

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЛИНЫ СТЕБЛЯ В ДИАЛЛЕЛЬНЫХ СКРЕЩИВАНИЯХ МЯГКОЙ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

М. Е. Мухордова, кандидат сельскохозяйственных наук
Сибирский НИИ сельского хозяйства, Омск, Россия
E-mail: mmeomsk@yandex.ru

Ключевые слова: диаллельные гибриды, изменчивость, наследуемость, комбинационная способность, длина стебля, мягкая озимая пшеница

Реферат. На основе диаллельных скрещиваний изучалась изменчивость и система генетических параметров в детерминации длины колоса у гибридов F_1 мягкой озимой пшеницы. Из всех известных типов скрещивания общепринятым и наиболее информативным для генетического анализа количественных признаков растений является диаллельный. При подобных скрещиваниях исследователь располагает полным набором всех комбинаций генов, которыми обладают родительские сорта, а трудности, возникающие при их осуществлении, компенсируются богатством исходного материала для селекции. В статье изложен материал по изучению 5 сортов и 1 линии отечественной и зарубежной селекции, а также их диаллельных гибридов в полевых условиях 2013–2014 гг. на базе ФГБНУ СибНИИСХ г. Омска. Озимая пшеница – культура высокого плодородия. Реализовать свой биологический более высокий потенциал урожайности она может только при наличии генетической защиты от абиотических и биотических стрессоров и соответствующих условий выращивания. Генетический контроль рассматриваемого признака преимущественно определяется сверхдоминированием и комплементарным эпистазом. Лабильность его приводит к тому, что под влиянием условий среды может иметь место переопределение генетической формулы (набора генов) длины стебля. Генетическая система контроля изменения величины признака управляется доминантными генами. Отсюда следует, что отбор уникальных генотипов значительно затрудняется в связи со сменой сочетания метеофакторов. Отбор по признаку «длина стебля» следует начинать в более поздних поколениях гибридов ($F_4 - F_6$), когда большинство генотипов перейдет в гомозиготное состояние. В качестве донора короткостебельности в условиях переувлажнения можно использовать сорт Сплав, а в условиях засухи – сорт Минская.

GENETIC ANALYSIS OF STALK LENGTH IN DIALLEL CROSS BREEDING OF WINTER WHEAT

M.E. Mukhordova, Candidate of Agriculture
Siberian Research Institute of Agriculture, Omsk, Russia

Key words: diallel hybrids, variability, диаллельные гибриды, изменчивость, heritability, combining ability, stalk length, soft winter wheat.

Abstract. The author explored variability and system of genetic parameters in determination of ear length in F_1 hybrids of soft winter wheat on the basis of diallel crossbreeding. Diallel crossbreeding is considered to be the most general and most informative for genetic analysis of quantitative traits in plants. When doing such crossbreeding, the researcher is provided with the complete set of all gene combinations of forecrops. The researcher faces the difficulties in crossbreeding, but he receives the rich initial material for crop breeding. The article describes the material about 5 varieties and 1 line of domestic and foreign breeding and their diallel hybrids. The study was conducted in the field conditions of Siberian Research Institute of Agriculture in Omsk in 2013-2014. Winter wheat is a crop of high fertility; winter wheat can reveal its biological crop yield capacity when it is genetically protected from abiotic and biotic stressors and appropriate growing conditions. Genetic control of this feature is mainly determined by over domination and complementary epistasis. Its lability results in the fact that being influenced by environmental conditions it can change genetic formulas (set of genes)

of the stalk length. The genetic control system of changes in the parameter is controlled by dominant genes. It certifies that selection of unique genotypes becomes difficult due to the change of meteorological factors combination. The author highlights that selection on the basis of "stalk length" should begin in later generations of hybrids (F4 – F6), when most genotypes go into a homozygous state. The author suggests to consider Splav variety in the humid conditions and Minskaya variety in dry conditions as a short - stemming donor.

Озимая пшеница – важнейшая продовольственная культура, занимающая значительный удельный вес в структуре посевов во всем мире. Один из основных факторов устойчивого производства зерна озимой пшеницы – сорт. Вклад селекции в прирост урожайности составляет 30–70% с перспективой увеличения до 60–80% [1], и именно сорту принадлежит значительная роль в увеличении валовых сборов зерна путем повышения продуктивности посевов.

Особым достижением в селекции озимой пшеницы на повышение урожайности и устойчивости к полеганию является создание сортов озимой пшеницы нового морфотипа, хорошо адаптированных к условиям зоны возделывания, с различной выраженностью признаков, ценных в селекционном и хозяйственном отношениях.

Селекционный интерес представляет создание сортов озимой пшеницы, способных при интенсивной технологии возделывания реализовать достигнутый уровень адаптивности, потенциала продуктивности и качества сортов предшествующего периода селекции. Для этого они должны обладать повышенной устойчивостью к полеганию за счет дальнейшего понижения высоты растений до 65–70 см.

В нашей стране и за рубежом имеется значительное число исследований, в которых применяется диаллельная схема скрещиваний.

Диаллельный анализ является одним из наиболее эффективных методов изучения генетической системы контроля количественных признаков в растениеводстве [2–4]. На его основе можно получить информацию о характере наследования различных признаков у зерновых. Используя диаллельные скрещивания, можно получить сведения о генетических параметрах родительских сортов [5–7] и их комбинационной способности [8, 9].

В Московском НИИСХ проводили исследования с целью определения эффективности использования местного адаптивного генофонда озимой пшеницы с высоким потенциалом продуктивности и комплексом хозяйственно-ценных признаков для получения более устойчивого к полеганию селекционного материала.

Доминирование проявилось по высоте растений отцовской более высокой формы, неполное – по семи комбинациям, промежуточное – по двум, сверхдоминирование – по одной. В F₂ высота растений по всем комбинациям была промежуточной между родителями [10].

В условиях лесостепи Среднего Поволжья (Пенза) изучены комбинационная способность и генетический контроль признака «высота растений» в диаллельном комплексе из 10 сортов озимой мягкой пшеницы. Установлено, что на проявление генетических систем, определяющих наследование признака, а также на эффекты ОКС и СКС оказывали влияние условия года и анализируемое поколение (F₁ и F₂). Признак «высота растений» в изученном наборе сортов контролируется аддитивно-доминантной генетической системой с преобладанием аддитивных эффектов (D>H1) при неполном доминировании (H1/D<1). Следовательно, наличие аддитивных эффектов в контроле признака «высота растений» позволяет рекомендовать отбор по данному признаку, начиная с поколения F₂ [11,12].

По данным Д. М. Марченко, при скрещивании различающихся по высоте растений родительских форм также было выявлено неполное доминирование большего значения признака. Для создания высокоурожайных сортов мягкой озимой пшеницы необходимо отбирать среднерослые образцы, способные формировать густой стеблестой, незначительно снижая при этом массу и количество зерен с колоса [14].

По мнению О. А. Некрасовой, высота растений гибридов, родительские формы которых отличаются по этому признаку, наследуется по типу частичного, неполного доминирования и сверхдоминирования более высокорослой формы [15].

Китайскими учеными выявлено, что высота растений и ее компоненты регулируются путем частичного доминирования с аддитивной системой генов. Наследуемость длины стебля отмечена как высокая и составила от 76,62 до 95,08%. Установлено, что высота растения может управляться четырьмя группами доминантных генов.

Отбор растений по высоте и ее компонентам может быть эффективным в ранних поколениях. Результаты данного исследования могут быть по-

лезны для селекционеров, которые стараются выводить новые полукарликовые сорта и устойчивые к полеганию [16].

В Турции с использованием нового генетического материала 3 линий и 4 сортов озимой пшеницы были проведены исследования 42 гибридных комбинаций, полученных по диаллельной схеме. Установлены достоверные различия между родителями и их гибридами по длине стебля пшеничного растения. Влияние общей комбинационной способности было высокодостоверным, в то время как достоверность специфической комбинационной способности не была доказана [17].

В НИИСХ г. Скопье (Македония) тип наследования и влияние генов на высоту растения были изучены в F_1 и F_2 в неполных диаллельных скрещиваниях сортов 7 x 7 и линий озимой пшеницы. Тип наследования, определяемый для каждой комбинации отдельно, был различным и зависел от комбинации скрещивания. Отсутствие межаллельного взаимодействия между генами было выявлено по высоте растения. Отмечено, что данный признак контролируется по типу сверхдоминирования в первом поколении, а частичное доминирование выявилось во втором [18].

В Хорватии проведены исследования на озимой пшенице. Ведущим в контроле длины стебля является межлокусное аддитивное действие генов при частичном доминировании внутри локуса. Также можно было наблюдать комплементарный эпистаз. Степень наследуемости данного признака составляет 54–81% [19].

На базе Института полеводства и овощеводства (Сербия) проведена оценка генетических компонентов изменчивости. Она показала, что высота растений в первый год исследования преимущественно контролируется действием аддитивных генов. Неаддитивные эффекты генов были выявлены во второй год исследований [20].

Цель данной работы – изучить изменчивость длины колоса мягкой озимой пшеницы и систему генетического контроля в детерминации этого показателя.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объект исследований – 5 сортов и 1 линия отечественной и зарубежной селекции (Жемчужина Поволжья, Юбилейная 180, Фантазия х (Донская остистая х Мутант 114) (далее Фантазия), Сплав, Минская, Заларинка), различающихся между собой по ряду хозяйственно-ценных признаков, а также 30 диаллельных гибридов.

Опыты закладывали в 2013–2014 гг. в полевых условиях. Высевали сорта и гибриды F_1 . Площадь питания растений 10 x 20 (см²). Повторность опыта трехкратная. Предшественник – кулисный пар.

Экспериментальный материал обрабатывали методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову [20], генетический анализ проведен по Акселю и Джонсу [21] в модификации Р. А. Цильке, Л. П. Присяжной [22].

Генетику числа зерен в колосе озимой пшеницы изучали путем анализа графиков Хеймана [8, 9] (зависимость W_r от V_r – коварианса и варiances) и генетических параметров: $P3 - (W_r + V_r; X_p)$ – коэффициент корреляции между суммой $W_r + V_r$ и средним значением признака у родителей (мера направленности доминирования); $P6 - \sqrt{H1 / D}$ – мера средней степени доминирования внутри локусов в популяции; $P9 - 1/4 H2/H1$ – показатель среднего значения частот плюс и минус аллелей по всем локусам; $P13 - \sqrt{4DH1 + F} / \sqrt{4DH1 - F}$ – отношение общего числа доминантных генов к общему числу рецессивных у родительских сортов. $V_D, W_D; V_R, W_R$ – координаты для полностью доминантного и рецессивного родителя соответственно.

На графике Хеймана связь между W_r и V_r выражается через коэффициент линейной регрессии b_y . Этим параметром, которые дают относительно реальную ситуацию по организации количественного признака «длина стебля», мы и использовали в своих исследованиях.

Комбинационную способность рассчитывали по В. Гриффингу [6, 7, 23] модель I, метод I (в анализ включали данные по родителям, прямым и обратным гибридам).

По температурному режиму и количеству осадков условия вегетационного периода значительно различались по годам исследования.

Метеоусловия третьей декады августа 2012 г. (посев был проведен 21 августа) сложились благоприятно для получения дружных всходов и дальнейшего процесса кущения. Полевая всхожесть составила 78,2%.

Характеризуя погодные условия зимнего периода 2013 г., можно сказать о том, что пониженные температуры декабря и двух декад января отрицательно сказались на перезимовке озимых культур, в частности мягкой озимой пшеницы. Количество осадков в декабрьский и февральский периоды также было пониженным.

Анализ гидротермического режима летних месяцев периода вегетации характеризует погоду 2013 г. как прохладную и влажную (исключение составляет июнь).

Метеоусловия третьей декады августа 2013 г. (посев был проведен 18 августа) сложились благоприятно для получения дружных всходов и дальнейшего процесса кущения. Полевая всхожесть составила 76,4%.

В зимний период 2014 г. пониженные температуры были отмечены в третьей декаде января и первой – февраля. Но они не повлияли отрицательным образом на перезимовку озимых культур, в частности мягкой озимой пшеницы, поскольку количество осадков в декабрьский и январский периоды было достаточным.

Гидротермический режим летних месяцев периода вегетации характеризует погоду 2014 г. как среднюю по температуре и засушливую.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В наших исследованиях длина стебля у сортов в среднем составила 90,5 см (табл. 1). Благоприятные условия для формирования стебля сложились в 2013 г., у сортов показатель варьировал в 2013 г. от 74,3 (Минская) до 116,0 см

Таблица 1

| Сорт | Длина стебля, см | | Stalk length, cm | | Среднее | |
|--------------------|------------------|----------------|------------------|----------------|---------|----------------|
| | 2013 г. | | 2014 г. | | Среднее | |
| | P | F ₁ | P | F ₁ | P | F ₁ |
| Жемчужина Поволжья | 86,7 | 111,5 | 81,9 | 88,9 | 84,3 | 100,2 |
| Юбилейная 180 | 100,4 | 103,3 | 90,4 | 85,3 | 95,4 | 94,3 |
| Фантазия | 102,2 | 104,5 | 91,5 | 90,7 | 96,9 | 97,6 |
| Сплав | 98,1 | 100,9 | 78,1 | 84,6 | 88,1 | 92,8 |
| Минская | 74,3 | 112,2 | 73,5 | 88,7 | 73,9 | 100,5 |
| Заларинка | 116,0 | 106,7 | 92,1 | 88,0 | 104,1 | 97,4 |
| Среднее | 96,3 | 106,5 | 84,6 | 87,7 | 90,5 | 97,1 |
| НСР ₀₅ | 9,7 | | 8,8 | | 6,9 | |

(Заларинка); в 2014 г. – от 73,5 (Минская) до 92,1 см (Заларинка).

У гибридов F₁ (табл. 1) длина стебля оказалась в среднем больше, чем у родителей (97,1 против 90,5 см). В 2014 г. были отмечены равные показатели как у исходных форм, так и у гибридных комбинаций (84,6 и 87,7 см).

Результаты дисперсионного анализа (табл. 2) свидетельствуют о том, что на длину колоса большее влияние оказывает генотип (75,1%), доля влияния условий года в общей изменчивости признака составляет 4,2%, а взаимодействия факторов – 20,7%.

Таблица 2

Влияние факторов на изменчивость длины стебля Impact of factors on variability of stalk length

| Фактор | mS | F _ф | F ₀₅ | % |
|----------------|---------|----------------|-----------------|-------|
| Генотип | 657,63* | 17,68 | 1,50 | 75,07 |
| Условия года | 36,63 | 0,98 | 3,92 | 4,18 |
| Взаимодействие | 181,72* | 4,89 | 1,50 | 20,74 |
| Ошибка | 37,19 | - | - | - |

* Достоверно при P ≤ 0,05.

При изучении комбинационной способности сортов по их гибридам (табл. 3) оказалось, что

в наследовании длины колоса достоверны как аддитивные, так и неаддитивные эффекты генов, а также ядерно-плазменные взаимодействия по годам исследования.

Долевое соотношение вариантов свидетельствует о том, что в наследовании длины стебля по годам исследования преобладают неаддитивные эффекты генов (СКС). Реципрокный эффект (РЭ) по длине колоса выше в засушливых условиях вегетации (табл. 3).

Таблица 3

Комбинационная способность сортов озимой пшеницы по длине стебля Combination ability of winter wheat varieties on the stalk length

| Источник изменчивости | 2013 г. | | 2014 г. | |
|-----------------------|---------|-------|---------|-------|
| | mS | % | mS | % |
| ОКС | 74,88* | 20,64 | 24,46 | 17,83 |
| СКС | 205,57* | 56,67 | 77,10* | 56,22 |
| РЭ | 82,29* | 22,69 | 35,59* | 25,95 |

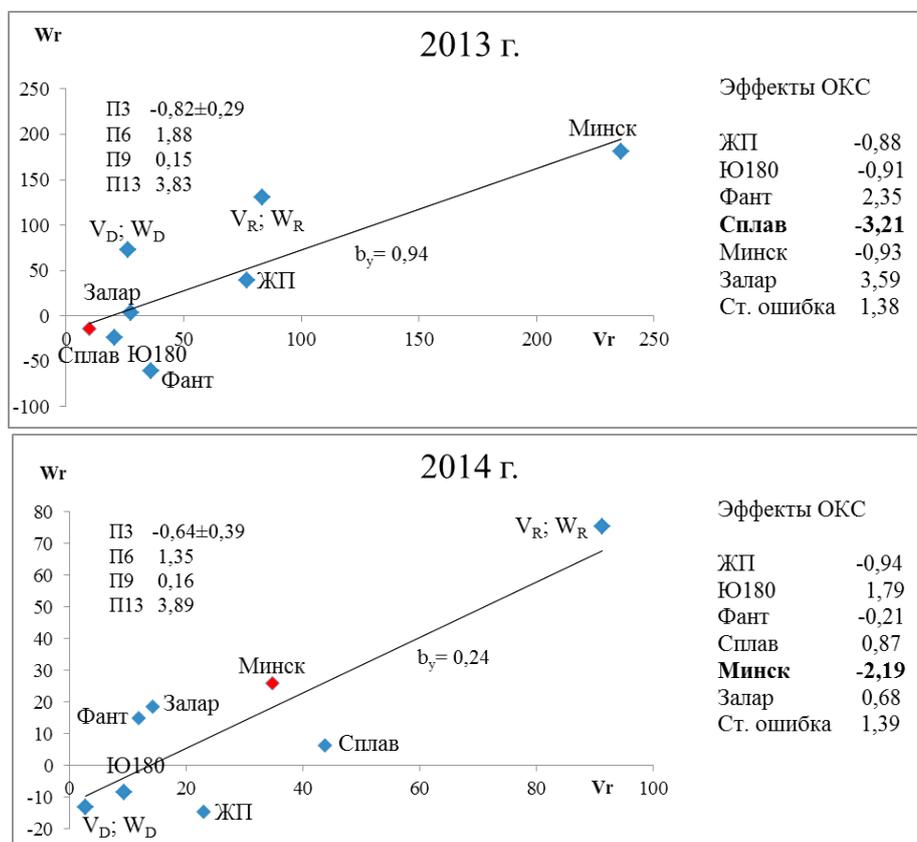
* Достоверно при P ≤ 0,05.

Анализируя оценки эффектов ОКС (рисунков), установили их значительное варьирование, что характеризует способность родительских

форм передавать свои положительные или отрицательные свойства потомкам в меняющихся условиях среды.

Так, отрицательные оценки эффектов ОКС отмечены у сорта Сплав в 2013 г., который характеризуется как прохладный и влажный в период

формирования зерна. Таким образом, мы можем говорить об его использовании в селекции на короткостебельность. В 2014 г. (засушливый период вегетации) отрицательными эффектами обладает сорт Минская, что также предполагает его участие как донора укорачивания соломины.



Генетика признака «длина стебля» сортов: ЖП – Жемчужина Поволжья; Ю180 – Юбилейная 180; Фант – Фантазия; Сплав; Минск – Минская; Залар – Заларинка

Genetics of “stalk length” parameter of varieties: ZhP – Zhemchuzhina Povolozhya; Yu180 – Yubeleynaya 180; F-Fantasia; Splav; Minsk-Minskaya; Zalar – Zalarinka

Анализ генетических параметров и графиков Хеймана (см. рисунок) позволяет отметить, что вне зависимости от условий года длину стебля увеличивают доминантные гены, так как ПЗ имеет отрицательную направленность.

Линия регрессии W_r/V_r пересекает ось ординат с отрицательной стороны, но слегка наклонена в сторону абсцисс (в 2013 г. $b_y = 0,94$). Эти факты указывают на присутствие в детерминации признака внутрилокусного сверхдоминирования. Наличие сверхдоминирования подтверждает и показатель средней степени доминирования, величина которого больше единицы ($P_6=1,88$). В 2014 г. отмечено неаллельное взаимодействие генов типа комплементарного (рецессивного) эпистаза.

В первый год исследования в генетическом контроле главным является сверхдоминирова-

ние, во второй – присутствие комплементарного эпистаза. Следовательно, имеет место факт перераспределения генетической системы контроля признака.

В локусах, проявляющих доминирование, произведение частот плюс и минус аллелей асимметрично как в 2013 г. ($P_9=0,15$), так и в 2014 г. ($P_9=0,16$). Соотношение доминантных и рецессивных генов у родительских форм указывает на превалирование первых ($P_{13}=3,83$) и в 2013 г.; и в 2014 г. ($P_{13}=3,89$).

Анализ расположения точек сортов на графике Хеймана вдоль линии регрессии показывает их перемещение. Большинство сортов, участвующих в эксперименте в 2013 г. находились в доминантной зоне, кроме сорта Минская, а в 2014 г. сорта Минская и Сплав переместились в рецессивную.

Остальные сорта относительно стабильно находятся в доминантной зоне.

Во влажных условиях 2013 г. наибольшее количество доминантных генов имеет сорт Заларинка, а рецессивных – Сплав. В засушливом 2014 г. преобладание доминантных генов отмечено у сорта Юбилейная 180, а рецессивных – у сорта Минская.

Эти факты говорят о том, что за период вегетации у сортов и гибридов проявляется значительное взаимодействие «генотип – среда». В разных ситуациях возможны случаи подключения или блокировки иных генов у того или иного сорта, а также переопределения генетической формулы признака.

ВЫВОДЫ

1. Проведенный анализ экспериментального материала позволяет заключить о сложности се-

лекции на снижение высоты стебля. Это объясняется наличием сверхдоминирования и комплексного эпистаза в наследовании признака, влиянием как материнского эффекта, так и ядерно-плазменных взаимодействий, взаимодействием «генотип – среда», а также тем, что длину стебля увеличивают доминантные гены.

2. В экстремальных условиях результативность отбора прогнозировать затруднительно. Отсюда селекцию на короткостебельность предпочтительно вести в более поздних поколениях гибридов ($F_4 - F_6$), когда большинство генотипов перейдет в гомозиготное состояние.

3. В качестве доноров в условиях переувлажнения можно использовать сорт Сплав, а в условиях засухи – сорт Минская.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мережко А. Ф. Роль генетических ресурсов в современной селекции растений // Генетические ресурсы культурных растений: материалы междунар. науч.-практ. конф. (ВИР, 13–16 нояб. 2001 г.). – СПб.: ВИР, 2001. – С. 351–354.
2. Цильке Р. А. Генетика. Цитогенетика и селекция растений. – Новосибирск: НГАУ, 2003. – 620 с.
3. Мухордова М. Е. Система генетических детерминант продуктивной кустистости мягкой озимой пшеницы // Вестн. Ом. гос. аграр. ун.-та. – 2016. – № 3 (23). – С. 12–17.
4. Мухордова М. Е. Концепция генетических детерминант массы 1000 зерен мягкой озимой пшеницы // Вестн. НГАУ. – 2015. – № 4 (37). – С. 35–39.
5. Grebennikova I. G., Aleynikov A. F., Stepankin P. I. Diallel analysis of the number of spikelets per spike in spring triticale // Bulgarian Journal of Agricultural Science. – 2011. – N 17 (6). – P. 755–759.
6. Griffing B. I. A generalized treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance // Heredity. – 1956. – N 10. – P. 31–50.
7. Griffing B. I. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems // Austral. J. Biol. Sci. – 1956. – N 9. – P. 463–493.
8. Hayman B. I. The analysis of variance of diallel tables // Biometrics. – 1954. – N 10. – P. 235–244.
9. Hayman B. I. The theory and analysis of diallel crosses // Genetics. – 1954. – N 39. – P. 789–809.
10. Королеушкина М. С., Сандухадзе Б. И., Рыбакова М. И. Селекция озимой пшеницы на продуктивность и короткостебельность с использованием полукарликовой линии Л-982/08 (Agarik × Памяти Федина) // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 7. – С. 42–46.
11. Кривобочек В. Г., Косенко С. В. Исходный материал для селекции озимой пшеницы на снижение высоты растений в условиях лесостепи Среднего Поволжья // Вестн. Саратов. гос. аграр. ун.-та им. Н. И. Вавилова. – 2010. – № 8. – С. 17–20.
12. Косенко С. В., Кривобочек В. Г. Генетический контроль высоты растений озимой мягкой пшеницы // Аграр. науч. журн. – 2015. – № 12. – С. 21–23.
13. Костылев П. И., Марченко Д. М. Изучение взаимосвязи морфобиологических признаков мягкой озимой пшеницы с зерновой продуктивностью // Вестн. аграр. науки Дона. – 2010. – № 1. – С. 76–79.
14. Некрасова О. А. Типы наследования высоты растений у гибридов F_1 мягкой озимой пшеницы // Аграр. вестн. Урала. – 2014. – № 11 (129). – С. 12–15.
15. Genetic analysis of plant height and its components in diallel crosses of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) / J. B. Yao, H. X. Ma, L. J. Ren [et al.] // AJCS. – 2011. – N. 5 (11). – P. 1408–1418.
16. Dağüstü N. Genetic analysis of grain yield per spike and some agronomic traits in diallel crosses of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) // Turkish Journal of Agriculture and Forestry. – 2008. – N. 32 (4). – P. 249–258.

17. Ivanovska S., Kraljević-Balalić M., Stojkovski C. Diallel analysis for plant height in winter wheat // *Genetika*. – 2003. – Vol. 35, N 1. – P. 11–19.
18. *Agricultural Quantitative inheritance of some wheat plant traits* / D. Novoselovic, M. Baric, G. Drezner, [et al.] // *Genetics and Molecular Biology*. – 2004. – Vol. 27, N 1. – P. 92–98.
19. Gorjanović B., Kraljević-Balalić M. Inheritance of plant height and spike length in wheat // *Genetika*. – 2005. – Vol. 37, N 1. – P. 25–31.
20. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. – М., 1979. – 415 с.
21. Aksel R., Johnson L. Analysis of diallel cross: a work example // *Advancing Frontiers of Plant Sciences*. – 1963. – Vol. 16. – P. 37–53.
22. Цильке Р. А., Присяжная Л. П. Методика диаллельного анализа исходного материала по количественным признакам: метод. рекомендации. – Новосибирск, 1979. – 15 с.
23. Griffing B. Analysis of quantitative gene action by constant parent regression and related techniques // *Genetics*. – 1950. – Vol. 35. – P. 303–312.

REFERENCES

1. Merezhko A. F. *Geneticheskie resursy kul'turnyh rastenij, Mezhdunar. n. – p. konf.*, (The role of genetic resources in modern plant breeding, Proceedings of the International Conference), Abstract of paper, November 13–16, 2001, S-Pb, VIR, 2001, pp. 351–354. (In Russ.)
2. Cil'ke R. A. *Genetika. Citogenetika i selekciya rastenij* (Genetics. Cytogenetics and plant breeding), 2003, 620 p.
3. Muhordova M. E. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2016, No. 3 (23), pp. 12–17. (In Russ.)
4. Muhordova M. E. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2015, No. 4 (37), pp. 35–39. (In Russ.)
5. Grebennikova I. G., Aleynikov A. F., Stepochkin P. I. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2011, No. 17 (6), pp. 755–759.
6. Griffing B. I. *Heredity*, 1956, No.10, pp. 31–50.
7. Griffing B. I. *Austral. J. Biol. Sci.*, 1956, No.9, pp. 463–493.
8. Hayman B. I. *Biometrics*, 1954, No.10, pp. 235–244.
9. Hayman B. I. *Genetics*, 1954, No.39, pp. 789–809.
10. Korovushkina M. S. Sanduhadze B. I., Rybakova M. I. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2012, No.7, pp.42–46. (In Russ.)
11. Krivobochech V. G. Kosenko S. V. *Vestnik gosagro universiteta im. N. I. Vavilova*, 2010, No. 8, pp. 17–20. (In Russ.)
12. Kosenko S. V. Krivobochech V. G. *Agrarnyj nauchnyj zhurnal*, 2015, No. 12, pp. 21–23. (In Russ.)
13. Kostylev P. I. Marchenko D. M. *Vestnik agrarnoj nauki Dona*, 2010, No.1, pp. 76–79. (In Russ.)
14. Nekrasova O. A. *Agrarnyj vestnik Urala*, 2014, No.11 (129), pp. 12–15. (In Russ.)
15. Yao J. B., Ma H. X., Ren L. J. *AJCS*, 2011, No.5 (11), pp. 1408–1418.
16. Dağüstü N. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 2008, No.32 (4), pp. 249–258.
17. Ivanovska S., Kraljević-Balalić M., Stojkovski C. *Genetika*, 2003, No. 1 (35), pp. 11–19.
18. Novoselovic D., Baric M., Drezner G. *Genetics and Molecular Biology*, 2004, No.1 (27), pp. 92–98.
19. Gorjanović B., Kraljević-balalić M. *Genetika*, 2005, No.1 (37), pp. 25–31.
20. Dospikhov B. A. *Metodika polevogo opyta* (Methodology of field experience), 1979, 415p.
21. Aksel R., Johnson L. *Advancing Frontiers of Plant Sciences; Vol. 2: Ed. Radhuvira. Inst. for Advance of Sciences and Culture*, 1963, Vol.16, pp. 37–53.
22. Cil'ke R. A., Prisyazhnaya L. P. *Metodika diallel'nogo analiza iskhodnogo materiala po kolichestvennym priznakam* (The method diallel analysis of the source material for quantitative traits), 1979, 15p.
23. Griffing B. *Genetics*, 1950, Vol. 35, pp. 303–312.