

УДК 631.523/527: 633.111

## СОПРЯЖЕННОСТЬ АНАТОМО-МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ С УСТОЙЧИВОСТЬЮ К ПОЛЕГАНИЮ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

© 2014 В.Г. Захаров<sup>1</sup>, В.В. Сюков<sup>2</sup>, О.Д. Яковлева<sup>1</sup><sup>1</sup> ГНУ Ульяновский НИИСХ, пос. Тимирязевский, Ульяновская область, Россия;<sup>2</sup> ГНУ Самарский НИИСХ, пос. Безенчук, Самарская область, Россия,

e-mail: vsyukov@mail.ru

Поступила в редакцию 17 июля 2014 г. Принята к публикации 30 июля 2014 г.

Работа посвящена изучению сопряженной изменчивости по устойчивости к полеганию и анатомо-морфологическим признакам стебля у 17 сортов яровой мягкой пшеницы. Методами факторного, путевого и многомерного регрессионного анализа выявлено, что достоверные прямые и косвенные вклады в признак устойчивости растений к полеганию вносят длина второго, третьего нижних междоузлий, сумма их длины и прочность соломины на излом в районе нижних междоузлий. Показано, что отбор на устойчивость к полеганию у яровой мягкой пшеницы возможно вести в ранних поколениях по длине нижних междоузлий.

**Ключевые слова:** яровая пшеница, полегание, анатомо-морфологические признаки, корреляция, регрессия, главная компонента, путевой анализ.

### ВВЕДЕНИЕ

Полегание зерновых культур, в том числе яровой пшеницы, происходит вследствие влияния погодных-климатических условий – избытка осадков и сильного ветра. Оно приводит к значительному снижению продуктивности растений. Раннее полегание вызывает потерю урожая на 29,8–30,9 %, а полегание в фазе ранней восковой спелости – на 9,9–17,6 % (Gotsova, Gotsov, 1965). По данным А.А. Жученко, полегание зерновых культур, в частности озимой и яровой пшеницы, ржи, ячменя и других, приводит к значительным потерям урожая (30–50 % и более), ухудшению его семенных и хозяйственных показателей, создает значительные трудности при уборке (Жученко, 2004). В отдельных случаях потери от полегания могут достигать 90 % (Лелли, 1980).

Различают два типа полегания – прикорневое, связанное с особенностями архитектуры вторичной корневой системы, и стеблевое, определяемое архитектурой надземной части растения

и анатомо-морфологическими особенностями стебля (Atkins, Ennos, 1938; Crook, 1994).

В отношении стеблевого полегания, которое в зоне Среднего Поволжья является наиболее типичным, первое обобщение литературы за 140 лет провел J.M. Atkins (Atkins, Ennos, 1938). Он указал на такие механизмы, как содержание кремнезема в стебле, масса 1 см длины соломины и прочность соломины на разрыв. В отдельные годы отмечалась связь устойчивости к полеганию с длиной нижнего междоузлия. В настоящее время имеется много данных о связи отдельных биохимических (Züber, 1994; Wang *et al.*, 2012) и анатомо-морфологических признаков растения с устойчивостью к полеганию (Дорофеев, 1960; Ильинская-Центилович, Тетерятченко, 1969; Рутц, Пьянов, 1975; Сюков, 1980; Киселев, 1985; Berry *et al.*, 2007). Вместе с тем селекционная практика показывает, что она определяется комплексом взаимосвязанных признаков. Поэтому отбор по одному из них, без учета других, не всегда приводит к получению желаемого результата (Коваль и др., 2010).

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В 2009–2011 гг. нами проведены исследования по изучению характеристик сопряженной изменчивости устойчивости к полеганию, морфо-биометрических и анатомических признаков растений у 17 сортов яровой мягкой пшеницы: Лютесценс 62, Саратовская 36, Волжанка, Кутулукская, Симбирка, Ишеевская, Л-503, Землячка, Экада 6, Симбирцит, Экада 70, Маргарита, Экада 66, Экада 97, Экада 109, Ульяновская 100 и Сурская юбилейная. Факторный анализ совокупности признаков, связанных с устойчивостью к полеганию, провели методом главных компонент (Харман, 1972), который предназначен для совместного анализа взаимосвязанных признаков. Анализ с помощью данного метода позволяет находить нескоррелированные между собой главные компоненты и веса (коэффициенты нагрузки), которые отражают вклад каждой главной компоненты в выраженность признака. Анализ коэффициентов путей Райта осуществляли по С.П. Мартынову (1978). Многофакторный нелинейный регрессионный анализ проводили с использованием компьютерной программы Оренбургского НИИСХ, разработанной под руководством доктора сельскохозяйственных наук А.Г. Крючкова.

Нами было изучено 12 признаков: устойчивость к полеганию, длина 2-го (снизу) междоузлия, длина 3-го междоузлия, сумма длин 2-го и 3-го междоузлий, длина верхнего междоузлия (расстояние от верхнего стеблевого узла до основания колоса), диаметр 2-го междоузлия, диаметр 3-го междоузлия, масса колоса, масса отрезка (10 см длины) соломины, количество сосудисто-проводящих пучков, прочность 2-го междоузлия на излом, высота растения.

Опыты закладывали на экспериментальном участке ГНУ Ульяновский НИИСХ по «Методике государственного сортоиспытания» (1985), в 4-кратной повторности с нормой высева 5,5 млн всхожих зерен на 1 га, селекционной сеялкой СН-10Ц. Предшественником посева являлся сидеральный пар. Учетная площадь делянок составляла 17,8 м<sup>2</sup>. На делянках закладывали пробные площадки общей площадью 1 м<sup>2</sup>. Уборку учетных площадок проводили вручную, выдергивая растения с корневой системой для

проведения анализа структуры урожайности. Степень устойчивости к полеганию оценивали по 9-балльной шкале (Филатенко, Шитова, 1989). Длину междоузлий, высоту растений измеряли при анализе структуры урожайности линейкой, диаметр междоузлий – электронным штангенциркулем. Число сосудисто-проводящих пучков подсчитывали с помощью микроскопа «BIOLAR» на срезах соломины, сделанных в середине второго междоузлия, предварительно окрашенных в слабом растворе йода. Прочность 2-го междоузлия на излом определяли на изготовленном приборе, в котором предусмотрены держатель для соломины и контейнер с крючком для подвешивания груза. Для анализа брали отрезок соломины длиной 2 см, который помещали в держатель прибора, к середине подвешивали с помощью крючка контейнер, нагружали его грузом до момента излома и отмечали массу груза.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Предварительно рассчитанная матрица коэффициентов корреляции для проведения компонентного анализа позволила выявить характер связей между устойчивостью к полеганию и изученными признаками. Достоверно отрицательно коррелировали с устойчивостью к полеганию длина 2-го междоузлия ( $r = -0,61^{**}$ ), длина 3-го междоузлия ( $r = -0,72^{**}$ ), сумма длин 2-го и 3-го междоузлий ( $r = -0,70^{**}$ ); достоверно положительно – длина верхнего междоузлия ( $r = 0,56^*$ ), диаметр 2-го междоузлия ( $r = 0,69^*$ ), диаметр 3-го междоузлия ( $r = 0,65^*$ ), масса колоса ( $r = 0,61^*$ ), масса 10 см длины соломины ( $r = 0,60^{**}$ ), прочность второго междоузлия на излом ( $r = 0,66^{**}$ ). Связь между количеством сосудисто-проводящих пучков во втором междоузлии и устойчивостью к полеганию оказалась положительной, но недостоверной, при этом наблюдалась положительная связь этого показателя с диаметром второго междоузлия ( $r = 0,79^{**}$ ) и массой колоса ( $r = 0,67^{**}$ ). Между высотой растения и устойчивостью к полеганию связь слабая.

Проведенный корреляционный анализ отразил наличие прямых или обратных связей между отдельными признаками, обуславливающими

устойчивость к полеганию, но не дал представления о вкладе компонентов, что позволяет сделать анализ методом главных компонент.

В результате проведенного факторного анализа было установлено, что изменчивость количественных признаков определяется тремя главными компонентами, которые в совокупности на 81,6 % определили общую дисперсию. При этом первая – на 41,3 %, вторая – на 25,8 %, третья – на 14,5 % (табл. 1).

Первая компонента интерпретирована нами как «устойчивость к полеганию» и связана с биометрическими показателями соломины и ее прочностью на излом. Она включает в себя следующие признаки: длина 2-го междоузлия, длина 3-го междоузлия, сумма длин 2-го и 3-го междоузлий, прочность второго междоузлия на излом. При этом ведущая роль принадлежит признаку «сумма длин 2-го и 3-го междоузлий», который является определяющим в обеспечении более высокой устойчивости к полеганию у изучаемых сортов. Следовательно, можно предположить, что в условиях проведения исследований отбор растений с меньшей длиной нижних междоузлий будет приводить к повышению устойчивости в процессе селекции.

Вторая компонента «продуктивности», связанная с формированием массы колоса в связи с диаметром междоузлий и количеством

сосудистых пучков, включает в себя признаки, способствующие реализации высокой продуктивности колоса. Ведущая роль в этой компоненте отводится признаку «количество сосудистых пучков».

Третья компонента определяет высоту растений и длину верхнего междоузлия. Эта компонента никак не связана с устойчивостью к полеганию.

Для уточнения вклада отдельных признаков, входящих в состав первой главной компоненты, в устойчивость к полеганию использовали метод анализа путевых коэффициентов Райта. Как видно из табл. 2, лишь один параметр из четырех имеет достоверный прямой вклад в формирование результирующего признака «устойчивость к полеганию» – сумма длин 2-го и 3-го нижних междоузлий (переменная 3). Остальные переменные определяют устойчивость к полеганию косвенно, через третий признак.

Наиболее близко эмпирические данные аппроксимируются уравнением множественной регрессии:  $Y = 9,068 - 134,356x_1 - 134,716x_2 + 134,359x_3 + 0,0012x_4$  ( $r = 0,761$ ,  $D = 62,4\%$ ,  $F = 5,395^{***}$ ).

В результате проведенных исследований установлено, что наиболее стабильная взаимосвязь устойчивости к полеганию растений яровой мягкой пшеницы проявляется с дли-

**Таблица 1**

Результаты факторного анализа признаков, связанных с устойчивостью к полеганию

Признак	Оценка нагрузок на компоненты		
	1	2	3
Устойчивость к полеганию	-0,756	0,228	-0,414
Длина 2-го междоузлия	0,938	-0,083	-0,102
Длина 3-го междоузлия	0,913	-0,205	0,067
Сумма длин 2-го и 3-го междоузлий	0,956	-0,165	0,004
Длина верхнего междоузлия	-0,152	0,051	-0,947
Диаметр 2-го междоузлия	-0,446	0,796	-0,294
Диаметр 3-го междоузлия	-0,563	0,680	-0,265
Масса колоса	-0,491	0,706	-0,079
Количество сосудистых пучков	-0,241	0,860	0,008
Прочность 2-го междоузлия на излом	-0,766	0,183	-0,060
Высота растения	0,044	0,374	-0,680
Масса 10 см длины соломины	-0,578	0,678	-0,165
Дисперсия, %	41,331	25,819	14,497

**Таблица 2**  
Прямые и косвенные вклады  
количественных признаков  
в показатель «устойчивость к полеганию»

№ признака	1	2	3	4	<i>r</i>
1	<u>0,637</u>	0,101	-1,097	-0,248	-0,607
2	0,543	<u>0,119</u>	-1,142	-0,237	-0,716
3	0,599	0,116	<u>-1,167</u>	-0,250	-0,702
4	-0,424	-0,076	0,783	<u>0,373</u>	0,656
$P_0 = 0,639$					

Примечание. 1 – длина второго нижнего междоузлия; 2 – длина третьего нижнего междоузлия; 3 – длина 2-го и 3-го нижних междоузлий; 4 – прочность соломины на излом; *r* – коэффициент корреляции признака с устойчивостью к полеганию. Подчеркнуты прямые вклады.

ной второго и третьего нижних междоузлий и прочностью соломины на излом. В качестве дополнительного критерия отбора на устойчивость к полеганию на ранних этапах селекции предлагается использовать сумму длин 2-го и 3-го междоузлий, имеющих наибольший вес среди включенных в первую компоненту.

## ЛИТЕРАТУРА

- Дорофеев В.Ф. Некоторые данные исследования полегания пшениц // Бюл. ВИР. 1960. Т. 32. Вып. 2. С. 293–302.
- Жученко А.А. Ресурсный потенциал производства зерна в России. М.: ООО «Издательство Агрорус», 2004. 1109 с.
- Ильинская-Центилович М.А., Тетерятченко К.Г. О селекции озимой пшеницы на устойчивость к полеганию // Тр. Харьковского с.-х. ин-та, 1969. Т. 27. С. 44–48.
- Киселев В.А. Оценка устойчивости сортов озимой пшеницы к полеганию по морфологическим признакам стебля // Селекция и семеноводство полевых культур в Среднем Поволжье. Самара, 1985. С. 87–88.
- Коваль С.Ф., Шаманин В.П., Коваль В.С. Стратегия и тактика отбора в селекции растений: Монография. Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2010. 228 с.
- Лелли Я. Селекция пшеницы: Теория и практика. М.: Колос, 1980. 384 с.
- Мартынов С.П. Применение путевого и дискриминантного анализов для оценки селекционной значимости компонентов урожая // Генетика количественных признаков сельскохозяйственных растений. М., 1978. С. 52–58.
- Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / Под общ. ред. М.А. Федина. М., 1985. Вып. 1. 270 с.
- Рутц Р.И., Пьянов В.П. Особенности морфологического строения стебля и устойчивость к полеганию сортов яровой пшеницы интенсивного типа // Биология и агротехника полевых культур: Сб. науч. тр. Ом. с.-х. ин-та им. С.М. Кирова. Омск, 1975. Т. 137. С. 117–120.
- Сюков В.В. Исходный материал для селекции устойчивых к полеганию сортов мягкой пшеницы // За высокую эффективность производства и качества работы: Тез. докл. на V науч.-произв. конф. молодых учен. и спец. сел. хоз-ва Куйбышевской обл. Куйбышев, 1980. С. 87–88.
- Филатенко А.А., Шитова И.П. Широкий унифицированный классификатор СЭВ рода *Triticum* L. Л., 1989. 44 с.
- Харман Г. Современный факторный анализ. М.: Статистика, 1972. 486 с.
- Atkins J.M., Ennos A.R. Relation of certain plant characters to strength of straw and lodging in winter wheat // J. Agric. Res. 1938. V. 56. No. 2. P. 99–120.
- Berry P.M., Berry S.T., Spink J.H. Identification of genetic markers for lodging resistance in wheat // Project Report. No. 441. Warwickshire: HGCA, 2008. 14 p.
- Berry P.M., Sylvester-Bradley R., Berry S.T. Ideotype design for lodging-resistant wheat // Euphytica. 2007. V. 154. Iss. 1/2. P. 165–179.
- Crook M.J. Stem and root characteristics associated with lodging resistance in four winter wheat cultivars // J. Agric. Sci. 1994. V. 123. No. 1. P. 167–174.
- Gotsova V., Gotsov P. Influence of lodging on the yield and quality of wheat // Rast. Nauki (Sofia). 1965. No. 2. P. 33–39.
- Wang J., Zhu J., Huang R., Yang Y. Investigation of cell wall composition related to stem lodging resistance in wheat (*Triticum aestivum* L.) by FTIR spectroscopy // Plant Signal Behav. 2012. V. 7. No. 7. P. 856–863.
- Züber U. Molecular and morphological aspects of lodging resistance in spring wheat (*Triticum aestivum* L.): Diss. ... doctor of natural science. Zürich, 1994. 74 p.

**CORRELATION OF MORPHOANATOMICAL TRAITS  
WITH LODGING RESISTANCE IN SPRING WHEAT  
IN THE MIDDLE VOLGA REGION**

**V.G. Zakharov<sup>1</sup>, V.V. Syukov<sup>2</sup>, O.D. Yakovleva<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Ulyanovsk Research Institute of Agriculture, Ulyanovsk oblast, Russia;

<sup>2</sup> Samara Research Institute of Agriculture, Bezenchuk, Samara oblast, Russia,  
e-mail: vsyukov@mail.ru

**Summary**

The study concerns the variability of dual lodging resistance and morphoanatomical indices of the culm in 17 spring wheat varieties. Factor, path, and multivariate regression analyses indicate that reliable direct and indirect contributions to plant resistance to lodging are made by the lengths of the second and third lower internodes, the sum of their lengths, and the fractural strength of the culm at lower internodes. It is shown that the selection for lodging resistance in spring wheat can be done in early generations on the base of the lengths of lower internodes.

**Key words:** spring wheat, lodging, morphoanatomical traits, correlation, regression, principal component, path analysis.