

ИСТИННЫЙ ГЕТЕРОЗИС И ФЕНОТИПИЧЕСКОЕ ДОМИНИРОВАНИЕ ВНУТРИВИДОВЫХ ГИБРИДОВ ПЕРВОГО ПОКОЛЕНИЯ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

А. А. ПОТАПЕНКО, А. Н. ИВАНИСТОВ, А. А. ПУГАЧ

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407

(Поступила в редакцию 12.01.2026)

Статья посвящена изучению истинного гетерозиса и фенотипического доминирования у гибридов первого поколения (F_1) яровой мягкой пшеницы. Проведена оценка 19 гибридных комбинаций и родительских форм по комплексу морфо-биологических признаков: общей и продуктивной кустистости, элементам продуктивности колоса, массе зерна, высоте растений, вегетационному периоду и урожайности. Для анализа использовались формулы расчёта истинного гетерозиса ($H_{ист}$) и коэффициента фенотипического доминирования (H_p).

Результаты показали, что по большинству компонентов урожайности у гибридов F_1 наблюдался положительный истинный гетерозис и сверхдоминирование ($H_p > +1$). Наибольшие значения гетерозиса зафиксированы по продуктивной кустистости (до +76,4 % у комбинации Ахона × GY 437) и общей кустистости (до +53,8 %). В отличие от предыдущего анализа, в данном исследовании по урожайности у гибридов выявлен положительный гетерозис (от -5,6 % до +100 %) и преобладание сверхдоминирования гибридных форм ($H_p > +1$). Полученные данные важны для разработки стратегий гибридной селекции, направленной на усиление гетерозиса по ключевым компонентам урожайности яровой пшеницы.

Перспективы развития гибридной селекции мягкой яровой пшеницы тесно связаны с углублением фундаментальных знаний о генетике гетерозиса и доминирования. Дальнейшие исследования будут направлены на выявление конкретных генов и регуляторных путей, ответственных за проявление этих эффектов, что позволит перейти от эмпирического отбора к более предсказуемому и целенаправленному созданию высокоэффективных гибридных комбинаций. Изучение гибридов и дальнейшая селекционная работа с ними позволит выделить ценные генотипы для селекционной работы.

Ключевые слова: яровая мягкая пшеница, истинный гетерозис, фенотипическое доминирование, гибриды первого поколения.

This article examines true heterosis and phenotypic dominance in first-generation (F_1) hybrids of spring soft wheat. Nineteen hybrid combinations and parental forms were evaluated for a range of morphobiological traits: total and productive tillering, ear productivity factors, grain weight, plant height, growing season, and yield. Formulas for calculating true heterosis (H_{true}) and the phenotypic dominance coefficient (H_p) were used for the analysis. The results showed that positive true heterosis and overdominance ($H_p > +1$) were observed for most yield components in the F_1 hybrids. The highest heterosis values were recorded for productive tillering (up to +76.4 % for the Axona × GY 437 combination) and total tillering (up to +53.8 %). In contrast to the previous analysis, this study revealed positive heterosis (from -5.6 % to +100 %) and a predominance of overdominance in hybrid forms ($H_p > +1$) for yield. The obtained data are important for developing hybrid breeding strategies aimed at enhancing heterosis for key yield components in spring wheat.

Prospects for the development of hybrid breeding in soft spring wheat are closely linked to improved fundamental knowledge of the genetics of heterosis and dominance. Further research will be aimed at identifying the specific genes and regulatory pathways responsible for these effects, which will enable a transition from empirical selection to a more predictable and targeted development of highly effective hybrid combinations. Studying these hybrids and further breeding work with them will allow us to identify valuable genotypes for breeding.

Key words: spring bread wheat, true heterosis, phenotypic dominance, first-generation hybrids.

Введение

Для современного сельского хозяйства гибридная селекция является неотъемлемой частью стратегии по адаптации культур к новым вызовам, таким как засухи, новые болезни и вредители, а также к необходимости снижения экологического следа земледелия [2, с. 45–48]. Исследование механизмов истинного гетерозиса и доминирования у яровой мягкой пшеницы открывает новые горизонты для разработки сортов, которые не только обладают повышенной урожайностью, но и лучшей адаптивностью к неблагоприятным условиям, обеспечивая устойчивое развитие агропромышленного комплекса [8, с. 12–15].

Актуальность данной темы особенно возрастает в условиях постоянно растущего населения планеты и изменяющегося климата, что требует от аграрного сектора поиска инновационных решений для обеспечения стабильного и достаточного производства продовольствия [1, с. 33–35]. Пшеница, как одна из основных зерновых культур, играет ключевую роль в питании миллиардов людей, и любые улучшения её урожайности или устойчивости к стрессовым факторам имеют глобальное значение.

Гетерозис, или «гибридная сила», — это феномен, при котором гибриды первого поколения (F_1) превосходят свои родительские формы по ряду признаков, таких как размер, скорость роста, плодо-

витость и устойчивость к болезням. Впервые описанный И. Г. Кёльрейтером и детально изученный Д. Шеллом в начале XX века, гетерозис быстро стал одним из центральных понятий в генетике и селекции [6, с. 5–10].

В селекции мягкой яровой пшеницы гетерозис способствует повышению урожайности, устойчивости к биотическим (болезни, вредители) и абиотическим (засуха, холод) стрессам, а также улучшению качества зерна и общей биомассы растений [8, с. 67–70].

Понимание истинного гетерозиса позволяет селекционерам целенаправленно создавать гибридные комбинации, которые не просто сочетают лучшие качества родителей, но и демонстрируют качественно новые, улучшенные характеристики, что является ключом к развитию высокоэффективного растениеводства [6, с. 102–110].

В настоящее время изучение гетерозиса перешло на качественно новый уровень благодаря развитию молекулярно-генетических методов [10, с. 156–160]. Геномные технологии, такие как полногеномное секвенирование и ассоциированный поиск (GWAS), позволяют идентифицировать гены и генетические локусы, ответственные за проявление гетерозиса. Это открывает возможности для более точного прогнозирования гибридных комбинаций с высоким гетерозисным эффектом, а также для использования методов редактирования генома для целенаправленного создания новых высокопродуктивных гибридов пшеницы, адаптированных к конкретным условиям выращивания и вызовам современного сельского хозяйства [5, с. 239–240].

Фенотипическое доминирование характеризует степень проявления доминантного признака у гибридов по сравнению с их родительскими формами. Этот показатель является критически важным для понимания генетической архитектуры признаков и прогнозирования результатов скрещивания. Степень доминирования часто измеряется коэффициентом H_p [3, с. 24–26].

В селекции пшеницы, как и других сельскохозяйственных культур, практическое применение знаний о типах доминирования трудно переоценить. Например, для таких количественных признаков, как урожайность, устойчивость к полеганию или содержанию белка в зерне, селекционеры стремятся выявить комбинации, демонстрирующие сверхдоминирование [4, с. 134–137]. Это позволяет получать гибриды, значительно превосходящие по своим характеристикам лучшие родительские формы, что является ключевым для повышения продуктивности и адаптивности сортов [8, с. 89–92].

Знание характера доминирования также помогает в выборе оптимальной стратегии селекции. При полном или частичном доминировании можно эффективно проводить отбор уже в ранних гибридных поколениях. В случае же аддитивного наследования или сверхдоминирования, требуются иные подходы, например, использование рекуррентного отбора или создание синтетических популяций для накопления желаемых аллелей. Таким образом, анализ доминирования является фундаментом для разработки эффективных программ скрещивания и отбора [9, с. 104–106].

Взаимосвязь между доминированием и гетерозисом особенно проявляется в феномене сверхдоминирования [6, с. 75–80]. Именно этот тип доминирования лежит в основе «гибридной силы», когда гибриды F_1 показывают превосходство над обеими родительскими линиями по одному или нескольким признакам. Для пшеницы, как самоопыляющейся культуры, получение стабильного гетерозиса требует особого подхода, но потенциал увеличения урожайности и устойчивости делает эти исследования чрезвычайно важными для современного агропромышленного комплекса [7, с. 51].

Целью наших исследований являлось определить истинный гетерозис и фенотипическое доминирование гибридов первого поколения яровой мягкой пшеницы.

Основная часть

Оценку гибридов F_1 по хозяйственно-биологическим признакам вели с одновременным анализом изучаемых показателей у родительских форм и вычислением величины истинного гетерозиса [11, с. 263–265]:

$$G_{ист} = (F_1 - P_{л}) / P_{л} \times 100$$

где $G_{ист}$ – истинный гетерозис (%); F_1 – среднее значение изучаемого признака у гибридов F_1 ; $P_{л}$ – среднее значение признака у растений лучшей родительской формы;

Характер наследования признаков у гибридов первого поколения определяли по коэффициенту фенотипического доминирования [11, с. 263–265]:

$$H_p = (F_1 - P_{cp}) / (P_{л} - P_{cp})$$

где H_p – коэффициент фенотипического доминирования; F_1 – среднее значение изучаемого признака у гибрида первого поколения; P_{cp} – среднее значение признака обеих родительских форм; P_l – среднее значение признака у растений лучшей родительской формы.

Коэффициент H_p , также известный как коэффициент доминирования, позволяет количественно оценить характер наследования признака у гибридов F_1 . Он рассчитывается по формуле, где сравнивается отклонение фенотипа гибрида от фенотипа одного из родителей с разницей между фенотипами обоих родителей. Значение $H_p = 0$ указывает на полное отсутствие доминирования (аддитивное наследование), $H_p = 1$ — на полное доминирование, когда фенотип гибрида неотличим от фенотипа доминантного родителя. Если $0 < H_p < 1$, это свидетельствует о неполном доминировании, когда фенотип гибрида занимает промежуточное положение. Особое значение имеет $H_p > 1$, что указывает на сверхдоминирование, или истинный гетерозис, когда гибриды превосходят обе родительские формы. Рассмотрим результаты истинного гетерозиса в табл. 1.

Таблица 1. Истинный гетерозис гибридов первого поколения яровой мягкой пшеницы

Комбинация скрещивания	Длина главного колоса пшеницы	Общая кустистость пшеницы	Продуктивная кустистость	Число колосков	Число зерен	Масса зерна с растения	Масса 1000 семян	Высота растения	Вегетационный период	Урожайность пшеницы
Сабрена × QH 01	-8,1	-5,71	-5,8	0,0	-2,4	17,2	5,4	1,02	2,6	-5,6
Ставињска × XN 198	6,5	0	12,8	5,5	5,5	7,0	0,0	0,0	-0,8	25,0
Дарья × QC 10	18,3	27,7	32,3	5,0	5,0	-6,6	2,7	6,3	0,0	33,3
GY 437 × Ахона	35,7	15,38	26,4	22,2	19,4	2,4	0,0	-5,0	1,7	33,3
XN 892-4 × Дарья	-17,2	33,3	41,1	-15,0	-12,5	6,4	2,5	-15,2	-0,8	50,0
Монета × QC 10	9,0	16,2	13,8	5,5	2,7	3,5	2,7	-2,8	1,7	26,3
QC 38 × Дарья	8,0	27,7	35,2	-10,0	-7,5	4,6	13,2	3,2	0,8	37,5
Сабрена × GY 437	1,1	31,4	35,2	0,0	0,0	10,1	-15,0	2,0	1,7	28,6
Ставињска × QC 07	17,3	-25,4	24,2	16,6	16,6	-5,5	0,0	-0,9	0,8	38,5
QC 07 × Сабрена	6,1	-27,2	17,6	15,7	13,1	4,2	8,3	0,0	0,8	50,0
Ахона × QC 07	4,0	-21,8	23,5	16,6	16,6	3,4	5,6	0,0	1,7	28,6
QH 01 × Монета	17,5	5,4	8,3	10,0	9,7	7,9	-2,7	-13,0	2,6	45,5
QH 01 × Ставињска	8,2	14,2	21,2	5,0	2,4	6,4	-2,6	-10,1	1,7	28,6
XN 892-4 × Ахона	-3,9	20,5	38,2	5,5	5,5	-3,5	0,0	-25,2	0,8	50,0
QC 38 × Монета	16,8	21,6	25	5,8	5,8	3,2	10,5	-11,2	0,0	42,9
Дарья × QC 38	11,4	19,4	26,4	5,0	7,5	0,0	5,3	-1,07	-0,8	42,9
Ахона × GY 437	8,3	53,8	76,4	5,5	8,3	8,0	-5,0	0,0	0,8	100,0
QC 10 × Ахона	19,3	43,5	64,7	5,5	2,7	-6,6	0,0	-16,1	1,7	100,0
QC 07 × Ставињска	35,7	-7,2	54,5	22,2	22,2	-4,7	10,5	1,85	0,8	100,0

Величина истинного гетерозиса у гибридов первого поколения по признакам общей и продуктивной кустистости в большинстве комбинаций скрещиваний имела положительное значение и достигала 53,8 % (Ахона × GY 437) по общей кустистости и 76,4 % (Ахона × GY 437) по продуктивной кустистости.

Гибриды F_1 в 14 комбинациях скрещивания имели большую высоту по отношению к наиболее высокорослому родителю (всего 19 комбинаций).

По признакам главного колоса наблюдались различия между гибридными комбинациями. Так, величина истинного гетерозиса по длине главного колоса находилась в пределах от -17,2 % (XN 892-4 × Дарья) до 35,7 % (GY 437 × Ахона, QC 07 × Ставињска), по числу колосков главного колоса от -15,0 % (XN 892-4 × Дарья) до 22,2 % (GY 437 × Ахона, QC 07 × Ставињска). При этом преобладали гибридные комбинации с положительным значением истинного гетерозиса.

Наибольшее значение истинного гетерозиса по числу зерен с главного колоса имели следующие комбинации скрещиваний: 19,4 % (GY 437 × Ахона), 16,6 % (Ставињска × QC 07, Ахона × QC 07), 13,1 % (QC 07 × Сабрена), 22,2 % (QC 07 × Ставињска). Максимальное значение по признаку масса зерна с растения отмечены в следующих комбинациях: 10,1 % (Сабрена × GY 437), 17,2 % (Сабрена × QH 01), 8,0 % (Ахона × GY 437). По массе 1000 зерен: 13,2 (QC 38 × Дарья), 10,5 (QC 38 × Монета, QC 07 × Ставињска), 8,3 (QC 07 × Ставињска).

Величина истинного гетерозиса у гибридов первого поколения по вегетационному периоду в большинстве комбинаций имела положительное значение и достигала 2,6 % (Сабрена × QH 01, QH 01 × Монета). У гибридов F_1 яровой мягкой пшеницы наблюдался положительный истинный гетерозис по признакам урожайности.

Рассмотрим результаты фенотипического доминирования в табл. 2.

Таблица 2. Фенотипическое доминирование гибридов первого поколения

Комбинация скрещивания	Длина главного колоса пшеницы	Общая кустистость пшеницы	Продуктивная кустистость	Число колосков	Число зерен	Масса зерна с растения	Масса 1000 семян	Высота растения	Вегетационный период	Урожайность пшеницы
Сабрена × QH 01	-0,2	0,0	0,2	1,0	0,3	23,50	3,0	3,0	7,0	-0,3
Ставиньска × XN 198	1,4	1,0	2,7	1,5	1,6	4,43	1,0	1,0	0,0	0,0
Дарья × QC 10	31,0	11,0	6,5	2,0	2,3	-0,02	2,0	7,0	1,0	4,0
GY 437 × Ахона	8,5	3,4	4,6	9,0	15,0	1,20	1,0	-0,4	2,3	0,8
XN 892-4 × Дарья	-5,0	0,6	8,3	0,0	-0,1	-0,30	1,4	-0,4	0,0	1,3
Монета × QC 10	3,7	5,0	2,7	3,0	1,7	1,44	0,0	0,5	3,0	2,8
QC 38 × Дарья	4,5	3,5	4,4	0,0	0,3	1,57	4,3	1,7	0,0	6,8
Сабрена × GY 437	3,0	23,0	5,8	1,0	1,0	2,37	-1,4	1,7	3,0	5,0
Ставиньска × QC 07	6,7	-0,4	9,0	4,0	4,0	0,24	1,0	0,9	0,0	9,8
QC 07 × Сабрена	1,9	-0,5	5,0	3,0	2,7	1,26	7,0	1,0	3,0	6,0
Ахона × QC 07	1,4	-0,5	6,3	4,0	4,0	1,28	0,0	1,0	0,0	3,0
QH 01 × Монета	3,3	1,7	1,9	2,3	2,1	1,89	0,0	-1,8	0,0	0,0
QH 01 × Ставиньска	4,2	3,5	4,5	2,0	1,4	1,64	-1,0	-1,0	3,0	2,3
XN 892-4 × Ахона	-2,0	7,0	7,7	1,5	1,8	-1,20	1,0	-0,9	0,0	0,0
QC 38 × Монета	29,0	2,8	3,0	3,0	3,0	1,47	9,0	0,0	1,0	4,0
Дарья × QC 38	6,0	2,8	3,6	1,5	1,8	1,00	2,3	0,8	0,0	4,0
Ахона × GY 437	2,8	9,4	11,4	3,0	7,0	1,67	0,0	1,0	1,7	0,0
QC 10 × Ахона	3,8	7,8	12,0	0,0	3,0	0,43	1,0	-5,4	0,0	0,0
QC 07 × Ставиньска	12,7	0,6	19,0	5,0	5,0	0,35	5,0	1,2	0,0	2,3

По признакам общей и продуктивной кустистости наблюдалось сверхдоминирование $H_p > +1$. Анализируя коэффициент доминирования по высоте растений, следует отметить, что у 50 % гибридных комбинаций наблюдалось сверхдоминирование $H_p > +1$, у 30 % гибридных комбинаций наблюдалась сильная депрессия высоты растений ($H_p < -1$), у 20 % гибридных комбинаций наблюдалось промежуточное наследование $H_p = 0$.

По такому показателю главного колоса, как длина колоса наблюдалось сверхдоминирование $H_p > +1$. По числу колосков и числу зерен также наблюдалось сверхдоминирование $H_p > +1$. По массе зерна с растения и массе 1000 зерен наблюдалось сверхдоминирование $H_p > +1$.

Коэффициент фенотипического доминирования по показателю вегетационного периода у гибридных комбинаций был $H_p = 0$ – промежуточное наследование.

По показателю урожайности наблюдалось сверхдоминирование гибрида над родительской формой ($H_p > +1$).

Заключение

Перспективы развития гибридной селекции мягкой яровой пшеницы тесно связаны с углублением фундаментальных знаний о генетике гетерозиса и доминирования. Дальнейшие исследования будут направлены на выявление конкретных генов и регуляторных путей, ответственных за проявление этих эффектов, что позволит перейти от эмпирического отбора к более предсказуемому и целенаправленному созданию высокоэффективных гибридных комбинаций. Изучение гибридов и дальнейшая селекционная работа с ними позволит выделить ценные генотипы для селекционной работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Драгавцева, И. А. Генетика и селекция сельскохозяйственных растений: учебник / И. А. Драгавцева, З. А. Морозова. – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 540 с.
2. Жученко, А. А. Адаптивная система селекции растений (эколого-генетические основы). Т. 1 / А. А. Жученко. – М.: РУДН, 2001. – 780 с.
3. Карманов, А. Н. Оценка параметров доминирования (h_p) для селекционно-ценных признаков у гибридов яровой пшеницы / А. Н. Карманов // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – Т. 31, № 5. – С. 24–27.
4. Кильчевский, А. В. Генетика количественных признаков растений / А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылева. – Минск: Беларуская наука, 2011. – 270 с.
5. Ляшенко, О. Н. Геномные технологии в селекции растений: от маркеров к редактированию / О. Н. Ляшенко, Е. Ю. Горбунова // Сельскохозяйственная биология. – 2020. – Т. 55, № 2. – С. 229–243.
6. Постников, П. А. Гетерозис у растений: теория и практика / П. А. Постников. – Минск: Беларуская наука, 2010. – 327 с.
7. Пыльнев, В. В. Особенности проявления гетерозиса у самоопыляющихся культур (на примере пшеницы) / В. В. Пыльнев, Л. Н. Бруева, И. А. Потапова // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2012. – № 6. – С. 49–51.
8. Сандухадзе, Б. И. Селекция и семеноводство яровой мягкой пшеницы в Нечерноземной зоне / Б. И. Сандухадзе, Н. Н. Иванова, Н. А. Ковтунова. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2015. – 276 с.
9. Кильчевский, А. В. Генетические основы селекции растений: в 4 т. / А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылева; под редакцией А. В. Кильчевского, Л. В. Хотылевой. – Минск: Беларуская наука, 2008. – Т.1: Общая генетика растений. – 551 с.
10. Шевелуха, В. С. Сельскохозяйственная биотехнология: учебник / В. С. Шевелуха, Е. А. Калашникова, С. В. Дегтярев. – М.: Высшая школа, 2003. – 469 с.
11. Абрамова, З. В. Генетика. Программированное обучение / З. В. Абрамова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 287 с.