, spikelet's, stems, leaves structure anomalies; 2) Systemic that featured traits of other species – *T. Spelta* (L); *T. compactum* (Host) and *T. Vavilovi* (Tum. and Jakubz); 3) Physiological growth and development mutations accompanied by hormonal systems changes, sterile flowers, early and late maturing; dwarfness and height change; 4) mutations of stress resistance, improved winter hardiness, drought tolerance and resistance to diseases. **Conclusions.** Mutations were genetically unstable and their range extended from generation to generation. Mutations on high adaptability manifested themselves only under stressful environmental conditions. They were used as a starting material for varieties that were included into the State Register. This way Yasochka variety had increased drought tolerance and resistance to lodging; Lybid variety had increased resistance to ice crust; Tsarivna, Romantica and Lisova Pisia varieties – high winter hardiness and drought tolerance; Vidrada – organic production suitability with resistance to main diseases and a superb baking qualities.

Keywords: variety, wheat, unstable mutagenesis, adaptability.