

Растениеводство, защита и биотехнология растений

УДК 633.16; 631.527

DOI 10.31857/S2500262725030036 EDN FDOYSB

ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ КОЛЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ НА УВЕЛИЧЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПОСЕВА

© 2025 г. Л. В. Панихина, И. Н. Щенникова, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН

Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого,
610007, Киров, ул. Ленина, 166а
E-mail: panikhina95@yandex.ru

*Исследование проводили в 2022–2024 гг. в Кировской области с целью выделить новый исходный материал для селекции на основе изучения генотипических особенностей коллекционных образцов ярового ячменя, проявляющихся в реакции морфологических признаков на изменение плотности посева. Объект изучения – 31 образец ячменя (*Hordeum vulgare* L.). Схема опыта включала варианты с нормой высева 5,0 млн шт./га (контроль) и 7,0 млн шт./га. Почва – дерново-подзолистая среднесуглинистая. Погодные условия лет исследования варьировали от засушливых (ГТК=0,73) в 2024 г. до избыточного увлажнения (ГТК=2,03) в 2022 г. В среднем за годы изучения к уборке в контроле сохранялось 411 шт./м² (93 %), в экспериментальном варианте – 585 шт./м² (92 %). Метеорологические условия воздействовали на изменение урожайности, длину и озерненность колоса, продуктивность колоса и растения (доля вклада 43,6...69,3 %). Норма высева повлияла на количество сохранившихся к уборке растений и продуктивный стеблестой (16,8...27,9 %). В среднем по годам и выборке образцов с увеличением густоты посева отмечено достоверное снижение общей (на 0,16) и продуктивной (на 0,11) кустистости, длины колоса (на 0,2 см), количества колосков (на 0,8 шт.) и зерен (на 0,7 шт.) в колосе, массы зерна с растения (0,06 г). Выделены образцы Салаир, Radegast, Л-223/15 и Л-209/11, у которых при увеличении густоты посева урожайность достоверно увеличилась на 165...243 г/м², масса зерна с растения – на 0,28...0,68 г и масса 1000 зерен – на 2,4...4,0 г.*

FEATURES OF MORPHOLOGICAL REACTIONS OF COLLECTION SAMPLES OF SPRING BARLEY TO AN INCREASE IN CROP DENSITY

L. V. Panikhina, I. N. Shchennikova

Rudnitsky Federal Agrarian Scientific Center of the North-East,
610007, Kirov, ul. Lenina, 166a
E-mail: panikhina95@yandex.ru

*The research was conducted in 2022–2024 in the Kirov region in order to identify a new source material for breeding based on the study of genotypic features of collectible samples of spring barley, manifested in the reaction of morphological features to changes in crop density. The object of study was 31 samples of spring barley (*Hordeum vulgare* L.). The scheme of the experiments: crop density 5.0 million pcs./ha (control) and 7.0 million pcs./ha. The observations and accounting of the harvest were carried out in accordance with the Methodological guidelines for the study and preservation of the world collection of barley and oats. The registered area of the plot is 1.35 m², the repeat rate is twofold. The soil is sod-podzolic medium loamy. Weather conditions ranged from arid (HTC=0.73) in 2024 to excessive moisture (HTC=2.03) in 2022. On average, over the years of study, 411 pcs./m² (93 %) remained in the control for harvesting, 585 pcs./m² (92 %) in the experiment. Meteorological conditions affected the change in yield, ear length, quantities grain of the ear, productivity of the ear and the plant (contribution share 43.6–69.3 %), the density of the crop affected the number of plants preserved for harvesting and productive stand (16.8–27.9 %). On average, over the years and in the sample, with an increase in crop density, there was a significant decrease in general (by 0.16) and productive (0.11) bushiness, ear length (0.2 cm), number of spikelets (0.8 pcs.) and grains (0.7 pcs.), grain weight per plant (0.06 g). Selected samples Salair, Radegast, L-223/15 and L-209/11 which significantly increased yields by 165...243 g/m², grain weight from the plant by 0.28...0.68 g, and thousand-kernel weight by 2.4...4.0 g with an increase in crop density.*

Ключевые слова: ячмень (*Hordeum vulgare* L.), густота посева, структура урожайности, продуктивный стеблестой, масса 1000 зерен, масса зерна с растения, сохранность растений.

Key words: *Hordeum vulgare* L., crop density, yield structure, productive stand, thousand-kernel weight, grain weight from the plant, plant safety.

Для достижения потенциально возможных урожаев сельскохозяйственных культур, в том числе ячменя, необходимо разрабатывать и совершенствовать те агротехнические приемы, которые позволяют сделать производственный процесс менее зависимым от факторов внешней среды [1]. Самым эффективным и экологически безопасным способом уменьшения негативного влияния регионспецифических стрессовых факторов была и остается селекция [2, 3]. Разработка и совершенствование технологии выращивания в соответствии с требованиями культуры позволяет увеличивать ее урожайность благодаря полной реализации генетического потенциала [4, 5].

Урожайность ярового ячменя в значительной степени зависит от количества продуктивных стеблей на единице площади [6, 7]. Установлено [8], что показателем «густота продуктивного стеблестоя» определяет уровень урожайности только в засушливые годы ($r=0,866$), в условиях достаточного увлажнения отмечено его обратное значимое влияние ($r=-0,493$). Однако количество высеянных семян не всегда обуславливает урожайность сортов ярового ячменя [9]. Это объясняют проявлением генотипических особенностей сортов в их реакции на условия произрастания. В ранее проведенных на базе Федерального государственного бюджетно-

го научного учреждения «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» исследованиях было установлено, что увеличение густоты посева влияет на структурные показатели растений ярового ячменя, снижает продуктивность и качество зерна [10, 11]. Наибольшие изменения параметров в сторону ухудшения отмечали при увеличении густоты посева культуры до 7,0 млн всхожих зерен на 1 га [11]. Причиной этому служит уменьшение площади питания и усиление конкуренции между растениями за тепло, свет и влагу. Рекомендуемая густота посева для ярового ячменя в условиях Волго-Вятского региона – 5,0 млн всхожих зерен на 1 га. Она рассчитана с учетом способности культуры повышать урожайность благодаря хорошему продуктивному кущению растений. Однако доказано, что такую способность определяют погодные условия, складывающиеся в критические фазы роста и развития растений [2]. В последние годы в Волго-Вятском регионе наблюдают увеличение частоты засух в критический межфазный период «всходы–кущение», что оказывает негативное влияние на процессы кущения растений и, как следствие, на формирование продуктивного стеблестоя. Для минимизации такого отрицательного воздействия возникло предположение о потенциальной эффективности использования различных агротехнических приемов, включая обоснованное увеличение нормы высева семян. В то же время современные методы селекции позволяют создавать генотипы, обладающие толерантностью к повышенной густоте стояния растений, что открывает перспективы для оптимизации агротехнических приемов в условиях дефицита влаги. В связи с изложенным необходимо изучение генотипической изменчивости образцов ячменя по реакции на изменение густоты посева и выявление форм, сочетающих высокую устойчивость к стрессовым условиям и способность к формированию стабильной урожайности.

Цель исследований – выделение нового исходного материала для селекции на основе изучения генотипических особенностей коллекционных образцов ярового ячменя, проявляющихся в реакции морфологических признаков на изменение плотности посева.

Для ее достижения решали следующие задачи: оценить влияние увеличения густоты посева на урожайность и элементы ее структуры; выделить образцы, адаптивные к повышенной конкуренции между растениями.

Методика. Полевые исследования проводили на базе Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого (г. Киров) в 2022–2024 гг. Объект изучения – 31 образец ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) из мировой коллекции ВИР.

Различную плотность посева создавали с использованием норм высева 5,0 млн всхожих зерен на 1 га (млн шт./га) – контроль и 7,0 млн шт./га – опыт. Предшественник – чистый пар. Учетная площадь делянки – 1,35 м², повторность двукратная. Наблюдения и учет урожая проводили в соответствии с Методическими рекомендациями по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса [12].

Почва опытного участка – дерново-подзолистая среднесуглинистая, сформирована на элювии пермских глин, хорошо окультуренная со следующими агрохимическими показателями пахотного горизонта: содержание гумуса – 1,37...2,67 % (по методу Тюрна, ГОСТ 26213-91), подвижного фосфора и калия – соответственно – 339...383 мг/кг и 243...275 мг/кг (по методу Кирсанова, ГОСТ Р 54650-2011), рН солевой вытяжки – 5,1...5,2 (по методу ЦИНАО, ГОСТ 26483-85).

Полевые работы начинали ранней весной с закрытия влаги боронованием. Под предпосевную культивацию фоном вносили нитроаммофоску в дозе рекомендованной по результатам многолетних исследований [13]. Посев проводили кондиционными семенами (всхожесть 93...96 %) селекционной сеялкой СКС-6-10 в оптимальные агротехнические сроки с последующим прикатыванием. В фазе полного кущения растений посевы обрабатывали гербицидом: в 2022 г. препаратом Балерина СЭ (410 г/л), в 2023 и 2024 гг. препаратом Рефери (0,2 л/га) с добавлением Гран При (10 г/л). Уборку осуществляли селекционным комбайном Winterstaiger в стадии полной спелости зерна. Анализ элементов структуры урожайности проводили в лабораторных условиях.

Метеоусловия в годы проведения исследований значительно различались по температурному режиму и количеству выпавших осадков. В 2022 г. посев провели 6 мая. В начале вегетационного периода преобладала неустойчивая погода с выпадением значительного количества осадков в виде дождя с мокрым снегом, температура воздуха была ниже климатической нормы на 3,4 °С, что привело к сдерживанию развития растений. Большое количество осадков (145 % от нормы) и умеренно теплая погода в июне (16,1 °С) способствовали увеличению продолжительности межфазного периода «кущение-выход в трубку». В июле–августе сложились благоприятные условия для формирования и налива зерна. В июле выпало достаточное количество осадков (130 мм), средняя температура воздуха весь период была выше среднеиюлетней и составляла 20,0 °С. Теплая и жаркая, с атмосферной засухой и редкими дождями погода в августе способствовала уборке урожая в краткие сроки. За месяц выпало 18 мм осадков, гидротермический коэффициент в течение вегетационного периода варьировал от избыточного увлажнения (ГТК=4,22) в межфазный период «всходы-кущение» до умеренного (ГТК=1,29) в период «выход в трубку-колошение», ГТК за вегетацию составил 2,03.

В 2023 г. посев провели 18 апреля. В последней пятидневке месяца отмечали почти ежедневные и временами значительные осадки. Снижение температуры и недостаток осадков (86 % от нормы) в мае способствовали задержке наступления фазы «кущение». В июне преобладала холодная (ниже нормы на 2,3 °С) с редкими дождями погода. В июле средняя температура воздуха составила 18,6 °С, наблюдали частое и обильное выпадение осадков (227 % от нормы) с грозами и сильным ветром. В 2023 г. ГТК изменился от засушливого (0,43) в межфазный период «всходы-кущение» до избыточного увлажнения (2,23) в период «колошение-созревание» и в среднем составил 1,70.

Посевные работы в 2024 г. осуществили 25 апреля. Начало вегетации растений характеризовалось пониженными температурами (на 4,5 °С меньше среднеиюлетней) и избытком осадков (137 % от нормы). В июне во время закладки колоса была жаркая и сухая погода, температура воздуха составила 18,8 °С, сумма осадков – 32 мм (39 % от нормы). Длительная засушливая погода в период налива и созревания зерна сократила продолжительность вегетационного периода и снизила продуктивность растений. Значения ГТК изменялись от засушливых (0,94) в период «всходы-кущение» до очень засушливых (0,51) в межфазный период «выход в трубку-колошение», средняя величина этого показателя за период вегетации составила 0,73.

В целом погодные условия способствовали всесторонней оценке потенциальных возможностей изучаемых коллекционных образцов.

Для определения вклада факторов в проявление признака проводили трехфакторный дисперсионный анализ (фактор А – образец, фактор В – густота посева, фактор С – год), при дальнейшем анализе показателей – двухфакторный без учета фактора «год» (фактор А – образец, фактор В – густота посева). Дисперсионный и корреляционный анализ осуществляли с использованием пакета селекционно-генетических программ AGROS (версия 2.07) и пакетом программ Microsoft Office Excel 2016. Полученные значения коэффициента корреляции сравнивали с критическими ($r_{критич} = 0,361$) при $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение. Согласно результатам трехфакторного дисперсионного анализа продолжительность вегетационного периода ярового ячменя в значительной степени определяли метеорологические условия, сложившиеся в период роста и развития растений. Их вклад в формирование этого признака составил 80,3 %. Согласно литературным данным [14], увеличение густоты посева может приводить к уменьшению продолжительности периода вегетации ячменя. В наших опытах более позднее созревание растений при норме высева 7,0 млн шт./га, которое задерживалось на 8 дней, по сравнению с контролем, наблюдали только в 2022 г. В остальные годы достоверных различий по продолжительности вегетации между вариантами опыта не выявлено. В среднем за период исследований продолжительность вегетационного периода в контроле составила 73 дня, при увеличении нормы высева до 7,0 млн шт./га – 75 дней.

Табл. 1. Результаты дисперсионного анализа урожайности ярового ячменя (среднее за 2022–2024 гг.)

Источник варьирования	Сумма квадратов (SS)	Число степеней свободы (df)	Среднее квадратическое отклонение (MS)	Критерий Фишера (F)	HCP ₀₅
Фактор А (образец)	896354,69	30	29878,49	3,60	73
Фактор В (густота посева)	165820,12	1	165820,12	19,97	19
Взаимодействие (А×В)	1329769,25	30	44325,64	5,34	104
Фактор С (год)	14223664,00	2	7111832,00	856,33	23
Взаимодействие (А×С)	853865,31	60	14231,09	1,71	127
Взаимодействие (В×С)	64719,87	2	32359,94	3,90	32
Взаимодействие (А×В×С)	1394482,75	60	23241,38	2,80	180

Коэффициент корреляции между продолжительностью вегетационного периода и урожайностью был статистически незначим, что связано с принадлежностью большинства образцов к группе среднеспелых сортов. То есть в условиях экспериментов продолжительность вегетационного периода не лимитировала формирование урожайности.

Доминирующий вклад в формирование урожайности коллекционных образцов вносил фактор «год» (69,3 %). На количество всходов и растений, сохранившихся к уборке, большее влияние оказал фактор «густота посева» (27,9...58,6 %). В развитие таких признаков, как масса 1000 зерен и параметры колоса, наибольший вклад внес фактор «образец» (до 69,1 %).

В результате многолетних исследований установлены достоверные различия между образцами и вариантами густоты посева (табл. 1). Существенные различия между изучаемыми образцами и вариантами опыта по урожайности были установлены только в 2022 г. У 18 образцов

наблюдали ее значительное увеличение при повышении нормы высева, например у Л-103/16 прибавка достигала 406 г/м². В то же время у 4 образцов зафиксировано ее снижение, по сравнению с контрольным вариантом. У остальных генотипов изменение густоты посева не оказало существенного влияния на урожайность. В контрольном варианте были выделены образцы Памяти Родины (695 г/м²) и Памяти Дудина (689 г/м²), однако при увеличении густоты посева их урожайность снижалась на 555 и 492 г/м² соответственно. Наибольшая урожайность при норме высева 7,0 млн шт./га отмечена у образца П-23/08 (633 г/м²). Полученные результаты свидетельствуют о наличии генотипической изменчивости изучаемых образцов по реакции на густоту посева, что подчеркивает важность учета сортовых особенностей при выборе исходного материала для селекции.

Наиболее благоприятные условия для реализации потенциальной урожайности коллекционных образцов ячменя сложились в 2023 г. Средняя величина этого показателя по вариантам опыта в контроле составила 557 г/м² при норме высева 7,0 млн шт./га – 602 г/м², однако различия между вариантами были недостоверны. Это можно объяснить тем, что образцы, отобранные для исследования на основании предварительного изучения, характеризовались высокой урожайностью. Практически у всех, за исключением АС Alberte, Фобос и Lawina, она превышала 500 г/м² в обоих вариантах. Максимальная урожайность в опыте зафиксирована у образца Jenuta (870 г/м²) при норме высева 7,0 млн шт./га. В контроле выделили образцы Ворсинский 2 (763 г/м²) и Л-243/15 (724 г/м²).

В 2024 г. неблагоприятные погодные условия отразились на продуктивности растений. Достоверных различий между образцами и вариантами опыта не выявлено. Урожайность в контроле в среднем по выборке составила 101 г/м², в опытным варианте – 108 г/м². Наибольшей при норме высева 5,0 млн шт./га она была у образцов Tallon (263 г/м²) и Памяти Дудина (254 г/м²), 7,0 млн шт./га – Л-102/17 (232 г/м²) и Салаир (197 г/м²). Полученные данные подтверждают значительное влия-

Табл. 2. Урожайность и продуктивный стеблестой коллекционных образцов ячменя (среднее за 2022–2024 гг.)

Образец (фактор А)	Урожайность, г/м ²			Продуктивный стеблестой, шт./м ²		
	5,0 млн шт./га (фактор В)	7,0 млн шт./га (фактор В)	среднее	5,0 млн шт./га (фактор В)	7,0 млн шт./га (фактор В)	среднее
Салаир	287	495*	391	664	1070*	867
Radegast	270	435*	352	640	951*	796
П-23/08	350	494*	422	599	835*	717
Л-223/15	250	461*	355	517	950*	734
Л-236/10	266	410*	338	503	790*	646
АС Alberte	193	324*	258	471	650	561
Л-209/11	249	492*	371	598	951*	774
Clearwater	267	453*	360	683	830	756
Jenuta	347	509*	428	613	992*	803
CDC Gainer	250	387*	318	528	972*	750
Соборный	302	434*	368	675	822	749
Л-168/16	418	406	412	662	974*	818
Сигнал	304	412*	358	541	837	689
Бионик	336	331	334	609	919*	764
Зазерский 85	389	465	427	589	905*	747
Tallon	415	353	384	651	886*	768
Среднее	338	380*	359	659	870*	765
HCP ₀₅		73	–		146	–
фактор А						
HCP ₀₅	19		–	37		–
фактор В						
HCP ₀₅ А×В	104		–	206		–

*достоверно превысили контроль при уровне значимости $p = 0,05$ (здесь и в табл. 3, 4, 5, 6).

Табл. 3. Полевая всхожесть и сохранность растений к уборке в зависимости от густоты посева (среднее за 2022–2024 гг.)

Образец (фактор А)	Полевая всхожесть, шт./м ²			Сохранность растений к уборке, шт./м ²		
	5,0 млн шт./га (фактор В)	7,0 млн шт./га (фактор В)	среднее	5,0 млн шт./га (фактор В)	7,0 млн шт./га (фактор В)	среднее
Родник Прикамья	490	630	560	461	603	532
Л-102/17	462	642	552	437	598	517
Л-168/16	491	685	588	463	645	554
Форвард	480	637	559	456	587	522
Дина	489	671	580	477	631	554
Среднее	441	634*	538	411	585*	489
НСР ₀₅ фактор А	57	–	–	77	–	–
НСР ₀₅ фактор В	14	–	–	19	–	–
НСР ₀₅ А×В	нет различий	–	–	нет различий	–	–

яние агроклиматических условий на реализацию продуктивного потенциала ячменя.

В среднем по опыту более высокая урожайность формировалась при густоте посева 7,0 млн шт./га – 380 г/м² (табл. 2), что на 42 г/м² выше, чем в контроле (НСР₀₅ = 19 г/м²). Самым урожайным был образец Jenuta (509 г/м²). Выявлена сортоспецифичность реакции образцов на увеличение густоты посева. Достоверным повышением урожайности на 108...243 г/м² (НСР₀₅ = 104 г/м²) относительно контрольного варианта отличались образцы Салаир, Radegast, П-23/08, Л-223/15, Л-236/10, АС Alberte, Л-209/11, Clearwater, Jenuta, CDC Gainer, Соборный и Сигнал. В то же время изменение количества высеянных семян не повлияло на урожайность 16 и достоверно снизило ее у 3 образцов ячменя.

С увеличением густоты посева повышается количество всходов и растений, сохранившихся к уборке [15]. В наших исследованиях наибольшее количество всходов (634 шт./м²) и сохранившихся к уборке растений (585 шт./м²) отмечено при густоте посева 7,0 млн шт./га, разница с контрольным вариантом составляла 193 шт./м² (НСР₀₅ = 14 шт./м²) и 174 шт./м² (НСР₀₅ = 19 шт./м²) соответственно (табл. 3).

Изменение нормы высева не оказало существенного влияния на полевую всхожесть семян, которая составляла 88 % в контрольном варианте и 91 % в опытном. При анализе показателя «сохранность растений к уборке»

достоверных различий между вариантами опыта не выявлено. Установлено незначительное варьирование значений по годам от 91 (2023 г.) до 95 % (2024 г.) при высева 5,0 млн шт./га и от 90 (2022, 2023 гг.) до 96 % (2024 г.) в варианте с 7,0 млн шт./га. В среднем за годы исследований доля растений, сохранившихся к уборке, в контроле составила 93 %, в опытном – 92 %. Среди изучаемых образцов выделялся Л-168/16, который характеризовался высокой полевой всхожестью (98 %) в обоих вариантах опыта, а также высокой сохранностью растений к уборке: в контроле – 97 %, в варианте с повышенной нормой высева – 92 %. Это свидетельствует о устойчивости указанного образца к неблагоприятным факторам внешней среды и его способности поддерживать высокую жизнеспособность на протяжении всего вегетационного периода. Корреляционный анализ выявил значимую зависимость ($r=0,544$) урожайности от показателя «сохранность растений к уборке» только при норме высева 5,0 млн шт./га.

При загущении посевов сорта формируют урожайность благодаря увеличению продуктивного стеблестоя [16]. Наши исследования подтверждают эти данные. Независимо от варианта опыта коэффициент корреляции между урожайностью и продуктивным стеблестоем составлял $r=0,704...0,710$ ($p \leq 0,05$). Наибольшее количество продуктивных стеблей на единице площади отмечено при норме высева 7,0 млн шт./га – в среднем 870 колосьев на 1 м². В контрольном варианте оно было значительно ниже – 659 колосьев на 1 м² (см. табл. 2). Достоверное увеличение числа колосьев на 236...444 шт./м² при повышении нормы высева продемонстрировали только 13 образцов: Салаир, Radegast, П-23/08, Л-223/15, Л-236/10, Л-209/11, Jenuta, CDC Gainer, Л-168/16, Сигнал, Бионик, Зазерский 85 и Tallon.

Увеличение густоты посева приводит к усилению конкуренции между за доступ к свету и пространству, что оказывает влияние на морфологические параметры, включая высоту растений. При этом в зависимости от сортовых особенностей она может как увеличиваться, так и снижаться [17, 18]. В изучаемом наборе у большинства образцов значительных изменений высоты растений при загущении посева не наблюдали. Однако у некоторых генотипов выявлено достоверное увеличение высоты растений на 8,7...16,0 см (НСР₀₅ = 7,8 см) при норме высева 7,0 млн шт./га, которое, как правило, происходит из-за ухудшения освещенности нижних междоузлий

Табл. 4. Влияние густоты посева на высоту растений, устойчивость к полеганию и кустистость коллекционных образцов ячменя (среднее за 2022–2024 гг.)

Образец (фактор А)	Высота растений, см			Устойчивость к полеганию, балл			Общая кустистость, шт./раст.			Продуктивная кустистость, шт./раст.		
	5,0 млн шт./га (фактор В)	7,0 млн шт./га (фактор В)	среднее	5,0 млн шт./га (фактор В)	7,0 млн шт./га (фактор В)	среднее	5,0 млн шт./га (фактор В)	7,0 млн шт./га (фактор В)	среднее	5,0 млн шт./га (фактор В)	7,0 млн шт./га (фактор В)	среднее
Алей	69,9	59,2	64,5	8	9	8	2,13	1,50	1,82	1,87	1,25	1,56
Л-102/17	56,0	62,5	59,2	8	8	8	1,73	1,43	1,58	1,43	1,30	1,37
Салаир	62,9	72,7*	67,8	9	7	8	1,92	2,04	1,98	1,57	1,65	1,61
Radegast	51,1	60,4*	55,8	9	9	9	1,78	2,20	1,99	1,54	1,90*	1,72
Л-223/15	53,9	68,2*	61,1	9	8	8	1,61	1,68	1,65	1,32	1,56	1,44
Л-236/10	60,4	71,9*	66,2	9	8	8	1,52	1,29	1,40	1,19	1,22	1,20
АС Alberte	55,8	64,5*	60,1	9	8	9	1,91	1,63	1,77	1,48	1,43	1,46
Л-209/11	55,8	64,5*	59,9	9	6	8	1,61	1,74	1,68	1,45	1,57	1,51
Clearwater	51,9	67,9*	66,6	8	7	8	1,99	1,86	1,93	1,61	1,72	1,66
Jenuta	56,6	61,6	59,1	9	7	8	2,13	2,17	2,15	1,82	1,87	1,84
Памяти Дудина	73,3	61,4	67,3	6	8	7	1,89	1,37	1,63	1,63	1,27	1,45
Дина	59,9	54,6	57,2	7	8	8	1,82	1,52	1,67	1,47	1,18	1,33
Triumph	62,0	50,3	56,2	9	8	9	1,86	1,63	1,63	1,61	1,33	1,47
Среднее	61,9	62,4	62,1	8	8	8	1,86	1,70	1,78	1,56	1,45	1,51
НСР ₀₅ фактор А	5,5	–	–	нет различий	–	–	0,31	–	–	0,22	–	–
НСР ₀₅ фактор В	нет различий	–	–	нет различий	–	–	0,07	–	–	0,06	–	–
НСР ₀₅ А×В	7,8	–	–	нет различий	–	–	0,43	–	–	0,31	–	–

и увеличения их длины. К таким образцам относятся Салаир, Radegast, Л-223/15, Л-236/10, АС Alberta, Л-209/11 и Clearwater (табл. 4).

С высотой растений ячменя тесно коррелирует их устойчивость к полеганию [19, 20]. В ходе исследований установлена достоверная связь между величинами этих показателей в контрольном варианте ($r=-0,434$). При повышении густоты посева она усиливалась, достигая значения $r=-0,719$. У всех образцов, которые продемонстрировали при загущении посева увеличение высоты растений, устойчивость к полеганию снижалась на 1...3 балла. Исключением стал Radegast, который сохранял высокую устойчивость к полеганию на уровне 9 баллов независимо от плотности стеблестоя.

При увеличении густоты посева сортов Алей и Памяти Дудина высота растений достоверно снижалась, что сопровождалось повышением устойчивости к полеганию на 1 и 2 балла соответственно. В то же время у образца Triumph уменьшение высоты растений привело к ухудшению устойчивости к полеганию. Этикие данные подчеркивают сложный характер взаимосвязи между высотой растений и их устойчивостью к полеганию, а также наличие специфичной сортовой реакции на изменение густоты посева. Полученные результаты важны для селекции сортов, сочетающих оптимальную высоту растений и высокую устойчивость к полеганию в условиях интенсивного земледелия.

Формирование общей и продуктивной кустистости растений ячменя в значительной степени зависит от погодных условий в период кушения. Повышенные температуры и дефицит влаги могут существенно снизить величины этих показателей. Кроме того, негативное влияние на процессы кушения способны оказывать загущенные посевы [14]. В проведенных исследованиях у большинства образцов при увеличении густоты посевов показатели общей и продуктивной кустистости достоверно снижались на 0,16 и 0,11 шт./раст. соответственно ($НСР_{05}=0,06$ шт./раст.). Исключением был сорт Фобос, у которого общую кустистость возросла, по сравнению с контролем, на 0,49 шт./раст. и Radegast с достоверно более высокой продуктивной кустистостью на 0,34 шт./раст. (см. табл. 4). Это может быть связано с их способностью эффективнее использовать площадь питания и ресурсы среды при повышенной норме высева. Кроме того, были идентифицированы 9 образцов, у которых изменения условий вегетации не повлияли на способность к кушению (Л-102/17, Салаир, АС Alberta, Л-209/11, Clearwater, Jenuta, Сигнал, Дина и Triumph).

В результате проведенных исследований установлено значимое влияние изучаемого фактора на параметры развития колоса. В опытном варианте отмечено уменьшение длины колоса у коллекционных образцов на 0,2 см

($НСР_{05}=0,1$ см). Наибольшей в контроле она была у сорта Памяти Дудина. У 24 образцов при норме высева 7,0 млн шт./га изменений длины колоса не наблюдали. Особый интерес представляют образцы Салаир, Radegast и Jenuta, которые сформировали более длинный колос (на 0,5...0,7 см) в опытном варианте, по сравнению с контролем (табл. 5).

Параметры колоса – наследуемые признаки, однако их формирование также подвержено влиянию абиотических факторов [21]. С увеличением густоты посева наблюдали достоверное снижение величин таких показателей, как плотность колоса (на 0,2 шт.), количество колосков (на 0,8 шт.) и количество зерен (на 0,7 шт.). К перспективным для использования в качестве исходного материала для селекции сортов, адаптивных к изменению условий вегетации, следует отнести образцы Radegast и Л-209/11, у которых количество зерен в колосе при увеличении плотности посева возросло на 2,4...3,4 шт. (см. табл. 5). Кроме того, выделено 19 образцов, включая Л-102/17, Салаир, П-23/08, Л-223/15, АС Alberta и др., у которых изменение условий вегетации не оказало значимого влияния на параметры колоса.

Масса зерен с колоса находится в прямой пропорциональной зависимости от их количества [22]. В проведенном исследовании выявлена высокая корреляционная связь между этими признаками: при норме высева 5,0 млн шт./га – $r=0,754$, при норме 7,0 млн шт./га – $r=0,858$. У образцов Radegast и Л-209/11 увеличение густоты посева привело к повышению продуктивности главного колоса на 0,14...0,24 г ($НСР_{05}=0,11$ г), тогда как у образцов Jenuta и Сигнал ее изменения не наблюдали (табл. 6). Высокая продуктивность растения при густоте посева 7,0 млн шт./га отмечена у образцов Салаир, Radegast, Л-223/15, Л-209/11, Clearwater, Jenuta и Л-103/16. Она была выше, чем в контроле, на 0,26...0,68 г ($НСР_{05}=0,25$ г). При этом масса зерна с растения у образца Л-236/10 осталась неизменной. Согласно результатам корреляционного анализа урожайность достоверно зависела от продуктивности колоса ($r=0,551...0,749$) и растения ($r=0,749...0,855$).

Результаты исследований ряда авторов [16, 23] свидетельствуют, что увеличение густоты посевов приводит к снижению массы 1000 зерен. В нашем эксперименте в среднем по изучаемому набору образцов взаимосвязи между величинами этих показателей не установлены. Однако выявлена сортоспецифичность реакции на изменение условий вегетации. Самая высокая масса 1000 зерен как в контрольном, так и в опытном вариантах отмечена у образца Л-102/17. У образцов Л-243/15, Салаир, Radegast, Л-223/15, АС Alberta, Л-209/11, Clearwater, CDC Gainer, Соборный, Фобос,

Табл. 5. Влияние густоты посева на параметры колоса коллекционных образцов ячменя (среднее за 2022–2024 гг.)

Образец (фактор А)	Длина колоса, см			Плотность колоса, шт.			Количество колосков, шт.			Количество зерен, шт.		
	5,0 млн шт./га (фактор В)	7,0 млн шт./га (фактор В)	среднее	5,0 млн шт./га (фактор В)	7,0 млн шт./га (фактор В)	среднее	5,0 млн шт./га (фактор В)	7,0 млн шт./га (фактор В)	среднее	5,0 млн шт./га (фактор В)	7,0 млн шт./га (фактор В)	среднее
Салаир	6,3	6,8	6,5	13,1	13,1	13,1	18,6	19,4	19,0	16,9	17,9	17,4
Radegast	6,1	6,8*	6,5	12,6	13,0	12,8	17,9	19,9*	18,9	15,2	18,6*	16,9
Л-209/11	4,9	5,5	5,2	13,6	13,6	13,6	15,0	16,9	15,9	12,9	15,3*	14,1
Jenuta	5,9	6,6*	6,3	13,6	12,9	13,2	17,0	18,1	17,5	15,9	16,4	16,2
Памяти Дудина	6,8	5,5	6,2	13,2	13,3	13,2	20,3	17,3	18,8	17,7	14,5	16,1
Среднее	6,0	5,8	5,9	13,8	13,6	13,7	18,7	17,9	18,3	16,6	15,9	16,2
$НСР_{05}$ фактор А	0,4	-	-	0,5	-	-	1,4	-	-	1,5	-	-
$НСР_{05}$ фактор В	0,1	-	-	0,1	-	-	0,4	-	-	0,4	-	-
$НСР_{05}$ А×В	0,7	-	-	нет различий	-	-	2,0	-	-	2,1	-	-

Табл. 6. Влияние густоты посева на продуктивность колоса и растения у лучших коллекционных образцов ячменя (среднее за 2022–2024 гг.)¹

Образец (фактор А)	Масса зерна с главного колоса, г			Масса зерна с растения, г			Масса 1000 зерен, г		
	5,0 млн шт./га (фактор В)	7,0 млн шт./га (фактор В)	среднее	5,0 млн шт./га (фактор В)	7,0 млн шт./га (фактор В)	среднее	5,0 млн шт./га (фактор В)	7,0 млн шт./га (фактор В)	среднее
Л-243/15	0,71	0,67	0,69	1,17	0,90	1,03	44,8	46,3*	45,6
Л-102/17	0,66	0,73	0,69	0,98	0,86	0,92	48,7	50,2*	49,5
Салаир	0,75	0,82	0,79	1,06	1,38*	1,22	44,0	46,6*	45,3
Radegast	0,63	0,87*	0,75	0,99	1,67*	1,33	45,0	47,7*	46,3
Л-223/15	0,61	0,71	0,66	0,76	1,04*	0,90	43,8	47,8*	45,8
Л-236/10	0,77	0,71	0,74	0,84	0,84	0,84	43,1	43,6	43,4
АС Alberte	0,53	0,58	0,56	0,73	0,79	0,76	39,2	40,6*	39,9
Л-209/11	0,55	0,69*	0,62	0,70	1,01*	0,86	43,0	45,4*	44,2
Clearwater	0,68	0,74	0,71	0,95	1,21*	1,08	36,0	38,2*	37,1
Jenuta	0,74	0,74	0,74	1,13	1,41*	1,27	46,4	46,4	46,4
CDC Gainer	0,71	0,73	0,72	1,10	1,31	1,20	34,1	36,5*	35,3
Соборный	0,66	0,60	0,63	1,08	1,16	1,12	41,3	42,2*	41,7
Фобос	0,66	0,63	0,64	0,80	0,82	0,81	39,0	40,3*	39,7
Л-103/16	0,79	0,84	0,81	1,08	1,43*	1,26	40,9	41,9*	41,4
Lawina	0,66	0,63	0,64	0,93	0,78	0,85	40,0	41,4*	40,7
Сигнал	0,76	0,76	0,76	1,02	1,19	1,10	45,0	44,1	44,5
Triumph	0,75	0,58	0,67	1,23	0,69	0,96	45,2	46,7*	45,9
Среднее	0,71	0,69	0,70	1,05	0,99	1,02	43,7	43,8	43,8
HCP ₀₅ фактор А	0,08	-	-	0,18	-	-	0,4	-	-
HCP ₀₅ фактор В	нет различий	-	-	0,05	-	-	нет различий	-	-
HCP ₀₅ А×В	0,11	-	-	0,25	-	-	0,6	-	-

¹Представлены образцы, у которых при изменении условий вегетации наблюдали увеличение или стабильность показателей продуктивности колоса и растения.

Л-103/16, Lawina и Triumph при увеличении густоты посева наблюдали достоверное увеличение массы 1000 зерен на 0,9...2,7 г (HCP₀₅=0,6 г). Повышение массы 1000 зерен при увеличении густоты посева может быть обусловлено снижением продуктивной кустистости растений. При росте плотности стеблестоя усиливается конкуренция за ресурсы, что приводит к уменьшению количества продуктивных стеблей на одно растение. В результате доступные ресурсы перераспределяются на меньшее количество колосов, что способствует увеличению массы зерна в каждом из них. Таким образом, растения компенсируют снижение продуктивной кустистости увеличением массы 1000 зерен.

У образцов Л-236/10, Jenuta и Форвард увеличение густоты посева не вызвало достоверных изменений массы 1000 зерен, что может указывать на их ограниченную способность к перераспределению ресурсов в условиях усиленной конкуренции за свет, влагу и питательные вещества.

Выводы. В результате проведенных исследований установлено достоверное влияние повышения плотности посевов на урожайность и развитие морфологических признаков коллекционных образцов ярового ячменя. Увеличение густоты посева до 7,0 млн шт./га привело к значительному росту урожайности на 42 г/м², благодаря повышению величин показателей продуктивного стеблестоя на 211 шт./м² и количества растений, сохранившихся к уборке, – на 174 шт./м². Одновременно наблюдали значительное снижение общей (на 0,16 шт./раст.) и продуктивной (0,11 шт./раст.) кустистости, длины колоса (на 0,2 см), количества колосков (на 0,8 шт.) и зерен (на 0,7 шт.) в колосе. Полученные данные свидетельствуют о комплексном влиянии густоты посевов на формирование морфологической структуры растений и их продуктивность.

Выявлена сортоспецифичность реакции коллекционных образцов ярового ячменя на увеличение плотности посевов. Выделены перспективные для использования в дальнейшей селекционной работе источники. У образцов П-23/08, Л-236/10, АС Alberte, Jenuta, CDC Gainer, Соборный, Сигнал и Clearwater отмечено существенное повышение урожайности при высеве 7,0 млн шт./га,

по сравнению с контролем, на 108...186 г/м². У образцов Салаир, Radegast, Л-223/15 и Л-209/11, помимо значительного увеличения урожайности на 165...243 г/м², зафиксировано улучшение таких показателей, как продуктивный стеблестой – на 312...434 шт./м², масса зерна с растения – на 0,28...0,68 г и масса 1000 зерен – на 2,4...4,0 г.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Государственного задания Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» FNWE-2024-0002 «С использованием физиологических и биотехнологических подходов получить адаптивные к биотическим и абиотическим факторам, лимитирующим величину и качество урожая семян, генотипы ячменя и овса для европейской территории России» (№ 124122500160-2).

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. Евдокимова М. А., Марьина-Чермных О. Г. Влияние регуляторов роста на фотосинтетическую деятельность посевов ярового ячменя // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 4 (44). С. 91–97. doi: 10.18286/1816-4501-2018-4-91-97.
2. Родина Н. А. Селекция ячменя на Северо-Востоке Нечерноземья. Киров: Зональный НИИСХ Северо-Востока, 2006. 488 с.
3. Солонечный П. Уровень проявления и корреляция количественных признаков сортов ячменя ярового // Siiinta Agricola. 2018. № 1. С. 23–27.
4. Сапега В. А. Урожайность, сортовое районирование ярового ячменя в Тюменской области и оценка экологической пластичности и стабильности его

- сортов // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2024. № 3. С. 84–95. doi: <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-72-3-84-95>.
5. Влияние препаратов Биоклад и Вермикс на элементы продуктивности, урожайность и качественные показатели ярового ячменя / И. Л. Тычинская, А. А. Зеленов, Е. Н. Мерцалов и др. // Земледелие. 2021. № 4. С. 7–10. doi: [10.24411/0044-3913-2021-10402](https://doi.org/10.24411/0044-3913-2021-10402).
 6. Мартынова С. В., Пакуль В. Н., Андросов Д. Е. Взаимосвязь морфометрических параметров ярового ячменя с урожайностью // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2019. Т. 49. № 5. С. 11–20.
 7. Засыпкина И. М., Филиппов Е. Г., Попова О. А. Сравнительный анализ сортов озимого ячменя по урожайности и ее компонентов в условиях Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14. № 5. С. 59–65. doi: [10.31367/2079-8725-2022-82-5-59-65](https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-82-5-59-65).
 8. Левакова О. В. Вариабельность элементов структуры урожая ярового ячменя в зависимости от гидротермических условий вегетации // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. Т. 23. № 3. С. 327–333. doi: [10.30766/2072-9081.2022.23.3.327-333](https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.327-333).
 9. Новохатин В. В. Научное обоснование первичного и элитного семеноводства зерновых культур // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 9. С. 40–47. doi: [10.24411/0235-2451-2018-10910](https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10910).
 10. Родина Н. А., Щенникова И. Н., Кокина Л. П. Реакция новых сортов ячменя на различные приемы технологии // Достижения науки и техники АПК. 2009. № 8. С. 14–16.
 11. Панихина Л. В. Влияния нормы высева на формирование устойчивого урожая сортов ярового ячменя // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: материалы IX международной научно-практической конференции. Киров: ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, 2023. С. 172–176.
 12. Лоскутов И. Г., Ковалева О. Н., Блинова Е. В. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. СПб.: ВИР, 2012. 63 с.
 13. Влияние возрастающих доз и соотношений минеральных удобрений на урожайность и качество зерна ячменя / В. Д. Абашев, Е. В. Светлакова, Ф. А. Попов и др. // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2016. № 1(50). С. 24–30.
 14. Герасимов С. А., Ляхова Н. Е. Формирование элементов структуры урожая ячменя при увеличении нормы высева в условиях Красноярской лесостепи // СибСкрипт. 2015. № 1–2(61). С. 11–15.
 15. Авдеенко А. П., Шестов И. Н., Мокриков Г. В. Влияние нормы высева на продуктивность ярового ячменя в условиях Ростовской области // Сельское, лесное и водное хозяйство. 2014. № 3(30). URL: <https://agro.snauka.ru/2014/03/1338> (дата обращения: 30.03.2025).
 16. Ильин А. В., Шарганова И. А., Деревягин С. С. Новый сорт ярового ячменя Граник // Зерновое хозяйство России. 2021. № 4. С. 23–27. doi: [10.31367/2079-8725-2021-76-4-23-27](https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-76-4-23-27).
 17. Чернобай С. В., Рожков А. А. Влияние нормы высева и внекорневой подкормки на формирование биометрических показателей растений ячменя ярового // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. № 6. С. 58–60.
 18. Левакова О. В. Сортвые особенности формирования продуктивности ячменя сорта Рафаэль при разной норме высева // Аграрная наука. 2023. № 367(2). С. 82–86. doi: [10.32634/0869-8155-2023-367-2-82-86](https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-367-2-82-86).
 19. Бабайцева Т. А., Гамберова Т. В. Модель сорта озимой тритикале для условий Среднего Предуралья // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. № 1(62). С. 27–31. doi: [10.30766/2072-9081.2018.62.1.27-31](https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.62.1.27-31).
 20. Ашаева О. В., Балувев Ю. С. Влияние обработки посевов ячменя регулятором роста ХЭФК на урожайность зерна // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 161(07). С. 172–180. doi: [10.21515/1990-4665-161-013](https://doi.org/10.21515/1990-4665-161-013).
 21. Коблянский А. С., Репко Н. В. Влияние нормы высева на формирование густоты продуктивного стеблестоя и число зерен в колосе у сортов озимого ячменя // Инновационные технологии отечественной селекции и семеноводства: Сборник тезисов по материалам II научно-практической конференции молодых ученых Всероссийского форума по селекции и семеноводству. Краснодар: ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ, 2018. С. 241–243.
 22. Тибирьков А. П., Юдаев И. В. Электрофизическая обработка семян – новый агроприем при возделывании ярового ячменя на юге России // Фундаментальные исследования. 2015. № 2–22. С. 4930–4933.
 23. Кривошеев С. И., Шумаков В. А. Технология возделывания целым колосом в первичном семеноводстве озимой пшеницы в условиях Курской области // Международный сельскохозяйственный журнал. 2024. Т. 67–5(401). С. 608–612. doi: [10.55186/25876740_2024_67_5_608](https://doi.org/10.55186/25876740_2024_67_5_608).

Поступила в редакцию 13.02.2025
 После доработки 17.03.2025
 Принята к публикации 30.04.2025