

ПЛОТНОСТЬ ЗЕРНА КАК АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ КАЧЕСТВА И ЕГО ЗАВИСИМОСТЬ ОТ УСЛОВИЙ ВЫРАЩИВАНИЯ И ГЕНОТИПА ЯЧМЕНЯ

Экспериментально определена величина плотности зерна 24 образцов пленчатого ярового ячменя сибирской селекции, как основного показателя при определении пищевой ценности ячменя. Показано влияние агроклиматических факторов и генотипа на значения плотности образцов ячменя.

Ключевые слова: ячмень, зерно, твердость, плотность, относительное поглощение воды, генотип, условия выращивания.

A.V. Sumina, V.I. Polonskiy

GRAIN DENSITY AS THE QUALITY ALTERNATIVE INDICATOR AND ITS DEPENDENCE ON BARLEY GROWING CONDITIONS AND GENOTYPE

The grain density value of 24 samples of Siberian selection scarious spring barley as the main indicator in determining the barley nutritional value is experimentally determined. The influence of agro-climatic factors and genotype on the barley sample density values is shown.

Key words: barley, grain, hardness, density, water relative absorption, genotype, growing conditions.

До середины XIX века ячмень был важным продуктом питания людей во многих странах мира. С появлением высококачественных пищевых изделий из пшеницы и риса эта зерновая культура отошла на второй план. Сегодня ячмень возвращает утраченные позиции: проводятся исследования по выведению сортов с высокими пищевыми качествами, модернизируются технологии производства пищевых продуктов из зерна ячменя.

К зерну ячменя пищевого направления предъявляется ряд требований, одним из основных при этом является твердость эндосперма. Это связано с технологическим процессом изготовления крупы или муки, перед дальнейшей обработкой с зерновки удаляют оболочку и, если возникает необходимость, дробят ее. Время, затраченное на эти процессы, напрямую связано именно с твердостью зерна. Поэтому с увеличением интереса к использованию ячменя в различных продуктах питания, требующего более интенсивной и сложной обработки, возникла необходимость в зерне ячменя определенной твердости.

Экспериментально было найдено, что показатель твердости зерновок злаков в значительной степени обусловлен уровнем адгезии между гранулами крахмала и белковым матриксом в эндосперме [1]. Как правило, твердые сорта используются для получения муки и круп, тогда как сорта пивоваренного направления являются мягкими.

Общепринято, что твердость зерна ячменя, оцененная в показателях энергии, затраченной для проведения его помола, в значительной степени влияет на его качество и отрицательно связана с объемом водного экстракта ячменя и модификацией эндосперма [2]. Дело в том, что на твердость зерновок ячменя, кроме содержания белка в зерне, оказывают существенное влияние компоненты клеточных стенок эндосперма – бета-глюканы и арабиноксиланы. Найдена сильная положительная связь между содержанием этих веществ в зерне – с одной стороны и показателем твердости зерен ячменя – с другой [3, 4]. Наблюдаемый эффект может быть обусловлен различием в толщине клеточных стенок эндосперма у линий ячменя, различающихся по уровню бета-глюканов [5].

По данным Г.П. Фокса с коллегами [6], твердость зерен ячменя в основном связана с двумя факторами – внешними условиями, при которых происходило формирование, созревание зерна, и с генотипом (сортом). Полученные учеными результаты свидетельствуют о влиянии условий выращивания ячменя на содержание белка, что в свою очередь сопровождается изменением твердости зерна. Существующая зависимость данного физического показателя от генотипа, по мнению этих авторов, делает возможным для селекционеров выведение сортов с очень твердыми либо очень мягкими зерновками.

По-видимому, твердость зерновок не связана с их абсолютной массой. Это может следовать из данных литературы о несущественном различии относительного поглощения воды разными по массе зерновка-

ми ячменя в течение первых 10 часов набухания [7]. Скорость поглощения воды зерновками закономерно возрастает при увеличении температуры, что показано в модельных опытах [8].

Для прогноза качества зерна на практике применяется сортовой показатель, связанный с измерением физической твердости зерновок [9]. Обычно величину твердости зерновок ячменя определяют, используя прибор для исследования характеристик отдельных зерен – SKCS 4100, Perten Instruments Inc. IL [10]. Кроме того, в скрининге зерен на признак твердости может применяться метод измерения отражения лучей в ближней инфракрасной области спектра [11]. Но, к сожалению, все указанные методы являются лабораторными, и их использование в полевых условиях не представляется возможным.

Вместе с тем из курса общей физики известно, что показатель твердости тела прямо пропорционален его плотности. То есть эти понятия условно взаимозаменяемые. Таким образом, говоря о высокой плотности зерна ячменя, можно предполагать и его высокую твердость. В отличие от твердости, измерение плотности не представляет большого труда и материальных затрат и может быть выполнено оперативно. При этом, что особенно важно для практики, не происходит разрушения зерна, и оно может быть использовано в дальнейшей работе селекционера.

Цель данного исследования заключалась в определении показателя плотности у 24 образцов ячменя сибирской селекции и взаимосвязи этого параметра с условиями выращивания растений и генотипом.

Материалы и методы исследований. В качестве объекта исследования использовались образцы ярового пленчатого ячменя (*Hordeum vulgare L.*), выращенного в 2008–2011 годах по паровому предшественнику в Емельяновском районе Красноярского края (ОПХ Милино), а также в 2010–2011 годах на территории Бейского и Алтайского районов (Республика Хакасия). В работе использовали 24 образца ячменя, которые были любезно предоставлены сотрудниками лаборатории селекции серых хлебов Красноярского НИИСХ СО РАСХН.

Измерение плотности производили путем деления массы зерна (навеска около 10 г, точность измерения 0,01 г) на его объем. Для определения объема данную навеску зерна помещали в мерную пробирку с водой (цена деления 0,2 мл, температура воды 20°C). По разнице конечного и начального объемов воды в пробирке рассчитывали объем зерна. Общая относительная ошибка измерения плотности зерна не превышала 2,1%.

Параллельно этой операции определяли относительное поглощение воды зерном по методике, использованной в работе Дж. Гэмлэта с коллегами [4], в которой была найдена сильная корреляция между относительным поглощением воды зерном ячменя и показателем его физической твердости. Образцы взвешивали (навеска 100 г, точность измерения 0,1 г) и помещали в марлевых мешочках в отстоянную водопроводную воду при 18°C на 21 час (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.

Статистическая обработка результатов была произведена с помощью программы обработки данных полевого опыта Field Expert v1.3 Pro [12] и Microsoft Excel 2003.

Районы проведения исследования различались как по метеорологическим, так и по почвенным условиям. В Емельяновском районе (Красноярский край) 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 близко 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 проходили 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. С целью экспериментального доказательства тождественности показателя твердости и плотности зерна ячменя были проведены исследования по методике Дж. Гэмлэта и др. [4], в результате которых была установлена достоверная отрицательная корреляция между

относительным поглощением воды и твердостью зерна. В наших исследованиях вместо твердости использовался параметр плотности, который определялся параллельно относительному поглощению воды.

Полученные результаты представлены в таблице 1. Можно видеть наличие достоверной отрицательной связи показателя плотности зерна и относительного поглощения им воды, как по годам, так и по пунктам исследования. Из этого можно заключить о схожести параметров твердости и плотности, что позволяет использовать последнюю величину в качестве альтернативного показателя при оценке качества зерна ячменя пищевого направления.

Таблица 1

Связь между величиной плотности зерна и поглощением им воды у образцов ячменя, выращиваемых в разные годы и в трех различных почвенно-климатических условиях

Год	Значения коэффициента корреляции между плотностью зерна и поглощением воды			
	Емельяновский район	Бейский район	Алтайский район	Среднее по годам
2008	- 0,593±0,172*	-	-	-
2009	- 0,549±0,178*	-	-	-
2010	- 0,633±0,165*	- 0,506±0,184*	- 0,583±0,174*	- 0,574±0,175*
2011	- 0,699±0,152*	- 0,501±0,184*	- 0,679±0,156*	- 0,626±0,166*
Среднее по местам	- 0,619±0,168*	- 0,504±0,184*	- 0,631±0,165*	-

*Значение коэффициента корреляции достоверно при $P \leq 0,05$.

Влияние фактора «год» на плотность зерновки исследуемых образцов ячменя представлено в таблице 2. Можно видеть, что средние значения этого параметра достоверно различаются по годам. При этом наиболее благоприятные климатические условия для формирования плотной зерновки сложились в 2008 году ($1,22 \pm 0,01$), а наименее – в 2010 году ($1,15 \pm 0,02$). Образцы Г 19921, А 5552 и Рикотензе 4783 имеют по годам относительно стабильную плотность. Максимальная амплитуда колебания значений этого показателя по годам отмечается у сортов Нутанс 4765, СП 44, Партнер.

Исходя из того, что образцы с высокой плотностью обладают лучшими пищевыми качествами, можно выделить ряд образцов, перспективных в этом направлении, имеющих максимальные значения плотности по двум и более годам: Г 19921 (2008–2010 гг.), Г 20752 (2008–2009 гг.), Буян (2009–2010 гг.), А 5554 (2010–2011 гг.), КМ 564 (2008–2009 гг.).

Рассматривая средние значения коэффициента вариации, можно сделать вывод, что фактор «год» оказывает чуть более значимое влияние на плотность зерновки, чем «генотип».

Таблица 2

Плотность зерна различных образцов ячменя в зависимости от года выращивания в условиях ОПХ «Минино» Емельяновского района

Образец	Плотность зерна, г/см ³				Амплитуда колебания признака по годам	Коэффициент вариации по годам, %
	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.		
1	2	3	4	5	6	7
Бархатный	1,18	1,13	1,11	1,33	0,22	8,3
Ача	-	1,16	1,23	1,18	0,07	3,0
Паллидум 4727	1,18	1,21	1,24	1,05	0,19	2,8
Г 19921	1,26*	1,25	1,25	1,18	0,08	3,0
Симон	1,23	1,16	1,04	1,25	0,21	8,1
Г 20487	1,25	1,17	1,13	-	0,12	5,2

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
А 5552	-	1,14	1,11	1,11	0,03	1,5
Паллидум 4759	1,23	1,11	1,00	1,02	0,23	9,6
Г 20752	1,25	1,25	1,18	1,06	0,19	7,6
Буян	-	1,19	1,29	1,06	0,23	10,1
Г 18619	1,18	1,16	1,17	1,08	0,10	4,3
Г 19589	1,21	1,16	1,23	1,28	0,12	4,1
Партнер	-	1,18	1,07	1,33	0,26	10,9
Медикум 4771	1,19	1,11	1,04	1,18	0,15	6,2
Омский 96	1,24	1,18	1,2	1,15	0,09	3,3
Соболек	-	1,11	1,14	1,08	0,06	2,7
Рикотензе4783	1,17	1,17	1,18	-	0,01	0,5
Красноярский 80	1,26	1,11	1,11	-	0,15	7,8
А 5554	-	1,18	1,25	1,33	0,15	6,4
Витим	1,21	1,12	1,2	1,11	0,1	4,5
Нутанс 4765	-	1,14	1,06	1,38	0,32	14,3
Дыгын	1,16	1,11	1,28	1,19	0,17	6,0
СП 44	-	1,14	1,00	1,31	0,17	13,9
Км 564	1,24	1,25	1,10	1,17	0,15	5,9
Среднее	1,22±0,01	1,16±0,01	1,15±0,02	1,18±0,02	0,15±0,02 а**	6,2±0,7а
Амплитуда колебания признака у генотипов	0,1	0,14	0,29	0,36	0,22±0,12 а	-
Коэффициент вариации у генотипов, %	2,8	3,8	7,6	9,3	-	5,9±1,5 а

Здесь и далее. *Полужирным выделено по 5 образцов с максимальным значением плотности зерна за каждый год. ** Значения средних в колонках с разными буквами различаются существенно при $P \leq 0,05$.

В таблицах 3 и 4 представлены данные по плотности зерна в зависимости от пункта исследования. Можно видеть, что средний показатель плотности в 2011 году был выше, чем в 2010 году: $1,24 \pm 0,03$ и $1,16 \pm 0,02$ соответственно. Образцы Г 19921 и А 5554 имели стабильно высокие значения этого показателя в течение двух лет и по двум пунктам изучения. Последнее свидетельствует о достаточно высокой степени влияния генотипа этих линий на плотность зерновки.

Ряд образцов имеют высокие значения плотности в течение одного вегетационного периода в двух географических точках. В 2010 году это касалось образцов Паллидум 4727, Г 20487 и Буян, в 2011 году к таковым принадлежали сорта Бархатный, Партнер и образец Нутанс 4765.

Таблица 3

Плотность зерна различных образцов ячменя в зависимости от географического места выращивания в 2010 году

Образец	Плотность зерна, г/см ³			Амплитуда колебания признака по местам	Коэффициент вариации по местам, %
	Емельяновский район	Бейский район	Алтайский район		
1	2	3	4	5	6
Бархатный	1,11	1,00	1,18	0,18	8,2
Ача	1,23	1,18	1,14	0,09	3,8
Паллидум 4727	1,24	1,47	1,10	0,37	15,0
Г 19921	1,25	1,45	1,21	0,24	10,0
Симон	1,04	1,04	1,06	0,02	1,0

1	2	3	4	5	6
Г 20487	1,13	1,28	1,33	0,20	8,0
А 5552	1,11	1,13	1,13	0,02	1,0
Паллидум 4759	1,00	1,03	1,08	0,08	3,8
Г 20752	1,18	1,23	1,33	0,15	6,4
Буян	1,29	1,5	1,22	0,28	11,2
Г 18619	1,17	1,14	1,33	0,19	8,3
Г 19589	1,23	1,18	1,14	0,09	3,8
Партнер	1,07	1,03	1,02	0,05	2,9
Медикум 4771	1,04	1,14	1,28	0,24	10,4
Омский 96	1,20	1,18	1,28	0,10	4,1
Соболек	1,14	1,03	1,13	0,11	5,4
Рикотен4783	1,18	1,27	1,20	0,09	4,1
Красноярский 80	1,11	1,08	1,00	0,11	5,7
А 5554	1,25	1,05	1,28	0,23	10,5
Витим	1,2	1,08	1,03	0,17	8,2
Нутанс 4765	1,06	1,05	1,02	0,04	2,0
Дыгын	1,28	1,21	1,14	0,14	5,8
СП 44	1,00	1,15	1,02	0,15	7,5
Км 564	1,10	1,23	1,27	0,17	7,5
Среднее	1,15±0,02	1,17±0,03	1,16±0,02	0,15±0,02 а**	6,4±0,7 а
Амплитуда колебания признака у генотипов	0,29	0,5	0,31	0,37±0,07 б	-
Коэффициент вариации у генотипов, %	7,6	12	9,5	-	9,7±1,3 б

Таблица 4

Плотность зерна различных образцов ячменя в зависимости от географического места выращивания в 2011 году

Образец	Плотность зерна, г/см ³			Амплитуда колебания признака по местам	Коэффициент вариации по местам, %
	Емельяновский район	Бейский район	Алтайский район		
1	2	3	4	5	6
Бархатный	1,33	1,93	1,45	0,60	15,3
Ача	1,18	1,28	1,16	0,10	4,1
Паллидум 4727	1,05	1,65	1,02	0,63	22,0
Г 19921	1,18	1,6	1,19	0,42	13,9
Симон	1,25	1,19	1,18	0,07	2,4
Г 20487	-	1,34	1,09	0,25	10,3
А 5552	1,11	1,47	1,18	0,36	11,5
Паллидум 4759	1,02	1,09	1,11	0,09	3,3
Г 20752	1,06	1,26	1,11	0,20	6,8
Буян	1,06	1,36	1,12	0,30	10,2
Г 18619	1,08	1,35	1,16	0,27	8,5
Г 19589	1,28	1,05	1,14	0,23	7,1

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6
Партнер	1,33	1,66	1,26	0,40	11,5
Медикум 4771	1,18	1,97	1,18	0,79	24,3
Омский 96	1,15	1,05	1,09	0,1	3,2
Соболек	1,08	1,13	1,09	0,05	1,8
Рикотензе 4783	-	1,25	1,34	0,09	3,5
Красноярский 80	-	1,37	1,15	0,22	8,7
А 5554	1,33	1,34	1,37	0,04	1,2
Витим	1,11	1,17	1,15	0,06	1,9
Нутанс 4765	1,38	1,24	1,28	0,14	4,1
Дыгын	1,19	1,54	1,19	0,35	11,9
СП 44	1,31	1,13	1,24	0,18	5,3
Км 564	1,17	1,32	1,19	0,15	5,1
Среднее	1,18±0,02	1,36±0,05	1,19±0,03	0,25±0,01 а**	8,2±0,7 а
Амплитуда колебания признака у генотипов	0,36	0,92	0,43	0,57±0,13 б	-
Коэффициент вариации у генотипов, %	7,6	13,9	5,9	-	9,1±1,8 а

Методом дисперсионного анализа было установлено, что наибольший вклад в формирование плотности зерновки исследуемых образцов вносит взаимодействие факторов «год × пункт выращивания», на долю которых приходится 32%. Отдельно факторы «пункт выращивания», «год» и «генотип» оказывают практически равнозначное влияние, численно соответствующее значению 10±1,6%.

Таким образом, в результате исследования экспериментально подтверждена возможность использования плотности как альтернативного критерия оценки пищевых качеств зерна ячменя. При этом можно отметить достаточно высокий уровень вариативности плотности исследуемых образцов ячменя как по генотипам, так и по годам, что может являться определенным барьером при выращивании сортов с заданными пищевыми характеристиками.

Литература

1. Starch granule associated proteins in barley and wheat / *H.F. Darlington, L. Tecsí, N. Harris* [et al.] // *Journal of Cereal Science*. – 2000. – 31. – P. 21–29.
2. *Swanston J.S.* Effects on barley grain size, texture and modification during malting associated with three genes on chromosome 1 // *Journal of Cereal Science*. – 1995. – 22: 157–161.
3. *Henry R.J.* A comparative study of the total β -glucan content of some Australian barleys. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. – 1985. – 25: 424–427.
4. *Gamlath J., Aldred G.P., Panozzo J.F.* Barley (1-3; 1-4)- β -glucan and arabinoxylan content are related to kernel hardness and water uptake // *Journal of Cereal Science*. – 2008. – 47: 365–371.
5. Chemical composition and microstructure of two naked waxy barleys / *A.A.M. Andersson, R. Andersson, K. Autio* [et al.] // *Journal of Cereal Science*. – 1999. – 30: 183–191.
6. Measurement of genetic and environmental variation in barley (*Hordeum vulgare*) grain hardness / *G.P. Fox, B. Osborne, J. Bowman* // *Journal of Cereal Science*. – 2007. – 46: 82–92.
7. Water during germination of barley / *D. Davidson, M.A. Eastman, J.E. Thomas* [et al.] // *Plant Science Letters*. – 1976. – 6: 223–230.
8. Modeling water uptake in a cereal grain during soaking / *M. Bello, M.P. Tolaba, R.J. Aguerre* [et al.] // *Journal of Food Engineering*. – 2010. – 97: 95–100.

9. A rapid test for the prediction of malting quality of barley / M.J. Allison, I. Cowe, R. McHale [et al.] // Journal of the Institute of Brewing. – 1976. – 82: 166–167.
10. Composition and molecular structure of polysaccharides released from barley endosperm cell walls by sequential extraction with water, malt enzymes, and alkali / A. Lazaridou, T. Chornick, C.G. Biliaderis [et al.] // Journal of Cereal Science. – 2008. – 48: 304–318.
11. Nielsen J.P. Evaluation of malting barley quality using exploratory data analysis. II. The use of kernel hardness and image analysis as screening methods // Journal of Cereal Science. – 2003. – 38: 247–255.
12. Акимов Д.Н. Программа обработки данных полевого опыта FieldExpert v1.3 Pro.



УДК 630.23

Е.А. Усова

СЕМЕННОЕ РАЗМНОЖЕНИЕ АБРИКОСА МАНЬЧЖУРСКОГО И БАРБАРИСА АМУРСКОГО В ДЕНДРАРИИ СибГТУ

В работе отражена изменчивость сеянцев абрикоса маньчжурского и барбариса амурского. Проведен сравнительный анализ сеянцев, выращенных из семян экземпляров, отобраных по биометрическим показателям. Выделены особи, отличающиеся по высоте, диаметру ствола.

Ключевые слова: абрикос, барбарис, семенное размножение, сеянцы, высота, диаметр.

Е.А. Усова

SEED REPRODUCTION OF MANCHURIAN APRICOT AND AMUR BARBERRY IN THE SIBERIAN STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY ARBORETUM

The seedling variability of Manchurian apricot and Amur barberry is reflected in the article. The comparative analysis of the seedlings grown from specimen seeds that were selected on biometric indices is conducted. The specimens that differ on height and trunk diameter are revealed.

Key words: apricot, barberry, seed reproduction, seedlings, height, diameter.

Введение. На основе селекционной оценки можно сохранить и размножить семенным путем ценные экземпляры, учитывая, что в ряду семенных поколений происходит появление перспективных форм, приспособленных к новым условиям существования, что указывает на значимость маточного фонда плодовых и декоративных растений. Семенное размножение интродуцентов является предпочтительным, поскольку закрепление адаптивных признаков, появляющихся у отдельных особей, может происходить только в семенных поколениях [1–3]. В связи с этим изучение семенной продуктивности интродуцированных растений является очень важным.

Цель и задачи исследований. Провести сравнительный анализ изменчивости пятилетних сеянцев абрикоса маньчжурского и барбариса амурского, выращенных из семян отобраных экземпляров в дендрарии СибГТУ. Выделить наиболее перспективные особи.

Методы и результаты исследований. Среди маточных деревьев абрикоса маньчжурского по высоте отобран экземпляр В196-3, по урожайности – Д8076-1. Семена с отобраных особей были посеяны в дендрарии осенью 2007 года.

Среди экземпляров барбариса амурского выделены маточные особи В436-1, А642-1, отличающиеся хорошим ростом и плодоношением, высота их на 42,5 % больше в сравнении с другими особями, диаметр ствола – на 23%.

Высота пятилетних сеянцев абрикоса маньчжурского варьировала от 80,0 до 131,0 см при средних значениях 96,6–112,9 см (табл.). Большую высоту имело потомство материнского экземпляра Д1875-1 (в среднем выше на 20 %). Изменчивость в пределах семей по высоте и диаметру стволика – от низкой до