

Сопряженность морфологических признаков с устойчивостью к полеганию ярового ячменя в условиях Волго-Вятского региона

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-32-40

УДК 633.16:526.32 581.4:58.01/07

Поступление/Received: 14.02.2020

Принято/Accepted: 21.09.2020



Association of morphological traits with lodging resistance in spring barley under the conditions of the Volga-Vyatka region

И. Ю. ЗАЙЦЕВА^{1*}, И. Н. ЩЕННИКОВА^{1, 2}I. YU. ZAYTSEVA^{1*}, I. N. SHCHENNIKOVA^{1, 2}

¹ Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166а
*✉ irina-zajceva30@rambler.ru

¹ N.V. Rudnitsky Federal Agricultural Science Center of the North-East, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia
*✉ irina-zajceva30@rambler.ru

² Вятская государственная сельскохозяйственная академия, 610017 Россия, г. Киров, Октябрьский проспект, 133
✉ i.schennikova@mail.ru

² Vyatka State Agricultural Academy, 133 Oktyabrsky Ave, Kirov 610017, Russia
✉ i.schennikova@mail.ru

Актуальность. Полегание крайне отрицательно сказывается на урожайности ячменя, ухудшаются качество зерна и посевные свойства семян, увеличивается поражаемость растений заболеваниями и затрудняется механизированная уборка, поэтому необходим поиск новых исходных форм ячменя, устойчивых к полеганию, для вовлечения их в дальнейшие скрещивания и создание неполегающих сортов. **Объект и методы.** Экспериментальная работа проводилась в 2018–2019 гг. в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (г. Киров). В ходе исследований была проведена оценка по устойчивости к полеганию и элементам структуры урожайности 29 коллекционных образцов. Изучение коллекции проводили в соответствии с Международным классификатором СЭВ и Методическими рекомендациями по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. **Результаты и выводы.** Установлена сильная корреляция устойчивости растений к полеганию с урожайностью ($r = 0,72$) и высотой растений ($r = -0,60$), средняя – с кустистостью ($r = 0,40$) и числом узловых корней при созревании ($r = 0,44$). Не обнаружена связь между устойчивостью к полеганию и морфологическими особенностями второго нижнего междоузлия, следовательно, отбор неполегающих форм по этим критериям неэффективен. Устойчивые к полеганию образцы имели большую урожайность, кустистость, продуктивность, массу 1000 зерен, более длинный и плотный колос по сравнению с неустойчивыми образцами. Для дальнейшей селекционной работы выделены образцы, сочетающие высокую урожайность с устойчивостью к полеганию и рядом селекционно ценных признаков: 'Белгородский 100', 'Наран' (к-30892), 'Казьминский' (к-30926), 'Щедры' (к-31046) (Россия); 'Сябра' (к-29917), 'Рейдер' (Белоруссия); 'Одесский 115' (к-29010, Украина); 'Mie' (к-30379, Эстония); 'Rodos' (к-30256, Польша).

Ключевые слова: коллекция, образец, урожайность, кустистость, корни, междоузлия.

Background. Lodging has an extremely negative impact on barley yield: grain quality and planting properties are deteriorated, disease incidence increases, and mechanized harvesting becomes difficult, so it is important to find new sources of lodging resistance in barley and use them in crosses and breeding programs to develop non-lodging barley cultivars. **Materials and methods.** Experimental work was carried out in 2018 and 2019 at Federal Agricultural Science Center of the North-East (FASC North-East), Kirov. Yield structure components and lodging resistance levels were assessed for 29 accessions from the spring barley collection. The study was based on the International COMECON List of Descriptors for the Genus *Hordeum* L. (subgen. *Hordeum*) and Methodological Guidelines for the Study and Preservation of the World Collection of Barley and Oats. **Results and conclusions.** Lodging resistance was observed to have a strong correlation with yield ($r = 0.72$) and plant height ($r = -0.60$), and a medium correlation with tillering ($r = 0.40$) and number of nodal roots at maturation ($r = 0.44$). No relationship was found between lodging resistance and morphological features of the second lowest internode, which means that selection of non-lodging forms by these criteria will not be effective. Lodging-resistant accessions demonstrated higher yield, tillering, productivity, 1000 grain weight, and a longer and denser ear compared to non-resistant accessions. Accessions combining high yield with lodging resistance and a set of traits promising for breeding were identified: 'Belgorodsky 100', 'Naran' (k-30892), 'Kazminsky' (k-30926), 'Shchedry' (k-31046) (Russia); 'Syabra' (k-30917), 'Raider' (Belarus); 'Odessky 115' (k-29010, Ukraine), 'Mie' (k-30379, Estonia), 'Rodos' (k-30256, Poland).

Key words: collection, accession, yield, tillering, roots, internodes.

Введение

Одним из наиболее актуальных вопросов в селекции сельскохозяйственных культур, в том числе и ячменя, является увеличение урожайности. Многие сорта ячменя, возделываемые на территории Российской Федерации и, в частности, в Кировской области подверже-

ны полеганию. В условиях длинного светового дня устойчивость растений к полеганию становится одним из факторов для дальнейшего повышения урожайности (Ivanova et al., 2016; Rodina, 2006). Устойчивость к полеганию не только является одним из важнейших факторов, обеспечивающих получение высоких урожаев, но и существенно влияет на качество продукции.

Различают стеблевое и корневое полегание, которые распознаются по внешним проявлениям. Стеблевое полегание наблюдается в условиях избыточного увлажнения на богатых азотом почвах, когда стебли не выдерживают нагрузки и искривляются (Shchennikova et al., 2011), а также в засушливых условиях, при завядании растений вследствие слабого тургора клеток. Прикорневое полегание происходит в случае слабой прочности корней или их плохого сцепления с почвой. Оно наблюдается в условиях орошения или когда посев семян производится в неосевшую почву. Кроме того, прикорневое полегание происходит при развитии заболеваний корней и прикорневой части ячменя – корневых гнилей, вызываемых комплексом видов гембиотрофных грибов (*Fusarium* L., *Cercospora herpotrichoides* (Fron) Deighton и другими) (Tikhvinsky et al., 2007).

На полегание растений влияет множество различных факторов. К ним относятся генотипические особенности растений, вызывающие индивидуальность анатомо-морфологического строения, а также условия произрастания сорта, например неустойчивое увлажнение, избыток азота в почве, сильное загущение посевов, предшественники и т. д. Полегание усиливается с повышением густоты стояния растений, облиственности и кустистости, а также с увеличением интенсивности освещения, которое является определяющим при формировании длины междоузлий (Griguletsky, 2019).

Вероятность полегания существует с момента выхода растений в трубку и сохраняется до полной спелости. Оно тем опаснее, чем в более ранней стадии проявляется. Если оно происходит в ранние сроки, то в колосе у ячменя завязывается мало зерен, а в более поздний период формируется щуплое зерно. Максимальное снижение урожайности отмечается, если сорт полегает в период налива зерна. В более поздние фазы развития полегание посевов не так вредно, а в фазе восковой спелости может практически не повлиять на урожайность. Однако из-за потерь, которые возникают в результате затрудненной механизированной уборки полегших посевов, величина фактически убранного урожая бывает намного меньше (Kovrigina, Zaushintsena, 2012).

Известно, что на полегших посевах интенсивно развиваются болезни, что ведет к уменьшению массы, снижению натуры и увеличению пленчатости зерна. Кроме того, полегание способствует прорастанию зерна на корню, что приводит к нарушению обменных процессов. В результате ухудшается качество зерна, снижаются посевные свойства семян, а урожайность сорта значительно падает (Repko et al., 2017). Потери урожая зерна от полегания составляют от 10 до 50%, поэтому особое внимание уделяется созданию, подбору и внедрению в производство устойчивых к полеганию сортов (Rodina, 2006).

Успех создания новых неполегающих сортов ячменя предопределен исходным материалом и зависит от его генетического разнообразия. Именно поэтому исходный материал должен быть представлен не только сортами, приспособленными к условиям конкретного региона, но и образцами мировой коллекции ВИР, также обладающими хозяйственно ценными признаками (Batalova, 2015; Rodina, 2006).

В связи с этим целью нашего исследования является изучение и подбор нового исходного материала для создания неполегающих, высокопродуктивных и высококачественных сортов ячменя, пригодных для эффективного использования в Кировской области.

Материал и методика

Экспериментальная работа проводилась в 2018 и 2019 г. в Федеральном аграрном научном центре Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого (ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока; г. Киров). В ходе исследований была проведена оценка по устойчивости к полеганию и элементам структуры урожайности 29 образцов ячменя (табл. 1), полученных в основном из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР; Санкт-Петербург – 23 образца) и других научно-исследовательских селекционных учреждений.

Изучение коллекции проводили в соответствии с Международным классификатором СЭВ (Lekeš et al., 1983) и Методическими рекомендациями по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса (Loskutov et al., 2012) на делянках площадью 2,7 м² в трехкратной повторности. В качестве стандарта (St) использовали сорт 'Белгородский 100'.

Погодные условия в годы проведения исследований можно охарактеризовать как неблагоприятные для роста и развития растений. Вегетационный период как в 2018, так и в 2019 г. отличался неустойчивой погодой. Она изменялась от прохладной до теплой, даже жаркой, но была преимущественно сухой или с небольшими, лишь в отдельные дни значительными осадками. Только в июне и июле 2018 г. наблюдались частые, местами сильные и очень сильные дожди.

В соответствии с методикой (Torop E.A. et al., 2011) в фазу молочно-восковой спелости у 10 растений каждого образца брали второе междоузлие главного стебля и определяли длину (см), толщину (мм) и массу целого междоузлия (г), взвешивая отрезок длиной 1 см.

Величину группового интервала для деления коллекционных образцов на группы по длине второго нижнего междоузлия определяли по формуле (Udovenko, 1988):

$$k = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{r},$$

где $x_{\max}$ – максимальное значение признака; $x_{\min}$ – минимальное значение признака; r – число групп.

Статистическую обработку данных выполняли методами дисперсионного, регрессионного и корреляционного анализов по методике Б. А. Доспехова (Dospikhov, 1985). Математический анализ материала осуществляли с использованием компьютерной программы Microsoft Office Excel и селекционно-генетической компьютерной программы AGROS 2.07.

Результаты и обсуждение

В результате проведенных исследований была обнаружена существенная корреляция урожайности изучаемого набора сортов с их устойчивостью к полеганию ($r = 0,72$). Регрессионный анализ (Dospikhov, 1985) показал, что урожайность образцов примерно на 51% ($R^2 = 0,5131$) зависела от их устойчивости к полеганию. Кроме того, установлено, что при увеличении устойчивости к полеганию на 1 балл урожайность повышалась на 0,46 т/га ($y = 0,4555x - 0,2977$).

Устойчивость растений к полеганию связывается с различными факторами; среди них: условия произрастания растений, высота стебля, кустистость, число узловых корней и мощность корневой системы, эластичность соломины, морфологические особенности второго нижнего междоузлия и анатомическое строение стебля.

Таблица 1. Сортимент изученных коллекционных образцов ячменя
(ФАНЦ Северо-Востока; г. Киров, 2018, 2019 г.)

Table 1. Assortment of the studied barley accessions
(FASC North-East, Kirov; 2018, 2019)

Номер по каталогу ВИР / VIR Catalogue No.	Сорт / Cultivar	Страна происхождения / Country of origin
–	Белгородский 100 (St)	Россия
30806	Новичок	Россия
–	Бионик	Россия
–	Crusades	Великобритания
30375	Cooper	Эстония
19798	Sultan	Нидерланды
30873	Ментор	Дания
30468	Orthega	Германия
30888	Данута	Германия
–	752A	Швейцария
30574	Filippa	Швеция
35415	Bonita	Аргентина
35415	NCK 95098	Аргентина
30349	Landrace	Перу
31053	Нахбу	США
5983	Местный	Афганистан
3506	Местный	Индия
2929	Местный	Китай
2930	Местный	Китай
5210	Makbo	Австралия
29010	Одесский 115	Украина
30379	Mie	Эстония
29917	Сябра	Белоруссия
30256	Rodos	Польша
15619	Полярный 14	Россия
30892	Наран	Россия
30926	Казьминский	Россия
31046	Щедрый	Россия
–	Рейдер	Белоруссия

На основе анализа коллекционных образцов по данным признакам была установлена связь средней степени между устойчивостью к полеганию и следующими показателями: высотой растений ($r = -0,60$), общей кустистостью ($r = 0,40$) и вторичной корневой системой, формирующейся к фазе «созревание» ($r = 0,44$).

С помощью регрессионного анализа (Dospekhov, 1985) установлено, что изменение устойчивости к полеганию у данного набора сортов на 36% ($R^2 = 0,363$) зависело от изменения высоты растений, на 16% ($R^2 = 0,158$) от изменения общей кустистости и на 2% ($R^2 = 0,196$) от количества вторичных корней, сформировавшихся к фазе созревания. Снижение высоты растений на 4,2 см вело к увеличению устойчивости к полеганию у изученных сортов на 1 балл ($y = -4,1619x + 94,273$). Кроме того, устойчивость к полеганию повышалась на 1 балл с воз-

растанием продуктивной кустистости на 0,2 стебля ($y = 0,2184x + 0,2476$) или количества вторичных корней, сформировавшихся к фазе «созревание», на 1,2 шт. ($y = 1,1592x + 7,2224$).

В соответствии с J. Lekeš et al. (1983) все сорта были разделены по высоте растений на три условные группы:

- очень низкие (41–60 см),
- низкорослые (61–70 см),
- средненизкие (71–80 см).

Образцы в группе «очень низкие» отличались высокой устойчивостью к полеганию, средний балл составлял 8,8. В группах «низкорослые» и «средненизкие» различий практически не было и балл равнялся 7,5 и 7,4 соответственно. Однако следует отметить, что в эти группы вошли сорта с различной устойчивостью к полеганию. Например, относящиеся к группе «низкорослые»

сорта 'Новичок' (к-30806; Россия), 'Bonita' (к-35417; Аргентина) и 'NCK 95098' (к-35415; Аргентина) имели устойчивость к полеганию 9 баллов, а сорт 'Makbo' (к-5210; Австралия) – 6,1 балла. К группе «средненизкие» были отнесены устойчивый к полеганию сорт 'Наран' (к-30892; Россия) и неустойчивый Местный (к-3506) из Индии (табл. 2).

Несмотря на то что устойчивость к полеганию в средней степени ($r = 0,40$) зависела от кустистости, не все неполегающие сорта характеризовались большим количеством стеблей. Так, устойчивые к полеганию сорта 'Казьминский' (к-30926; Россия) и 'Рейдер' (Белоруссия) обладали низкой кустистостью, равной 1,3 и 1,6 соответственно, а у склонного к полеганию Местного из Индии (к-3506) общая кустистость находилась на уровне устойчивого стандарта 'Белгородский 100' (Россия).

В наших исследованиях обнаружена взаимосвязь между числом узловых корней и полегаемостью, однако, как и в случаях с высотой и кустистостью растений, нельзя говорить, что устойчивыми к полеганию будут только те сорта, которые имеют более развитую корневую систему. Так, устойчивый к полеганию сорт 'Казьминский'

(к-30926; Россия) имел количество корней аналогичное полегающему образцу 'Landrace' (к-30349; Перу).

Таким образом, можно заключить, что отбор по высоте, кустистости растений и количеству узловых корней не всегда бывает эффективен. Устойчивыми к полеганию могут оказаться высокостебельные сорта, а также сорта с низкой кустистостью или меньшим количеством вторичных корней, не уступающие по урожайности другим устойчивым к полеганию сортам, как, например, сорта 'Новичок' (к-30806; Россия), 'Казьминский' (к-30926; Россия) и 'Рейдер' (Белоруссия).

Многие исследователи объясняют устойчивость растений к полеганию морфологическими особенностями второго нижнего междоузлия, такими как его длина, диаметр и масса (Zaushintsena et al. 2008; Isamitdinov et al., 2009; Torop E.A. et al., 2011; Zakharov et al., 2014; Paska et al., 2015). Наиболее часто устойчивость к полеганию связывается с длиной второго нижнего междоузлия. Однако эта взаимосвязь не является надежным средством для отбора устойчивых к полеганию форм. После деления образцов на условные группы по длине второго нижнего междоузлия (табл. 3) выяснилось, что

Таблица 2. Зависимость устойчивости к полеганию от некоторых элементов структуры урожая
(ФАНЦ Северо-Востока; г. Киров, 2018, 2019 г.)

Table 2. Dependence of lodging resistance on some components of yield structure (FASC North-East, Kirov; 2018, 2019)

Сорт / Cultivar	Устойчивость к полеганию, балл / Lodging resistance, score	Высота растения, см / Plant height, cm	Общая кустистость, шт./раст. / Total tillering, pcs/plant	Урожай- ность, т/га / Yield, t/ha	Количество вторичных корней в фазу «созревание», шт. / Number of secondary roots in the ripening phase, pcs
41 – 60 см / 41 – 60 cm					
Белгородский 100 / Belgorodsky 100	9,0	57,2	2,3	3,4	20,1
Бионик Bionic	9,0	58,6	2,3	3,0	14,9
Казьминский (к-30926) / Kazminsky	8,8	46,8	1,3	4,2	15,2
Рейдер / Raider	9,0	54,4	1,6	4,6	20,4
61 – 70 см / 61 – 70 cm					
Новичок (к-30806) / Novichok	9,0	62,9	2,0	4,3	21,1
Щедрый (к-31046) / Shchedry	8,1	60,5	1,9	4,7	14,3
Makbo (к-5210)	6,1	60,1	1,4	2,5	9,4
Landrace (к-30349)	6,5	62,7	1,3	2,2	15,1
71 – 80 см / 71 – 80 cm					
Наран (к-30892) / Naran	8,6	72,5	2,2	2,5	17,0
Полярный 14 (к- 15619) / Polyarny 14	7,9	74,3	1,3	3,2	20,0
Местный (к-3506) / Local sample	5,8	76,7	2,0	2,5	16,8
НСП ₀₅ / LSD ₀₅	–	4,8	1,1	0,5	–

Таблица 3. Морфологические особенности второго нижнего междоузлия коллекционных образцов ячменя (ФАНЦ Северо-Востока; г. Киров, 2018, 2019 г.)**Table 3. Morphological features of the second lowest internode in barley accessions** (FASC North-East, Kirov; 2018, 2019)

Сорт / Cultivar	Устойчивость к полеганию, балл / Lodging resistance, score	Длина 2-го нижнего меж- доузлия, см / Length of the 2nd lowest internode, cm	Диаметр 2-го нижнего меж- доузлия, мм / Diameter of the 2nd lowest internode, mm	Масса 2-го нижнего меж- доузлия, мг / Weight of the 2nd lowest internode, mg	Масса отрезка 1 см, мг / Weight of a 1 cm cutting, mg
4,81 – 5,20 см / 4.81 – 5.20 cm					
Rodos (к-30256)	8,8	4,96	2,5	53,1	11,7
5,21 – 5,60 см / 5.21 – 5.60 cm					
Cooper (к-30375)	8,9	5,44	2,6	58,2	11,2
5,61 – 6,00 см / 5.61 – 6.00 cm					
Бионик / Bionic	9,0	5,61	2,3	39,4	8,5
752A	7,2	5,73	2,8	81,3	18,0
Местный (к-5983) / Local sample (k-5983)	6,6	5,83	2,5	83,1	16,5
Рейдер / Raider	9,0	5,73	2,5	78,0	15,8
6,01 – 6,40 см / 6.01 – 6.40 cm					
Bonita (к-35417)	9,0	6,38	2,2	61,7	11,8
Местный (к-2929) / Local sample (k-2929)	6,4	6,37	2,6	68,0	13,5
Казьминский (к-30926) / Kazminsky	8,8	6,18	2,3	4,94	9,5
6,41 – 6,80 см / 6.41 – 6.80 cm					
Новичок (к-30806) / Novichok	9,0	6,66	2,5	59,9	11,8
Местный (к-2930) / Local sample (k-2930)	6,6	6,53	2,6	71,1	13,0
6,81 – 7,20 см / 6.81 – 7.20 cm					
Sultan (к-19798)	9,0	7,15	2,4	59,9	11,6
Landrace (к-30349)	6,5	7,04	2,2	70,5	11,2
7,21 – 7,60 см / 7.21 – 7.60 cm					
Одесский 115 (к-29010) / Odessky 115	9,0	7,30	2,2	68,0	10,9
7,61 – 8,00 см / 7.61 – 8.00 cm					
Белгородский 100 / Belgorodsky 100	9,0	7,94	2,4	74,8	11,7
8,81 – 9,20 см / 8.81 – 9.20 cm					
Полярный 14 (к-15619) / Polyarny 14	7,9	8,89	2,9	122,2	16,5
НСП ₀₅ / LSD ₀₅	–	0,898	0,25	14	–

эти группы практически не различались по устойчивости к полеганию. К тому же устойчивые к полеганию образцы присутствовали во всех группах, кроме группы с длиной второго нижнего междоузлия от 8,8 до 9,2 см, куда вошел только сорт 'Полярный 14' (к-15619; Россия). Неустойчивые к полеганию сорта имели различную длину междоузлий и присутствовали в большинстве групп. Отсутствие в некоторых группах устойчивых или неустойчивых к полеганию сортов можно объяснить количеством изучаемых образцов. Возможно, если бы в составе этих групп было большее количество сортов, то и в них обнаружили бы разные по устойчивости к полеганию формы.

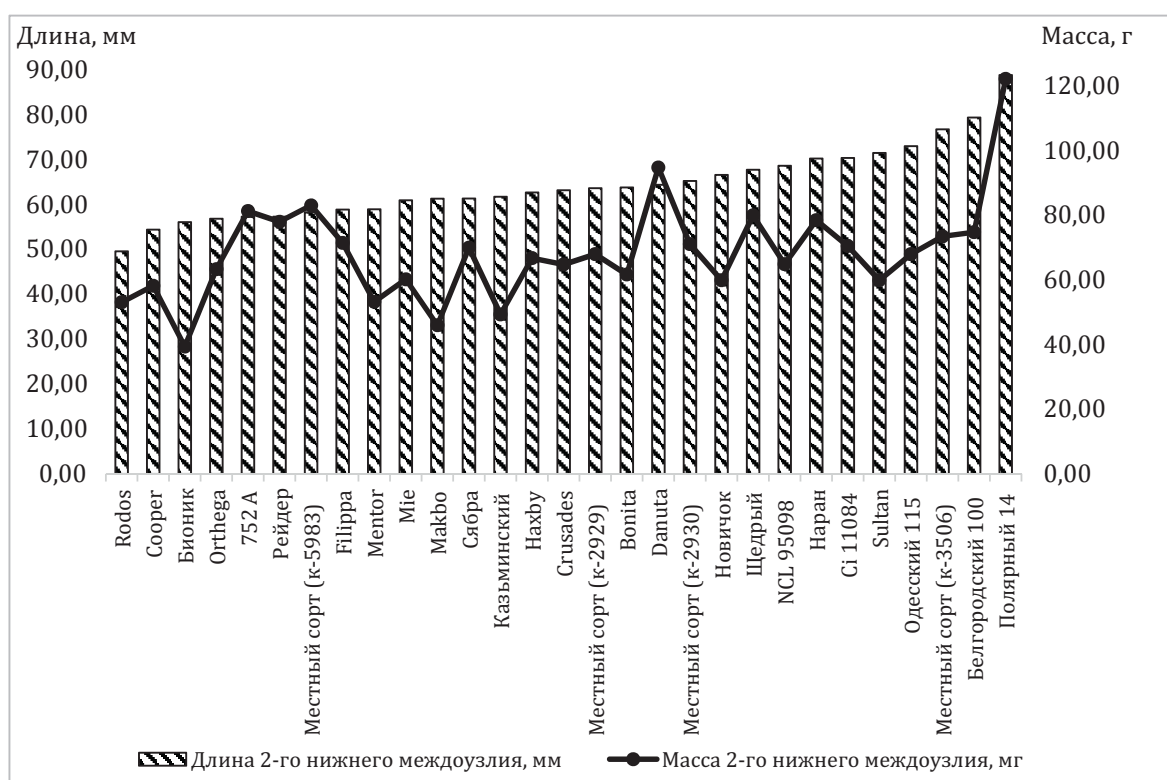
Е.А. Тогор et al. (2011), изучив сорта озимой ржи, выявили связь между устойчивостью к полеганию и массой междоузлий. В наших исследованиях устойчивость к полеганию не зависела от массы второго нижнего междоузлия, но была обнаружена тесная взаимосвязь между длиной второго нижнего междоузлия и его массой ($r = 0,57$). Наблюдалась тенденция увеличения массы второго нижнего междоузлия с увеличением его длины (рисунок), хотя это не было характерно для всех сортов.

массу междоузлий, равную 39,4 мг и 83,1 мг соответственно. При этом сорт 'Бионик' устойчив к полеганию, а образец из Афганистана – нет.

Исследователями (Isamitdinov et al., 2009; Paska et al., 2015) была выявлена средняя корреляционная зависимость между устойчивостью к полеганию и диаметром второго нижнего междоузлия. При изучении данного набора сортов не выявлено достоверной корреляции между этими двумя показателями. Следовательно, по диаметру второго нижнего междоузлия нельзя в полной мере оценить устойчивость растений к полеганию. Так, у образцов, имеющих разную устойчивость к полеганию, могут быть одинаковые по диаметру междоузлия. Например, сорт 'Bonita' (к-35417; Аргентина; устойчивость к полеганию – 9 баллов) и сорт 'Landrace' (к-30349; Перу; 6,5 баллов) имели одинаковый диаметр вторых нижних междоузлий, равный 2,2 мм. Более того, некоторые неустойчивые к полеганию сорта обладали большим диаметром второго нижнего междоузлия, чем устойчивые. Например, Местные из Китая (к-2929 и к-2930), превышающие по данному показателю неполегающие сорта, имели устойчивость

Рисунок. Зависимость массы второго нижнего междоузлия от его длины
(ФАНЦ Северо-Востока; г. Киров; 2018, 2019 г.)

Figure. Dependence of the weight of the second lowest internode on its length (FASC North-East, Kirov; 2018, 2019)



Так, например, у сорта 'Рейдер' масса второго междоузлия равнялась 78,0 мг, длина – 5,73 см, а у сорта 'Sultan', существенно превышающего 'Рейдер' по длине второго междоузлия, масса этого междоузлия значительно меньше – 59,9 мг (см. табл. 3). Несмотря на такие различия, устойчивость к полеганию у обоих образцов равнялась 9 баллам. Даже сорта в пределах одной группы, имеющие примерно одинаковую длину вторых нижних междоузлий, различались по массе. Это видно на примере сорта 'Бионик' (Россия) и Местного из Афганистана (к-5983). Данные образцы, вошедшие в одну группу по длине, имели существенно отличающуюся

к полеганию равную 6,4 и 6,6 баллам соответственно. Аналогично и сорт '752A' (Швейцария), отличавшийся наибольшим диаметром второго нижнего междоузлия, имел устойчивость к полеганию 7,2 балла.

На основании изложенного можно сделать вывод, что устойчивость к полеганию не всегда зависит от длины, диаметра и массы второго нижнего междоузлия.

Кроме приведенных выше лабораторных методов оценки устойчивости растений к полеганию, существует способ отбора устойчивых к полеганию форм зерновых колосовых злаков (озимая рожь) (Тогор Т.А. et al.,

2010). По данной методике в качестве устойчивых к полеганию отбирают те растения, у которых масса одинаковых по длине отрезков междоузлий одного и того же яруса является максимальной. Авторы выявили очень сильную зависимость устойчивости к полеганию от массы отрезка второго снизу междоузлия ($r = 0,968$). В наших исследованиях такой зависимости не обнаружено. Более того, дисперсионный анализ показал отсутствие значимых различий между сортами по этому признаку. На основании чего можно заключить, что нельзя судить об устойчивости к полеганию по массе

отрезка, так как не всегда устойчивые к полеганию образцы имеют большую массу отрезка по сравнению с неустойчивыми (см. табл. 3).

Для сравнения устойчивых и неустойчивых к полеганию образцов по элементам структуры урожая и морфологическим особенностям второго нижнего междоузлия мы провели их группировку (табл. 4). В результате проведенных исследований установлено, что устойчивые к полеганию коллекционные образцы имели большую урожайность по сравнению с неустойчивыми.

Таблица 4. Морфо-биологические признаки групп сортов ячменя, различных по устойчивости к полеганию (ФАНЦ Северо-Востока; г. Киров, 2018, 2019 г.)

Table 4. Morphobiological traits of barley cultivar groups differing in their resistance to lodging (FASC North-East, Kirov; 2018, 2019)

Параметр / Parameter	Группы сортов / Groups of cultivars	
	устойчивые к полеганию / resistant to lodging	неустойчивые к полеганию / susceptible to lodging
Устойчивость к полеганию, балл / Lodging resistance, score	8,8	6,6
Длина второго нижнего междоузлия, см / Length of the 2nd lowest internode, cm	6,32	6,77
Диаметр второго нижнего междоузлия, мм / Diameter of the 2nd lowest internode, mm	2,5	2,4
Масса второго нижнего междоузлия, мг / Weight of the 2nd lowest internode, mg	77,0	65,3
Масса отрезка 1 см, мг / Weight of a 1 cm cutting, mg	12,4	13,8
Высота растений, см / Plant height, cm	57,1	68,0
Общая кустистость, шт./растение / Total tillering, pcs/plant	2,2	1,6
Продуктивная кустистость, шт./растение / Productive tillering, pcs/plant	1,9	1,4
Длина колоса, см / Ear length, cm	6,5	4,9
Плотность колоса / Ear density	13,1	10,8
Количество колосков, шт. / Number of spikes, pcs	20,9	35,1
Количество зерен, шт. / Number of grains, pcs	18,7	28,9
Масса зерна с колоса, г / Grain weight per ear, g	0,91	1,00
Масса зерна с растения, г / Grain weight per plant, g	1,47	1,22
Масса 1000 зерен, г / 1000 grain weight, g	45,48	36,31
Урожайность, т/га / Yield, t/ha	3,8	2,6
Количество первичных корней в фазу «кущение», шт. / Number of primary roots in the tillering phase, pcs	7,2	7,0
Количество вторичных корней в фазу «кущение», шт. / Number of secondary roots in the tillering phase, pcs	4,2	3,6
Количество первичных корней в фазу «созревание», шт. / Number of primary roots in the ripening phase, pcs	7,0	6,7
Количество вторичных корней в фазу «созревание», шт. / Number of secondary roots in the ripening phase, pcs	17,4	15,2

Кроме того, выявлено, что неполегающие образцы обладали более высокой кустистостью, продуктивностью растения, массой 1000 зерен, длинным и плотным колосом, развитой вторичной корневой системой. Более высокая озерненность неустойчивых к полеганию образцов объясняется наличием в их группе многорядных ячменей. По остальным показателям эти группы незначительно отличаются друг от друга.

Заключение

Таким образом, не выявлено существенного влияния отдельных морфологических особенностей второго нижнего междоузлия на устойчивость к полеганию растений ячменя. Предварительный отбор неполегающих форм можно проводить по изученным критериям, но более эффективной будет оценка сортов по устойчивости к полеганию в полевом опыте в почвенно-климатических условиях Волго-Вятского региона с учетом комплекса морфологических признаков второго нижнего междоузлия. Для дальнейшей селекционной работы выделены образцы, сочетающие высокую урожайность с устойчивостью к полеганию и рядом селекционно ценных признаков: 'Белгородский 100', 'Наран' (к-30892), 'Казьминский' (к-30926), 'Щедрый' (к-31046) (Россия); 'Сябра' (к-29917), 'Рейдер' (Белоруссия); 'Одесский 115' (к-29010; Украина); 'Mie' (к-30379; Эстония); 'Rodos' (к-30256; Польша). Образцы 'Новичок' (к-30806), 'Бионик' (Россия); 'Crusades', 'Cooper' (Великобритания); 'Sultan' (к-19798; Нидерланды); 'NCK 95098' (к-35415; Аргентина); 'Filippa' (к-30574; Швеция); 'Нахбу' (к-31053; США); 'Mentor' (к-30873; Дания); 'Orthege' (к-30468), 'Danuta' (к-30889) (Германия) также устойчивы к полеганию, но их необходимо скрещивать с более продуктивными сортами.

References/Литература

- Batalova G.A. Selection of grain crops and peas for conditions of the Northeast of the European territory of Russia. *Legumes and Groat Crops*. 2015;2(14):20-26. [in Russian] (Баталова Г.А. Селекция зерновых культур и гороха для условий Северо-Востока Европейской территории России. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2015;2(14):20-26).
- Griguletsky V.G. To the question of the stability of rectilinear forms of balance cutters of grain crops against flashback. Part 1. *Moscow Economic Journal*. 2019;9:532-557. [in Russian] (Григулецкий В.Г. К вопросу устойчивости прямолинейной формы равновесия стеблей зерновых культур против полегания. Часть 1. *Московский экономический журнал*. 2019;9:532-557). DOI: 10.24411/2413-046X-2019-19015
- Dospikhov B.A. Methodology of field trial (Metodika polevogo opyta). Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат; 1985).
- Isamitdinov R.N., Kekalo N.Yu., Kuznetsova T.E., Serkin N.V. Winter barley anatomical and morphological stem structure influence on lodging resistance. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2009;20:175-179. [in Russian] (Исамитдинов Р.Н., Кекало Н.Ю., Кузнецова Т.Е., Серкин Н.В. Влияние анатомического и морфологического строения стебля озимого ячменя на устойчивость к полеганию. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2009;20:175-179).
- Ivanova N.V., Anisimova A.V., Radyukevich T.N., Kovaleva O.N. Sources of agrobiological traits for breeding spring barley varieties in the North-West of the Russian Federation. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2016;177(3):94-102. [in Russian] (Иванова Н.В., Анисимова А.В., Радюкевич Т.Н., Ковалева О.Н. Источники хозяйственно ценных признаков для создания сортов ярового ячменя в Северо-Западном регионе РФ. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2016;177(3):94-102). DOI: 10.30901/2227-8834-2016-3-94-102
- Kovrigina L.N., Zaushintsena A.V. Importance of short-stem barley forms in breeding for lodging resistance (Znachimost korotkostebelnykh form yachmenya v selektsii no ustoychivost k poleganiyu). In: P.L. Goncharov, Yu.A. Khristov (eds). *Crop breeding for resistance to extreme environmental factors in arid zones of Siberia (Selektsiya selskokhozyaystvennykh kultur na ustoychivost k eksternalnym faktoram sredy v aridnykh zonakh Sibiri)*. Novosibirsk; 2012. p.84-89. [in Russian] (Ковригина Л.Н., Заушинцева А.В. Значимость короткостебельных форм ячменя в селекции на устойчивость к полеганию. В кн.: *Селекция сельскохозяйственных культур на устойчивость к экстремальным факторам среды в аридных зонах Сибири* / под ред. П.Л. Гончарова, Ю.А. Христов. Новосибирск. 2012. С.84-89).
- Lekeš J., Bareš I., Foral A., Odignal V., Ružička F., Bobek M. et al. International COMECON List of Descriptors for the Genus *Hordeum* L. (subgen. *Hordeum*). Leningrad: VIR; 1983. [in Russian; in English] (Лекеш Я., Бареш И., Форал А., Одигнал И., Ружичка Ф., Бобек М. и др. Международный классификатор СЭВ рода *Hordeum*. Ленинград: ВИР; 1983).
- Loskutov I.G., Kovaleva O.N., Blinova E.V. Methodological Guidelines for the Study and Preservation of the World Collection of Barley and Oats (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu i sokhraneniyu mirovoy kolleksii yachmenya i ovsa). St. Petersburg: VIR; 2012. [in Russian] (Лоскутов И.Г., Ковалева О.Н., Блинова Е.В. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. Санкт-Петербург: ВИР; 2012).
- Packa D., Wiwart M., Suchowilska E., Bieńkowska T. Morpho-anatomical traits of two lowest internodes related to lodging resistance in selected genotypes of *Triticum*. *International Agrophysics*. 2015;29(4):475-483. DOI: 10.1515/intag-2015-0053
- Repko N.V., Koblyanskiy A.S., Khronyuk E.V. Plant height and lodging resistance of collection varieties of winter barley. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2017;133:160-172. [in Russian] (Репко Н.В., Коблянский А.С., Хронюк Е.В. Высота растений и устойчивость к полеганию коллекционных сортов озимого ячменя. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2017;133:160-172). DOI: 10.21515/1990-4665-133-015
- Rodina N.A. Barley breeding in the northeast of the Non-Chernozem zone (Selektsiya yachmenya na Severo-Vostoche Nechernozemya). Kirov; 2006. [in Russian] (Родина Н.А. Селекция ячменя на Северо-Востоке Нечерноземья. Киров; 2006).

- Shchennikova I.N., Nazarova N.N., Lisitsyn E.M. Multi-row barley cultivation methods in Volga-Vyatka region. *Zemledelie = Crop Farming*. 2011;6:20-22. [in Russian] [Щенникова И.Н., Назарова Н.Н., Лисицын Е.М. Приемы возделывания многорядного ячменя в Волго-Вятском регионе. *Земледелие*. 2011;6:20-22].
- Tikhvinsky S.V., Doronin S.V., Dudina A.N., Tyuchkalov L.V. Field crops in the North-East of the European part of Russia (Polevye kultury na Severo-Vostoke Yevropeyskoy chasti Rossii). Kirov; 2007. [in Russian] [Тихвинский С.В., Доронин С.В., Дудина А.Н., Тючкалов Л.В. Полевые культуры на Северо-Востоке Европейской части России. Киров; 2007].
- Torop E.A., Chajkin V.V., Torop A.A. Method of estimation of winter rye selection material for lodging resistance. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2011;3(22):14-16. [in Russian] [Тороп Е.А., Чайкин В.В., Тороп А.А. Способ оценки селекционного материала озимой ржи на устойчивость к полеганию. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2011;3(22):14-16].
- Torop E.A., Chajkin V.V., Torop A.A. Method of selection of lodging-resistant cereals. Russian Federation; patent number 2382549C2; 2008. [in Russian] [Тороп Е.А., Чайкин В.В., Тороп А.А. Способ отбора устойчивых к полеганию форм зерновых колосовых злаков. Российская Федерация; патент № 2382549C2; 2008]. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2382549C2_20100227 [дата обращения: 11.03.2020].

- Udovenko G.V. (ed.) Diagnostics of plant resistance to stress: a methodological guide (Diagnostika ustoychivosti rasteniy k stressovym vozdeystviyam: metodicheskoye rukovodstvo). Leningrad: VIR; 1988. [in Russian] [Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: методическое руководство / под ред. Г.В. Удовенко. Ленинград: ВИР; 1988].
- Zakharov V.G., Syukov V.V., Yakovleva O.D. Correlation of morphoanatomical traits with lodging resistance in spring wheat in the Middle Volga region. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2014;18(3):506-510. [in Russian] [Захаров В.Г., Сюков В.В., Яковлева О.Д. Сопряженность анатомо-морфологических признаков с устойчивостью к полеганию яровой мягкой пшеницы в условиях Среднего Поволжья. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2014;18(3):506-510].
- Zaushintsena A.V., Kovrigina L.N., Stepanyuk G.J., Olshevsky O.M. The nature of inheritance of the characters 'wall radius' and 'stem diameter' in barley (Kharakter nasledovaniya priznakov "radius stenki" i "diametr steblya" yachmenya). *The Bulletin of KrasGAU*. 2008;6:32-37. [in Russian] [Заушинцева А.В., Ковригина Л.Н., Степанюк Г.Я., Ольшевская О.М. Характер наследования признаков «радиус стенки» и «диаметр стебля» ячменя. *Вестник КрасГАУ*. 2008;6:32-37].

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Зайцева И.Ю., Щенникова И.Н. Сопряженность морфологических признаков с устойчивостью к полеганию ярового ячменя в условиях Волго-Вятского региона. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(3):32-40. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-32-40

Zaytseva I.Yu., Shchennikova I.N. Association of morphological traits with lodging resistance in spring barley under the conditions of the Volga-Vyatka region. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(3):32-40. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-32-40

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-3-32-40>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Zaytseva I.Yu. <https://orcid.org/0000-0002-1228-2151>

Shchennikova I.N. <https://orcid.org/0000-0002-5143-9246>