

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПЛОТНОСТИ ЭНДОСПЕРМА ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАЧЕСТВА ЗЕРНА ЯЧМЕНЯ

Т.Г. ГОЛОВА, кандидат сельскохозяйственных наук, ORCID ID: 0000-0003-3296-1984

Л.А. ЕРШОВА, кандидат сельскохозяйственных наук, ORCID ID: 0000-0001-8568-2837

ФГБНУ «ВОРОНЕЖСКИЙ ФАНЦ ИМЕНИ В.В. ДОКУЧАЕВА»

E-mail: niish1c@mail.ru

Воронежская область расположена на юго-востоке Центрально-Черноземной зоны, характеризующейся резко континентальным климатом и крайне неустойчивым увлажнением по годам и в течение вегетационного периода. Вариабельность метеоусловий по годам создает определенные трудности при отборах исходного материала в направлениях использования зерна: пивоваренном и кормовом. Исследования показателей эндосперма зерна ячменя проведены в Воронежском ФАНЦ (Каменная Степь) на сортах различного происхождения: степного и западноевропейского, по 10 образцов в каждой группе. Плотность эндосперма в средней степени положительно коррелировала с урожайностью, содержанием стекловидных зерен и белка в зерне ($r=0,41^*-0,46^*$). Показатель поглощения воды эндоспермом в целом за период изучения положительно коррелировал с массой 1000 зерен ($r=0,44^*$), крупностью ($r=0,48^*$), и отрицательно с урожайностью и содержанием белка ($r=-0,50^{**}, -0,46^*$), более значимо – с величиной стекловидности ($r=-0,68^{**}$). Лучшие засухоустойчивые сорта степной группы Нутанс 553, Таловский 9 и Хопер формируют высокую продуктивность (3,27-3,60 т/га), повышенные показатели содержания белка в зерне (12,0-13,1%) и его стекловидности (30,8-35,1%), высокие значения плотности эндосперма (1,11-1,19 г/см³) и наиболее низкие показатели интенсивности транспирации, что соответствует критериям степного экотипа. Полуинтенсивные пивоваренные сорта местного происхождения Янтарь и Икорец формируют зерно с пониженным содержанием белка (11,8%) и стекловидных зерен (16,5-20,9%), у них снижена плотность эндосперма до 1,07-1,09 г/см³ и повышена интенсивность транспирации. У сорта Эйфель из западно-европейской группы при максимально высоких значениях урожайности: 3,20 т/га, показатели качества зерна формируются стабильно на высоком уровне, что может говорить о его хорошей способности к адаптации. Изученные показатели плотности эндосперма и поглощенной воды дают основание сделать вывод о перспективности применения их в селекционной практике, с учетом генотипа сортов.

Ключевые слова: ячмень, сорта, урожайность, качество, свойства эндосперма.

Для цитирования: Голова Т.Г., Ершова Л.А. Использование показателя плотности эндосперма для характеристики качества зерна ячменя. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2022; 4(44):173-179. DOI: 10.24412/2309-348X-2022-4-173-179

THE USE OF THE ENDOSPERM DENSITY INDEX FOR THE CHARACTERIZATION OF THE QUALITY OF BARLEY GRAIN

T.G.Golova, L.A. Ershova

FSBSI «V.V. DOKUCHAEV FEDERAL AGRARIAN RESEARCH CENTER, VORONEZH»

Abstract: The Voronezh Region is located in the south-east of the Central Chernozem zone, characterized by a sharply continental climate and extremely unstable humidification over the years

and during the growing season. The variability of weather conditions over the years creates certain difficulties in selecting the source material in the areas of grain use: brewing and fodder. Studies of the indicators of the endosperm of barley grain were carried out in the Voronezh FARC (Stone Steppe) on varieties of different origin: steppe and Western European, 10 samples in each group. The density of the endosperm was positively correlated to an average degree with the yield, the content of vitreous grains and protein in the grain: $r=0.41^-0.46^*$. The indicator of water absorption by the endosperm as a whole during the study period positively correlated with the mass of 1000 grains: $r=0.44^*$, size: $r=0.48^*$, and negatively with yield and protein content: $r=-0.50^{**}$, -0.46^* , more significantly with the value of vitreous: $r=-0.68^{**}$. In the steppe group, the best drought-resistant varieties: Nutans 553, Talovsky 9 and Hopper, form high productivity: 3.27-3.60 t/ha, increased protein content in grain: 12.0-13.1% and its vitreousness: 30.8-35.1%, high endosperm density: 1.11-1.19 g/cm³ and the lowest indicators of transpiration intensity, which corresponds to the criteria of the steppe ecotype. Semi-intensive brewing varieties of local origin Amber and Ikorets form grains with a reduced protein content: 11.8% and vitreous grains: 16.5-20.9%, they have reduced endosperm density to 1.07-1.09 g / cm³ and increased transpiration intensity. In the Yeifel variety from the Western European group, with the highest yield values: 3.20 t/ha, grain quality indicators are formed consistently at a high level, which may indicate its good ability to adapt. The studied indicators of endosperm density and absorbed water give grounds to conclude that their application in breeding practice is promising, taking into account the genotype of varieties.*

Keywords: barley, varieties, yield, quality, properties of the endosperm.

Введение

Современное агропромышленное производство предъявляет определенные требования к качеству зерна сельскохозяйственных культур, в т. ч. ячменя. Причем зерно ячменя пивоваренного или кормового использования характеризуется противоположными требованиями по содержанию белка. Как известно, Госстандарт предписывает, что содержание белка в зерне пивоваренного ячменя не должно превышать 12%, лучшие кормовые сорта имеют повышенное содержание белка. Воронежская область расположена на юго-востоке Центрально-Черноземной зоны, характеризующейся резко континентальным климатом и крайне неустойчивым увлажнением по годам и в течение вегетационного периода. Континентальность климата зоны в значительной степени осложняет создание сортов пивоваренного ячменя, в связи с разнообразными погодными аномалиями особенно остро стоит вопрос определения качественных показателей зерна. Вариабельность метеоусловий по годам создает определенные трудности при отборах исходного материала в направлениях использования зерна: пивоваренном и кормовом. Классический метод определения белка по Кьельдалю весьма трудоемок, ускоренное определение его на аппарате «Спектран», по нашим исследованиям, мало достоверно. Показатель стекловидности, как основной фактор твердости зерна, также имеет важное значение при промышленной переработке, однако на проявление всех качественных показателей зерна ячменя влияют условия выращивания [1].

Известны способы определения пивоваренных свойств ячменя не сопряженные с временными и экономическими затратами. Изучению насколько они эффективны и пригодны для селекции в Центрально-Черноземном регионе и посвящено наше исследование. Общеизвестно, что, чем больше воды поглотил образец ячменя при замачивании, тем выше его пивоваренные качества. Образцы с меньшей плотностью зерна при замачивании поглощают относительно больше воды, что важно для пивоваренного производства (Лепайыз Я.К., 1980). Следовательно, на основании измерения показателя плотности зерна конкретного генотипа, можно оценить его пивоваренные свойства.

С повышением содержания белка в зерне ячменя увеличивается относительное содержание мелких хондориозомных крахмальных зерен, что увеличивает плотность эндосперма, зерно пивоваренных сортов выделяется крупнозернистым пластидным крахмалом, что увеличивает его водочувствительность. Пивовары считают, что стекловидное

зерно при замочке впитывает воду медленно, поэтому ферментативные процессы происходят не качественно, солод из стекловидного зерна обычно имеет низкую экстрактивность. Мучнистое зерно легче подвергается солодованию и дает больше экстракта, что объясняется наличием воздуха в трещинках и каналцах оболочек крахмальных зерен, что ускоряет разрыхление клеточных оболочек ферментами (Трофимовская А.Я., 1972).

По данным исследований Полонского В.И. и Суминой А.В. между показателем плотности зерен и их способностью к поглощению воды существует высокая отрицательная корреляция $(-0,956 \pm 0,035)$ [2]. С целью упрощения способа определения твердости зерна и снижения материальных затрат в предлагаемом способе необходимо получение навески, измерение ее объема и вычисление показателя плотности зерна.

Материал и методы исследований

Исследования проведены в 2018-2021 гг. на сортах различного происхождения – степного и западноевропейского, по 10 образцов в каждой группе в питомнике экологического сортоиспытания на делянках площадью 10 м^2 в трехкратной повторности. Метеоусловия 2018-2019 гг. можно охарактеризовать как засушливые или благоприятные, но с высокими температурами в период налива в 2020-2021 гг. Наряду с урожайностью и содержанием в зерне белка в анализ включены важные технологические показатели качества: масса 1000 зерен, содержание в зерне белка и крахмала, стекловидность зерна, а также показатель интенсивности транспирации, в сравнении с полученными значениями плотности эндосперма и величиной поглощенной воды, рассчитанной по предлагаемому способу [2, 3]. Показатель интенсивности транспирации листового аппарата, определенный в период цветения, был вычислен по методике Ляшко А.К. и Наволоцкого В.Д. (1987). Содержание стекловидных зерен определялось на диафоноскопе, выборка 100 зерен. Методы биохимических анализов по определению содержания белка и крахмала – классические: по Кьельдалю и поляриметрический. Статистическая обработка данных проведена по Б.А. Доспехову.

Результаты исследований

Отмечено, что в целом по годам сорта степного происхождения в условиях Воронежской области формируют урожайность на более высоком уровне, чем сорта западноевропейского происхождения с более высоким потенциалом продуктивности, на 0,27-0,88 т/га (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика групп сортов ячменя в ЭСИ

Название группы сортов	Годы изучения	Урожайность, т/га	Масса 1000 зерен, г	Стекловидность, %	Содержание в зерне, %		Эндосперм зерновки		Интенсивность транспирации	
					крахмала	белка	плотность, $\text{г}/\text{см}^3$	поглощение воды, %	мг/г сырого вещества	мг/см ² листа
Степные	2021	3,63	35,7	29,0	53,8	12,9	1,07	48,9	274,0	34,7
	2020	3,55	46,1	23,8	54,5	11,4	1,07	41,7	212,1	28,3
	2019	3,00	45,4	26,6	56,4	12,0	1,18	44,7	240,6	33,5
	2018	1,99	37,8	36,8	55,6	13,0	1,13	47,2	166,4	22,8
	средн.	3,04	41,2	26,6	55,1	12,3	1,11	45,6	223,3	29,8
Западно-европейские	2021	3,70	35,1	24,3	54,1	12,3	1,02	51,1	288,0	37,8
	2020	2,71	43,6	13,8	54,4	11,4	1,08	46,6	164,6	24,5
	2019	2,67	43,8	13,8	56,2	11,6	1,14	48,5	236,7	30,3
	2018	1,72	35,2	19,0	55,3	12,4	1,04	52,1	191,1	25,6
	средн.	2,70	39,4	17,7	55,0	11,9	1,07	49,6	220,1	29,6
	НСР ₀₅	0,24	1,15	5,1	0,54	0,30	0,03	1,48	18,6	2,5

Исключение составил наиболее обеспеченный влагой 2021 год, когда преимущество было у сортов с высокой кустистостью и устойчивых к полеганию. Масса 1000 зерен и их стекловидность у группы степных сортов достоверно выше. Показатель содержания крахмала в условиях Каменной Степи определяется у изученных сортов на среднем и низком уровне независимо от места происхождения, зависит только от условий формирования эндосперма. Содержание белка в зерне достоверно выше у степных сортов, однако необходимо этот показатель рассматривать в разрезе сортов, т.к. в обеих группах присутствует различия по сортам.

Проведенный анализ плотности эндосперма зерен также показывает более высокие значения у степных сортов на 0,04-0,09 г/см³ (исключение 2020 г.). Относительно величины поглощенной воды неоспоримое преимущество имеют в основном пивоваренные сорта западноевропейского происхождения: на 2,2-4,9% выше, по сравнению с сортами степного происхождения.

Показатель интенсивности транспирации листового аппарата может служить критерием жаростойкости растений по способности их к охлаждению. Данный показатель включен в анализ для определения возможной взаимосвязи его с формированием типа эндосперма: плотного или более рыхлого. Как было показано ранее в наших исследованиях [4], показатель интенсивности транспирации в слабой степени положительно взаимосвязан с накоплением крахмала ($r = 0,40^* - 0,50^*$), высоко отрицательно – с содержанием белка в зерне ($r = -0,92^{***}$). Показатели интенсивности транспирации в благоприятных условиях увлажнения значительно выше у западных сортов, что может говорить о высокой способности к обводнению тканей. В засушливых условиях показатели интенсивности транспирации степных и западноевропейских сортов максимально приближены.

В таблице 2 представлены парные коэффициенты корреляции изученных показателей по средним значениям за период 2018-2021 годов.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции технологических показателей по группам сортов

Название групп	Сопряженные показатели	Урожайность	Масса 1000 зерен	Крупность (>2,5мм)	Стекло-видность	Содержание крахмала	Содержание белка	Интенсивность транспирации
Общая	Плотность эндосперма	0,41*	0,04	-0,01	0,46*	-0,21	0,41*	-0,13
	Поглощение воды	-0,50**	0,44*	0,48*	-0,68**	0,18	-0,46*	0,12
Степная	Плотность эндосперма	0,36*	-0,28	0,17	0,31*	-0,15	0,41*	-0,56**
	Поглощение воды	-0,22	-0,25	0,51**	-0,13	-0,13	-0,16	0,42*
Западная	Плотность эндосперма	-0,23	-0,32*	-0,50**	0,02	-0,38*	-0,11	0,17
	Поглощение воды	0,11	0,02	0,49**	-0,75**	0,51**	-0,20	-0,56**

Примечание: здесь и в тексте *, **, *** – достоверно на 5, 1 и 0,1% уровне значимости по таблице Стьюдента

В целом за годы изучения в засушливых условиях Каменной Степи, плотность эндосперма в средней степени положительно коррелировала с урожайностью, содержанием стекловидных зерен и белка в зерне ($r=0,41^* - 0,46^*$). У группы степных сортов отмечена

также отрицательная взаимосвязь этого показателя с интенсивностью транспирации ($r = -0,56^{**}$), т.е. при низкой отдаче влаги и слабом охлаждении плотность эндосперма увеличивается. У сортов западноевропейского происхождения повышенную плотность имели значительно более мелкие зерна ($r = -0,50^{**}$), с пониженным содержанием крахмала ($r = -0,38^*$).

Таким образом, взаимосвязь плотности эндосперма с повышенной стекловидностью и содержанием белка в зерне в наших условиях определяется на среднем уровне, с содержанием крахмала – отрицательная, на низком уровне.

Показатель поглощения воды эндоспермом в целом за период изучения положительно коррелировал с массой 1000 зерен: $r = 0,44^*$, крупностью: $r = 0,48^*$, и отрицательно с урожайностью и содержанием белка: $r = -0,50^{**}$, $-0,46^*$, более значимо с величиной стекловидности: $r = -0,68^{**}$. У степных образцов взаимосвязь с крупностью зерна более значимая, что также связано с повышенной интенсивностью транспирации. У западноевропейских сортов поглощение воды эндоспермом более значимо взаимосвязано с повышенным содержанием крахмала ($r = 0,51^{**}$). Отмечается высоко отрицательная зависимость поглощения воды с высокой интенсивностью транспирации в период цветения и сформированной в вегетацию стекловидностью: $r = -0,56^{**}$, $-0,75^{**}$. Таким образом, у степных пивоваренных сортов повышенная интенсивность транспирации ведет к повышению поглощения воды эндоспермом ($r = 0,42^*$), у западных сортов очень высокий коэффициент транспирации снижает величину поглощения воды эндоспермом ($r = -0,56^{**}$). В цифровом измерении получаемые значения поглощения воды сортами западно-европейской группы выше, чем у пивоваренных сортов степного происхождения.

Выше названное противоречие, возможно, объясняется тем, что в группе степных образцов пивоваренные сорта Янтарь и Икорец проявляют свойства полуинтенсивных форм и имеют хороший генетический потенциал для полноценного развития эндосперма в засушливых условиях, чему способствует также несколько повышенная интенсивность транспирации (табл. 3).

Таблица 3

**Характеристика продуктивных сортов ячменя в ЭСИ
(2018-2021 гг.)**

Название сорта	Урожайность, т/га	Масса 1000 зерен, г	Стекловидность, %	Содержание в зерне, %		Эндосперм зерновки		Интенсивность транспирации	
				крахмала	белка	плотность, г/см ³	поглощение воды, %	мг/г сырого вещества	мг/см ² листа
Медикум 157	3,08	43,3	28,2	55,4	11,9	1,06	45,7	225,8	29,4
Нутанс 553	3,60	40,4	30,8	55,1	13,1	1,14	42,6	175,8	23,4
Таловский 9	3,30	42,2	34,3	55,2	12,1	1,11	46,7	205,2	27,7
Хопер	3,27	42,1	35,1	55,2	12,0	1,19	46,8	206,2	27,7
Янтарь	3,37	42,4	16,5	55,0	11,8	1,07	46,2	245,0	31,2
Икорец	3,14	44,2	20,9	55,7	11,8	1,09	44,8	226,0	32,6
Посада	2,83	41,8	17,1	55,7	12,7	1,06	50,1	246,8	28,3
Саншайн	2,94	40,4	25,6	55,5	12,4	1,04	48,1	235,8	31,5
Ейфель	3,20	41,9	17,9	55,3	11,5	1,06	49,2	264,3	34,4
Зу Заза	2,67	39,8	11,9	56,1	11,4	1,01	53,0	197,0	28,5
НСР ₀₅	0,24	1,15	5,1	0,54	0,30	0,03	1,48	18,6	2,5

В таблице представлены наиболее продуктивные сорта, превышающие по урожайности средние значения по группам. В группе западно-европейских образцов более адаптированные к местным условиям сорта Посада и Саншайн в целом при высокой интенсивности транспирации у группы, проявляли повышенное накопление белка в зерне. У сорта Зу Заза при высоких пивоваренных показателях стекловидности (11,9%), белка (11,4%) и крахмала (56,1%), что соответствует наивысшим показателям рыхлого эндосперма, наблюдается низкая интенсивность транспирации, т.е. адаптация к засушливым условиям физиологически идет по пути снижения испарения влаги.

Таким образом, в степной группе лучшие засухоустойчивые сорта: Нутанс 553, Таловский 9 и Хопер, формируют высокую продуктивность: 3,27-3,60 т/га, повышенные показатели содержания белка в зерне: 12,0-13,1% и его стекловидности: 30,8-35,1%, высокие значения плотности эндосперма: 1,11-1,19 г/см³ и наиболее низкие показатели интенсивности транспирации, что соответствует критериям степного экотипа. Полуинтенсивные пивоваренные сорта местного происхождения Янтарь и Икорец формируют зерно с пониженным содержанием белка: 11,8% и стекловидных зерен: 16,5-20,9%, у них снижена плотность эндосперма до 1,07-1,09 г/см³ и повышена интенсивность транспирации.

Адаптация к местным условиям у продуктивных образцов западного происхождения происходит по-разному. Сорта Посада и Саншайн, обладающие рыхлым эндоспермом и повышенной интенсивностью транспирации, накапливают в засушливых условиях Каменной Степи повышенное содержание белка: 12,4-12,7%. Сорт Зу Заза максимально стабильно по годам формирует высокие пивоваренные свойства зерна, но по интенсивности транспирации приближается к сортам степного экотипа. При максимально высоких значениях урожайности у сорта из западной группы Эйфель: 3,20 т/га, показатели качества зерна формируются стабильно на высоком уровне, что может говорить о его хороших адаптационных свойствах.

Изученные показатели плотности эндосперма и поглощенной воды дают основание сделать выводы о перспективности применения их в селекционной практике с учетом генотипа сортов. Однако их эффективность в засушливых условиях Каменной Степи снижается из-за воздействия высокого температурного фактора в периоды роста и налива зерна. Взаимосвязь плотности эндосперма с содержанием белка и стекловидных зерен в средней степени положительна и более характерна для степных образцов. Показатель поглощения воды эндоспермом высоко отрицательно взаимосвязан с содержанием стекловидных зерен и в средней степени положительно с крупностью зерна (> 2,5 мм), что более характерно для западноевропейских образцов.

Заключение

Обращает на себя внимание, что в целом по годам сорта степного происхождения в условиях Воронежской области формируют урожайность на более высоком уровне, чем сорта западноевропейского происхождения на 0,27-0,88 т/га. Также у них достоверно выше масса 1000 зерен, стекловидность и содержание белка в зерне. Проведенный анализ плотности эндосперма зерен также показывает более высокие значения у степных сортов на 0,04-0,09 г/см³. Пивоваренные сорта западноевропейского происхождения имеют неоспоримое преимущество относительно величины поглощенной воды: на 2,2-4,9% выше, по сравнению с сортами степного происхождения.

Таким образом, в степной группе лучшие засухоустойчивые сорта: Нутанс 553, Таловский 9 и Хопер, формируют высокую продуктивность: 3,27-3,60 т/га, повышенные показатели содержания белка в зерне: 12,0-13,1% и его стекловидности: 30,8-35,1%, высокие значения плотности эндосперма: 1,11-1,19 г/см³ и наиболее низкие показатели интенсивности транспирации, что соответствует критериям степного экотипа. Полуинтенсивные пивоваренные сорта местного происхождения Янтарь и Икорец формируют зерно с пониженным содержанием белка: 11,8% и стекловидных зерен: 16,5-20,9%, у них снижена плотность эндосперма до 1,07-1,09 г/см³ и повышена интенсивность транспирации. При максимально высоких значениях урожайности из западной группы у

сорта Эйфель: 3,20 т/га, показатели качества зерна формируются адекватно изменяющимся условиям, что может говорить о его высокой способности к адаптации.

Изученные показатели плотности эндосперма и поглощенной воды дают основание сделать выводы о перспективности применения их в селекционной практике, с учетом генотипа сортов. Однако их эффективность в засушливых условиях Каменной Степи снижается посредством воздействия высокого температурного фактора в периоды роста и налива зерна.

Литература

1. Васько Н.И., Козаченко М.Р., Солонечный П.Н. и др. Стекловидность эндосперма и содержание белка в зерне сортов пленчатого и голозерного ячменя // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2018. – № 4 (28). – С. 94-102.
2. Полонский В.И., Сумина А.В. Способ оценки качества зерна генотипов ячменя пивоваренного направления // А01Н 1/00 № 2468568/ описание изобретения. – 9 с.
3. Сумина А.В., Полонский В.И. Содержание ценных веществ в зерне ячменя, выращенного в контрастных климатических условиях// Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2020. – Т. – 50. – № 1. – С. 23-31.
4. Голова Т.Г., Ершова Л.А. Морфологические особенности сортов ячменя разных биотипов. Суздаль, Современные тенденции в научном обеспечении агропромышленного комплекса. Иваново, – 2019. – С. 209-213.

References

1. Vas`ko N.I., Kozachenko M.R., Solonechny`j P.N. et al. Steklovidnost` e`ndosperma i sodержanie belka v zerne sortov plenchatogo i golozerного yachmenya.[Vitreous endosperm and protein content in grain varieties of filmy and naked barley]. *Zernobobovy`e i krupyany`e kul`tury`*. 2018, no. 4(28), pp. 94-102. (In Russian)
2. Polonskij V.I., Sumina A.V. Sposob otsenki kachestva zerna genotipov yachmenya pivovarenного napravleniya [A method for assessing the quality of grain genotypes of barley brewing direction] (A01N 1/00 № 2468568)], description of the invention, 9p.
3. Sumina A.V., Polonskij V.I. Soderzhanie cenny`x veshhestv v zerne yachmenya, vy`rashhennogo v kontrastny`x klimaticheskix usloviyah. [The content of valuable substances in barley grain grown in contrasting climatic conditions] *Sibirskij vestnik sel`skoxozyajstvennoj nauki*, 2020, 50, no. 1, pp. 23-31. (In Russian)
4. Golova T.G., Ershova L.A. Morfofiziologicheskie osobennosti sortov yachmenya razny`x biotipov. Suzdal`. Sovremenny`e tendencii v nauchnom obespechenii agropromy`shlennogo kompleksa». [Morphophysiological features of barley varieties of different biotypes. Suzdal, "Modern trends in scientific support of the agro-industrial complex"]. Ivanovo, 2019, pp. 209-213 (In Russian)