

5. Метод среза не может быть рекомендован в качестве основного метода изучения особенностей формирования корневых систем древесных растений.

### Литература

1. Ваганов Е.А. Роль и структура годичных колец хвойных. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. – 232 с.
2. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Башкортостан в 2009 году. – Уфа: АДИ-Пресс, 2009. – 301 с.
3. Методы изучения лесных сообществ / Е.Н. Андреева, И.Ю. Баккал, В.В. Горшков [и др.]. – СПб.: НИИХ СПбГУ, 2002. – 240 с.
4. Почвы Башкортостана. Т.1: Эколого-генетическая и агропроизводственная характеристика / под ред. Ф.Х. Хазиева. – Уфа: Гилем, 1995. – 384 с.
5. Рахтейенко И.Н. Корневые системы древесных и кустарничковых пород. – М.: Гослесбумиздат, 1952. – 106 с.
6. Сейдафаров Р.А., Уразгильдин Р.В., Зайцев Г.А. Корневые системы липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill) в условиях техногенеза // Аграрная Россия. – 2009. – С. 60-61.
7. Ушаков А.И. Лесная таксация и лесоустройство: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГУЛ, 1997. – С. 54–55.
8. Ярмишко В.Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. – СПб.: Изд-во НИИХ СПбГУ, 1997. – 210 с.



УДК 633.14: 631.52

А.В. Сумина, В.И. Полонский

### ВЛИЯНИЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ГЕНОТИПА НА ПОКАЗАТЕЛИ ПОГЛОЩЕНИЯ ВОДЫ, МАССЫ 1000 ЗЕРЕН И СОДЕРЖАНИЯ БЕЛКА В ЗЕРНЕ ЯЧМЕНЯ СИБИРСКОЙ СЕЛЕКЦИИ

В работе описано влияние агроэкологических факторов, характерных для трех географических территорий, на поглощение воды зерном ячменя, содержание в нем белка и массу 1000 зерен у 24 образцов сибирской селекции.

**Ключевые слова:** зерно, ячмень, поглощение воды, бета-глюканы, содержание белка, масса 1000 зерен, генотип, географические условия.

A.V. Sumina, V.I. Polonskiy

### THE AGRO-CLIMATIC CONDITIONS AND THE GENOTYPE INFLUENCE ON THE WATER ABSORPTION INDICES, THE WEIGHT OF 1,000 GRAIN SEEDS AND THE PROTEIN CONTENT IN THE SIBERIAN SELECTION BARLEY GRAIN

The influence of agro-environmental factors specific to the three geographical areas on the barley water absorption, its protein content and the weight of 1,000 grain seeds of 24 Siberian selection samples is described in the article.

**Key words:** seed, barley, water absorption, beta-glucans, protein content, weight of 1,000 grain seeds, genotype, geographical conditions.

Как известно, в состав клеточных стенок эндосперма ячменя, овса и других зерновых культур входят специфические полисахариды, так называемые (1,3;1,4)- $\beta$ -D-глюканы, которые способствуют снижению уровня холестерина и сахара в крови, уменьшают риск сердечно-сосудистых заболеваний и диабета, являются эффективными средствами в предотвращении и лечении ряда серьезных болезней человека, включая рак кишечника, помогают снижению избыточного веса, поддерживая чувство насыщения, укрепляют иммун-

ную систему, обладая антимикробными свойствами [1]. Поэтому очень важно, чтобы зерно ячменя сортов пищевого (крупяного) направления имело высокое содержание бета-глюканов.

Целое зерно ячменя в среднем содержит 3–9% этих полисахаридов [2]. Однако существуют интересные мутанты ячменя с низким уровнем крахмала и повышенным накоплением бета-глюканов, полностью или частично компенсирующим потерю крахмала. Так, высоколизиновые мутанты ячменя Riso 13 и 29 имеют пониженный на 30% уровень крахмала и повышенное на 20% содержание бета-глюканов [3].

Содержание бета-глюканов в зерне в значительной мере определяется конкретным генотипом и условиями выращивания растений [4]. При этом некоторыми авторами показано, что генетический фактор имеет большее влияние на изменение уровня бета-глюканов в зерне [5], другие исследователи пришли к заключению о решающем значении в указанном процессе параметров внешней среды [6,7].

Компоненты клеточных стенок эндосперма (бета-глюканы и арабиноксиланы), влияя на его структуру и физические свойства, играют значительную роль в процессе поглощения воды набухающими и прорастающими зерновками. Показано, что относительное поглощение воды зерном отрицательно коррелирует с содержанием бета-глюканов в эндосперме ячменя [8].

Кроме того, некоторыми авторами зафиксирована неустойчивая, но явно отрицательная корреляция между уровнем бета-глюканов в зерне ячменя и значением массы 1000 зерен [9], содержанием амилозы [10]. У овса обнаружена сильная положительная связь между уровнем бета-глюканов в зерне, с одной стороны, и содержанием белка и натуры, с другой [11]. В работах других исследователей не было обнаружено корреляции между содержанием бета-глюканов в зерне ячменя и концентрацией в нем белка [8], а также массой 1000 зерен [12]. Для ячменя найдена сильная позитивная связь между содержанием бета-глюканов и концентрацией липидов в зерне [12], содержанием в нем белка [10], а также натуры зерна [12].

**Целью исследования** являются косвенное измерение содержания бета-глюканов у различных образцов ячменя по относительному поглощению воды зерном, изучение взаимосвязи этого параметра с содержанием белка и массой 1000 зерен у исследуемых образцов и анализ зависимости этого показателя от генотипа и экологических условий выращивания.

**Материалы и методы исследований.** В качестве объекта исследования использовались сорта и селекционные линии сибирской селекции ярового пленчатого ячменя (*Hordeum vulgare L.*). Ячмень выращивали в 2010–2011 годах по паровому предшественнику в Емельяновском районе Красноярского края (ОПХ Минино), а также на территории Бейского и Алтайского районов (Республика Хакасия). В работе использовали 24 образца ячменя, которые были любезно предоставлены сотрудниками лаборатории селекции серых хлебов КНИИСХ СО РАСХН. Показатели влажности зерна всех образцов выравнивались в результате выдерживания их в помещении лаборатории при  $20\pm2^\circ\text{C}$  в течение нескольких месяцев в зимний период. Среднее значение влажности в процентах, найденное по стандартной методике [13], составляло  $9,35\pm0,61$ .

Косвенное определение содержания бета-глюканов в зерне ячменя производили по измерению относительного поглощения воды зерном по методике, использованной в работе Дж. Гэмлэта с коллегами [8], в которой была найдена сильная отрицательная корреляция между относительным поглощением воды зерном ячменя и содержанием в нем бета-глюканов. Образцы взвешивали (навеска 100 г, точность измерения 0,1 г) и помещали в марлевых мешочках в отстоянную водопроводную воду при  $18^\circ\text{C}$  на 21 ч (с 9-часовым перерывом нахождения на воздухе). После этой процедуры зерно помещали между двух слоев фильтровальной бумаги для удаления избытка воды с поверхности. Операцию повторяли до полного удаления влаги. Затем зерно взвешивали и вычисляли относительное количество поглощенной воды. Каждый образец был проанализирован в трехкратной повторности.

Параллельно определяли массу 1000 зерен ячменя и содержание в нем белка по методу Кельдаля [14]. Анализы влажности зерна и содержания белка выполнены в ФГУ ГС АС «Хакасская» (Абакан).

Статистическая обработка результатов была проведена с помощью программы обработки данных полевого опыта Field Expert v1.3 Pro [15] и Microsoft Excel 2003.

Пункты проведения опыта различались как по метеорологическим, так и по почвенным характеристикам. В Емельяновском районе почвы представлены обыкновенным маломощным и среднемощным черноземами с проявлением эрозионных процессов и содержанием гумуса 4,2%, реакция почвенного раствора pH – 6,2. Для участка в Алтайском районе характерны обыкновенные черноземы с низким содержанием гумуса – 2,6% и нейтральной pH – 7,1. Почва в Бейском районе – обыкновенный чернозем, содержание гумуса 3,8%, pH близок к нейтральной – 7,3.

Метеорологические условия в вышеуказанных географических точках различались по обеспеченности осадками и режимам среднесуточных температур. Наиболее благоприятный режим сочетания температуры

и осадков в течение вегетационного периода сложился в Алтайском районе в 2011 году. Несмотря на то, что в 2010 году рост и развитие основных фаз проходило при оптимальном режиме среднесуточных температур, в период закладки колоса (июнь) и налива зерна (август) отмечалось недостаточное количество осадков, что являлось барьером для оптимального созревания зерна.

**Результаты исследований и их обсуждение.** В таблицах 1 и 2 приведены данные по поглощению воды зерном различных генотипов ячменя, выращиваемых в трех географических точках в течение двух лет. Вышеуказанный параметр рассматривается, прежде всего, как обратно пропорциональный индикатор содержания бета-глюканов в зерне исследуемых образцов ячменя.

Можно отметить, что средние величины относительного поглощения воды зерном ячменя, выращенного в течение одного вегетационного периода в различных географических условиях, различались незначительно. Вместе с тем эти значения рассматриваемого показателя достоверно различаются между условиями Емельяновского и Алтайского районов (2010 г.), между условиями Емельяновского и Бейского районов либо Бейского и Алтайского района (2011 г.). По годам же этот показатель менялся в широком диапазоне на всех опытных участках: среднее значение поглощения воды зерном ячменя в 2010–2011 годах соответствовало значениям  $52,3 \pm 0,8$  и  $34,8 \pm 1,05$  соответственно.

Таблица 1  
Относительное поглощение воды зерном различных образцов ячменя в зависимости от географического места выращивания в 2010 г.

Образец	Относительное поглощение воды зерном, %			Амплитуда колебания по местам	Коэффициент вариации по местам, %
	Емельяновский район	Бейский район	Алтайский район		
A 5552	57,2	63,0	53,4	9,6	5,9
A 5554	<b>51,1*</b>	59,0	<b>45,6</b>	13,4	9,1
Ача	<b>49,3</b>	<b>46,1</b>	49,1	3,2	2,9
Бархатный	52,8	54,1	51,2	2,9	1,9
Буян	<b>48,4</b>	48,5	52,0	3,6	3,2
Витим	53,9	53,7	59,5	5,8	4,5
Г 18619	52,7	<b>43,1</b>	<b>44,0</b>	9,6	8,7
Г 19589	<b>47,1</b>	53,9	<b>45,4</b>	8,5	7,0
Г 19921	<b>47,1</b>	49,5	53,7	7,8	4,8
Г 20487	56,2	<b>47,2</b>	<b>47,2</b>	9	8,0
Г 20752	51,7	52,8	51,6	1,2	1,0
Дыгын	51,6	49,5	49,3	2,3	2,0
Км 564	56,4	49,7	49,1	7,3	6,0
Красноярский 80	53,2	<b>41,4</b>	55,8	14,4	11,6
Медикум 4771	57,1	58,2	49,2	9	6,8
Нутанс 4765	55,0	54,9	48,3	6,7	5,6
Омский 96	55,4	54,8	<b>46,7</b>	8,7	7,1
Палладум 4727	55,2	<b>45,6</b>	48,2	9,6	7,4
Палладум 4759	59,8	60,1	52,3	7,8	5,9
Партнер	51,6	64,2	52,6	12,6	9,6
Рикотензе 4783-	52,2	50,8	49,4	2,8	1,8
Симон	52,4	52,4	53,3	0,9	0,8
Соболек	62,3	61,9	51,2	11,1	8,3
СП 44	59,4	52,6	54,3	6,8	4,8
Среднее	$53,7 \pm 0,8$	$52,8 \pm 1,2$	$50,5 \pm 0,7$	$7,2 \pm 1,7$ а**	$5,6 \pm 1,2$ а
Амплитуда колебания признака у генотипов	15,2	22,8	15,5	$17,8 \pm 2,5$ б	-
Коэффициент вариации у генотипов, %	5,7	9,0	5,7	-	$6,8 \pm 2,4$ а

\*Полужирным выделено по 5 образцов с минимальным значением поглощения воды за каждый год.

\*\* Значения средних в колонках с разными буквами различаются существенно при  $P \leq 0,05$ .

Таблица 2

**Относительное поглощение воды зерном различных образцов ячменя в зависимости от географического места выращивания в 2011 г.**

Образец	Относительное поглощение воды зерном, %			Амплитуда колебания признака по местам	Коэффициент вариации по местам, %
	Емельяновский район	Бейский район	Алтайский район		
А 5552	35,4	32,5	36,1	3,6	4,2
А 5554	<b>33,1*</b>	32,1	33,5	1,4	1,6
Ача	34,3	33,6	37,2	3,6	4,1
Бархатный	34,5	<b>30,2</b>	<b>31,2</b>	4,3	5,3
Буян	38,4	<b>30,1</b>	36,5	8,3	9,3
Витим	39,1	33,5	37,3	5,6	5,7
Г 18619	36,3	31,6	37,0	5,4	6,4
Г 19589	<b>32,6</b>	35,3	36,1	3,5	4,0
Г 19921	<b>33,6</b>	32,7	<b>32,8</b>	0,9	0,2
Г 20487	-	<b>31,0</b>	36,2	5,6	7,7
Г 20752	40,2	33,1	<b>32,4</b>	7,8	9,4
Дыгын	39,3	31,9	33,0	7,4	8,8
Км 564	35,6	<b>30,4</b>	33,6	5,2	5,6
Красноярский 80	-	<b>31,4</b>	38,2	6,8	9,8
Медикум 4771	34,8	33,2	37,5	4,3	4,4
Нутанс 4765	34,2	32,6	<b>31,9</b>	2,3	2,6
Омский 96	35,3	34,1	39,1	5,0	5,4
Палладум 4727	40,2	33,5	39,1	6,7	7,3
Палладум 4727	39,0	35,4	37,3	3,6	3,3
Партнер	36,2	31,6	<b>32,6</b>	4,6	5,4
Рикотензе 4783-	<b>32,3</b>	33,6	35,1	1,5	2,8
Симон	36,5	35,2	38,2	3,0	2,9
Соболек	36,5	36,2	40,2	4,0	4,5
СП 44	<b>33,0</b>	32,8	32,9	0,2	0,2
Среднее	36± 0,5	32,8± 0,3	35,6± 0,5	4,4±0,8 а**	5,0±1,1 а
Амплитуда колебания признака у генотипов	7,9	6,1	9,0	7,7±0,8 б	-
Коэффициент вариации у генотипов, %	5,6	4,0	6,4	-	5,3±0,5 а

\*Полужирным выделено по 5 образцов с минимальным значением поглощения воды за каждый год.

\*\* Значения средних в колонках с разными буквами различаются существенно при  $P \leq 0,05$ .

По результатам изучения относительного поглощения воды зерном в каждый год выращивания и на каждом участке было выделено по 5 образцов с минимальной величиной этого параметра, что соответствует, максимальному содержанию бета-глюканов в зерне ячменя. Можно предположить, что селекционные образцы: А 5554, Г 19619, Г 20487, Ача (2010 г.) и Г 19921, Бархатный (2011 г.), по значению поглощения включенные в эту группу, как минимум на двух участках, имеют высокое содержание бета-глюканов.

Методом дисперсионного анализа [15] было установлено, что фактором, определяющим способность зерна к поглощению воды, является год выращивания, на долю которого приходится более 50%.

Как известно, одними из основных показателей, влияющих на крупяные качества зерна, являются содержание белка и масса 1000 зерен. В таблицах 3 и 4 представлены средние значения этих параметров у исследуемых образцов ячменя по годам и пунктам исследования.

Таблица 3

**Среднее содержание белка в зерне различных образцов ячменя в зависимости от географического места и года выращивания**

Год	Показатель	Среднее содержание белка в зерне, %			Амплитуда колебания признака по местам	Коэффициент вариации по местам, %
		Емельяновский район	Бейский район	Алтайский район		
2010	Среднее содержание белка в зерне, %	10,57±1,05	9,24±0,8	14,54±1,06	6,02± 1,12 а**	19,8±0,1 а
	Амплитуда колебания признака по образцам	7,68	6,6	7,52	7,27± 0,4 а	-
	Коэффициент вариации по образцам, %	16,5	14,9	12,5	-	14,6±0,8 б
2011	Среднее содержание белка в зерне, %	14,28±0,9	16,2±1,2	14,93±0,6	3,01±0,9 а	8,0±2,4 а
	Амплитуда колебания признака по образцам	8,36	7,31	6,8	7,49±0,5 б	-
	Коэффициент вариации по образцам, %	12,8	15,2	8,5	-	12,2±1,8 б

\* Значения средних в колонках с разными буквами различаются существенно при  $P \leq 0,05$ .

Таблица 4

**Среднее значение массы 1000 зерен различных образцов ячменя в зависимости от географического места и года выращивания**

Год	Показатель	Среднее значение массы 1000 зерен, г			Амплитуда колебания признака по местам	Коэффициент вариации по местам, %
		Емельяновский район	Бейский район	Алтайский район		
2010	Среднее значение массы 1000 зерен, г	44,0±1,7	45,8±1,6	46,6±1,5	5,4±1,0 а**	4,8±0,9 а
	Амплитуда колебания признака по образцам	15,7	19,2	13	16,0±2,0 б	-
	Коэффициент вариации по образцам, %	8,1	8,4	6,6	-	7,7±0,7 б
2011	Среднее значение массы 1000 зерен, г	41,7±1,7	46,2±2,4	42,8±1,3	5,4±1,5 а	5±1,3 а
	Амплитуда колебания признака по образцам	12,3	18,2	10,0	13,5±3,1 б	-
	Коэффициент вариации по образцам, %	8,3	10,6	6,3	-	8,4±0,9 б

\* Значения средних в колонках с разными буквами различаются существенно при  $P \leq 0,05$ .

Можно отметить влияние показателя содержания белка по годам на поглощение воды зерном ячменя, а следовательно, и на содержание в нем бета-глюканов. Так, в 2010 году наблюдалось меньшее значение содержания белка во всех географических точках по сравнению с 2011 годом. При этом поглощение воды в 2010 году было выше, чем в 2011 году, в среднем на 50%, что косвенно указывает на присутствие обратной зависимости между указанными параметрами и прямой между содержанием белка и содержанием бета-глюканов в зерне. Показатель содержания белка в большей степени зависит от метеорологических условий года выращивания зерна. Доля участия фактора год за исследуемый период составляет более половины.

Достоверной взаимосвязи показателя массы 1000 зерен и содержания бета-глюканов по пунктам и годам не выявлено. Вместе с тем у образцов, выращенных в Алтайском и Емельяновском районах, при увеличении средних значений массы 1000 зерен в 2011 году отмечается снижение показателя поглощения воды

зерном ячменя. Доли влияния факторов на вышеуказанный параметр за период 2010–2011 годов распределились практически равномерно между годом, пунктом выращивания и генотипом.

Таким образом, определяющим фактором, влияющим на значения исследуемых показателей, является фактор год, а именно, метеорологические условия вегетационного периода выращивания ячменя.

### **Литература**

1. Behall K.M., Scholfield D.J., Hallfrisch J. Diets containing barley significantly reduce lipids in mildly hypercholesterolemic men and women // American Journal of Clinical Nutrition. – 2004. – № 80(5). – P. 1185–1193.
2. Zhang G., Wang J., Chen J. Analysis of  $\beta$ -glucan content in barley cultivars from different locations of China. Food Chemistry. – 2002. – №79(2). – P. 251–254.
3. Near infrared spectra indicate specific mutant endosperm genes and reveal a new mechanism for substituting starch with (1→3,1→4)- $\beta$ -glucan in barley / L. Munck, B. Moller, S. Jacobsen [et al.] // Journal of Cereal Science. – 2004. – № 40. – P. 213–222.
4. Effects of cultivar and environment on  $\beta$ -(1,3)-(1,4)-D-glucan content and acid extract viscosity of Spanish Barleys / A.M. Perez-Vendrell, J. Brufau, J.L. Molina-Cano [et al.] // Journal of Cereal Science. – 1996. – № 23. – P. 285–292.
5. Comparison of  $\beta$ -glucan content of barley and oat / C.J. Lee, R.D. Horsley, F.A. Manthey [et al.] // Cereal Chemistry. – 1997. – № 74(5). – P. 571–575.
6. Cultivar and environmental effects on (1-3,1-4)- $\beta$ -D-glucan and protein content in malting barley / G. Zhang, J. Chen, J. Wang [et al.] // Journal of Cereal Science. – 2001. – № 34(3). – P. 295–30.
7. Relationships between barley hordeins and malting quality in a mutant of cv. Triumph. II. Genetic and environmental effects on water uptake / J.L. Molina-Cano, A. Sopena, J.P. Polo [et al.] // Journal of Cereal Science. – 2002. – № 36(1). – P. 39–50.
8. Gamlath J., Aldred G.P., Panizzo J.F. Barley (1-3; 1-4)- $\beta$ -glucan and arabinoxilan content are related to kernel hardness and water uptake // Journal of Cereal Science. – 2008. – №47. – P. 365–371.
9. Guler M. Barley grain  $\beta$ -glucan content as affected by nitrogen and irrigation // Field Crops Research. – 2003. – № 84. – P. 335–340.
10. Barley amylase and  $\beta$ -glucan: their relationships to protein, agronomic traits, and environmental factors / A. Hang, D. Obert, A.I.N. Gironella [et al.] // Crop Science. – 2007. – № 47. – P. 1754–1760.
11. Peterson D.M., Wesenberg D.M., Burrap D.E.  $\beta$ -Glucan content and its relationship to agronomic characteristics in elite oat germplasm // Crop Science. – 1995. – № 35. – P. 965–970.
12. Grain composition of Virginia winter barley and implications for use in feed, food, and biofuels production / C. Griffey, W. Brooks, M. Kurantz [et al.] // Journal of Cereal Science. – 2010. – № 51(1). – P. 41–49.
13. ГОСТ 13586.5-93. Зерно. Метод определения влажности. – М., 1993.
14. ГОСТ 10846-91. Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка. – М., 1991.
15. Акимов. Д.Н. Программа обработки данных полевого опыта FieldExpert v1.3 Pro.

