УДК 631.527:633.16

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИБРИДИЗАЦИИ НА ЯЧМЕНЕ

[1]Кокина Л.П., кандидат сельскохозяйственных наук,
старший научный сотрудник
E-mail: larisa.kokina@bk.ru
[1,2] Щенникова И.Н., доктор сельскохозяйственных наук,
член-корр. РАН, профессор
E-mail: i.schennikova@mail.ru
[1]Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н.В. Рудницкого, г. Киров, Россия
[2]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Вятская государственная сельскохозяйственная академия», г. Киров, Россия

Аннотация.

Важным условием для успешного проведения селекционных работ является достаточное количество зерен в первом поколении гибридов, что в первую очередь определяется используемой методикой проведения кастрации и опыления и зависит от выбора родительской формы. Целью исследований было определение условий и методов проведения гибридизации, повышающих выход гибридных зерен в первом поколении. Для анализа были использованы данные по количеству завязавшихся зерен при различных схемах скрещиваний, способах подготовки колоса и сроках опыления ячменя при проведении гибридизации. В результате проведенных исследований было установлено, что сорта двурядного ячменя, в отличие от многорядного, менее травмируются при кастрации и это способствует увеличению количества гибридных зерен. Погодные условия при гибридизации удлиняют или сокращают период эффективного проведения опыления и формирования зерна, наиболее результативным было опыление на 4-5 день после кастрации. Сорта Форсаж и 288-12 более эффективны при использовании их в качестве отцовской формы.

Ключевые слова: кастрация, опыление, материнская форма, отцовская форма, завязываемость зерен

METHODS OF INCREASING EFFICIENCY OF HYBRIDIZATIONS ON BARLEY

[1]Kokina L.P., Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher
E-mail: larisa.kokina@bk.ru
[1,2]Shchennikova I.N., Doctor of Agricultural Sciences, corresponding member of RAS, professor

E-mail: i.schennikova@mail.ru
[1]Federal Agricultural Research Center of North-East
named after N.V. Rudnicki, Kirov, Russian Federation
[2]Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Vyatka state agricultural academy», Kirov, Russian Federation

Annotation.

The important condition for successful breeding activity is sufficient number of grains in the first generation of hybrids, which is primarily determined by the method of castration and pollination used, and depends on the choice of parental form. The aim of the studies was to determine the conditions and methods of hybridization that increase the yield of hybrid grains in the first generation. For the analysis, data were used on the number of formed grains in different crossing schemes, methods of preparation of ear, and time of barley pollination during hybridization. Studies have found that cultivars of two-row barley, unlike multi-row barley, are less traumatized by castration and this contributes to the increase in the number of hybrid grains. Weather conditions during hybridization prolong or shorten the period of effective pollination and grain formation, the most effective one was pollination on the 4-5 day after castration. Cultivars Forsage and 288-12 are more effective when used as a paternal form.

Keywords: castration, pollination, maternal form, paternal form, grain forming

В современной литературе описывается множество методов, способствующих повышению эффективности и сокращению сроков создания нового исходного материала, соответствующего целям и задачам селекции. Несмотря на успехи молекулярной биологии [10, 3], большинство современных сортов ячменя созданы методами традиционной селекции, с использованием метода гибридизации и отбора растений по фенотипу [8, 9, 17, 19], прикладной биотехнологии [13, 22] и мутагенеза [4, 7].

Внутривидовая гибридизация является основным методом реализации генотипической вариабельности, её преимущество состоит в синтезе желательных для селекции свойств с использованием разнообразных компонентов [2]. Основной проблемой традиционной селекции служит длительный период выведения сорта, который, как правило, составляет не менее 10-12 лет. Эффективность селекции во многом зависит от правильного подбора исходных компонентов для гибридизации [7, 15]. А.С. Серебровский

(1969) в свое время отмечал, что подбор – это вершина селекции, наиболее творческая её часть. Это один из основных вопросов селекционной практики, его сложность заключается в том, что признаки или свойства родительских форм не всегда легко передаются их потомству [12]. Для успешного процесса гибридизации необходимо исчерпывающе изучить исходный материал и точно установить отдельные признаки, которые ожидаются у нового, рекомбинированного организма. Родительские формы определяют на основе множества критериев в зависимости от поставленной цели селекционной работы [16]. Так привлечение в скрещивания двурядных и многорядных форм ячменя значительно увеличивает гетерогенность гибридных популяций за счет соединения в гибридах отдельных признаков и свойств разных подвидов ячменя [12].

Большинство авторов отмечают, что для повышения эффективности селекции один из компонентов скрещивания должен содержать значительную долю зародышевой плазмы местных экотипов [14]. Н.И. Аниськов [1] приводит данные, что в Сибирском НИИСХ более 30 % исходного материала, вовлеченного в скрещивания, было представлено линиями собственной селекции как основы, адаптированной к местным условиям. Ретроспективный анализ родословных сортов зерновых и зернобобовых культур Сибири [16] отчетливо продемонстрировал исключительную роль местного исходного материала как носителя зародышевой плазмы, наиболее приспособленной к экстремальным условиям региона. И, как результат, подавляющее число сортов в Красноярском крае было создано на базе или с участием сортов местной селекции.

Для эффективного селекционного процесса необходимо выяснение закономерностей генетического детерминирования и формирования у гибридов важнейших хозяйственно-биологических признаков [9]. Поскольку изменчивость и наследование зависят от генотипа и условий внешней среды, наибольшую ценность представляет информация, полученная в конкретной

агроклиматической зоне, для которой создают новые сорта. Большое значение в селекционной работе имеет изучение степени изменчивости и сопряженности количественных признаков. Обобщая накопленную практической селекцией информацию, А.А. Вьюшков с соавторами [2] описали методы подбора родительских компонентов для гибридизации у самоопыляющихся культур, уточняя, что «всякий раз, когда при использовании того или иного метода, селекционер сталкивается с ограниченностью его возможностей, применяют комбинации методов…».

Гибридизацию на ячмене стали применять значительно позже, чем на других зерновых культурах из-за наличия большого разнообразия местных форм [13]. Важным условием для успешного проведения селекционных работ является достаточное количество зерен в первом поколении гибридов F1, полученных в результате скрещивания [18], что в первую очередь определяется используемой методикой проведения кастрации и опыления [7]. Проведение скрещиваний на ячмене – тонкая и трудная операция. Колос цветет, находясь во влагалище листа, поэтому во время кастрации он очень легко травмируется. В практической селекции используются различные методы подготовки колосьев к кастрации и опылению. В Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства им. П.Н. Константинова разработан и используется при гибридизации термовакуумный способ кастрации с последующим и опылением колосьев водной суспензией зрелой пыльцы [5]. Е.Г. Филиппов с соавторами [20] рекомендуют проводить кастрацию колосьев без подрезания цветковых чешуй, с использованием способа групповой изоляции, а опыление осуществлять твел-методом с подрезанием цветковых чешуй отцовских форм.

Многие учреждения в последние годы применяют метод гибридизации на срезанных растениях [14] с последующим доращиванием гибридов на искусственных питательных средах. Благодаря использованию этого метода [6] на Среднем Урале удалось значительно интенсифицировать селекционный

процесс, при этом, по данным Р.А. Максимова [11], процент удачи получения гибридных семян ячменя возрос на 8-20 %.

«Удача» скрещиваний (% завязывания семян) в значительной степени зависит от продолжительности жизнедеятельности женского гаметофита в кастрируемых цветках, которая определяется, в свою очередь, сортовыми особенностями и погодными условиями. Исследователи отмечали, что для большинства видов растений качество пыльцы зависит от продолжительности вегетационного периода сорта, срока зацветания и расположения цветка в соцветии [21]. Наиболее благоприятными для опыления считают второй - четвертый день после кастрации колоса [13]. Однако погодные условия нередко вносят свои коррективы в процедуру опыления, поэтому опыление иногда проводится и в более поздние, менее благоприятные сроки.

Целью исследований было определить условия и методы проведения гибридизации, повышающие выход гибридных зерен в первом поколении.

Материал, условия и методы. Исследования проведены в ФАНЦ Северо-Востока (г. Киров). Для анализа были использованы данные по завязываемости зерен при различных схемах скрещиваний, способах подготовки колоса и сроках опыления ячменя при проведении гибридизации за 2008-2019 гг. Гибридизацию проводили путем кастрации подготовленного (удалены боковые колоски и ости) колоса с последующим принудительным опылением цветков. Опыляли в утренние часы, вкладывая по 2-3 пыльника свежесобранной пыльцы в цветок.

Различные погодные условия в годы проведения исследований способствовали выделению наиболее благоприятных условий для завязывания зерен.

Результаты. Повышение потенциала урожайности занимает доминирующее место среди селекционных целей, и все проводимые скрещивания направлены, в первую очередь, на решение этой задачи [1]. Поэтому обоснованным является использование в качестве компонентов

скрещивания многорядных ячменей, потенциальная урожайность которых в условиях Волго-Вятского региона превышает двурядные [23].

В наших исследованиях привлечение в скрещивания разных подвидов ячменя показало, что при использовании сортов двурядного ячменя в качестве материнской формы увеличивается количество завязавшихся зерен (таблица 1).

Таблица 1 – Завязываемость зерен при разных схемах скрещиваний

Схема скрещивания	Прокастрировано и опылено цветков, шт.	Завязываемость зерен, %
♀ Многорядные х ♂ многорядные	2272	43,3
♀ Двурядные х ♂ многорядные	1720	56,1
♀ Многорядные х ♂ двурядные	1072	43,7
♀ Двурядные х ♂ двурядные	1602	52,9

Это может быть связано с тем, что при кастрации многорядный колос травмируется намного сильнее, чем двурядный (таблица 2). При кастрации для удобства опыления у материнских растений многорядных форм удаляют уже хорошо развитые боковые колоски, тогда как у двурядных сортов боковые колоски неразвиты и, соответственно, при их удалении колос менее травмируется.

Таблица 2 – Завязываемость зерен (%)
при разной степени травмирования колоса

Степень травмирования колоса при кастрации	Подвид ячменя	
	многорядный	двурядный
Удалены боковые колоски	3,2	42,7
Удалены ости	39,0	48,1
Контроль (колос не травмирован)	41,6	54,9

На основании экспериментальных данных установлена обратная достоверная зависимость средней степени (r = -0,59) количества завязавшихся гибридных зерен от температуры воздуха при опылении. Это обусловлено тем, что высокая температура ускоряет прохождение всех этапов органогенеза, в

том числе развития генеративных органов (тычинок, пестика), и влияет на жизнеспособность женского гаметофита, а также качество и количество пыльцы. Осадки в период гибридизации обеспечивают способность рыльца пестика к более длительному периоду оплодотворения. Следовательно, погодные условия при гибридизации удлиняют или сокращают период наиболее эффективного проведения опыления и формирования зерна. Это необходимо учитывать при проведении гибридизации и корректировки сроков опыления.

В результате анализа экспериментальных данных было установлено, что наиболее эффективным было опыление на 4-5 день, минимальное количество завязавшихся зерен по всем комбинациям составляло 60,8 и 52,5 % соответственно. По отдельным комбинациям высокий уровень завязавшихся зерен отмечался при опылении со 2 (max 79,2 %) по 8 день (45,9 %). В среднем как наиболее благоприятные для опыления можно выделить с 4 по 6 день после кастрации (таблица 3).

Таблица 3 - Завязываемость зерен в зависимости от срока опыления и температуры воздуха

День опыления	Количество завязавшихся зерен, %		Температура воздуха в период опыления, °С	
	min – max	среднее	min – max	средняя
1	0 – 19,6	12,5	18 – 25	19,5
2	12,0 – 79,2	58,6	12 – 25	21,7
3	12,5 – 87,7	57,1	16 – 25	17,2
4	60,8 – 87,0	70,9	18 – 25	20,2
5	52,5 – 89,6	68,3	12 – 25	21,2
6	21,7 – 83,3	61,6	12 – 25	20,2
7	0 – 60,0	26,2	14 – 28	19,2
8	0 – 45,9	22,8	15 – 32	19,7
9	0 – 0	0	15 – 20	23,5
10	0 – 0	0	12 – 34	20,0
11	0 – 0,9	0,2	15 – 34	22,0
12	0 – 0	0	15 – 34	22,0

С 9 по 12 день эксперимента завязываемость зерен в большинстве случаев равнялась 0 %, при том, что температура воздуха при опылении изменялась от 12 до 34°С. Следовательно, на эффективность скрещиваний в первую очередь влияет продолжительность жизнеспособности генеративных органов, а температура воздуха способствует лишь незначительному его сокращению или увеличению.

Сравнительная оценка проведения гибридизации в полевых условиях и на срезанных колосьях в лабораторных условиях не выявила преимущества гибридизации в лабораторных условиях. С использованием сорта Памяти Родиной было прокастрировано и опылено в полевых условиях – 342, в лабораторных – 506 колосков. Удача скрещиваний составила 70,8 и 25,4 % соответственно.

При подборе пар для скрещивания селекционеры учитывают тот факт, что материнские растения более полно передают свои признаки и особенности потомству, чем отцовские. Это обусловлено тем, что ядерный материал родительские формы передают поровну, цитоплазма же передается гибридам только по материнской линии. Установлена зависимость эффективности использования сорта при гибридизации от того, в виде какой родительской формы (материнская или отцовская) он применяется (таблица 4).

Таблица 4 - Эффективность использования сортов в гибридизации

Сорт	Количество лет проведения гибридизации	Родительская форма* (вариант)	Количество прокастрированных и опыленных цветков, шт.	Количество завязавшихся зерен, %
Форсаж	8	♀	1182	31,4±2,2
		♂	3310	49,4±2,9**
Фермер	7	♀	1826	49,7±2,8
		♂	686	67,2±3,3
346-09	5	♀	461	47,1±2,3
		♂	228	42,1±2,1
29-11	5	♀	1112	38,8±1,9
		♂	516	51,9±2,6
Меркурий	4	♀	444	41,7±2,3
		♂	1204	53,3±2,6

288-12	4	♀	692	43,1±2,3
		♂	350	67,7±3,4**

Примечание * - ♀ - материнская, ♂- отцовская;
** - различия между вариантами достоверны при 5%-ном уровне значимости

У всех генотипов, за исключением 346-09, выявлено увеличение количества завязавшихся зерен при использовании их в качестве отцовской формы. Так у сортов это преимущество составляло: 288-12 – 24,6 %, Фермер – 17,5 %, Форсаж – 18,0 %, 29-11 – 13,1 %, Меркурий – 11,6 %. Однако достоверные различия между вариантами установлены только у сортов Форсаж и 288-12, что говорит о большей эффективности использования данных сортов в качестве опылителей.

Заключение. Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что для увеличения эффективности гибридизации необходимо учитывать погодные условия при проведении кастрации и опылении, при использовании многорядных сортов ячменя в качестве материнской формы необходимо увеличивать объем проводимых скрещиваний. Сорта Форсаж и 288-12 наиболее эффективны при использовании их в качестве отцовской формы.

Литература

1. Аниськов Н. И. Селекция ячменя в Западной Сибири / Н. И. Аниськов // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 1. – С. 24-26.
2. Селекционно-генетическое улучшение яровой пшеницы / А. А. Вьюшков, П. Н. Мальчиков, В. В. Сюков, С. Н. Шевченко. – Самара : Самарский научный центр РАН, 2012. – 266 с.
3. Дейнеко Е. В. Генетическая инженерия растений / Е. В. Дейнеко // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2014. – № 18 (1). – С. 125-137.
4. Жилин Н. А. Мутационная изменчивость ярового ячменя под влиянием лазерного красного света и карбоната натрия / Н. А. Жилин, Г. П. Дудин // Плодоводство и ягодоводство России. – 2012. – № 33 – С. 169-176.

5. Глуховцев В. В. Особенности адаптивной селекции зерновых культур в условиях Среднего Поволжья / В. В. Глуховцев // Аграрный вестник Юго-Востока. – 2009. – № 31 (1). – С. 12-13.
6. Коновалов Ю. Б. Методические рекомендации по использованию метода гибридизации пшеницы и ячменя на срезанных побегах / Ю. Б. Коновалов, И. А. Рудиков. – Москва : [б.и.], 1987. – 14 с.
7. Методы и результаты селекции ярового ячменя на Кубани / Т. Е. Кузнецова, С. А. Левштанов [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – № 29 (12). – С. 20–22.
8. Левакова О. В. Яровой ячмень Яромир / О. В. Левакова, Л. М. Ерошенко, А. Н. Ерошенко // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2016. – № 3. – С. 47-47.
9. Лепехов С. Б. Эффективность отбора в ранних поколениях гибридов сельскохозяйственных культур по урожайности и признакам продуктивности (обзор) / С. Б. Лепехов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2018. – № 179 (4). – С. 177-190.
10. Лисицын Е. М. Использование маркерной селекции в создании моделей сортов зерновых культур, устойчивых к абиотическим стрессам / Е. М. Лисицын // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2018. – № 64 (3). – С. 4–12.
11. Максимов Р. А. Селекция ячменя на Среднем Урале / Р. А. Максимов // АПК России. – 2016. – № 2. – С. 288-293.
12. Подбор родительских пар для гибридизации озимого ячменя / Н. В. Репко, В. В. Репко, Ю. С. Скибина, К. В. Шепелев // Научный альманах. – 2017. – № 9-2 (35). – С. 205-209.
13. Родина Н. А. Селекция ячменя на Северо-Востоке Нечерноземья / Н. А. Родина. – Киров : [б.и.], 2006. – 488 с.
14. Рукосуев Р. В. Направления и методы селекции ярового ячменя в Амурской области / Р. В. Рукосуев // Дальневосточный аграрный вестник.

– 2008. – № 2 (6). – С. 32-36.

15. Реализация идей Н.И. Вавилова в селекции ячменя в Сибири / Н. А. Сурин, Н. Е. Ляхова, С. А. Герасимов, А. Г. Липшин // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2018. – № 179 (1). – С. 78-88.
16. Сурин Н. А. Ретроспективный анализ родословных сортов зерновых и зернобобовых культур в Сибири. – URL: http://www.kgau.ru/new/all/uni/01/konferenc/3_3.pdf (дата обращения 20.05.2020г.). – Текст : электронный.
17. Тимошенкова Т. А. Новый сорт ярового ячменя Лида, адаптированный к засушливым условиям Оренбургского Предуралья / Т. А. Тимошенкова, Н. И. Тишков. – Текст : электронный // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. – 2019. – №2. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/novyy-sort-yarovogo-yachmenya-lida-adaptirovannyy-k-zasushlivym-usloviyam-orenburgskogo-preduralya/viewer (дата обращения 01.06.2020 г.).
18. Филиппов Е. Г. Селекция озимого ячменя на Дону / Е. Г. Филиппов. – Ростов-на-Дону : Книга. – 2010. – 176 с.
19. Филиппов Е. Г. Особенности селекции ячменя на Дону / Е. Г. Филиппов, А. А. Донцова // Зерновое хозяйство России. – 2016. – № 1. – С. 47-52.
20. Филиппов Е. Г. Перспективные направления в селекции ячменя / Е. Г. Филиппов, А. А. Донцова, Д. П. Донцов // Таврический вестник аграрной науки.– 2016. – № 2 (6). – С. 12-137.
21. Цаценко Л. В. Пыльцевой анализ в селекции растений / Л. В. Цаценко, А. С. Синельникова // Научный журнал КубГАУ. – 2012. – № 77 (03). – С. 38-48.
22. Шуплецова О. Н. Результаты использования клеточных технологий в создании новых сортов ячменя, устойчивых к токсичности алюминия и засухе / О. Н. Шуплецова, И. Н. Щенникова // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2016. – № 20 (5). – С. 623-628.
23. Щенникова И. Н. Модели сортов ярового ячменя для условий Волго-

Вятского региона / И. Н. Щенникова // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2015. – № 6 (49). – С. 9-14.