

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ПЕРЕКРЁСТНОГО ОПЫЛЕНИЯ ПРОСА ПОСЕВНОГО В СЕЛЕКЦИОННОЙ РАБОТЕ

А.И. КОТЛЯР, кандидат сельскохозяйственных наук

ФГБНУ «ФНЦ ЗЕРНОБОБОВЫХ И КРУПЯНЫХ КУЛЬТУР»

Проведено изучение большого количества литературных данных по проблеме перекрёстного опыления проса посевного. Установлена возможность использования перекрёстного опыления проса для получения естественных гибридов в селекционных целях, без затрат труда на кастрацию и опыление цветков. Выявлен уровень естественного переопыления проса, характерный для Орловской области. Установлена зависимость степени перекрёстного опыления от метеорологических условий. Получены естественные гибриды по 8 комбинациям для дальнейшей селекционной работы.

Ключевые слова: просо посевное, перекрёстное опыление, методы гибридизации, естественные гибриды, коллекции, окраска зерна, форма метёлки, антоциановая окраска, метеорологические условия, фенофазы, период цветения.

В самом начале изучения проса посевного существовали различные точки зрения по поводу способа опыления его цветков. Но, начиная с К. Фрувирта [1], стала преобладать та, что просо является факультативным самоопылителем. Впоследствии данная точка зрения подтверждена целым рядом исследователей [2, 3]. Было установлено, что процент перекрёстного опыления зависит от условий произрастания и в отдельных регионах может достигать 10...12% [2]. В.Д. Красавин [4] в условиях Оренбургской области установил, что процент переопыления между просом посевным и просом сорным составлял 7,0...11,6%.

Различия в оценке степени перекрёстного опыления обусловлены тем, что, в соответствии с биологическими особенностями культуры, возможны три типа опыления цветков. Биология цветения проса изучена досконально большим количеством исследователей. Согласно общепризнанному, процесс цветения и оплодотворения у проса посевного выглядит следующим образом.

Всё начинается с фазы «вымётывание», когда у растения из листового влагалища появляется верхушка метёлки. У сорта фаза отмечается, когда таких растений станет не менее 50%. Цветение начинается сразу после выхода метёлки из влагалища верхнего листа или на 1-2 дня позже. По данным Л.М. Асеевой [5], у ранне- и среднеспелых сортов это происходило на 2-4 день, а у позднеспелых – на 4-6 день после вымётывания. Цветение одной метёлки продолжается в зависимости от скороспелости образца и погодных условий в среднем от 6 до 20 дней [3]. У среднеспелых сортов в лесостепной зоне Украины, России и Беларуси – в среднем 10-15 дней [6, 7, 8, 9].

Начинается цветение метёлки с верхушки и идёт в направлении основания, а также от кончиков веточек к главной её оси. Исследователи, изучавшие динамику цветения проса в различных погодных условиях, указывают продолжительность цветения одного цветка в довольно широком диапазоне – от 1,5 до 56 минут [4]. В большинстве случаев цветение начинается в 9 часов и заканчивается к 15 часам. Максимум приходится на 11-13 часов. При прохладной погоде оно происходит позже, при жаркой – раньше. От погодных условий (температуры и влажности), главным образом и зависит тип опыления цветков. Целый ряд исследователей изучали этот вопрос [1, 2, 3, 6, 8, 10, 11] и пришли к следующему заключению.

Первый тип опыления весьма редок. При нём пыльники лопаются внутри цветка и вся пыльца попадает на рыльце своего пестика. Так бывает при прохладной (менее +20°C) и

влажной погоде – это типичное самоопыление. При втором типе пыльники растрескиваются во время выхода из цветка. Большая часть пыльцы попадает на рыльце своего пестика, но часть высыпается наружу. Преимущественно, это также самоопыление. Встречается наиболее часто. При третьем типе цветки открываются широко, пыльники и рыльца свободно выходят за пределы цветочных плёнок. В воздухе уже имеется достаточно пыльцы с других растений. Пыльники лопаются и их пыльца попадает на рыльце как своего, так и других цветков. После закрытия цветка и рыльце, и тычиночные нити остаются зажатými цветочными плёнками, при этом пестик сохраняет способность к оплодотворению ещё 30-60 минут. Это по большей части перекрёстное опыление, может происходить при сухой жаркой погоде с температурой не менее +25°C.

Некоторые авторы изучали склонность проса посевного к перекрёстному опылению [12, 11, 9], а также культурного проса с просом сорно-полевым [4]. П.М. Жуковский (1964) отмечал общие для злаков приспособления к ветроопылению: мелкие цветки, большое количество цветков и лёгкой пыльцы, продолжительная жизнеспособность рылец и др. Н.Т. Ониськов [11] дополнительно изучил морфологические и биологические особенности проса посевного, способствующие перекрёстному опылению. По его мнению, это порционный характер цветения, когда одновременно раскрываются большие группы цветков. Важным является также то, что массовое цветение у всех экотипов происходит в одно время суток, при одной температуре. Способствует перекрёстному опылению и морфология цветка: пестик и тычинки длиннее цветочных плёнок, поэтому при раскрытии цветка они выходят за его пределы. Ворсистое рыльце способно хорошо улавливать пыльцу.

Как было сказано выше, перекрёстному опылению проса способствует и тёплая сухая погода. Открытый тип цветения начинает появляться уже при +22...24°C [4]. Согласно прогнозам ООН, повышение температуры воздуха на планете в XXI столетии может составить 1,5...4,0°C. Предполагается, что в результате этого в северных широтах страны годовая сумма эффективных температур может увеличиться на 600-650°C, что приведёт к перемещению границы земледелия к северу на 250-400 км [13]. Современная тенденция на потепление климата будет усиливать склонность проса к перекрёстному опылению.

Однако ещё в начале XX века отмечалось появление естественных гибридов при совместном произрастании проса [1]. По сообщению Б.В. Ежова [14], естественный гибрид проса разновидности субальбобадидум при расщеплении дал 10 окрасок зерна и 3 типа метёлки, при этом различающихся по наличию/отсутствию антоциановой окраски. В дальнейшем, многие исследователи находили естественные гибриды в посевах проса и даже использовали их в селекционной работе. Более того, до конца 50-х годов XX века естественная гибридизация была одним из путей получения исходного материала. Ещё в 1959 г З.С. Чернявская писала, что среди районированных сортов проса нет выведенных методом искусственной гибридизации. Другим методом являлся отбор из местных популяций. В 1968 г В.Н. Лысов [3] писал, что метод индивидуального отбора из местных популяций является основным в селекции проса.

Несмотря на то, что методика искусственной гибридизации проса начала разрабатываться в конце 30-х годов [5], в 40-х, 50-х и даже 60-х годах происходило постепенное её совершенствование. При обычном способе на метёлке оставлялось 10-15 физиологически зрелых цветков, которые кастрировались. Надевался пергаментный изолятор. На следующий день цветки вновь принудительно раскрывались и проводилось их опыление. Процент завязывания составлял 13,2 [15]. Позднее в НИИСХ Юго-Востока способ был усовершенствован, стали заземлять рыльце при кастрации цветка, что избавило селекционеров от повторного открытия цветков. Процент завязывания поднялся до 24 [15]. Позднее стали применять опыление в день кастрации цветков, что позволило увеличить процент завязывания до 42,5 [15]. Уже в 80-е годы там же гибридизацию проводили под плёнкой, натянутой на каркас. Это помогло повысить процент завязывания до 57,6 [15]. Данный способ очень трудоёмок и требует весьма квалифицированных, подготовленных кадров. По каждой комбинации обычно кастрировалось 5 метёлок. В 70-80-х годах в НИИСХ

Юго-Востока ежегодно кастрировалось 10-11 тыс. цветков, что требовало работы нескольких сотрудников в течение 30-35 дней [15]. Чтобы облегчить процесс гибридизации, исследователи разрабатывали различные методы кастрации. Были разработаны: термический метод – горячим воздухом [7] или горячей водой [11], химический – гаметоцидом этрел [16] или гербицидом натриевой солью 2,4-Д [12], водный [8], получивший более широкое распространение. При водном способе производительность возрастала до 200-300 и даже до 500 цветков в час, а процент завязывания составлял 43%. Недостатком этих методов является то, что часть завязавшихся семян относится к материнской форме (минимум, около 10%), что существенно снижает эффективность работы.

Тем не менее, методы искусственной гибридизации в 60-е годы полностью вытеснили естественную. В 50-60-х годах естественное переопыление растений проса проводилось на отдельных делянках с чередующимися рядами отцовских и материнских форм, как с кастрацией цветков материнских растений, так и без [3]. В первом случае трудоёмкость работы возрастала, как при искусственной гибридизации, а во втором, при отсутствии чётких маркерных признаков, был затруднён поиск гибридов.

В качестве метода получения исходного материала может также быть использован искусственный мутагенез, но поиск мутантов с хозяйственно ценными признаками не прост и не всегда успешен.

Как указывалось выше, метод естественной гибридизации растений проса имеет ряд недостатков. Это и недостаточный контроль селекционера за самим процессом, и зависимость уровня перекрёстного опыления от погодных условий, и невозможность выявления гибридных семян на материнском растении, и трудности выявления естественных гибридов при отсутствии чётких маркерных признаков. Тем не менее, все эти недостатки могут быть легко преодолены.

По нашему мнению, главной проблемой при свободном переопылении является чёткая фиксация гибридов F_1 . Для этого родительские формы должны различаться по признакам, легко отличимым визуально, а также имеющим эффект доминирования в F_1 . Как раз такими являются признаки, положенные в основу классификации проса посевного: форма метёлки, окраска зерна и наличие/отсутствие антоциановой окраски.

Выделяют 5 типов формы метёлки: раскидистый, развесистый, сжатый, овальный, комовый [17]. По мнению В.А. Ильина [15], тип метёлки контролируется тремя не полностью доминантными генами. В F_1 наблюдается неполное доминирование раскидистых и развесистых типов над сжатыми и комовыми. А.П. Свиденко (1981) отмечает, что в F_1 доминирует развесистый тип метёлки над сжатым и комовым, раскидистый над овальным. Учитывая, что в селекционной работе, в основном, используются развесистый и сжатый типы метёлки и их можно чётко различать по наличию/отсутствию подушечек в нижней части метёлки, данный признак вполне может быть использован для выявления гибридов F_1 .

Выделяют 12 типов окраски зерна [17]. Однако в качестве основных типов В.А. Ильин [15] выделил 6: белая с морщинистым зерном, белая, коричневая, серая, кремовая (жёлтая) и красная. Н.П. Тихонов (2006) отдельным типом назвал бронзовую окраску зерна. Большое разнообразие оттенков, окрасок объясняется неполным доминированием соответствующих генов и константной гетерогенностью проса.

Несмотря на сложный характер наследования, к настоящему времени сложились чёткие представления о доминировании при скрещиваниях образцов с различной окраской зерна. Так, установлено, что белозёрные легкообрушиваемые (лептодермальные – ЛД) формы доминируют над белозёрными обычными (тонкоплёчатыми – ТП). Те, в свою очередь, доминируют над коричневозёрными. Коричневозёрные – над серозёрными. Серозёрные – над формами с жёлтым (кремовым) зерном, те – над красноезёрными формами, которые являются рецессивными по всем соответствующим аллелям. В связи с вышеизложенным, данный признак хорошо подходит для выделения гибридов F_1 .

Наследование антоциановой окраски обусловлено, по меньшей мере, двумя комплементарными генами. В F_1 антоциановая окраска различной интенсивности всегда

доминирует [18]. К сожалению, данный признак подвержен существенному влиянию условий произрастания. В отдельные годы антоциановая окраска может быть почти незаметна, поэтому В.Д. Красавин [4] не включил её в число признаков предложенной им классификации сорного проса. Но, по нашему мнению, в отдельных случаях данный признак может использоваться при выявлении гибридов F_1 .

Таким образом, благодаря чётко проявляющимся в F_1 признакам, преодолевается основной недостаток способа естественной гибридизации. Невозможность выявить гибридные зёрна на материнском растении также не является проблемой. Для этого должны быть высеяны все семена с метёлки, подвергавшейся свободному переопылению. Благодаря маркерным признакам все гибридные растения в F_1 могут быть выявлены. Также при данном способе гибридизации отпадает необходимость контроля за процессом скрещивания и проведения технически сложных и трудоёмких работ. Не столь серьёзна и проблема зависимости уровня перекрёстного опыления от погодных условий. При неблагоприятных условиях для опыления, с учётом отсутствия затрат труда, любая комбинация может быть повторена в другой, более благоприятный год.

Важным моментом в работе по естественной гибридизации, по нашему мнению, является наличие признаковых и генетических коллекций, благодаря которым существенно облегчается подбор пар для скрещиваний. Коллекция проса посевного ВНИИЗБК насчитывает более 300 образцов, обладающих теми или иными селекционно ценными признаками. Так, например, коллекция сортов насчитывает 77 образцов 13-ти разновидностей, в том числе 42 – с красным зерном, 29 – с жёлтым (кремовым), 3 – с коричневым, 2 – с белым, 1 – с бронзовым. Ранее описанная группа доноров различных генов содержит 3 белозёрных образца, 3 – коричневозёрных, 3 – кремвозёрных. Группа крупнозёрных форм насчитывает более 70 линий 18-ти разновидностей, в том числе 22 – с красным зерном, 22 – с кремовым (жёлтым), 16 – с коричневым, 14 – с белым [19]. Всего в коллекции имеется более 90 белозёрных лептодермальных и тонкоплёчатых образцов, более 50 коричневозёрных, более 70 кремвозёрных, а также несколько образцов с бронзовой окраской зерна. Наличие большого разнообразия исходных форм позволяет оптимально подобрать отцовскую форму, чтобы в F_1 чётко выделить гибридные растения.

Целью работы стало установление возможности использования перекрёстного опыления проса для получения естественных гибридов нужных комбинаций. В процессе исследований нам необходимо было решить следующие задачи. Во-первых, ликвидировать затраты труда на кастрацию и опыление цветков. Во-вторых, за счёт организации размещения селекционных посевов исключить или существенно уменьшить вероятность опыления материнских растений формами, способными затруднить установление отцовства гибридов. В-третьих, выявить уровень естественного переопыления проса, характерный для Орловской области в последние годы. В-четвёртых, установить зависимость степени перекрёстного опыления от условий года. В-пятых, получить гибриды проса от естественного переопыления для дальнейшей селекционной работы. В-шестых, разработать методические аспекты создания новых генотипов проса посевного с использованием естественной гибридизации.

Материал и методика исследований

Опыт по естественному переопылению проса проводился в 2014-2016 годах, выявление гибридов F_1 и установление уровня перекрёстного опыления – в 2015-2017 годах. В качестве материнских форм были взяты сорта: Быстрое (красное зерно, развесистая метёлка, антоциановая окраска, раннеспелый), Крупноскорое (светло-красное зерно, развесистая метёлка, антоциановая окраска, среднеранний), Спутник (красное зерно, развесистая метёлка, без антоциана, среднеранний), Привольное (тёмно-красное зерно, развесистая метёлка, антоциановая окраска, среднепоздний). В качестве отцовских – Славянское (кремовое зерно, развесистая метёлка, антоциановая окраска, среднеранний) и Казачье (кремовое зерно, сжатая метёлка, без антоциана, среднепоздний).

Семена высевали широкорядно (междурядья – 45 см) кассетной сеялкой СКС – 6-10. Делянки отцовской формы четырёхрядковые, площадью 21,6 и 7,2 м², норма высева – 100 семян на 1 пог. м. Семена материнской формы высевались одновременно, на 2 пог. м. одного из средних рядков, по 25 штук на 1 пог. м., чтобы уменьшить вероятность переопыления материнских растений между собой. Непосредственно рядом располагались делянки конкурсного сортоиспытания и контрольного питомника краснозёрных линий. Контрольный питомник кремовозёрных, белозёрных и коричневозёрных линий размещался отдельным блоком на расстоянии 8 м с защиткой краснозёрного сорта. Дата посева: в 2014 году – 23 мая, в 2015 – 22 мая, в 2016 – 4 июня.

В течение вегетационного периода не проводилось никаких работ, связанных с гибридизацией растений, были сделаны только необходимые учёты и фенологические наблюдения. Уборка и обмолот материнских метёлок осуществлялись индивидуально.

На следующий год потомства материнских растений высевались в гибридном питомнике отдельными делянками площадью 3,6 и 1,8 м² (1/2 делянки). При уборке выявлялись гибриды F₁ и производился подсчёт растений на делянке. Ежегодно высевалось 5-11 потомств по каждой родительской паре. Результаты переопыления сопоставлялись с погодными условиями (по данным метеостанции г. Орёл) за период цветения родительских форм (Агрометеобюллетень. Орловский ЦГМС, 2014, №4; 2015, №4; 2016, №4).

Результаты и обсуждение

Годы проведения эксперимента значительно различались по метеорологическим условиям, что оказывало влияние на темпы развития растений и сроки наступления фенофаз у изучаемых сортов (табл. 1).

Таблица 1

Наступление фенофаз у сортов проса

Сорт	Год	Всходы	Вымётывание	Цветение	
				Начало	Окончание
Быстрое	2014	2.VI	6.VII	8.VII	17.VII-22.VII
	2015	1.VI	27.VI	29.VI	8.VII-13.VII
	2016	17.VI	10.VII	12.VII	21.VII-26.VII
Крупноскорое	2014	2.VI	8.VII	10.VII	19.VII-24.VII
	2015	1.VI	3.VII	5.VII	14.VII-19.VII
	2016	17.VI	14.VII	16.VII	25.VII-30.VII
Спутник	2014	2.VI	12.VII	14.VII	23.VII-28.VII
	2015	1.VI	2.VII	4.VII	13.VII-18.VII
	2016	17.VI	13.VII	15.VII	24.VII-29.VII
Привольное	2014	2.VI	15.VII	17.VII	26.VII-31.VII
	2015	1.VI	9.VII	11.VII	20.VII-25.VII
	2016	17.VI	18.VII	20.VII	29.VII-3.VIII
Славянское	2014	2.VI	10.VII	12.VII	21.VII-26.VII
	2015	1.VI	4.VII	6.VII	15.VII-20.VII
	2016	17.VI	15.VII	17.VII	26.VII-31.VII
Казачье	2014	2.VI	15.VII	17.VII	26.VII-31.VII
	2015	1.VI	9.VII	11.VII	20.VII-25.VII
	2016	17.VI	19.VII	21.VII	30.VII-4.VIII

Можно отметить, что в 2014 году массовое цветение у сортов Быстрое, Крупноскорое, Спутник и Славянское проходило во 2-й декаде июля, а у сортов Привольное и Казачье – в 3-й. В 2015 году сорт Быстрое массово цвёл в 1-й декаде июля, сорта Крупноскорое, Спутник, Славянское – в конце 1-й – начале 2-й декады, а Привольное и Казачье – во 2-й декаде. В 2016 году массовое цветение сорта Быстрое приходилось на 2-ю декаду, а остальных сортов – на 3-ю.

Погодные условия в период цветения сортов в 2014-2016 гг. не всегда были благоприятными (табл. 2).

Таблица 2

Метеорологические условия цветения проса

Год	Фактор	Июль		
		1 декада	2 декада	3 декада
2014	t°C, ± к ср. многолетней	+1,4	+4,0	+3,3
	Осадки,% от ср. многолетней	21	3	0
2015	t°C, ± к ср. многолетней	+3,1	-1,8	-1,3
	Осадки,% от ср. многолетней	22	116	145
2016	t°C, ± к ср. многолетней	+1,0	+4,8	+2,9
	Осадки,% от ср. многолетней	144	203	120

Июль 2014 года благоприятствовал перекрёстному опылению проса как по температуре, так и по осадкам. Во 2-3 декадах, когда собственно и происходило цветение сортов, максимальная суточная температура превышала +25°C, за исключением 11 июля, когда наблюдалась пасмурная погода и небольшой дождь. Жаркая и сухая погода ускоряла развитие растений. Вероятно, эти условия также сокращали продолжительность периода цветения у сортов. В 2015 году погодные условия 1-й декады июля в целом способствовали открытому цветению проса, хотя 3 дня из 10 наблюдалась пасмурная погода с осадками. Вторая декада, однако, была неблагоприятной, поскольку 5 дней из 10 проходили дожди, ещё 3 дня – незначительные осадки при пасмурной погоде, а максимальная температура, кроме 2-х последних дней, не превышала +19...+24°C. Развитие растений замедлялось, а период цветения, вероятно, удлинялся. Большая часть цветения проса в 2016 году проходила при максимальных суточных температурах +25...+33°C, за исключением небольшого похолодания 19-22 июля. Это способствовало открытому цветению, однако частые обильные дожди (8 дней за 2 декады) и большая влажность воздуха отрицательно сказывались в отдельные дни на перекрёстном опылении.

Столь подробное описание погодных условий необходимо, по нашему мнению, для более чёткого представления об особенностях цветения и переопыления каждого сорта в разные годы.

Подсчёт общего числа растений и гибридов среди высевавшихся потомств материнских растений, проведенный в 2015-2017 гг., дал следующие результаты (табл. 3-5).

Таблица 3

Результаты естественного перекрёстного опыления сортов проса в 2014 году

Сорт	Славянское		Казачье	
	РВ*, дней	% (лимиты)	РВ*, дней	% (лимиты)
Быстрое	4	1,0 (0,2...1,6)	9	0,4 (0...2,3)
Крупноскорое	2	2,6 (1,2...7,6)	7	0,9 (0...3,3)
Спутник	2	3,3 (0,9...8,4)	3	1,2 (0...3,3)
Привольное	5	1,0 (0...1,9)	0	1,1 (0,3...1,8)
Среднее	3	2,0	5	0,9

РВ* - разница между датами вымётывания

Лучший процент естественных гибридов в 2014 году был в комбинациях Крупноскорое × Славянское (2,6%) и Спутник × Славянское (3,3%). Причём у отдельных материнских растений он достигал соответственно 7,6 и 8,4%. В целом, при благоприятных условиях для перекрёстного опыления, можно отметить, что чем меньше разница в вымётывании сортов, а, соответственно, больше продолжительность периода совместного цветения, тем выше процент естественных гибридов. Исключение составила комбинация Привольное × Казачье, в которой данный процент был на уровне комбинаций с 3-5-дневной разницей в вымётывании. Вероятно, это связано с некими сортовыми особенностями. Следует отметить получение гибридов в комбинации Быстрое × Казачье. Несмотря на существенную разницу 9 дней по дате вымётывания между раннеспелым и среднепоздним сортами, на многих материнских растениях завязались гибридные семена. При проведении искусственной

гибридизации с кастрацией цветков и принудительным опылением было бы очень сложно или практически невозможно найти подходящие для скрещивания растения.

В 2015 году процент гибридных зёрен на материнских метёлках оказался в разы ниже, чем в благоприятном 2014-м. Тем не менее, гибриды вновь были получены по всем изучавшимся комбинациям (табл. 4).

Таблица 4

Результаты естественного перекрёстного опыления сортов проса в 2015 году

Сорт	Славянское		Казачье	
	РВ*, дней	% (лимиты)	РВ*, дней	% (лимиты)
Быстрое	7	0,1 (0...0,4)	12	0,1 (0...0,3)
Крупноскорое	1	0,6 (0,3...1,2)	6	0,2 (0...0,6)
Спутник	2	0,9 (0,6...1,5)	7	0,2 (0...0,6)
Привольное	5	0,4 (0...0,9)	0	0,4 (0...0,9)
Среднее	4	0,5	6	0,2

РВ* - разница между датами вымётывания

Лучшими по проценту естественных гибридов вновь стали комбинации Крупноскорое × Славянское (0,6%) и Спутник × Славянское (0,9%). Максимальные значения на отдельных материнских растениях – 1,2-1,5%, что в 5,5-6 раз ниже 2014 года. В условиях 2015 года подтвердились тенденции, отмеченные нами годом ранее. Более низкая средняя температура воздуха во второй половине цветения (на 4,6...5,8 °С) замедляла развитие растений, что сказывалось и на разнице в дате начала цветения сортов, и на продолжительности самой фазы. Так, даже у раннеспелого сорта Быстрое продолжительность цветения составляла не менее 12-ти дней. Несмотря на относительно низкий процент естественной гибридизации, учитывая довольно большое число семян на материнских растениях (до 600-800), можно было получить достаточное количество исходного материала (гибридов) для дальнейшей селекционной работы.

В 2016 году полученный результат был несколько хуже, чем в 2014-м, но лучше, чем в 2015-м (табл. 5).

Таблица 5

Результаты естественного перекрёстного опыления сортов проса в 2016 году

Сорт	Славянское		Казачье	
	РВ*, дней	% (лимиты)	РВ*, дней	% (лимиты)
Быстрое	5	0,8 (0,5...1,1)	9	0,2 (0...1,1)
Крупноскорое	1	3,9 (1,3...6,1)	5	0,5 (0...1,2)
Спутник	2	1,6 (0...3,7)	6	0,6 (0...2,2)
Привольное	3	0,3 (0...1,1)	1	0,6 (0...1,1)
Среднее	3	1,6	5	0,5

РВ* - разница между датами вымётывания

Наибольший процент естественных гибридов, как и в предыдущие годы, был в комбинациях Крупноскорое × Славянское (3,9%) и Спутник × Славянское (1,6%). Лучшие материнские растения дали соответственно 6,1 и 3,7% гибридных семян, что в 1,2-2,3 раза ниже, чем в 2014 году, но в 2,5-5 раз выше, чем в 2015-м. Все тенденции предыдущих лет сохранились, гибриды получены по всем комбинациям. К особенностям года можно отнести тот факт, что уровень естественной гибридизации между более раннеспелыми сортами приближался к уровню 2014 года, а в комбинациях с участием среднепоздних сортов Привольное и Казачье был примерно в 2 раза ниже. Вероятно, это связано с частыми осадками в данный период, поскольку температурный фон был достаточно высок.

Таким образом, сопоставив полученные за 3 года данные, можно сделать определённые обобщения относительно возможности и уровня естественного переопыления сортов проса различного типа хозяйственной спелости (табл. 6).

Таблица 6

Естественное перекрёстное опыление сортов проса, среднее за 2014-2016 гг.

Сорт	Славянское		Казачье	
	РВ*, дней	%	РВ*, дней	%
Быстрое	5	0,6	10	0,2
Крупноскорое	1	2,4	6	0,5
Спутник	2	1,9	5	0,7
Привольное	4	0,6	0	0,7
Среднее	3	1,4	5	0,5

РВ* - разница между датами вымётывания

Как показывают результаты, естественная гибридизация возможна даже между раннеспелыми и среднепоздними формами. Так, в комбинации Быстрое × Казачье процент гибридных зёрен на материнских растениях в среднем за 3 года составил 0,2% (при разнице в вымётывании 9-12 суток). Просматривается определённая закономерность: разница в вымётывании 1-2 дня позволяет в наших условиях получать в среднем 1,9-2,4% гибридных семян, 4-6 дней – 0,5-0,7%, 10 дней – 0,2%. Исключением стала комбинация Привольное × Казачье, в которой процент гибридных семян составил 0,7, при почти полном совпадении периода цветения. Вероятно, это связано с какими-то особенностями родительских сортов.

Таким образом, в результате наших исследований установлена возможность получения в условиях Орловской области естественных гибридов проса нужных комбинаций без затрат ручного труда на кастрацию и опыление цветков.

Проведена оценка уровня естественного переопыления. В зависимости от комбинации скрещивания процент естественных гибридов в среднем за 3 года составил 0,2-2,4. В наиболее благоприятном для перекрёстного опыления проса 2014 году он был выше – 0,4-3,3, а в потомствах отдельных растений достигал 7,6-8,4. Наши данные вполне согласуются с данными других авторов. Так, опытами Ю.С. Колягина и Т.А. Горбатенко [20], проведёнными в Чернозёмной зоне РФ, установлен уровень перекрёстного опыления проса в пределах от 1,75 до 2,95%. С.И. Константинов [7] для условий лесостепи Украины приводит уровень 0,41...1,91%. При этом Ю.С. Колягин и Т.А. Горбатенко [20] считают такой уровень перекрёстного опыления невысоким. Однако В.Д. Красавин [4], рассматривая этот вопрос с точки зрения засорения посевов проса посевного гибридами сорно-полевого проса, оценивает данный уровень как высокий. Мы, оценивая полученные нами результаты с точки зрения селекции, также считаем его достаточным. Учитывая, что большинство материнских метёлок имели по 400-800 семян, можно рассчитывать на получение (в наиболее близких по вымётыванию родительских форм комбинациях) в среднем по 6-20 гибридных растений с каждого потомства.

Установлено, что наибольшее количество естественных гибридов образуется при наименьшей разнице по датам вымётывания родительских форм. С увеличением этой разницы процент гибридов снижается. Также отмечено, что в условиях Орловской области разница в вымётывании между родителями 9-12 дней (в среднем 10) не препятствует получению гибридов, хотя и в очень ограниченном количестве.

Выявлено влияние погодных условий на уровень естественной гибридизации. По литературным данным, цветение проса происходит в диапазоне температур от +16°C до +40°C. Оптимальными же являются +22...+35°C. Поэтому условия 2 и 3 декад июля 2014 года, когда максимальная суточная температура воздуха достигала +25...+33°C, при отсутствии осадков, можно считать оптимальными для перекрёстного опыления. Среднесуточная температура в эти дни составляла +20...+24°C. Во 2 декаде июля 2015 года условия сложились значительно хуже, максимальная температура от +19°C до +24°C при среднесуточной +13...+17°C. Кроме того, 5 дней из 10 наблюдались существенные осадки. В итоге, по всем изучавшимся комбинациям уровень естественной гибридизации был примерно в 4 раза ниже, чем в 2014 году. В 2016 году 2 и 3 декады июля (за исключением 3-х дней) по температуре были близки ко 2 и 3 декадам июля 2014 года (максимальная

+25...+33°C, среднесуточная +19...+26°C), а по осадкам – ко 2 декаде июля 2015 года (8 дней из 20 – дождливые). Соответственно, получены промежуточные результаты по проценту естественных гибридов. Исходя из вышеизложенного, понижение температуры воздуха ниже оптимальной и выпадение осадков в период цветения снижает процент естественных гибридов у проса. И.В. Яшовский [18] отмечает, что ни высокая влажность воздуха, ни дожди, не препятствуют цветению проса. Однако эти факторы явно препятствуют переносу пыльцы с растения на растение. Поэтому мы считаем, что в дождливые дни у проса происходит самоопыление, что, конечно, снижает уровень естественной гибридизации.

Следует обязательно отметить тот факт, что в потомствах материнских растений нам не встречались гибриды с белой или коричневой окраской зерна. Это свидетельствует о том, что переопыления со стороны бело-, коричнево- и кремозёрных форм, расположенных в отдельном питомнике на расстоянии 8 м с защиткой краснозёрного сорта, не было. Объяснение данному факту может быть следующее. По данным ряда авторов [10,21] пыльца проса слабо переносится ветром. И.В. Яшовский [18] указывает, что на расстоянии 1 м от крайних рядков посева проса число пыльцевых зёрен в воздухе снижалось более чем в 10 раз. Однако Б.В. Ежов [14] показал, что около 7-10% пыльцы может переноситься ветром на 500-700 м. По нашему мнению, на значительные расстояния переносится пыльца с крайних растений посева, а пыльца с бело-, коричнево- и кремозёрных образцов контрольного питомника в нашем случае была задержана краснозёрными растениями защитки. Даже если пыльца растений защитки попадала на материнские формы из опыта, это не могло повлиять на результат наших исследований, поскольку все гибриды F₁ в опыте имели кремозёрную окраску зерна. Данное объяснение факту отсутствия гибридов с белой или коричневой окраской зерна представляется нам наиболее правильным. Вышеизложенные соображения могут быть использованы при разработке методики получения естественных гибридов.

Помимо исследовательских целей, нами были получены гибриды по 8 комбинациям, перспективные для дальнейшей селекционной проработки.

Выводы

1. В условиях Орловской области возможно получение естественных гибридов проса нужных комбинаций скрещивания. Установлена возможность скрещивания раннеспелых и среднепоздних форм с разницей по дате вымётывания до 10 дней.

2. Уровень естественной гибридизации зависит от комбинации скрещивания, а именно от разницы между датами начала цветения родительских форм. При минимальной разнице он составляет в среднем 1,5-2%, при разнице 10 дней – около 0,2%.

3. Уровень естественного перекрёстного опыления проса зависит от температуры воздуха и выпадения осадков в период цветения родительских форм. При оптимальных условиях (максимальная суточная температура +25...+35°C, отсутствие осадков) в отдельных комбинациях он приближается к 4%, при понижении температуры и увеличении числа дождливых дней – снижается весьма существенно.

4. Использование естественного перекрёстного опыления проса позволяет избавиться от затрат ручного труда на кастрацию и опыление цветков.

5. Простота выявления гибридов F₁ в потомствах материнских растений основана на использовании маркерных признаков – окраски зерна, формы метёлки, иногда антоциановой окраски.

6. При получении естественных гибридов следует добиваться изоляции форм, участвующих в скрещивании, от форм, сходных с отцовскими по маркерным признакам, за счёт размещения посевов и использования защитных полос проса определённых разновидностей.

Литература

1. Фрувирт К. Селекция колониальных растений. – Департамент земледелия, – СПб, – 1915. – 198 с.
2. Максимчук Л.П., Максимчук И.Х. Биология цветения и методика гибридизации проса // Тридцать лет селекционно-семеноводческой работы. – М.: Сельхозгиз, – 1956. – С. 190-216.
3. Лысов В.Н. Просо. – Л.: Колос, – 1968. – 224 с.
4. Красавин В.Д. Просо сорное и его взаимодействие с просом посевным. – Оренбург, – 2002. – 201 с.

5. Асеева Л.М. О методике и технике скрещивания проса // Селекция и семеноводство, – 1940, – № 3. – 33 с.
6. Журавель Б. Н. О биологии цветения проса в условиях БССР // Сб. науч. тр. Института соц. сел. хоз-ва АН БССР. – 1956, вып. 4. – С. 249-254.
7. Константинов С.И. и др. Естественная гибридизация проса // Селекция и семеноводство. – Киев, – 1976, вып. 34. – С. 41-44.
8. Яшовский И.В. Особенности биологии цветения проса и использование их в селекции // Селекция и семеноводство проса. – М.: Колос, – 1973. – С. 89-95.
9. Яковлев А.Г. К вопросу биологии цветения проса // Науч. тр. ВНИИЗБК. – Орёл, – 1966, т. 1. – С. 52-59.
10. Арнольд Б.М., Шibaев П.Н. Ботанико-агрономическая характеристика проса обыкновенного – *Panicum miliaceum* L. // Тр. по прикл. ботанике, генетике и селекции, – 1929, т. 22, вып. 2. – С. 231-296.
11. Онисков Н.Т. Морфологические и биологические приспособления проса к переопылению ветром // Селекция, семеноводство, садоводство и защита растений. – Целиноград, – 1971. – С. 39-53.
12. Соболев Н.А., Примак Н.Н. О методике поисковых работ в области селекции проса на гетерозис / Гречиха и просо. – Орёл, – 1967. – С. 405-440.
13. Методические подходы к созданию устойчивого и эффективного растениеводства в условиях глобального изменения климата (на примере Орловской области) // Практические рекомендации. – Орёл: ОрёлГАУ, – 2015. – 68 с.
14. Ежов Б.В. Биология цветения проса // Науч. отчёт Карагандинской СХОС за 1941-1942 гг. – М.: Сельхозгиз, – 1947.
15. Ильин В.А. Избранные труды. – Саратов, – 1994, т. 1. – 278 с.
16. Попов Б.В. Использование гаметоцида этрел при гибридизации проса // Науч. тр. Куйбышевского НИИСХ, – 1979, вып. 2. – С. 73-81.
17. Агафонов Н.П., Курцева А.Ф. Методические указания. Изучение мировой коллекции проса. // Под ред. Г.Е. Шмараева. – Л.: ВИР, – 1988. – 30 с.
18. Яшовский И.В. Селекция и семеноводство проса. – М.: Агропромиздат, – 1987. – 256 с.
19. Котляр А.И., Сидоренко В.С. Крупнозёрные формы проса посевного в коллекции ВНИИЗБК // Зернобобовые и крупяные культуры, – 2017. – № 4. – С. 70-72.
20. Колягин Ю.С., Горбатенко Т.А. Особенности опыления проса в Чернозёмной зоне России/ Биология, селекция и семеноводство зерновых культур. – Каменная степь, – 1981. – С. 69-72.
21. Крапива Л.А. Селекция и семеноводство проса // Работы по селекции и семеноводству зерновых, зернобобовых культур и многолетних трав. – Киев, – Харьков, – 1950, вып. 1. – С. 72-76.

POSSIBILITY TO USE NATURAL CROSS-POLLINATION OF MILLET IN PLANT BREEDING

A.I. Kotlyar

FSBSI «FEDERAL SCIENTIFIC CENTER OF LEGUMES AND GROAT CROPS»

Abstract: *A study of a large amount of data in the literature on the issue of cross-pollination of millet was performed. The possibility of using cross-pollination of millet for obtaining natural hybrids for breeding purposes, without labor costs for castration and pollination of flowers, has been established. The level of natural transpollination of millet characteristic of the Oryol region is revealed. The dependence of the degree of cross-pollination on meteorological conditions has been established. Natural hybrids were obtained in 8 combinations for further selection work.*

Keywords: millet, cross-pollination, hybridization methods, natural hybrids, collections, grain coloring.