

УДК 633.1:575.1/2

М. А. КАДЫРОВ<sup>1</sup>, А. А. ЗУБКОВИЧ<sup>1</sup>, Б. Ю. АНОШЕНКО<sup>2</sup>

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПТИМИЗАЦИИ СЕЛЕКЦИОННОГО ПРОЦЕССА  
САМООПЫЛЯЮЩИХСЯ КУЛЬТУР НА ПРИМЕРЕ *HORDEUM VULGARE* L.**

<sup>1</sup>Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию, Жодино, Беларусь, e-mail: npz@tut.by

<sup>2</sup>Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,  
e-mail: B.Anoshenko@cbg.org.by

В статье изложены результаты 30-летних исследований по оптимизации селекционного процесса (СП) с применением компьютерных средств. Представлены преимущественно теоретические аспекты, апробированные на реальном результативном СП. Приводятся логически обоснованные этапы создания информационной технологии с целью эффективного управления СП. Данные этапы включают совершенствование сбора входной информации, оригинальное программное обеспечение, выходную (расчетную) информацию, управленческие решения для этапов СП.

*Ключевые слова:* селекционный процесс, яровой ячмень, *Hordeum vulgare*, технология управления селекционным процессом.

M. A. KADYROV, A. A. ZUBKOVICH, B. Yu. ANOSHENKO

**THEORETICAL BASIS OF PLANT BREEDING OPTIMIZATION FOR SELF-POLLINATED CROPS:  
CONCEPTION AND IMPLEMENTATION APPLIED FOR *HORDEUM VULGARE* L.**

<sup>1</sup>The Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming,  
Zhodino, Minsk district, Belarus, e-mail: npz@tut.by

<sup>2</sup>Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,  
e-mail: B.Anoshenko@cbg.org.by

The results of 30 year research on plant breeding optimization with the use of computer tools are stated. Mainly theoretical aspects that were tested on the real and effective barley breeding process are presented. Logically reasonable steps for creating breeding information technology are provided. They include improving input data collection, output (calculated) information production and management solutions for all plant breeding stages.

*Keywords:* plant breeding, spring barley, *Hordeum vulgare*, plant breeding management.

**Введение.** В середине 1980-х годов в лаборатории ячменя Научно-практического центра НАН Беларуси по земледелию (в то время Белорусский научно-исследовательский институт земледелия) разработка системы и технологии информационного обеспечения управления селекционным процессом (СП) проводилась с использованием существовавших в то время компьютерных средств [1–3]. На основании комплексного подхода к организации СП были разработаны принципы управления, а также способы и методы ввода, хранения и анализа информации. Был создан пакет прикладных программ АБ-стат, для которого помимо программ статистического анализа были написаны специальные программы по планированию селекционных работ и анализу селекционного материала [4–7].

В дальнейшем совершенствование основных подходов, принципов и методов оптимизации СП было продолжено с учетом накопленного опыта, новых подходов в селекции, на основе современного программно-технического обеспечения [8, 9].

Цель исследования – усовершенствование системы и технологии управления селекционным процессом с целью принятия менее случайных, более обоснованных и объективных решений на всех этапах селекционного процесса, сокращения времени, финансовых затрат и значительного

повышения результативности создания новых, более урожайных сортов, отвечающих запросам сельскохозяйственного производства. Ранее были разработаны в формализованном виде управляющие воздействия на каждый этап СП, обоснованы необходимые для этого структуры входной и выходной информации [2, 3] и разработаны методы и программы для обработки данных по селекционным питомникам [4–7].

**Материалы и методы исследования.** Условия, использованные материалы и методика проведения исследований детально изложены в [2].

**Результаты и их обсуждение.** Оптимально организованный СП наряду с основной практической задачей – созданием сортов – должен позволять накапливать достоверную информацию для систематического анализа, обобщения и выводов, обеспечивающих корректирование выбранных направлений селекции и совершенствование самого СП. Информативность традиционного СП, организованного лишь с учетом генетико-биологических и экологических факторов, недостаточна [1, 3]. При этом объем снимаемой информации очень большой, но осуществить ее корректный анализ по ряду причин практически невозможно. Нередки случаи, когда причины успехов либо неудач продолжительной работы селекционера не имеют корректного научного обоснования [10].

В селекции растений большие, еще далеко не востребованные, резервы для увеличения результативности напрямую связаны с повышением информативности именно реального полевого селекционного процесса, т. е. с такой организацией селекционного процесса, которая позволяла бы накапливать необходимую и достоверную информацию и методически корректно фиксировать и анализировать ее. Для решения многих проблем селекции нужны сведения, выходящие за пределы собственно селекционных или даже генетических, физиологических и вообще биологических знаний. По нашему мнению, это прежде всего сведения из теории системного подхода и информатики.

Основная цель исследований – системное обоснование и экспериментальная проверка принципов и методов оптимизации СП самоопыляемых культур для существенного повышения результативности и создания адаптированной системы взаимодополняющих сортов ярового ячменя, наиболее эффективно использующих почвенно-климатический потенциал Беларуси.

**Селекционный процесс как объект исследований. Сущность системности в его организации и управлении.** Рассмотрим СП как систему. На рис. 1 изображена хрестоматийная модель системы с указанием основных ее элементов.

Проанализируем ее в соответствии с действующими факторами, спецификой, потребностями и целями СП. Система состоит из объекта, которым следует управлять, – С (в данном случае СП), объекта или блока, который управляет, – УБ (селекционер), управляющих воздействий – УВ (программа исследований: схема скрещивания, критерий отбора, методы идентификации, качество исполнения и т. д.), искажающих воздействий, помех – ИВ (объективных: модификационная изменчивость генетическая и экологическая конкуренция и т. д., субъективных: качество программ исследований, исполнительная квалификация и дисциплина и т. д.), выходного результата – ВР (сорта, образцы, информация). Важно подчеркнуть, что цели системы, выражающиеся в ВР, задают и предопределяют структурно-организационные и управленческие характеристики всей системы. Оптимизация СП должна начинаться с обоснования и конкретизации целей. Успешное

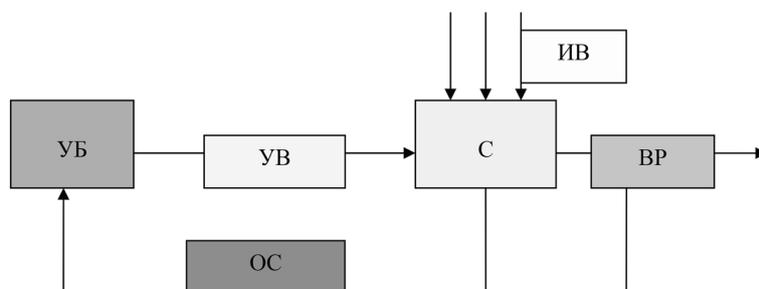


Рис. 1. Модель системы: УБ – блок управления, УВ – управляющее воздействие, С – объект управления, ИВ – искажающее воздействие, ВР – выходной результат, ОС – обратная связь

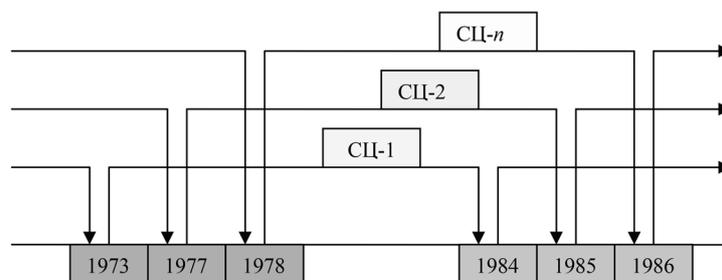


Рис. 2. Селекционный процесс как совокупность селекционных циклов. СЦ – селекционный цикл

функционирование и прогрессивное развитие системы возможно только при эффективном осуществлении обратной связи – ОС, для чего в нее конструктивно закладываются соответствующие возможности и условия, в противном случае будут наблюдаться застой системы, ее «холостое функционирование».

С позиций системного подхода традиционный СП весьма несовершенен, хотя характерные для него сущностные особенности позволяют ему эффективно осуществлять принцип обратной связи и самооптимизации. (Если селекционера рассматривать в качестве «управляющего элемента» в системе «селекционный процесс», то использование термина «самооптимизация» в таком контексте вполне оправданно.)

СП состоит из селекционных циклов – временных отрезков, в течение которых прорабатывается материал от этапа создания генетического разнообразия до завершения испытания селекционных линий (рис. 2). В каждый конкретный год при развернутом СП один из циклов завершается, другой начинается, третий находится на половине пути, четвертый – на четверти и т. д. Количество циклов, находящихся на различных этапах в данный год, равно количеству лет, приходящихся на один селекционный цикл. В сущности, реально функционирующий СП – это непрерывный, постоянно возобновляющийся конвейер. Важно, чтобы каждый последующий цикл был эффективнее предыдущего. Это становится возможным, если с предыдущего цикла снята информация, проанализирована и на ее основе внесены соответствующие коррективы, т. е. практически осуществлен принцип обратной связи. Информация анализируется не только в конце цикла, но и на любом его этапе. Достоверность выводов и эффективность управляющих воздействий повышается к его окончанию. Непрерывность, конвейерность, цикличность – важнейшие особенности СП как системы, объективно существующие позитивные основы его оптимизации.

Резюмируя, укажем основные методологические принципы оптимизации СП:

принцип целостности (интегральности, комплексности) СП как объекта оптимизации (единство, взаимосвязанность организационно-структурных, собственно научно-методических, технологических, управленческих, экологических, субъективно-личностных и прочих аспектов СП);

принцип «конвейерности», возобновляемости циклов (цикличности) СП как основа построения системы управления;

принцип максимальной информативности СП (информация как одна из цепей его функционирования);

принцип накопления «небольших преимуществ» большинством элементов системы («не революционный», «не скачкообразный, а эволюционный вариант» оптимизации СП).

Выявленные системные характеристики и сформулированные принципы позволяют перейти к конкретным способам, приемам, элементам оптимизации отдельных этапов и циклов СП.

**Разработка системы и технологии информационного обеспечения управления селекционным процессом.** Создание эффективных информационных технологий стало возможным с появлением вычислительных средств и прежде всего персональных компьютеров, рассчитанных на непрограммирующего пользователя. Академик Н. Н. Моисеев подчеркивает: «внедрение методов информатики всегда требует определенной перестройки организационных принципов работы» [11]. В практическом плане при компьютеризации СП необходимо в первую очередь четко обозначить основные блоки – составные части информационной технологии:

1. Какую выходную информацию должен получать селекционер (целевая установка).

2. Какая входная информация для этого необходима.

3. Какие алгоритмы, методы и программное обеспечение будут использоваться.

Если хоть один из этих вопросов не будет определен четко, эффективной компьютеризации ждать не приходится.

**Приведение в систему этапа создания генетического разнообразия и селекционной работы гибридного материала.** Для приведения в систему этапа создания генетического разнообразия обоснована и апробирована следующая его организация.

Систематизированы возможные группы родительских форм, виды гибридизации и принципы подбора пар скрещиваний в каждом виде гибридизации. Поисковая гибридизация осуществляется по предложенному принципу «латинского квадрата» [7], обеспечивая равноправное участие всех родительских форм в скрещиваниях и в конечном итоге «работает» на основную, снабжая базовые (основные) блоки гибридизации последующих селекционных циклов родительскими формами, с высокой вероятностью дающими хозяйственно ценный гибридный материал. Чтобы не прерывать последовательность этапов и логику создания информационной технологии, более подробно о сущности схемы, принципе «латинского квадрата», ключевом понятии «селекционная ценность компонента скрещивания», полученных практических результатах изложено ниже (раздел «Оптимизация выбора родительских форм и подбора пар скрещиваний как системообразующий фактор в селекционном процессе»).

**Входная (снимаемая) информация по этапам селекционного цикла: факторы, определяющие ее качество, роль моделей (идеатипов) сортов.** Вопрос качества исходной информации является одним из самых сложных и трудно разрешаемых. К входной информации должен применяться принцип необходимости и достаточности. Это означает, что количество оцениваемых признаков и свойств селекционного материала должно быть достаточным для проведения необходимого анализа и принятия эффективных решений. Из основных трудностей следует отметить следующие:

большинство оценок, особенно в начале селекционного цикла, визуальные (неинструментальные), отказаться от них по ряду объективных причин не представляется возможным; нет надежных критериев выбора информативных признаков; отсутствуют четкие описания конечной цели и моделей сорта; многовариантность фенотипического проявления генотипа (модификационная изменчивость).

Естественно, выбор наиболее информативных признаков в каждом конкретном случае (культура, место селекции) определяется биологией культуры, почвенно-климатическими условиями, целями селекции и зависит от опыта и квалификации селекционера, а также от этапа селекционного цикла. Набор признаков, оценивающих индивидуальное растение, неадекватен набору, оцениваемому ценоз, поскольку нет однозначной связи между продуктивностью индивидуального растения и урожайностью полученного от него ценоза [10]. Известно, что не всегда возможно словесно (а тем более количественно) описать критерии, по которым селекционер разделяет, оценивает и выбраковывает селекционный материал. Никакой отдельный признак образца при этом недостаточен, а их сочетание не поддается словесному (в смысле передачи индивидуального личного опыта другому) или количественному описанию. Каждый селекционер, опытный и начинающий, имеет свое представление об «идеальном типе» (идеатипе) – модели сорта. Наличие данного субъективного фактора есть объективная реальность СП. Вся суть здесь в том, насколько субъективный идеатип (модель), сформировавшийся у селекционера, приближается к истине.

Субъективный фактор не только не является помехой для компьютеризации, но даже наоборот – выступает как необходимое условие ее успешного проведения, на первых этапах – в качестве обучающего элемента, позволяющего ЭВМ формализовать идеатип сорта [1]. В дальнейшем формализованная модель сорта, как более адекватно отражающая реальность и принятая селекционером к исполнению, изменит и откорректирует прежний «идеальный тип» в новую субъективную модель, более приближенную к истине. Таким образом, компьютеризация (повышение информативности, формализация модели) способствует повышению качества и эффективности самого субъективного фактора благодаря более содержательной и насыщенной информационной среде. Диалектика взаимодействия ЭВМ и человека есть основа любой успешной компьютеризации.

Роль модели сорта для практической деятельности селекционера велика. Собирая фактический материал, размышляя над ним, он готовит себя психологически, формирует внутреннюю установку, т. е. повышает вероятность «не упустить случая», если такой представится. Подчеркивая важность разработки модели сорта для повышения результативности селекции и профессионализма селекционера, все же нельзя не указать на определенно существующую опасность, если все в организации СП будет ориентировано на реализацию заранее разработанных моделей сортов. Объективность модели всегда спорна, уже хотя бы по той причине, что модель – это всегда компромисс между хозяйственными целями, экологическими условиями, мировыми ресурсами сортов [12]. Наиболее вероятна многовариантность достижения заданного уровня продуктивности, и предлагаемая модель лишь один из вариантов, связанных, возможно, не с самой низкой степенью селекционных трудностей. Если модель создана и принята к исполнению, то все, что не удовлетворяет ее параметрам, должно быть забраковано. Однако правильность модели после ее разработки в лучшем случае может быть проверена в конце селекционного цикла. Поэтому оправдано, чтобы в СП одновременно и равноправно существовали два варианта его организации:

1) процесс, ориентированный на реализацию модели сорта, разрабатываемой и реализуемой по предлагаемой схеме;

2) процесс, не ограниченный рамками модели.

В нашем селекционном процессе вариант поисковой гибридизации ориентирован больше на реализацию моделей сортов, поскольку строго обозначены критерии отбора, браковок и ряда других условий, учитывающих параметры конечного результата. В варианте базовой гибридизации реализуются оба подхода.

Наиболее полно приближаются к параметрам идиатипов (моделей) новейшие районированные на данный период сорта. С учетом тенденций к изменению морфотипов сортов, выявленных путем анализа сортосмены ячменя в Беларуси за последние 30 лет, хозяйственно-биологической оценки новейших сортов ячменя западно-европейского экотипа в условиях республики, а также опираясь на опыт визуальных наблюдений, накопленный за последние 30 лет, разработаны идеатипы сортов ярового ячменя [3] (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Урожай и его структура у модельных сортов ячменя

Компонент урожая	Модельные сорта			
	среднепоздние	среднеспелые	скороспелые	
			двурядные	многорядные
Вегетационный период, дней	91–100	85–90	76–80	70–80
Число колосьев на 1 м <sup>2</sup> , шт.	700–850	600–750	700–800	450–600
Число зерен в колосе, шт.	18–22	19–23	17–21	40–45
Масса 1000 зерен, г	44–48	45–50	42–48	39–48
Урожай, ц/га	70–80	60–70	50–60	50–60

Необходимо отметить, что в ходе визуальных наблюдений в поле элементы структуры урожая фиксируются не четко (однозначно фиксируются только крайние варианты: плотный стеблестой – редкий, крупный колос – мелкий и т. д.). Как правило, лучшие в конкурсном испытании образцы визуально четко (однозначно) оценивались по следующим признакам и свойствам: стелющаяся или полустелющаяся форма куста, средней ширины прижатые к стеблю темно-зеленые листья, тонкий упругий стебель, в период созревания желто-золотистая солома, более округлая форма зерна. Среднеспелые и скороспелые образцы также характеризуются подобным набором признаков, за исключением формы куста (она прямостоячая) и окраски листьев (заметно более светлая).

Модификационная изменчивость как причина снижения ценности визуальных и инструментальных оценок, бесспорно, нуждается в контроле и максимальной элиминации искажающих ее воздействий. Ее можно уменьшить подбором опытных полей с минимальной пестротой почвен-

ного плодородия, равномерностью посева и т. п., но устранить модификационную изменчивость полностью никогда не удастся и, очевидно, при отборе родоначальных растений и не нужно, поскольку оставшиеся помехи (шумы) также искажают проявление генотипов (например, стартовое преимущество, обусловленное генетической конкуренцией) [10].

Разработан метод обработки данных урожайности на этапе бесповторных посевов, позволяющий при соответствующем расположении стандартного сорта сравнить урожайность селекционных образцов между собой и стандартом с учетом пестроты почвенного плодородия [5, 6]. Данный метод позволяет внести корректировки в урожайность исследуемого образца относительно стандарта с учетом того, на каком по уровню плодородия участке находится образец, и использовать карту пестроты в последующие годы при закладке селекционных питомников.

**Выходная (расчетная) информация и принятие управленческих решений по этапам селекционного цикла.** Ценность же выходной информации зависит от выбранных целей (целевой установки, основной задачи), методов анализа, качества входной информации, ее своевременности и наглядности (табл. 2).

Т а б л и ц а 2. **Пример выходной (расчетной) информации и применяемых управленческих решений по этапам селекционного цикла**

Этап	Выходная информация	Принимаемые решения
Селекционный питомник второго года (СП-2)	Оценка линии по совокупности и отдельным (15) признакам, характеристика (индексная) комбинаций и родительских форм на этапе СП-2 и по совокупности этапов F <sub>1</sub> – СП-2 с учетом построения карты пестроты почвенного плодородия	Отобрать линии: для контрольного питомника, для включения в поисковую гибридизацию, для размножения параллельно с дальнейшим испытанием, трансгрессирующие по отдельным признакам Определить: родительские формы для включения в базовую гибридизацию, генетическую неидентичность родительских форм

Важно иметь в виду, что выходной информации с компьютера должно быть минимум, чтобы селекционер мог ее осмыслить, иначе вместо полевого «гроссбуха» можно получить компьютерный, но такой же необозримый, а потому и неинформативный. В идеале это должно быть одна-две заключительные таблицы небольшого размера (табл. 3). (Компьютер в СП можно образно сравнить с «комбайном для информации», по аналогии с уборочным комбайном, отделяющим зерно от соломы, полowy и пр.). В создании информационных технологий особенно важна оптимальность в организационно-структурном обосновании процесса. «Организация, однажды возникшая, порождает собственные цели, именно индуцируемые организационной структурой, заложив прямоугольный фундамент, нельзя возводить на нем цилиндрический дом, прямоугольный фундамент индуцирует прямоугольную коробку возводимого на нем сооружения» [11]. На оптимальной организационной структуре во многом основывается возможность проявления в системе и «автоматически действующих» механизмов саморегуляции, помимо усилий, исходящих из «блока управления», даже усиленного компьютером. Оптимальная структура и централизованное управление (в случае, если они действительно оптимальны) с неизбежностью создают «режим наибольшего благоприятствования» для саморегуляции системы.

Т а б л и ц а 3. **Пример принятия управленческих решений для оптимизации селекционного процесса (СП-2, 2013 г.)**

Показатель урожайности (от средней урожайности трех стандартов), %	К-во линий в заданном интервале	Управленческое решение
Более 110	2	Представляет хозяйственный и селекционный интерес
От 110 до 105	11	Целесообразно дальнейшее изучение
От 105 до 100	15	Возможно дальнейшее изучение
От 100 до 55	162	Не представляет хозяйственного и селекционного интереса
Всего	190	

**Оптимизация выбора родительских форм и подбора пар скрещиваний как системообразующий фактор в селекционном процессе.** Совершенствование способов подбора пар остается и в настоящее время наиболее целесообразным приложением усилий и средств для повышения результативности СП самоопыляемых культур [1–3, 7].

Выявление селекционно-ценных родительских форм возможно, если проработку гибридного материала проводить с соблюдением следующих условий и принципов:

1. Одинаковость исходных объемов селекционного материала и критериев отбора для всех образцов в питомнике в год испытания.

2. Максимальное устранение факторов, вызывающих модифицированную изменчивость, агрономическими и техническими методами.

3. Обязательность оценок на всех этапах по выбранным критериям с указанием основных причин браковки.

4. Единая структура кодировки селекционного материала и неизменность ее в цикле проработки.

5. Упорядоченность в хранении семян питомников по этапам селекционного цикла.

Соблюдение указанных условий позволяет получить оптимизирующую информацию и обеспечить объективную оценку селекционного материала в ходе СП, выявить селекционную ценность родительских форм и гибридных комбинаций уже на этапе СП-2 [2]. Заранее следует разработать альбом унифицированной селекционной документации для каждого питомника с указанием оцениваемых признаков и свойств (в полевых условиях и лабораторными методами) по этапам селекционного цикла с описанием процедур проведения учетов и оценок, шкал и единиц измерения [3].

**Метод «латинского квадрата» в оптимизации поисковой гибридизации и выявлении ценности компонентов скрещиваний.** Важным является вопрос: каким образом повысить вероятность встречи нужных родительских форм и, соответственно, вероятность получения уникальной гибридной комбинации, не увеличивая при этом масштабов скрещиваний?

Как же составить программу скрещиваний, чтобы не только выявилась общая селекционная ценность компонентов скрещивания, но и имелась равновероятная возможность реализации любой гибридной комбинации на матрице возможных скрещиваний? Мы пришли к выводу о наибольшей пригодности для этих целей схемы комбинационных квадратов с неповторяющимися сочетаниями, разработанной для многофакторных экспериментов в физике и являющейся, в сущности, дальнейшей разработкой идеи так называемого «латинского квадрата» [13]. Принцип использования для гибридизации следующий.

На матрице возможных скрещиваний (рис. 3) в каждой строке (по горизонтали) и столбце (по вертикали) сорт скрещивается один раз, т. е. если сорт № 1 (первой строки) скрещивается с сортом  $n$  (относящимся к  $n$ -столбцу), то уже больше ни в первой строке, ни в  $n$ -м столбце с другими сортами он не скрещивается, при этом при заполнении других строк и столбцов скрещивания разносятся равномерно-случайно по всей матрице. Так образуется первый «латинский квадрат». Он содержит столько скрещиваний, сколько родительских форм включается в гибридизацию (к примеру, при 100 родительских формах – 100 гибридных комбинаций). При плане получения 400 гибридных комбинаций строятся еще 3 латинских квадрата, не налагающиеся на первый и между собой, т. е. в каждой строке каждый включенный в гибридизацию сорт скрещивается с 4 сортами в качестве материнской формы, а в столбце – с 4 сортами в качестве отцовской формы. Следовательно, после проработки гибридного материала можно установить, в каком качестве выделившийся компонент скрещивания эффективнее использовать в следующей гибридизации. Если скрещивания под диагональю отразить зеркально скрещиваниям над диагональю, то по каждому включенному в гибридизацию сорту будут прямые и обратные комбинации

	1	2	3	4	5	6	7	8		$n$
1		+	0						–	
2			+						0	
3				0	+					
4	–					0	+			
5				–			0	+		
6	+	0								
7				+	0	–				
8	0				–	+				
$n$										

Рис. 3. Матрица скрещиваний по методу «латинского квадрата»

ции, что важно для более строгого выяснения роли реципрокного эффекта. Однако при этом уменьшается количество перебираемых вариантов (сочетаний компонентов скрещиваний).

Заполнение матрицы возможных скрещиваний при известном числе родительских форм и планируемом количестве гибридных комбинаций легко осуществить по соответствующей программе.

Из 29 районированных с 1985 по 2015 г. сортов ярового ячменя 19 создано с участием трех селекционно-ценных компонентов скрещивания: КМ 1192 (ЧССР), HVS 91/76 (ГДР), Baronesse (Германия), хотя в гибридизацию включалось более 1800. На их основе выведено, соответственно, 12, 5 и 4 сорта, включенных в Государственный реестр и допущенных к использованию в Беларуси, России, Украине, Латвии, Литве, Кыргызстане.

## Выводы

1. В целях оптимизации СП обоснованы и апробированы следующие принципы и положения: принцип целостности (комплексности, интегральности) СП как объекта исследований и оптимизации (единство, взаимосвязанность организационно-структурных, экологических, технологических, управленческих, субъективно-личностных и прочих аспектов СП);

принцип возобновляемости циклов (конвейерности, цикличности) СП как одна из основ создания системы управления);

принцип достаточной информативности СП (информация как одна из цепей его функционирования);

принцип накопления небольших преимуществ большинством элементов системы.

2. Разработана система и технология информационного обеспечения управления СП на базе компьютерных средств. Реализованы следующие этапы, элементы и последовательность осуществления:

структурно-организационный анализ СП;

формализованы управляющие воздействия (принимаемые воздействия) по каждому этапу селекционного цикла;

необходимый и достаточный объем (перечень) входной (снимаемой) информации по этапам селекционного цикла с учетом биологии культуры, целей селекции, экологических особенностей зоны селекции, предыдущего опыта (на основании экспертных оценок);

необходимая выходящая (расчетная) информация, обосновывающая управляющие воздействия (принимаемые решения);

альбом унифицированной селекционной документации; кодировка селекционного материала, позволяющая проследить прохождение линией (сортом) этапов селекционного цикла;

программное обеспечение и необходимые компьютерные средства для создания АРМС (автоматизированного рабочего места селекционера).

3. На основании анализа литературных данных и результатов собственных исследований доказана определяющая роль подбора пар скрещиваний (отдельных уникальных родительских компонентов) в оптимизации СП (оптимизация подбора пар скрещиваний как системообразующий фактор в нем); ограниченные возможности показателей ОКС в прогнозировании селекционной ценности расщепляющихся поколений. Предложены способы выявления ценности компонентов скрещивания в ходе СП. Формализовано понятие «селекционная ценность компонента скрещивания», предложен метод его количественной оценки.

4. Обоснованы следующие методы и схемы организации селекционных циклов и отдельных их этапов, обеспечивающие повышение информативности: ежегодная программа гибридизации (этап создания генетического разнообразия), которая делится на три блока – поисковая гибридизация, базовая (основная) и специальная, при этом классифицированы группы исходных родительских форм и принципы подбора пар скрещиваний в каждом блоке гибридизации, что позволяет определить селекционную ценность компонентов скрещивания поискового блока при проработке гибридного материала с соблюдением условий (см. п. 5), а затем лучшие компоненты включить в базовый (основной) блок гибридизации последующих селекционных циклов.

5. Обоснована и экспериментально подтверждена эффективность осуществления поисковой гибридизации по принципу «латинского квадрата», дающего возможность включить 100 и более компонентов в одну матрицу скрещиваний, обеспечив при этом равновероятные шансы каждому компоненту как на матрице скрещиваний, так и в конечном результате (после проработки гибридных линий с его участием). При этом в полевых условиях, при соответствующем размещении линий, визуально удобно выявлять преимущество того ли иного компонента скрещиваний, а после уборки количественно определять его ценность.

6. В результате проработки (1976–2015 гг.) более 1800 родительских форм в различных схемах скрещиваний, обеспечивавшим им равновероятные возможности, было выявлено три компонента скрещивания: КМ 1192 (ЧССР), HVS 91/76 (ГДР), Baronesse (Германия), на основе которых создано, соответственно, 12, 5 и 4 сорта, включенных в Государственный реестр и допущенных к использованию в Беларуси, России, Украине, Латвии, Литве, Кыргызстане.

### Список использованной литературы

1. Кадыров, М. А. Концепция самооптимизации селекционного процесса / М. А. Кадыров, Б. Ю. Аношенко // С.-х. биол. – 1990. – № 1. – С. 152–163.
2. Кадыров, М. А. Принципы и методы оптимизации селекционного процесса самоопыляемых культур: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.05 / М. А. Кадыров; Ин-т земледелия. – Жодино, 1991. – 30 с.
3. Кадыров, М. А. Селекционный процесс как объект оптимизационных исследований: идеи, реализация, приоритеты / М. А. Кадыров. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 219 с.
4. Аношенко, Б. Ю. Программы анализа и оптимизации селекционного процесса растений / Б. Ю. Аношенко // Материалы 1-го съезда Вавиловского общества генетиков и селекционеров, Саратов, 20–25 дек. 1994 г. // Генетика. – 1994. – Т. 30 (прил.). – С. 8–9.
5. Anoshenko, B. Yu. Local adjustment methods for field experiments. 1. The methods and their examination by computer simulation / B. Yu. Anoshenko // Euphytica. – 1996. – Vol. 90, N 2. – P. 137–148.
6. Anoshenko, B. Yu. Local adjustment methods for field experiments. 2. Application in experiments without replications, and in ones with pseudo- and random replication / B. Yu. Anoshenko // Euphytica. – 1996. – Vol. 90, N 2. – P. 149–162.
7. Anoshenko, B. Yu. Estimation of parental value for varieties used in plant breeding / B. Yu. Anoshenko // Plant Breeding. – 1998. – Vol. 117, N 2. – P. 131–137.
8. Кадыров, М. А. Селекция основных сельскохозяйственных культур в Беларуси: состояние, проблемы, приоритеты / М. А. Кадыров // Принципы и методы оптимизации селекционного процесса сельскохозяйственных растений: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Минск, 2005. – С. 3–14.
9. Кадыров, М. А. Совершенствование системы управления селекционным процессом самоопыляющихся культур с целью повышения его информативности (на примере *Hordeum vulgare* L.) / М. А. Кадыров, А. А. Зубкович, Б. Ю. Аношенко // Вес. НАН Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2014. – № 4. – С. 52–60.
10. Дьяков, А. Б. Конкурентоспособность растений в связи селекцией / А. Б. Дьяков, В. А. Драгавцев // Генетика. – 1975. – Т. XI, № 5. – С. 11–21.
11. Моисеев, Н. Н. Пути к созиданию / Н. Н. Моисеев. – М.: Республика, 1992. – 254 с.
12. Минаржик, И. Ф. Селекция ячменя в Чехословакии / И. Ф. Минаржик // Междунар. с.-х. журн. – 1979. – № 1. – С. 62–67.
13. Протодьяконов, М. Н. Методика рационального планирования экспериментов / М. Н. Протодьяконов, Р. И. Тедер. – М.: Наука, 1970.

Поступила в редакцию 21.08.2015