

IMPROVING THE ROOT SHAPE OF SUGAR BEET IN SELECTION FOR PRODUCTIVITY

Parfeniuk O.A.

Tobacco Experimental Station of the National Research Center “Institute of Agriculture of NAAS”, Ukraine

The purpose of the research was to create new genotypes of sugar beet multi-shoot pollinators with improved root shape parameters. Study of the nature of changes in biometric indicators of root shape in recombinant beet materials and determination of their productive potential.

Materials and methods. The research were conducted at the Tobacco Experimental Station of the NRC «IA NAAS» during 2017–2019. The solution of the tasks on creation of new genotypes of sugar beet multi-shoot pollinators with the improved parameters of the root shape is carried out by inclusion in selection process of fodder beet biotypes as donors of valuable selection and genetic signs.

Five diploid sugar beet multi-shoot populations of various genetic origins and three fodder beet multi-shoot components of variety Slavia were involved in field experiments. Creation of sugar-fodder hybrids (F_1) and subsequent backcrosses (generation BC_1 and BC_2) were carried out under paired insulators and in spatially isolated areas. Varietal testing of initial forms and hybrids was performed according to the method developed by scientists of IBC&SB of NAAS.

Results and discussion. New sugar beet multi-shoot pollinators of generations BC_1 and BC_2 with an oval-conical root shape and high basic plant productivity have been created. Their roots in biometric indicators significantly differed from the original forms of sugar beets (BZ): increased root length (L) by 9.6 % and 8.7 %, respectively, and the distance from the plane of the maximum root diameter to the top of the head (B) – by 38.7 %. Also, with the change of the root shape, their weight increased (by 22.6% in BC_1 and 19.4 % in BC_2). These materials in terms of root yield exceeded the group standard by 15.7% and 12.7%, sugar collection – by 12.0% and 12.9%, respectively. This gives prospects, using these breeding materials as parent components, further growth of the productive potential of new sugar beet hybrids on the basis of CMS.

Conclusions. The use of recombinant beet materials of sugar-fodder type in the selection makes it possible to expand the genetic potential and improve sugar beet by the manifestation of the most important selection-genetic and economically valuable traits.

Key words: sugar beets, fodder beets, source material, multi-sprout pollinator, hybrid, root shape, productivity.

УДК 633.11:631.53.01:581.

DOI: 10.30835/2413-7510.2020.207013

ДОВГОВІЧНІСТЬ НАСІННЯ ФОРМ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ З ФІОЛЕТОВИМ І ВОСКОПОДІБНИМ ЗЕРНОМ

Скороходов М.Ю., Богуславський Р.Л.

Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН, Україна

З використанням прискореного старіння та заморожування оцінено довговічність насіння зразків пшениці м'якої з фіолетовим забарвленням зерна та воскоподібним зерном. Не виявлено однозначної залежності довговічності насіння від наявності фіолетового забарвлення та високого вмісту амілопектинового крохмалю. Встановлено можливість прогнозувати довговічність насіння пшениці м'якої за вихідним рівнем антиоксидантної активності.

© М.Ю. Скороходов, Р.Л. Богуславський. 2020.

ISSN 1026-9959. Селекція і насінництво. 2020. Випуск 117.

Ключові слова: пшениця м'яка, насіння, довговічність, прискорене старіння, проморозування, антиоксидантна активність

Вступ. Форми пшениці м'якої з зерном фіолетового забарвлення (purple) та з воскоподібним ендоспермом (waxy) є перспективними з точки зору виготовлення продуктів здорового харчування, у т.ч. хлібобулочних, макаронних виробів тощо [1, 2]. Це зумовлює зростання на даний час і у перспективі виробництва зерна таких форм, що, у свою чергу, зумовлює розвиток їх селекції та насінництва. У зв'язку з цим набуває значення встановлення довговічності їх насіння для його зберігання у виробництві та у колекціях генбанків. Але це питання вивчено дуже мало.

Аналіз літературних даних і постановка задач дослідження. Форми пшениці з антоціановим забарвленням зерна є джерелом мікронутрієнтів, що мають високу біологічну цінність і є необхідними для повноцінного харчування. Антоціанове забарвлення обумовлено антоціанинами, які є природними водорозчинними флавоноїдами виключно рослинного походження і характеризуються антиоксидантною активністю [3, 4, 5, 6].

Пшеничне зерно, що має високий вміст амілопектину, є цінним для виробництва модифікованих харчових крохмалів, високоякісної локшини, страв із пророслих пшеничних зерен та інших виробів. Борошно з воскоподібних пшениць використовується для подовження терміну зберігання хлібобулочних виробів без додавання пшеничного глютену [7, 8]. Стосовно довговічності насіння обох категорій форм пшениці, літературні дані дуже обмежені. Підвищений вміст антоціанів у зерні фіолетовозерних пшениць обумовлює його високу антиоксидантну активність, завдяки чому підвищує загальну стресостійкість і подовжує довговічність [9, 10].

Стосовно довговічності насіння пшениці м'якої, проведено дослідження її фізіологічних і генетичних основ. Зокрема, в останні роки встановлено локуси кількісних ознак (QTL), що контролюють довговічність насіння, і їх локалізацію у геномі [11, 12], негативна роль високого рівня ліпоксигеназної активності [13] і позитивна – білків стресостійкості [14], відмінності між формами з твердо- і м'якозерним ендоспермом [15].

Як метод експрес-оцінки довговічності насіння за тривалого зберігання розроблено метод прискореного старіння і доведено його адекватність [16, 17, 18, 19, 20]. Прискорене старіння насіння знижує активність антиоксидантних ферментів, але збільшує активність малодіальдегіду, вчиняє значні ушкодження мітохондрій: набряклу форму з меншими кристалами, що розглядається як основна причина старіння насіння. При цьому активність антиоксидантних ферментів є ключовим чинником для репарації пошкодження та інгібування перекисного окислення ліпідів, і це призводить до збереження цілісності клітинних мембран у насіння пшениці [21].

При тому, що для пшениці м'якої вивчено різні аспекти довговічності насіння, ці питання дуже мало вивчались для форм з зерном фіолетового забарвлення та з воскоподібним ендоспермом, які характеризуються суттєвими фізіолого-біохімічними особливостями. Зокрема, встановлено вплив прискореного старіння на фізіолого-біохімічні характеристики мутантів з воскоподібним зерном у порівнянні з не воскоподібними формами. Зокрема, активність пероксидази, каталази та супероксиддисмутази зростала за більш м'яких режимів прискореного старіння та знижалась за більш жорстких режимів. Вміст же розчинного білка із зростанням напруженості режиму прискореного старіння спочатку зростає, а потім знижується [22]. Що стосується фіолетовозерних форм, то антоціанова активність априорі вважається чинником високої довговічності, спеціально ж це питання не вивчалось. Все це свідчить про доцільність більш поглибленого вивчення даної проблеми.

Метою наших досліджень було оцінити довговічність зразків пшениці з фіолетовим і воскоподібним зерном у довгостроковому зберіганні.

Матеріал, методи та умови дослідження. Матеріалом для досліджень було насіння зразків пшениці з Національного генбанку рослин України з фіолетовим зерном: Чорноброва (Україна, озимий), IR 00413S та IR 00416S (Чехія, ярі); з воскоподібним ендоспермом: IU070418, IU070419, IU070421, UA0108454 (США, напівозимі). Для порівняння ана-

лізували насіння стандартних сортів пшениці м'якої українського походження: Харківська 26 (ярий), Подолянка та Бунчук (озимі).

Довговічність насіння визначали в модельному досліді «прискорене старіння», який моделює процес природного старіння насіння під час тривалого зберігання. Використовували дві методики прискореного старіння: 1) метод Hampton, TeKrony [16, 19], у відповідності до якого зразок насіння витримували в ексикаторі з водою упродовж трьох діб (72 год.) у відкритих паперових пакетах у термостаті за температури $43\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ і відносної вологості повітря 100 %; 2) метод Б.С. Ліхачова [20], згідно з яким зразки насіння, висушені до трьох рівнів вологості – 5 %, 6 % і 7 %, витримували у герметично закритих контейнерах за температури $37\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 30 діб (720 год.). Крім того, як варіант досліді застосовано зберігання протягом 30 діб (720 год.) у герметично закритій скляній тарі у морозильній камері за температури $-20^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, що відповідає режиму довготривалого зберігання насіння у Національному генбанку рослин України. Як контроль для усіх варіантів досліді використовували насіння, поміщене у герметично закриту скляну тару, що зберігалось у холодильній камері з температурою 4°C . У насіння з контрольного та усіх варіантів досліді визначали схожість та енергію проростання згідно Міжнародних правил аналізу насіння [23]. Визначення антирадикальної активності як характеристика антиоксидантної активності здійснювали за допомогою стабільного радикалу 2,2-дифеніл-1-пікрилгідразилу (2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl – DPPH•) згідно методики [24]. Вплив методів прискореного старіння та проморожування на насіння оцінювали за індексом зміни показників під впливом стресового чинника I, який застосовується для оцінки ступеня стресостійкості рослин [25]:

$$I = \frac{x1 - x2}{x2} * 100\%$$

де: I – індекс впливу чинника;

X1 – середній показник досліді;

X2 – середній показник контролю.

Додатне значення індексу означає зростання показника, тобто позитивний вплив досліджуваного чинника; від'ємне значення – зменшення показника, отже негативний вплив чинника. Взаємозв'язок показників, одержаних у досліді, зокрема, показників життєздатності між собою та з показниками активності антиоксидантів оцінювали за коефіцієнтами парної кореляції, які розраховували згідно методики у викладенні Б.А. Доспехова [10]. Для розрахунків використовували пакет комп'ютерних програм Excel, STATISTICA 6.

Насіння вирощували у польовій сівоzmіні Інституту рослинництва ім. В.Я Юр'єва НААН у смт. Елітне (Харківський р-н Харківської обл.), розташованому в північно-східній частині лівобережного лісостепу України. Грунти представлено потужним слабко вилугуваним чорноземом із зернистою структурою.

2014 р. характеризувався температурним режимом переважно близьким до середнього багаторічного. Разом з цим, сума опадів у червні становила 156 мм, що майже удвічі більше середньої багаторічної. У липні, у фазі наливу зерна та досягання, опадів випало 48,6 мм, або 68% середньої багаторічної, але ці опади випали переважно протягом трьох днів, що не сприяло формуванню довговічного насіння. У 2015 р. температура була близькою до середньої багаторічної. Сума опадів у червні становила 104,5 мм, що на 39,4% більше за середню багаторічну. У липні, у період наливу й досягання зерна, випало 42,6 мм, що на 40,6% менше середньої багаторічної. Загалом умови були сприятливими для розвитку рослин і формування насіння. У 2016 р. температура була близькою до середньої багаторічної. Сума опадів у червні становила 43,3 мм, що на 31,6 % менше за багаторічну. У липні, у період наливу й досягання зерна, випало 106,4 мм опадів, що на 48,4% перевищило багаторічну величину й обумовило у зернівок пшениці зниження довговічності. Температурні умови 2017 р. були близькими до багаторічних. Сума опадів у червні та липні була менше середньої багаторічної відповідно на 44,7 мм і на 40,1 мм, або на 70,6% та

55,9%. Ці умови сприяли формуванню більш довговічного насіння пшениці. Отже, роки досліджень суттєво відрізнялись за умовами розвитку рослин і формування зернівок досліджених зразків видів пшениці, що дозволяє виявити загальну закономірність формування їх довговічності.

Обговорення результатів За середніми даними за 2014–2017 рр., вихідні показники енергії проростання та схожості насіння малопоширених форм пшениці м'якої були високими – понад 90 % (табл. 1). Найнижчою енергією проростання насіння (93 %) характеризуються Харківська 26 і РІ619376, найвищою (100 %) – ІР 00413S та ІР 00416S. Подібно цьому, схожість насіння становила від 96 % (РІ619376) та 97 % (Харківська 26) до 100 % (ІР 00413S та ІР 00416S).

Таблиця 1

Енергія проростання, схожість, антиоксидантна активність (АА) насіння малопоширених форм пшениці у контрольному варіанті та після прискореного старіння методом 1, %, 2014–2017 рр.

Зразок	Контроль			Прискорене старіння метод 1					
	енергія проростання	схожість	АА	енергія проростання		схожість		АА	
				<i>x</i>	<i>I</i>	<i>x</i>	<i>I</i>	<i>x</i>	<i>I</i>
Харківська 26	93	97	40,1	75*	-19,4	82*	15,5	36,9	-8,0
Подільянка	99	99	34,8	69*	-30,3	79*	-20,2	32,9	-5,5
Бунчук	99	99	37,3	60*	-39,4	69*	-30,3	34,1	-8,6
Чорноброва	98	99	35,6	68*	-30,6	73*	-26,3	40,9	14,9
ІР 00413S	100	100	46,3	75*	-25,0	86*	-14	39,7	-14,3
ІР 00416S	100	100	45,9	77*	-23,0	86*	-14,0	38,4	-16,3
РІ619376	93	96	47,4	86	-7,5	87	-9,4	43,5	-8,2
РІ619377	97	99	40,5	65*	-33,0	71*	-28,3	40,1	-1,0
РІ619379	93	96	42,7	75*	-19,4	88	-8,3	41,7	-2,3
РІ619381	100	100	40,9	68*	-32,0	72*	-28,0	40,3	-1,5
НІР ₀₅	2,2	1,1	3,2	5,2	–	5,3	–	2,4	–

Примітка. * Різниця з контролем істотна

Прискорене старіння за методом 1 зумовило зниження енергії проростання на 7,5–39,4 %, схожості – на 8,3–30,3 %. Антиоксидантна активність зменшилась майже у всіх зразків на 1,0–16,3 %. Виключенням є сорт пшениці м'якої озимої з темно-фіолетовим зерном Чорноброва, у якого вона підвищилась на 14,9 % (табл. 2). Зниження енергії проростання у ярих зразків – Харківська 26, ІР 00413S та ІР 00416S – оцінювалось індексами відповідно від -19,4 % до -25,0 %; схожості – від -14,0 % до -15,5 %. Причому зразки з фіолетовим зерном показали більш сильне зниження енергії проростання, ніж стандартний сорт Харківська 26; різниця у схожості несуттєва.

У озимих зразків розмах індексів впливу прискореного старіння на енергію проростання та схожість, як і верхні пороги обох показників значно вищі, ніж у ярих зразків. Зниження енергії проростання п'яти із семи озимих зразків оцінювалось індексами від -30,3 % до -39,4 %, схожості – від -20,2 % до -30,3 %. У двох зразків з воскоподібним зерном – РІ619376 та РІ619379 зниження показників було або значно меншим, ніж навіть у ярих зразків, або близьким до них (енергія проростання у РІ619379). Отже насіння цих двох зразків є найбільш довговічним з випробуваного набору зразків пшениці м'якої.

Найменш довговічним є насіння стандартних сортів Подільянка та Бунчук, фіолетовозерного зразка Чорноброва, воскоподібних зразків РІ619377 та РІ619381. Решта зразків характеризуються проміжним рівнем довговічності.

Коефіцієнти парної кореляції між показниками енергії проростання, схожості та антиоксидантної активності у досліді з прискореним старінням за методом 1 свідчать про тісний позитивний зв'язок між антиоксидантною активністю у контролі з одного боку та

енергією проростання і схожістю після впливу чинника та їх індексами з другого боку: r від 0,67 до 0,76. Це дозволяє прогнозувати довговічність насіння зразків генетичного різноманіття пшениці м'якої за рівнем антиоксидантної активності у контролі.

Таблиця 2

Енергія проростання (E, %) та її індекси у насіння зразків малопоширених форм пшениці після прискореного старіння методом 2 за різної вологості, 2014–2017 рр.

Зразок	Вологість насіння, %					
	5		6		7	
	x	I	x	I	x	I
Харківська 26	94	1,1	74*	-20,4	49*	-47,3
Подільянка	89*	-10,1	61*	-38,4	48*	-51,5
Бунчук	72*	-27,3	72*	-27,3	48*	-51,5
Чорноброва	50*	-49,0	48*	-51,0	49*	-50,0
IR 00413S	86*	-14,0	70*	-30,0	54*	-46,0
IR 00416S	88*	-12,0	69*	-31,0	54*	-46,0
PI619376	76*	-18,3	92	-1,1	91	-2,2
PI619377	95	-2,1	59*	-39,2	48*	-50,5
PI619379	66*	-29,0	84*	-9,7	60*	-35,5
PI619381	73*	-27,0	69*	-31,0	49*	-51,0
НІР ₀₅	10,2	–	8,9	–	9,5	–

Примітка. * Різниця з контрольним зразком істотна

Встановлено також тісний негативний зв'язок між енергією проростання у контролі та її індексом ($r = -0,69$). Отже, чим вище вихідна енергія проростання насіння, тим менше вона змінюється під впливом прискореного старіння, тобто тим вище фізіологічний гомеостаз насіння, що, власне, ілюструє відоме явище і є передбачуваним.

Прискорене старіння за методом 2 обумовило зниження енергії проростання насіння за всіх трьох рівнів вологості за виключенням чотирьох випадків із 30, коли зміна була у межах помилки дослідження: Харківської 26 і PI619377 за вологості 5 %, PI619376 за 6 % і 7 %-ної вологості (табл. 3).

Таблиця 3.

Схожість (C %), антиоксидантна активність та її індекси у насіння зразків малопоширених форм пшениці після прискореного старіння методом 2 за різної вологості. Середнє за 2014–2017 рр., %

Зразок	Вологість насіння, %											
	5				6				7			
	C		AA		C		AA		C		AA	
	x	I	x	I	x	I	x	I	x	I	x	I
Харківська 26	97	0,0	40,2	0,2	76*	-21,6	39,5	-1,5	75	-22,7	39,8	-0,7
Подільянка	97	-2,0	36,5	4,9	65*	-34,3	35,5	2,0	99	0,0	36,6	5,2
Бунчук	77*	-22,2	38,9	4,3	75*	-24,2	37,0	-0,8	78*	-21,2	38,5	3,2
Чорноброва	52*	-47,5	37,5	5,3	51*	-48,5	36,1	1,4	51*	-48,5	38,3	7,6
IR 00413S	97	-3,0	38,1	-17,7	73*	-27,0	38,3	-17,3	92	-8,0	38,1	-17,7
IR 00416S	96	-4,0	38,8	-15,5	81*	-19,0	38,8	-15,5	97	-3,0	39,2	-14,6
PI619376	92	-4,2	46,3	-2,3	95	-1,0	48,6	2,5	97	1,0	46,8	-1,3
PI619377	99	0,0	43,2	6,7	65*	-34,3	42,3	4,4	95	-4,0	42,6	5,2
PI619379	81*	-15,6	44,9	5,2	88	-8,3	43,9	2,8	95	-1,0	44,4	4,0
PI619381	95	-5,0	42,9	4,9	84*	-16,0	42,2	3,2	95	-5,0	41,7	2,0
НІР ₀₅	10,6	–	2,4	–	9,1	–	2,9	–	10,9	–	2,3	–

Примітка. * Різниця з контрольним зразком істотна.

Схожість змінилась у меншому ступені, причому зміни були несуттєвими за вологості 5 % і 7 % – у 7 випадках із 10, за вологості 6 % – у двох випадках із 10 (табл. 3). За всіх рівнів вологості найслабшою була зміна схожості у РІ619376; найсильнішою – у сорту Чорноброва; теж значною, але удвічі слабшою – у сорту Бунчук. Насіння Харківської 26 не змінило схожості за 5 %-ної вологості і суттєво зменшило її за більш високих рівнів вологості, РІ619379 зменшував реакцію з підвищенням вологості від 5 % до 7 %. У інших сортів значну негативну реакцію на прискорене старіння спостерігали за 6 % вологості і слабку – за 5 % і 7 %. Отже, в цілому режим прискореного старіння за вологості 6 % виявився найбільш напруженим порівняно з 5 % і 7 % і є більш придатним для тестування довговічності.

Рівень антиоксидантної активності насіння був відносно вищим (від 42,3 % до 48,6 %) у зразків з воскоподібним зерном РІ619376, РІ619377, РІ619379, РІ619381; порівняно низьким (35,5–36,6 %) – у сорту Подолянка, у решти зразків він був проміжним.

Негативний вплив прискореного старіння на антиоксидантну активність за всіх трьох рівнів вологості мав місце у фіолетовозерних зразків ІР 00413S та ІР 00416S: від -17,3 % до -17,7 та від -14,6 до -15,5 відповідно. У решти зразків зміна антиоксидантної активності була переважно слабкою позитивною або несуттєвою і становила від -2,3 % до 7,6 %. При цьому за всіх трьох рівнів вологості насіння тенденція до порівняно більшого зростання антиоксидантної активності спостерігалась у воскоподібних зразків РІ619377, РІ619379, РІ619381 та сорту Подолянка.

Розглядаючи зв'язок між характеристиками насіння у контрольному та дослідному варіантах, можна констатувати, що АА у контролі позитивно пов'язана з енергією проростання у досліді за вологості зерна 5 % ($r = 0,66$), з енергією проростання та схожістю за 6 % ($r = 0,66$ та $0,71$ відповідно); за 7 % зв'язок несуттєвий. За вологості 6 % і 7 % спостерігався негативний зв'язок між енергією проростання та схожістю у контролі та АА у досліді, за 5 % зв'язок несуттєвий. У цілому, можна прогнозувати за рівнем АА у контролі енергію проростання та схожість за більш м'яких режимів вологості 6 % і 7 %.

Також звертає на себе увагу негативний зв'язок між рівнями енергії проростання і схожості у контролі та АА наприкінці досліді за вологості 6 % і 7 %. Одночасно, доцільно урахувати, що насіння з високими початковими показниками слабше реагує на прискорене старіння. Це можна пояснити, якщо розглядати АА як механізм активної протидії зниженню життєздатності насіння: сильніше насіння меншою мірою мобілізує цей механізм для протидії змінам.

Установлено близький до функціонального позитивний зв'язок між енергією проростання і схожістю насіння з одного боку та їхніми індексами з другого боку: $r = 0,98-1,00$, тобто те саме, що й за прискореного старіння методом 1.

За вологості зерна 6 % і 7 % високою була кореляція між енергією проростання та антиоксидантною активністю наприкінці досліді, а за вологості 7 % – також між схожістю та антиоксидантною активністю: $r = 0,74-0,76$. Отже, за прискореного старіння методом 2 рівень антиоксидантної активності діагностує фізіологічний стан насіння: нижчій енергії проростання наприкінці досліді відповідає нижчий рівень антиоксидантної активності і навпаки, вищій енергії проростання – вищий рівень антиоксидантної активності.

Проморожування. Цей чинник обумовив у більшості випадків незначну зміну енергії проростання та схожості насіння: індекси впливу становили від -2,0 % до 1,0 %. Підвищення енергії проростання та схожості під впливом проморожування відмічено у воскоподібних зразків РІ619376 та РІ619379, сорту Харківська 26 (індекси від 2,1 % до 7,5 %) (табл. 4).

Антиоксидантна активність під впливом проморожування змінювалась у значно більших межах: індекси становили від -14,8 % до 4,2 %.

Енергія проростання та схожість насіння у контрольному варіанті негативно пов'язані з цими показниками після проморожування ($r -0,44$ та $-0,67$ відповідно) та особливо зі ступенем їх зміни ($r -0,96$ та $-0,97$ відповідно). Отже, чим нижчим є початковий (у контролі) рівень енергії проростання та схожості насіння зразка, тим сильніше він зростає під впливом проморожування, що є проявом раніше встановленої закономірності [26].

Таблиця 4.

Енергія проростання, схожість, антиоксидантна активність та їхні індекси у насіння зразків малопоширених форм пшениці після проморожування, %, 2014–2017 рр.

Зразок	Енергія проростання		Схожість		АА	
	<i>x</i>	<i>I</i>	<i>x</i>	<i>I</i>	<i>x</i>	<i>I</i>
Харківська 26	97	4,3	99	2,1	41,2	2,7
Подільська	97	-2,0	99	0,0	32,7	-6,0
Бунчук	97	-2,	98	-1,0	34,5	-7,5
Чорноброва	96	-2,0	99	0,0	37,1	4,2
IR 00413S	98	-2,0	98	-2,0	41,7	-9,9
IR 00416S	98	-2,0	98	-2,0	39,1	-14,8
PI619376	100	7,5	100	-4,2	43,4	-8,4
PI619377	98	1,0	99	0,0	41,2	1,7
PI619379	99	6,5	99	3,1	41,1	-,37
PI619381	98	-2,0	99	-1,0	42,0	2,7
НІР _{0,5}	0,8	–	0,5	–	2,5	–

Як і під впливом прискореного старіння, у цьому варіанті досліду зберігається позитивна кореляція між енергією проростання та схожістю з одного боку та індексами їх зміни з другого, а також між енергією проростання та АА.

АА насіння у контролі, навпаки, позитивно пов'язана з енергією проростання та з АА після проморожування ($r=0,80$ і $0,77$ відповідно); зв'язок зі схожістю відсутній ($r=0,01$). Отже, за АА можна прогнозувати реакцію насіння на проморожування за енергією проростання.

Порівняння реакції насіння зразків пшениці м'якої на проморожування з реакцією на прискорене старіння методом 1 показує високі позитивні коефіцієнти кореляції між рівнями антиоксидантної активності ($r=0,82$) та індексами її зміни ($r=0,78$) за цих двох режимів.

Також суттєвими і вищими за середні – від $0,63$ до $0,79$ є коефіцієнти кореляції між рівнями енергії проростання та ступенями їх зміни за двох режимів. Таким чином, насіння зразків пшениці м'якої подібним чином реагує на такі різноманітні стресові чинники як прискорене старіння та проморожування.

За реакцію на прискорене старіння методами 1 і 2 за всіх рівнів вологості найдовговічнішим виявилось насіння зразка воскоподібної пшениці PI619376, найменш довговічним – фіолетовозерної Чорноброва, сорту Бунчук та воскоподібних PI619377 і PI619381.

Висновки. Не виявлено однозначної залежності довговічності насіння зразків пшениці м'якої, встановленої за результатами модельних дослідів прискореного старіння та проморожування, від наявності фіолетового забарвлення (purple) та високого вмісту амілопектинового крохмалю (waxy).

Тісний позитивний зв'язок між антиоксидантною активністю у контролі з одного боку та енергією проростання і схожістю після впливу чинника й їх індексами з другого боку (r від $0,67$ до $0,76$) дозволяє прогнозувати довговічність насіння зразків генетичного різноманіття пшениці м'якої за рівнем антиоксидантної активності у контролі.

Негативний зв'язок між рівнями енергії проростання і схожості у контролі та АА наприкінці досліду за вологості 6% і 7% , а також негативний зв'язок між рівнями енергії проростання і схожості у контролі та індексами їх зміни під впливом прискореного старіння дозволяє розглядати АА як механізм активної протидії зниженню життєздатності насіння: більш потужне насіння у меншій мірі мобілізує цей механізм.

За прискореного старіння методом 2 рівень антиоксидантної активності діагностує фізіологічний стан насіння: нижчій енергії проростання наприкінці досліду відповідає нижчий рівень антиоксидантної активності і навпаки, вищій енергії проростання – вищий рівень антиоксидантної активності.

Встановлено високі позитивні коефіцієнти кореляції між рівнями антиоксидантної активності ($r=0,82$) та індексами її зміни ($r=0,78$) за прискороного старіння методом 1 та проморожування. Також суттєвими і вищими за середні – від 0,63 до 0,79 є коефіцієнти кореляції між рівнями енергії проростання та ступенями їх зміни за двох режимів. Таким чином, насіння зразків пшениці м'якої подібним чином реагує на такі різномірні стресові чинники як прискорене старіння та проморожування.

За реакцію на прискорене старіння обома методами найбільш довговічним виявилось насіння зразка воскоподібної пшениці PI619376, найменш довговічними – фіолетово-зерної Чорноброва, сорту Бунчук та воскоподібних PI619377 і PI619381.

Список використаних джерел

1. Martinek P., Jirsa O., Vaculová K., Chrpová J., Watanabe N., Burešová V., Kopecký D., Štiasna K., Vyhnánek T., Trojan V. Use of wheat gene resources with different grain colour in breeding. 64. Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs. 2013. P. 75–78.
1. Wang S., Wang J., Zhang W., Li C., Yu J., Wang S. Molecular order and functional properties of starches from three waxy wheat varieties grown in China. Food Chemistry. 2015. No 181. P. 43–50. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.02.065.
2. Eng H., Khoo H.E., Azlan A., Tang S.T., Lim S.M. Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. Food Nutr. Res. 2017. No 61(1). P.1–21. DOI:10.1080/16546628.2017.1361779.
3. Sytar O., Boško P., Živčák M., Brestic M., Smetanska I. Bioactive phytochemicals and antioxidant properties of the grains and sprouts of colored wheat genotypes. Molecules. 2018. No 23(9). P. 1–14. DOI: 10.3390/molecules23092282.
4. Paznocht L., Kotíková Z., Orsák M., Lachman J., Martinek P. Carotenoid changes of colored-grain wheat flours during bun-making. Food Chemistry. 2018. No 277(30). P. 725–734. DOI: 10.1016/J.FOODCHEM.2018.11.019.
5. Havrlentová M., Pšenáková I., Žofajová A., Rückschloss L., Kraic J. Anthocyanins in wheat seed—a mini review. Nova Biotechnol. Chim. 2014. No 13. P. 1–12. DOI: 10.2478/nbec-2014-0001.
6. Graybosch R.A. Waxy wheats: Origin, properties, and prospects. Trends in Food Science and Technology. 1998. No 9. P. 135–142.
7. Hung P.V., Maeda T., Yamamoto S., Morita N. Effects of germination on nutritional composition of waxy wheat. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2012. No 92(3). P. 667–672. DOI: 10.1002/jsfa.4628.
8. Shoeva O.Y., Khlestkina E.K. The specific features of anthocyanin biosynthesis regulation in wheat. In: Ogihara Y, Takumi S, Handa H, eds. Advances in wheat genetics: From genome to field. Tokyo: Springer, 2015. P. 147–157. DOI: https://doi.org/10.1007/978-4-431-55675-6_16.
9. Pincino C., Capocchi A., Galleschi L., Saviozzi F., Nanni B., Zandomenighi M. Aging, free radicals and antioxidants in wheat seeds. J. Agric. Food Chem. 1999. No 47(4). P. 1333–1339. doi: 10.1021/jf980876d.
10. Arif M.A., Nagel M., Lohwasser U., Börner A. Genetic architecture of seed longevity in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). J. Biosci. 2017. No 42. P. 81–89.
11. Agacka M., Rehman Arif M.A., Lohwasser U., Doroszewska T., Qualset C.O., Börner A. The inheritance of wheat grain longevity: a comparison between induced and natural ageing. J. Appl Genet. 2016. No 57. P. 477–481.
12. Dong Zh., Feng B., Liang H., Rong Ch., Zhang K., Cao Xu., Qin Hu., Liu X., Wang T., Wang D. Grain-specific reduction in lipoxygenase activity improves flour color quality and seed longevity in common wheat. Mol Breeding. 2015. No 35(150). P. 1–18.
13. Lu Y., Tian P., Zhang S., Wang J., Hu Y. Dynamic proteomic changes in soft wheat seeds during accelerated ageing. Peer J. 2018. No 6. P. 1–16. DOI: 10.7717/peerj.5874.

14. Chen X., Yin G., Börner A., Xin X., He J., Nagel M., Liu X., Lu X. Comparative physiology and proteomics of two wheat genotypes differing in seed storage tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2018. No 130. P. 455–463. DOI: 10.1016/j.plaphy.2018.07.022.
16. TeKrony D.M. Accelerated aging test: principles and procedures. *Seed Technology*. 2005. No 27(1). P. 135–146.
17. Смоликова Г.Н. Применение метода ускоренного старения для оценки устойчивости семян к стрессовым воздействиям. *Вестник СПбГУ*. 2014. Серия 3. Биология. № 2. С. 82–93.
18. Сафина Г.Ф., Филипенко Г.И. Долговечность семян при хранении и ее прогнозирование методом ускоренного старения. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2013. Т. 174. С. 123–130. 10.
19. Hampton J.G., TeKrony D.M. *Handbook of vigour test methods*. International Seed Testing Association, Zürich. 1995. 117.p.
20. Лихачов Б.С. Некоторые методические вопросы изучения биологии старения семян. *Сельскохозяйственная биология*. 1980. Т. XV, № 6. С. 842–844.
21. Moori S., Eisvand H.R., Ismaili A., Sasani S. Effects of drought stress during seed development and subsequent accelerated ageing on wheat seed mitochondrial ultra-structure, seedling antioxidant enzymes, and malondialdehyde. *Journal of Plant Process and Function*. 2019. No 7(28). P. 1–8.
22. Qin P., Kong Z., Liao Xi., Liu Y. Effects of accelerated aging on physiological and biochemical characteristics of waxy and non-waxy wheat seeds. *Journal of Northeast Agricultural University (English edition)*. 2011. No 18(2). P. 7–12. DOI: 10.1016/S1006-8104(12)60002-6.
23. International Seed Testing Association (ISTA). *International Rules for Seed Testing, Vol. 2019, No 1/ISTA*. Bassersdorf, Switzerland, 2019. URL: <https://www.ingentaconnect.com/content/ista/rules/2019/00002019/00000001>.
24. Arabshahi S., Urooj A. Antioxidant properties of various solvent extracts of Mulberry *Morusindica L. Leaves*. *FoodChem*. 2007. Vol. 102. P. 1233–1240.
25. Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: методическое руководство. Под ред. Г.В. Удовенко. Л.: ВИР, 1988. 226 с.
26. Лінник Ю.О. Вплив від'ємної температури на показники життєздатності насіння. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2010. № 3 (58). С. 175–179

References

1. Martinek P, Jirsa O, Vaculová K, Chrpová J, Watanabe N, Burešová V, Kopecký D, Štiasna K, Vyhnánek T, Trojan V. Use of wheat gene resources with different grain colour in breeding. 64. Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs. 2013. P. 75–78.
2. Wang S, Wang J, Zhang W, Li C, Yu J, Wang S. Molecular order and functional properties of starches from three waxy wheat varieties grown in China. *Food Chemistry*. 2015;181: 43–50. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.02.065.
3. Eng H, Khoo HE, Azlan A, Tang ST, Lim SM. Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food Nutr. Res*. 2017; 61(1): 1–21. DOI:10.1080/16546628.2017.1361779.
4. Sytar O, Boško P, Živčák M, Brestic M, Smetanska I. Bioactive phytochemicals and antioxidant properties of the grains and sprouts of colored wheat genotypes. *Molecules*. 2018; 23(9):1–14. DOI: 10.3390/molecules23092282.
5. Paznocht L, Kotíková Z, Orsák M, Lachman J, Martinek P. Carotenoid changes of colored-grain wheat flours during bun-making. *Food Chemistry*. 2018; 277(30): 725–734. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.11.019.
6. Havrlentová M, Pšenáková I, Žofajová A, Rückschloss L, Kraic J. Anthocyanins in wheat seed—a mini review. *Nova Biotechnol. Chim*. 2014; 13: 1–12. DOI 10.2478/nbec-2014-0001.
7. Graybosch RA. Waxy wheats: Origin, properties, and prospects. *Trends in Food Science and Technology*. 1998; 9: 135–142.

8. Hung PV, Maeda T, Yamamoto S, Morita N. Effects of germination on nutritional composition of waxy wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2012; 92(3): 667–672. DOI: 10.1002/jsfa.4628.
9. Shoeva OY, Khlestkina EK. The specific features of anthocyanin biosynthesis regulation in wheat. In: Ogihara Y, Takumi S, Handa H, eds. *Advances in wheat genetics: from genome to field*. Tokyo: Springer, 2015. P. 147–157. DOI: 10.1007/978-4-431-55675-6_16.
10. Pincino C, Capocchi A, Galleschi L, Saviozzi F, Nanni B, Zandomenighi M. Aging, free radicals and antioxidants in wheat Seeds. *J. Agric. Food Chem*. 1999; 47(4): 1333–1339. DOI: 10.1021/jf980876d.
11. Arif MA, Nagel M, Lohwasser U, Börner A. Genetic architecture of seed longevity in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Biosci*. 2017; 42: 81–89.
12. Agacka M, Rehman Arif MA, Lohwasser U, Doroszewska T, Qualset CO, Börner A. The inheritance of wheat grain longevity: a comparison between induced and natural ageing. *J Appl Genet*. 2016; 57: 477–481.
13. Dong Zh, Feng B, Liang H, Rong Ch, Zhang K, Cao Xu, Qin Hu, Liu X, Wang T, Wang D. Grain-specific reduction in lipoxygenase activity improves flour color quality and seed longevity in common wheat. *Mol Breeding*. 2015; 35(150): 1–18.
14. Lv Y, Tian P, Zhang S, Wang J, Hu Y. Dynamic proteomic changes in soft wheat seeds during accelerated ageing. *Peer J*. 2018; 6: 1–16. DOI: 10.7717/peerj.5874.
15. Chen X, Yin G, Börner A, Xin X, He J, Nagel M, Liu X, Lu X. Comparative physiology and proteomics of two wheat genotypes differing in seed storage tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2018; 130: 455–463. DOI: 10.1016/j.plaphy.2018.07.022.
16. TeKrony DM. Accelerated aging test: principles and procedures. *Seed Technology*. 2005; 27(1): 135–146.
17. Smolikova GN. Application of the accelerated aging method to assess resistance of seeds to stresses. *Vestnik SPbGU. Ser. 3. Biologiya*. 2014; 2: 82–93.
18. Safina GF, Filipenko GI. Longevity of seeds during storage and its prediction by the accelerated aging method. *Trudy po poprikladnoy botanike, genetike i selektsii*. 2013; 174: 123–130.
19. Hampton JG, TeKrony DM. *Handbook of vigour test methods*. International Seed Testing Association, Zürich, 1995. 117 p.
20. Likhachev BS. Some methodological issues of studying the biology of seed aging. *Selskokhoziastvennaia biologiya*. 1980; 15(6): 842–844.
21. Moori S, Eivand HR, Ismaili A, Sasani S. Effects of drought stress during seed development and subsequent accelerated ageing on wheat seed mitochondrial ultra-structure, seedling antioxidant enzymes, and malondialdehyde. *Journal of Plant Process and Function*. 2019; 7(28): 1–8.
22. Qin P, Kong Z, Liao Xi, Liu Y. Effects of accelerated aging on physiological and biochemical characteristics of waxy and non-waxy wheat seeds. *Journal of Northeast Agricultural University (English edition)*. 2011; 18(2): 7–12. DOI: 10.1016/S1006-8104(12)60002-6.
23. International Seed Testing Association (ISTA). *International Rules for Seed Testing, Vol. 2019. No 1/ISTA*. Bassersdorf, Switzerland, 2019. URL: <https://www.ingentaconnect.com/content/ista/rules/2019/00002019/00000001>.
24. Arabshahi S, Urooj A. Antioxidant properties of various solvent extracts of *Mulberry morusindica* L. Leaves. *Food Chem*. 2007; 102: 1233–1240.
25. Udovenko GV, ed. *Diagnosis of plant resistance to stress: a methodological guide*. Leningrad: VIR, 1988. 226 p.
26. Linnyk YuO. Effect of negative temperature on the seeds viability. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*. 2010; 3(58): 175–179.

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ СЕМЯН ФОРМ ПШЕНИЦЫ МЯГКОЙ С ФИОЛЕТОВЫМ И ВОСКОВИДНЫМ ЗЕРНОМ

Скороходов Н.Ю., Богуславский Р.Л.
Институт растениеводства им. В.Я. Юрьева НААН

Формы пшеницы мягкой с зерном фиолетовой окраски и восковидным эндоспермом являются перспективными для изготовления продуктов здорового питания. В связи с этим приобретает значение установление долговечности их семян для хранения в семеноводстве и в коллекциях генбанков. Но этот вопрос изучен крайне недостаточно.

Цель: оценить долговечность семян образцов пшеницы мягкой с фиолетовым и восковидным зерном в долгосрочном хранении.

Материал и методы. Изучали семена репродукций 2014–2017 годов. Долговечность семян определяли в модельном опыте «ускоренное старение» и путем хранения при температуре -20°C . Контролем были семена, хранившиеся при температуре 4°C . Антиоксидантную активность (АА) определяли с помощью стабильного радикала DPPH• (Arabshahi, Urooj, 2007).

Обсуждение результатов: Установлена положительная связь между антиоксидантной активностью в контроле с одной стороны и энергией прорастания и всхожестью после ускоренного старения и их индексами с другой стороны (r от 0,67 до 0,76), высокие положительные коэффициенты корреляции между уровнями антиоксидантной активности ($r = 0,82$) и индексами ее изменения ($r = 0,78$) после ускоренного старения и промораживания. Существенными – от 0,63 до 0,79 были коэффициенты корреляции между уровнями энергии прорастания и степенями их изменения при обоих режимах. По реакции на ускоренное старение наиболее долговечными оказались семена образца восковидной пшеницы PI619376, наименее долговечными – фиолетовозерной Черноброва, сорта Бунчук и восковидных PI619377 и PI619381.

Выводы. Не установлено однозначной зависимости долговечности семян образцов пшеницы мягкой от наличия фиолетовой окраски и высокого содержания амилопектинового крахмала. Установлена возможность прогнозировать долговечность семян пшеницы мягкой по исходным уровням антиоксидантной активности. Семена образцов пшеницы мягкой сходным образом реагируют на такие разнородные стрессовые факторы как ускоренное старение и промораживание.

Ключевые слова: пшеница мягкая, семена, долговечность, ускоренное старение, промораживание, антиоксидантная активность.

SEED LONGEVITY OF BREAD WHEAT FORMS WITH PURPLE AND WAXY GRAIN

Skorokhodov M.Yu. Bohuslavskiy R.L.
Plant Production Institute named after V.Ya. Yuriev of NAAS, Ukraine

Introduction: Bread wheat forms with purple grain and waxy endosperm are promising as healthy foods. In this regard, it becomes important to evaluate the longevity of their seeds to be stored in seed production industry and in genebanks. However, this issue is very little studied.

Objective: to evaluate the longevity of bread wheat seed samples with purple and waxy grain at long-term storage.

Material and methods: Seeds harvested in 2014–2017 were studied. The seed longevity was evaluated in a experiment modeling “accelerated aging” and after storage at -20°C . The control seeds were stored at 4°C . The antioxidant activity (AA) was determined using the DPPH• radical (Arabshahi, Urooj, 2007).

Results and discussion: There was a positive correlation between the antioxidant activity in control on the one hand and the germination energy and germinability after accelerated aging and

their change indexes on the other hand ($r = 0.67 - 0.76$) and strong positive correlations between the antioxidant activity ($r = 0.82$) and its change indexes ($r = 0.78$) after accelerated aging and freezing. The correlation coefficients between the germination energy and degrees of their changes in the both regimens were significant: from 0.63 to 0.79. Based on the response to accelerated aging, seeds of waxy wheat accession PI619376 were found to be the most longevous; purple-seed variety Chornobrova, red-grain variety Bunchuk and waxy lines PI619377 and PI619381 were the least longevous.

Conclusions. There was no clear relationship between the bread wheat seed longevity with the purple pigmentation of grain or with high amylopectin content in starch. It is highlighted a possibility to predict the longevity of bread wheat seeds from antioxidant activity levels. The bread wheat seeds are similarly responsive to such diverse stressors as accelerated aging and freezing.

Key words: *bread wheat, seed, longevity, accelerated aging, freezing, antioxidant activity.*