

УДК 631.531:629.78

ПЕРВИЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОСМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА С СЕМЕНАМИ ХОЗЯЙСТВЕННО-ПОЛЕЗНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА КОСМИЧЕСКОМ АППАРАТЕ ФОТОН-М №4

© 2015 А.В. Милехин, П.Н. Мальчиков, А.И Катюк

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени Н.М. Тулайкова»,
п.г.т. Безенчук, Самарская область

Статья поступила в редакцию 20.11.2015

Изложены первичные результаты космического эксперимента с семенами высших растений, проведенного на космическом аппарате Фотон-М №4. Представлены материалы полевых наблюдений и лабораторных анализов за 2015 г.

Ключевые слова: космический эксперимент, семена сельскохозяйственных культур, факторы космического полета.

При создании новых форм культурных растений с комплексом хозяйственно-значимых признаков в процессе селекции селекционер сталкивается с ограниченностью возможностей внутривидового рекомбинационного геногенеза. Для расширения генотипической вариабельности разрабатываются новые методы (индуцирование эпигенетической экспрессии «спящих» генов, межвидовая гибридизация в сочетании с индуцированным мутагенезом, трансгеноз и др.). Наш опыт показывает, что электромагнитное или радиационное облучение является наиболее эффективным в создании нового исходного материала различных сельскохозяйственных культур. В 1983 году при облучении сухих семян сорта гороха Куйбышевский гамма-лучами в дозе 12 кило рентген была выделена линия БМ-2-2-239/1 с новым признаком роста стебля. Растения этой линии характеризовались компактным верхушечным расположением бобов, такая конструкция обеспечивала дружное их созревание, что облегчало механизированную уборку. Впоследствии эта линия послужила источником создания целой серии сортов гороха «Флагман», характеризующихся высокой урожайностью и качеством зерна, а самое главное пригодностью к уборке прямым комбайнированием.

Однако до сих пор многие проблемы не решены до конца. Условия космического полёта (минимальное влияние магнитного поля Земли, отсутствие гравитации, ионизирующее

и электромагнитное космическое излучение) теоретически могут повлиять на процессы экспрессии генов и рекомбинационного геногенеза, что может расширить веретено генотипической вариабельности и получить новые хозяйственно значимые генетические конструкции.

Таким образом, основная задача, поставленная нами в эксперименте – изучить влияние факторов космического полета на морфобиологические, генетические признаки и свойства, а также характер их наследования у различных сельскохозяйственных культур с целью дальнейшего создания нового исходного материала, увеличения биоразнообразия культур и последующего создания перспективных сортов, адаптированных к различным агроэкологическим условиям Российской Федерации.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Полет российского научно-исследовательского спутника Фотон-М №4, запущенного на орбиту Земли с космодрома «Байконур» 19 июля 2014 года, выполнялся в рамках научной программы Совета Российской академии наук по космосу и Федерального космического агентства России. Аппарат был запущен в космос для проведения экспериментов в области биологии, физиологии, космической технологии и биотехнологии в условиях микрогравитации. На борту биокапсулы находились гекконы, мухи-дрозофилы, яйца шелкопряда, грибы, а также семена хозяйственно-значимых сельскохозяйственных культур (яровая мягкая и твердая пшеница, горох, картофель). Для проведения космических экспериментов учеными ФГБНУ «Самарский НИИСХ» было подготовлено 30 биообразцов семян в пластиковых пакетах по 50 грамм в каждом. Контрольная группа биообразцов находилась на хранении в лабораториях института.

Милехин Алексей Викторович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник.

Мальчиков Петр Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории селекции яровой твердой пшеницы. E-mail: sagrs-mal@mail.ru

Катюк Анатолий Иванович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник.
E-mail:samniish@mail.ru

После экспонирования в космосе семена были доставлены для лабораторного и полевого изучения в лаборатории ФГБНУ «Самарский НИИСХ».

В научном эксперименте «Генетика – горох» участвовали сорта, линии и гибриды F2 гороха разных морфотипов.

Исследуемым материалом служили сорта Куйбышевский, Флагман 10, Спартак, линии Б-2860/19УЛюпН, УГН, Б-1818ЛДетН, Б-3612/18УД и гибридные популяции Б-3995, Б-3933. Схема опыта предусматривала три варианта: 1. контроль (семена хранившиеся в наземных условиях); 2. вариант «ГИПО» (семена, находившиеся во время полета в гипомагнитном модуле); 3. вариант «НЭ» (семена, находившиеся во время полета в обычном модуле).

Посев экспериментальных семян проводили в тепличном комплексе Самарского НИИСХ, ручными сеялками. Площадь делянки 1,25 м², повторность однократная. В течение вегетации проводились фенологические наблюдения. Перед уборкой с каждой делянки были отобраны растения (25 шт.) для определения структуры урожая по признакам: число бобов, число семян и масса семян с растения. В гибридных популяциях проводился разбор растений по типу листа.

Материалом для исследования в научном эксперименте «Генетика – пшеница» были семена 5 сортов яровой твёрдой пшеницы различного эколого-географического происхождения (Безенчукская золотистая, Безенчукская крепость, 1307д-54, Корона (Казахстан), Akkille (Италия)).

Полевой эксперимент был организован путем посева семян на шестирядковых делянках площадью 1,0 м² в двух повторениях с рендомизированным размещением по блокам. В период вегетации проведены фенологические наблюдения, дана оценка вариантов по степени устойчивости к засухе, листовым пятнистостям (*Alternaria* spp.)

и патогенам «чёрного зародыша».

В эксперименте «Генетика-пшеница» влияние сортов объединено одним фактором, условно обозначенным «фактор В». Воздействие космических условий на семена «фактор А», так же, как и в предыдущем опыте, было регламентировано 2-мя уровнями: 1) «НЭ» (семена, находившиеся во время полета в обычном модуле), 2) «ГИПО» (семена, находившиеся во время полета в гипомагнитном модуле). Контрольный вариант был представлен растениями, выращенными из семян той же репродукции, из которой были отобраны образцы для космического полёта.

Влияние космического фактора (фактор А), особенностей генотипа (сорта) (фактор В) и их взаимодействия (А*В) были изучены по степени проявления на растениях 12 признаков: КДК (число дней от посева до колошения), ЧР (число растений на 1,0 м²), ПК (продуктивное кушение), БР (биомасса 1 растения), МЗР (масса зерна с 1 растения), ЧЗР (число зерен с растения), ЧКК (число колосков в колосе), ЧЗКК (число зерен в колоске), М1000 (масса 1000 зерен), ДС (длина соломины), К. хоз. р. (хозяйственный коэффициент растения), К. хоз. к. (хозяйственный коэффициент колоса).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Опыт «Генетика - горох»

Фенологические наблюдения за развитием гороха не выявили существенных различий по вариантам опыта (табл. 1).

Анализ продуктивности гороха по массе зерна, числу бобов и семян с растения не выявил достоверных различий по вариантам опыта (табл. 2). Анализ характера расщепления гибридных популяций F2 по форме листа также не выявил различий в

Таблица 1. Дата цветения образцов гороха

Опытные образцы гороха	Контроль	ГИПО	НЭ
Куйбышевский	13/06	13/06	13/06
Спартак	15/06	15/06	15/06
Флагман 10	13/06	13/06	13/06
Рассеченный лист	14/06	14/06	14/06
Линия УГН	18/06	18/06	18/06
Линия Б-2660/19УЛюпН	17/06	17/06	17/06
Линия 1818 ДН	13/06	13/06	13/06

Таблица 2. Продуктивность образцов гороха

Опытные образцы гороха	Масса семян с растения, г			Количество бобов с растения, шт.			Количество семян с растения, шт.		
	Контроль	ГИПО	НЭ	Контроль	ГИПО	НЭ	Контроль	ГИПО	НЭ
Куйбышевский	3,9	3,4	3,3	5,1	4,4	3,8	16,3	13,7	12,8
Спартак	3,2	3,8	4,4	4,2	4,8	5,4	11,0	14,3	15,8
Флагман 10	3,4	3,7	3,9	4,3	4,0	4,6	12,2	12,7	13,8
Рассеченный лист	4,6	3,6	4,2	5,9	4,7	4,8	17,8	12,9	15,1
Линия УГН	3,0	3,3	3,7	3,2	3,5	3,7	11,3	13,3	14,6
Линия Б-2660/19УлюпН	2,6	3,0	3,0	4,8	5,0	4,9	9,6	11,6	11,8
Линия 1818 ДН	3,2	3,5	3,2	3,1	3,6	3,9	12,0	11,8	12,0
Б3933F2	-	4,6	5,3	4,2	4,8	4,4	10,8	13,5	12,7
Б3995F2	4,1	4,7	5,7	4,2	4,4	5,2	15,0	16,9	22,3

контроле и вариантах. В контроле расщепление составило: 36 растений с обычным парноперестым листом, 9 – с усатым листом и 8 – с рассеченным листом. В варианте «ГИПО» расщепление составило: 33 растения с парноперестым листом, 8 – с усатым листом и 8 – с рассеченным листом. В варианте «НЭ» расщепление составило: 41 – с парноперестым листом, 7 – с усатым листом и 7 – с рассеченным листом. В контроле и вариантах расщепление одинаково и соответствует отношению 10:3:3.

Таким образом, среда, в которой находились семена в состоянии покоя во время космического полета, не повлияла на выраженность морфологических и биологических признаков растений выросших из этих семян.

Опыт «Генетика-пшеница»

В результате проведенных биометрических исследований в эксперименте «Генетика-пшеница» отмечено достоверное влияние ($F_f > F_t$) фактора «А» (космос) на семь следующих признаков: КДК, ПК, БР, МЗР, ЧЗР, ЧЗКК, ДС. Эффекты взаимодействия факторов «А» (космос) и «В» (сорт) были значимы для пяти признаков: КДК, ЧР, ПК, ДС, К. хоз. р. Значимые эффекты сортов в эксперименте – фактор «В», наблюдались по десяти или наибольшему числу признаков: ДК, ЧР, БР, МЗР, ЧЗР, ЧЗКК, М1000, ДС, К. хоз. р., К. хоз. к. (табл.3, 4, 5, 6). Преобладание фактора «В» (сорт) в общей дисперсии по большему числу признаков

Таблица 3. Значимость компонентов дисперсии, изученных признаков по результатам 2-х факторного дисперсионного анализа

Источник дисперсии	Критерий Фишера и его значимость по признакам											
	КДК	ЧР	ПК	БР	МЗР	ЧЗР	ЧКК	ЧЗКК	М 1000	ДС	К. хоз. р	К. хоз. к
Блоки	3,19	11,7*	1,99	1,93	0,074	0,61		1,33	0,15	10,6*	3,7	5,5*
Варианты	22,9*	6,9*	2,87*	4,7*	9,92*	7,1*	Ff<Ft	4,35*	6,30*	74,6*	10,9*	7,9*
Факторы:												
А (космос)	18,1*	1,45	4,29*	15,4*	13,9*	12,2*	Ff<Ft	4,44*	0,93	4,3*	1,8	2,1
В (сорт)	54,1*	17,3*	1,45	7,0*	23,6*	13,5*	Ff<Ft	8,12*	20,2*	248,4*	29,8*	21,7*
АВ	8,4*	3,1*	3,22*	0,9	2,1	2,6	Ff<Ft	2,44	0,68	5,3*	3,7*	2,5

Значения критерия Фишера значимые на 5% уровне

Таблица 4. Величина признаков, формирование которых зависело от действия космических факторов

Варианты фактора "А"	КДК	ПК	БР	МЗР	ЧЗР	ЧЗКК	М1000	ДС
Контроль	50,6b	1,49ab	4,26b	1,75b	42,6b	2,33b	41,3	67,0b
«НЭ»	47,7a	1,33a	3,22a	1,30a	33,1a	2,04a	39,9	65,1a
«ГИПО»	48,3a	1,55b	4,11b	1,62b	40,5b	2,07a	40,3	64,6a

Значения, сопровождаемые одинаковыми буквами не различаются по критерию Дункана

Таблица 5. Величина признаков, формирование которых зависело от особенностей генотипа сортов

Варианты фактора "В"	КДК	ЧР на 1м ²	БР	МЗР	ЧЗР	ЧЗКК	М 1000	ДС	К.хоз. р	К.хоз. к
Без.золотистая	44,3a	324,1b	4,15b	1,88c	43,2b	2,33b	45,0c	65,9b	45,6d	69,1b
Без.крепость	47,4b	277,5b	4,09b	1,78c	43,1b	2,22b	42,4bc	70,3c	43,6cd	68,8b
1307Д-54	48,4b	296,9b	4,24b	1,77c	41,7b	2,23b	43,1c	70,6c	41,6c	65,1b
Корона	53,3d	296,9b	3,82b	1,41b	38,4b	2,30b	36,9a	76,3d	37,1b	65,9b
Akille	50,8c	162,6a	3,04a	0,94a	27,1a	1,66a	35,1a	44,5a	30,2a	50,4a

Значения, сопровождаемые одинаковыми буквами не различаются по критерию Дункана

Таблица 6. Величина признаков в зависимости от всех вариантов эксперимента

Вариант	Сорт	КДК	ЧР	ПК	БР	МЗР	ЧЗР	ЧЗКК	М 1000	ДС	К хоз. р	К. хоз. к
Конт- роль	БЗ	44,0a	333e-g	1.8e	4,7f-h	2,1h	46,2de	2.32c	46.0g	68.8ef	44.1d-g	68.2cd
	БК	47.0b-d	283d-f	1.5a-e	4,2c-h	1,8d-h	42,8de	2.25c	42.4g	71.6ef	42.5d-g	68.4cd
	1307-54д	48.5	266c-f	1,6a-e	4,7gh	1,9gh	47,5e	2.36c	42.3c-g	71.6ef	41.0c-g	67.1cd
	Корона	58,0h	270d-f	1,2ab	4,2c-h	1,6c-g	39,0cde	2.46c	38.9b-f	77.6gh	37.6cd	65.2cd
	Akkillе	55,3g	178ab	1,4a-d	3,6a-e	1,4cd	37,4cde	2.26c	36.8ab	45.2b	38.6cd	60.1bc
НЭ	БЗ	44,0a	385g	1,4a-e	3,5a-e	1,6c-h	37,8cde	2.29c	44.7g	61.7c	46.3fg	69.9cd
	БК	47,5cd	320d-g	1,3ab	3,6a-e	1,6c-h	39,4cde	2.41c	42.4e-g	69.0ef	45.9e-g	71.3d
	1307д-54	48,3de	318d-g	1,2a	3,1a-c	1,3bc	29,8abc	2.00bc	43.3fg	67.9ef	40.9c-g	61.6cd
	Корона	50,5ef	270d-f	1,6b-e	3,4a-d	1,3c	36,0bcd	2.06c	36.8ab	79.2h	38.0cd	66.2cd
	Akkillе	48,3de	147a	1,2ab	2,5a	0,7a	22,5a	1.44a	32.5a	47.6b	27.0a	49.6a
ГИПО	БЗ	45,0a-c	255b-e	1,4a-e	4,2d-h	2,0gh	45,7de	2.37c	44.4g	67.4de	46.4g	69.1cd
	БК	47,8d	230a-d	1,8d-e	4,5e-h	1,9e-h	47,2de	2.01c	42.4d-g	70.2ef	42.5d-g	66.6cd
	1307д-54	48,5de	306d-g	1,7c-e	4,9h	2,1h	47,9e	2.31c	43.5fg	72.3f	42.8d-g	66.6cd
	Корона	51,3f	351fg	1,4a-d	3,9b-h	1,4cd	40,2cde	2.39c	35.2ab	72.2f	35.8bc	66.4cd
	Akkillе	48,8d-f	163a	1,4a-c	3,0ab	0,8a	21,4a	1.27a	36.0ab	40.7a	24.9a	41.7a

Значения, сопровождаемые одинаковыми буквами не различаются по критерию Дункана

во многом объясняется значительными различиями в уровне адаптивности сортов местной и инорайонной селекции.

Продолжительность периода «всходы-колошение» определяется функционированием в геноме твердой пшеницы генетических систем яровизации (*Vrn* гены), нечувствительности к фотопериоду (гены *Prp*) и скороспелости как таковой (гены *per se*) (Стельмах А.Ф.1987, Гончаров Н.П., 2002), интенсивности освещения (гены *Rli*) (Евтушенко, Чекуров, 2000). Значимое влияние космических факторов на скорость развития растений (признак КДК) полностью объясняется сокращением продолжительности периода «всходы-колошение» поздних сортов инорайонного происхождения (Корона и Akkillе). Скорость развития сортов местной (безенчукской) селекции практически не зависела от воздействия факторов космического полета. Наиболее вероятным объяснением этих результатов может быть чувствительность к воздействию факторов космического полета генов яровизации (*Vrn*). Это связано с тем, что поздние генотипы, содержащие рецессивные аллели хотя бы в одном локусе генетической системы отзывчивости на яровизацию, реагируют на воздействие экстремальных факторов (низкие температуры) ускорением развития в период «всходы-колошение». Наиболее сильное воздействие на элементы продуктивности растений были отмечены на варианте «НЭ». Здесь значительная депрессия по отношению к контролю и варианту «ГИПО» наблюдалась по признакам: БР, МЗР, ЧЗР. По признаку БР на варианте «НЭ» различий между сортами не наблюдалось. В тоже

время на контрольном варианте наиболее низкая продуктивность отмечена у итальянского сорта Akkillе. Это означает, что адаптивные свойства сортов из России и Казахстана, влияющие на эффективность производственных процессов, были ингибированы на варианте «НЭ». В тоже время преимущество этих сортов над Akkillе на варианте НЭ по МЗР, ЧЗР, ЧЗК сохранилось, что, видимо, можно объяснить ослаблением влияния на производственные процессы этих сортов эффектов космического полёта (вариант «НЭ») во второй половине вегетации.

Признак ЧР зависит от всхожести и выживаемости растений в период вегетации. Посев, выполненный кондиционными семенами неадаптированного сорта даже при соблюдении технологических требований, может значительно изредиться, и привести к снижению показателя ЧР (Мальчиков П.Н., 2009).

В нашем эксперименте значимым были эффекты сорта и взаимодействия исследуемых факторов, что объясняется относительно низким уровнем признака у итальянского сорта «Akkillе» на всех вариантах фактора «А». Влияние условий космического полёта на этот признак было незначимо.

Продуктивное кушение (ПК) сильно зависит от условий среды (норма высева, плотность стеблестоя, температура, условия увлажнения и обеспеченность посевов элементами минерального питания в период кушения) и генотипа сорта. Достоверных различий между вариантами условий космического полёта и контролем по этому признаку не наблюдалось. Достоверными различия по признаку отмечены между вариантами космического полёта с более высоким

значением на варианте «ГИПО», что связано с положительным откликом сортов Безенчукская крепость и 1307д-54.

Значения признаков ЧЗКК и ДС на обоих вариантах условий космического полёта («НЭ», «ГИПО») достоверно ниже, чем на контрольном варианте. По признаку ЧЗКК это полностью объясняется сильной реакцией на воздействие факторов космического полёта сорта Akkille. Значимое снижение ДС под воздействием факторов космического полёта объясняется реакцией сортов несущих гены редукции высоты растений - Безенчукская золотистая (RhtAnh) и Akkille (RhtB1). Однако у Безенчукской золотистой ДС не связано с уменьшением биомассы растений в сравнении с другими сортами, у сорта Akkille эти процессы сопряжены. Признаки характеризующие распределение биомассы растений между зерном и вегетативной сферой варьировали под влиянием особенностей генотипов. Снижение значений этих признаков у сорта Akkille было недостаточным для доказательства влияния на эти признаки факторов космического полёта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенные лабораторные и полевые эксперименты показывают различную степень и характер влияния факторов космического полета как на культуры, так и на сорта. Для установления достоверного влияния необходимо проведение дополнительных исследований на клеточном уровне с использованием современных биотехнологических, молекулярно-генетических методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Стельмах, А.Ф.* Генетические эффекты локусов Vrn 1-3 и специфическое действие доминантного Vrn 3 аллеля у мягкой пшеницы / *А.Ф. Стельмах* // Цитология и генетика, 1987. Т.24. № 4. С.278-286.
2. *Гончаров Н.П.* Сравнительная генетика пшениц и их сородичей / *Н.П.Гончаров* // Новосибирск.- 2002.- 251с.
3. *Евтушенко Е.В.* Генетическое разнообразие по реакции на интенсивность света у сортов мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) / *Е.В.Евтушенко, В.М.Чекуров* // *Генетика*. - 2000.- Т.36.-№5.-С.666-672.
4. *Мальчиков П.Н.* Селекция яровой твердой пшеницы в Среднем Поволжье: Дисс. ... докт. с/х. наук. Безенчук, 2009. 402 с.

THE INITIAL RESULTS OF THE SPACE EXPERIMENT WITH SEEDS OF ECONOMICALLY VALUABLE CROPS ON THE SPACECRAFT FOTON-M №4

© 2015 A.V. Milyokhin, P.N. Malchikov, A.I. Katyuk

Samara Research Scientific Institute of Agriculture named after N.M. Tulaikov,
Bezenchuk, Samara Region

We presented the initial results of the space experiment with the seeds of higher plants, carried on the spacecraft Foton-M №4. Materials of field observations and laboratory analyzes for 2015.

Keywords: space experiment, the seeds of crops, the factors of space flight.

Alexey Milyokhin, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher. E-mail: samniish@mail.ru

Petr Malchikov, Doctor of Agricultural Science, Major Scientist of Samara Research Institute of Agriculture.

E-mail: sagrs-mal@mail.ru

Anatoly Katyuk, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher. E-mail: samniish@mail.ru