

ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ОСНОВНЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ЗЕРНА ПИВОВАРЕННОГО ЯЧМЕНЯ И ПРОДОВОЛЬСТВЕННОГО ОВСА ПРИ ФРАКЦИОНИРОВАНИИ

А.В. Пасынков¹, доктор биологических наук, **А.А. Завалин²**, академик РАН,
Е.Н. Пасынкова³, доктор биологических наук,
Н.А. Скоробогатых⁴, **Н.В. Котельникова⁴**

¹Агрофизический научно-исследовательский институт,
195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14

²Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова,
127550, Москва, ул. Прянишникова, 32

³Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Белогорка»,
188338, п. Белогорка, Гатчинский район, Ленинградская область

⁴Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого,
610007, Киров, ул. Ленина, 166 А
E-mail: pasynkova.elena@gmail.com

Установлен диапазон изменчивости (min – max) и вариабельность основных показателей технологических качеств различных фракций зерна пивоваренного ячменя сорта Биос 1 (селекции НПО «Подмосковье») и пленчатого овса сорта Аргамак (селекции Зонального НИИСХ Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого) и их зависимости между собой и величиной урожая. В максимальной степени (по величине коэффициента вариации – V, %) при фракционировании зерна пивоваренного ячменя и пленчатого овса варьируют масса 1000 зерен и содержание белка, в минимальной – натура зерна у обеих культур, экстрактивность ячменя и пленчатость овса. Широкое варьирование массы 1000 зерен и содержания белка в зерне при фракционировании дает возможность существенно регулировать величины этих показателей в желаемом направлении в отличие от натуры зерна, экстрактивности и пленчатости. Представлены и обсуждаются зависимости между основными показателями технологических качеств зерна пивоваренного ячменя и пленчатого овса при фракционировании на стандартных решетках с продолговатыми отверстиями. Между экстрактивностью и содержанием белка в зерне различных фракций пивоваренного ячменя обнаружена значимая отрицательная зависимость. Однако у обеих культур не выявлено каких-либо статистически значимых зависимостей натуры зерна от содержания белка в зерне различных фракций. Показано, что зависимости содержания экстрактивных веществ в зерне ячменя, содержания белка в зерне и натуры зерна у обеих культур от массы 1000 зерен имеют сложный нелинейный характер. В большинстве случаев зависимости между основными показателями технологических качеств зерна ячменя и овса наиболее точно (по величине R²) описываются уравнениями второго порядка с четко выраженными точками экстремума, находящимися в пределах полученных экспериментальных данных. Независимо от складывающихся гидротермических условий вегетационного периода между содержанием белка в зерне различных фракций пивоваренного ячменя и пленчатого овса и величиной их урожая не обнаружено каких-либо статистически значимых зависимостей.

RELATIONSHIPS BETWEEN THE MAIN INDICATORS OF TECHNOLOGICAL QUALITIES OF GRAIN BREWING BARLEY AND FOOD OATS AT FRACTIONALIZATION

**Pasynkov A.V.¹, Zavalin A.A.², Pasynkova E.N.³,
Skorobogatykh N.A.⁴, Kotelnikova N.V.⁴**

¹Agrophysical Research Institute, 195220, Saint-Peterburg, Grazdanskij pr., 14

²All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov,
127550, Moskva, ul. Pryanishnikova, 32

³Leningrad Scientific Research Institute of Agriculture «Belogorka»,
188338, Belogorka, Gatchinskij rajon, Leningradskaya oblast

⁴Federal Agricultural Scientific Center of the North-East named N.V. Rudnitsky,
610007, Kirov, ul. Lenina, 166 A
E-mail: pasynkova.elena@gmail.com

The range of variability (min – max) and variability of the main indicators of the technological qualities of grain different fractions of brewing barley varieties Bios 1 (selected in the «Podmoskovie» Science and Production Association) and hulled oats Argamak (selected in the N.V. Rudnitsky North-East agricultural research institute) and their (quality indicators) dependencies between themselves and the yield value is established. To the maximum extent (at largest coefficient of variation - V, %), the fractionation of brewing barley grain and hulled oats varies the 1000-grain weight and the protein content, the minimum is the test weight of both grain crops, extractivity of barley and hull of oats. A wide variation of the mass of 1000-grain weight and the protein content of the grain during fractionation makes it possible to significantly regulate them in the desired direction compared to such indicators as test weight, extractivity and hull of oats. The relationships between the main indicators of the technological qualities of brewing barley grain and hulled oats when fractionated on standard sieves with oblong holes are presented and discussed. A significant negative relationship was found between the extractivity and the protein content in the grain of different fractions of brewing barley. However, both of the studied cultures did not reveal any statistically significant dependencies of the test weight of the grain on the protein content in the grain of different fractions. The dependencies of the content of extractivity in the barley grain, the protein content in the grain and test weight of both the studied cultures and of 1000-grain weight have a complex non-linear character. It is shown that in most cases the dependencies between the main indicators of the technological qualities of barley and oats grains are most accurately (at largest R²) described by second-order equations with clearly

defined extremum points that are within the experimental data obtained. Regardless of the folding hydrothermal conditions of the growing season, between the protein content in the grain of different fractions of brewing barley and hulled oats and their (fractions) yield, no statistically significant dependencies were found.

Ключевые слова: пивоваренный ячмень, пленчатый овес, фракционирование, белок, масса 1000 зерен, экстрактивность, натура, пленчатость зерна

Key words: brewing barley, hulled oats, fractionation, protein, 1000-grain weight, extractivity, test weight, hull of grain

Трехлетние исследования по разделению зерна пивоваренного ячменя сорта Биос 1 (селекции НПО «Подмосковье») на стандартных решетках с продолговатыми отверстиями на шесть и пленчатого сорта овса Аргамак (селекции Зонального НИИСХ Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого) на восемь фракций показали, что зерновки, относящиеся к разным фракциям по крупности, существенно различаются по массе 1000 зерен, натуре зерна и содержанию белка в зерне. Кроме того, различные фракции зерна ячменя также достоверно различались по величине экстрактивности, а овса – по пленчатости [1, 2]. Не претендуя на полноту изложения сведений, имеющихся в научной литературе по данному вопросу, мы сделали предположение, что изменение качества зерна ячменя и овса при фракционировании остается малоизученным. В частности, это касается определения диапазона изменчивости основных показателей технологических качеств его различных фракций, а также зависимостей показателей качества между собой и величиной урожая. Последнее связано с разработкой новых высокоинтенсивных технологий возделывания, а также выведением и внедрением в сельскохозяйственное производство сортов ячменя и овса с постоянно увеличивающейся потенциальной урожайностью [3-7].

Целью настоящей работы было определить диапазон изменчивости и вариабельность основных показателей технологических качеств различных фракций зерна пивоваренного ячменя и пленчатого овса и зависимости показателей качества между собой и величиной урожая.

Методика. Для выявления взаимосвязей между основными показателями технологических качеств зерна пивоваренного ячменя и продовольственного овса при фракционировании использовали парный линейный и нелинейный корреляционно-регрессионный анализ, так как известно [8], что в большинстве случаев такие зависимости наиболее точно отражают нелинейные уравнения. Для расчета зависимости экстрактивности зерна (Y – зависимая переменная) пивоваренного ячменя от содержания белка и массы 1000 зерен (независимые переменные – X_1 и X_2 соответственно) применяли множественный регрессионный анализ [9-10], алгоритм которого реализован в пакете статистических программ «Statistica 6» (Stat-Soft Inc., США).

Результаты и обсуждение. Известно, что к одним из наиболее важных показателей технологических качеств зерна пивоваренного ячменя относятся массовая доля сырого белка, прорастаемость, содержание экстрактивных веществ (или экстрактивность), масса 1000 зерен и натура зерна [ГОСТ 5060 - 86; 1]. У продовольственного овса (кроме перечисленных содержания белка, природы зерна и массы 1000 зерен) важным показателем качества служит пленчатость [ГОСТ 28673 - 90; 3, 4].

В табл. 1 представлены данные по диапазонам изменения основных показателей технологических качеств зерна изучаемых культур при фракционировании. Так, масса 1000 зерен в годы исследований имела практически одинаковый размах варьирования – 41,4

и 39,5 г соответственно у ячменя и овса, натура зерна – 67 и 190 г/л, содержание сырого белка в зерне – 6,0 и 4,3% в абсолютных единицах, экстрактивность и пленчатость – 4,02 и 7,1% абсолютно сухого вещества (а.с.в.). В большей степени при фракционировании зерна у обеих культур варьировала масса 1000 зерен и содержание белка в зерне, в меньшей – натура зерна, а также экстрактивность ячменя и пленчатость овса. Полученные экспериментальные данные (табл. 1) подтвердили ранее сделанный вывод [11] о том, что различия по любым признакам и свойствам между сортами одной сельскохозяйственной культуры всегда существенно меньше, чем между контрастными фракциями внутри одного и того же сорта при условии, если эти признаки и свойства качественно присущи сравниваемым сортам.

Табл. 1. Диапазоны изменений (min – max) и коэффициенты вариации (V) основных показателей качества зерна ячменя и овса при фракционировании

Культура	Масса 1000 зерен, г	Натура, г/л	Сырой белок, % а.с.в.	Экстрактивность, % а.с.в.
Пивоваренный ячмень (n = 18)	33,4 – 74,8*	649 – 716	7,4 – 13,4	75,02 – 79,04
	26,1**	2,9	16,9	1,6
Пленчатый овес (n = 24)	11,1 – 50,6	394 – 584	6,3 – 10,6	24,2 – 31,3***
	30,1	10,7	13,4	8,2

Примечание. n – общее число наблюдений.
*Диапазон изменений. **V, %. ***Пленчатость, % а.с.в. (n = 16).

Первым этапом изучения взаимосвязей технологических качеств при фракционировании зерна пивоваренного ячменя были зависимости содержания экстрактивных веществ и природы у обеих культур от содержания сырого белка (рис. 1 и 2). Следует отметить, что содержание белка в зерне пивоваренного ячменя регламентируется ГОСТом 5060 – 86, определяющим его пригодность для изготовления пивного солода. В свою очередь содержание белка в зерне продовольственного овса не регламентируется ГОСТом 28673 – 90, определяющим его пригодность для продовольственных целей, однако, существенно дополняет характеристику качества зерна [3, 4]. Исследования показали, что между экстрактивностью и содержанием белка в зерне различных фракций пивоваренного ячменя существует значимая отрицательная зависимость: с увеличением содержания белка на 1% в абсолютном выражении экстрактивность зерна снижается на 0,51% (рис. 1).

У обеих культур не выявлено каких-либо значимых зависимостей природы зерна от содержания белка в зерне различных фракций (рис. 1 и 2). Необходимо отметить, что по экспериментальным данным, пред-

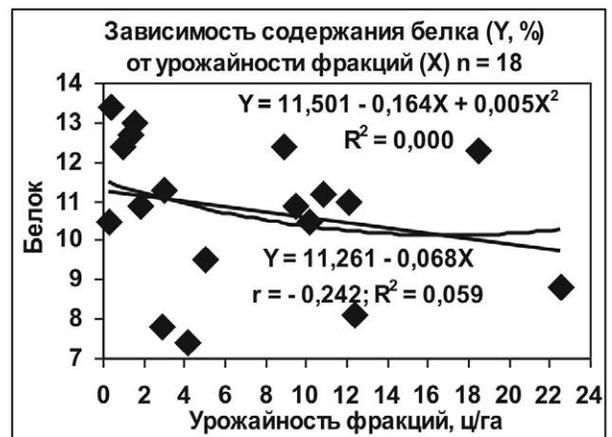
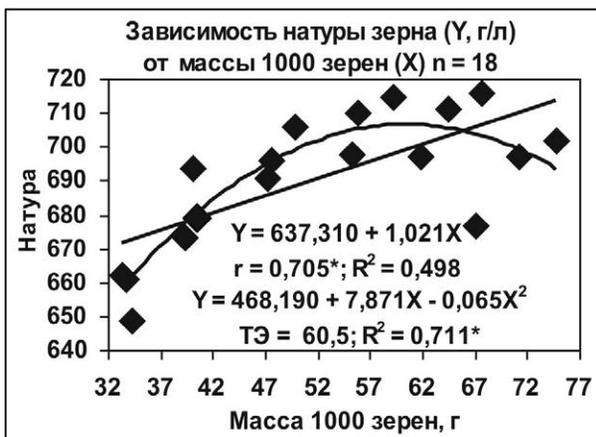
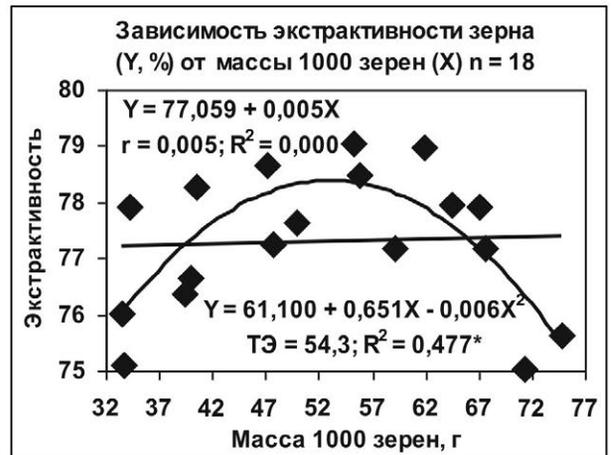
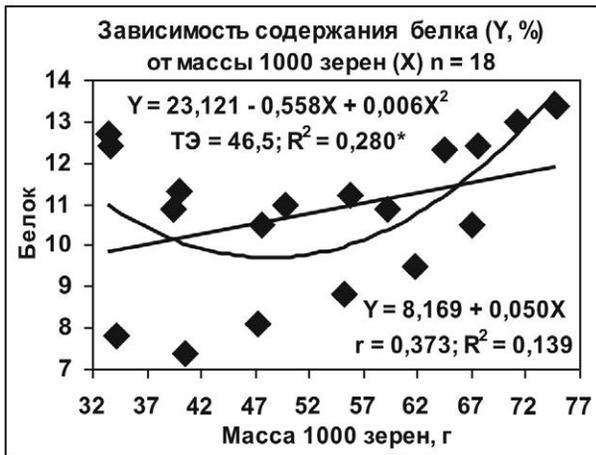
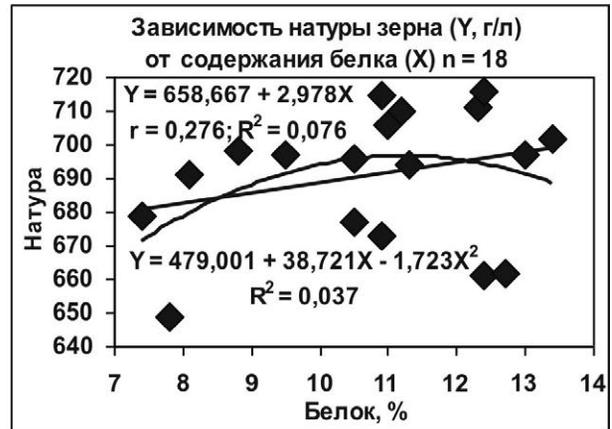


Рис. 1. Взаимосвязи основных показателей качества зерна пивоваренного ячменя: n – общее число наблюдений; * – статистически значимо при $p < 0,05$; ТЭ – точка экстремума (то же на рис. 2 и табл. 2).

ставленным на рис. 2, график при линейной зависимости натурности зерна овса от содержания белка совпадает с графиком при зависимости второго порядка.

Следующим этапом исследования взаимосвязей технологических качеств при фракционировании зерна изучаемых культур были зависимости содержания белка в зерне и натурности зерна от массы 1000 зерен, а у ячменя – дополнительно и содержания экстрактивных веществ от массы зерновки (рис. 1, 2). Установлено, что эти зависимости имеют сложный нелинейный

характер и наиболее точно (по величине R^2) описываются уравнениями второго порядка с четко выраженными точками экстремума, находящимися в пределах полученных экспериментальных данных. Так, с увеличением массы 1000 зерен от ее минимальных величин содержание белка в зерне обеих культур снижалось, а экстрактивность ячменя и натура зерна возрастала. Достигнув точек экстремума, содержание белка в зерне ячменя и овса начинало повышаться, а экстрактивность ячменя и натура зерна – снижаться. Данные рис.

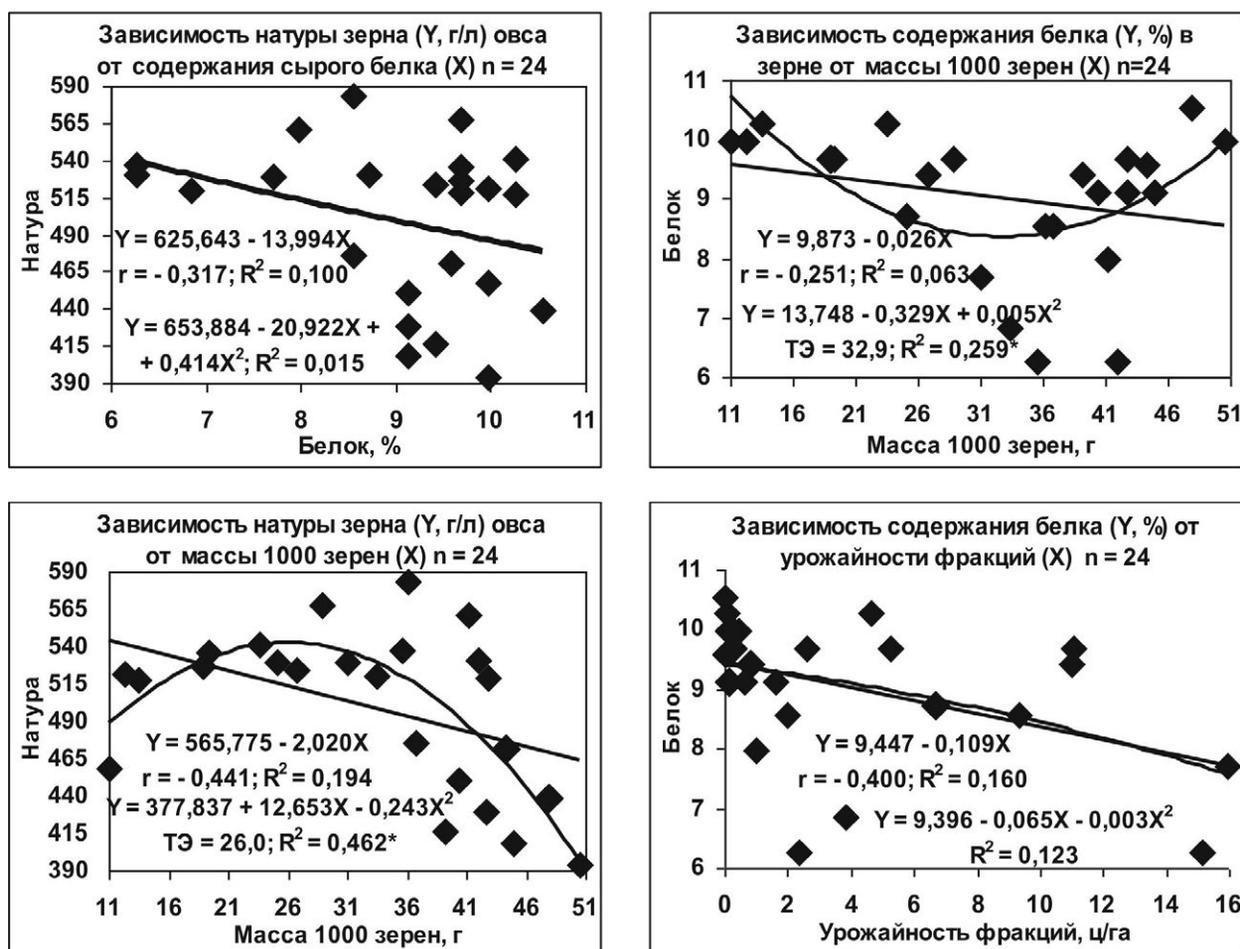


Рис. 2. Взаимосвязи основных показателей качества зерна пленчатого овса.

1 показывают, что минимальные величины содержания белка в зерне пивоваренного ячменя и максимальные – экстрактивности и природы зерна находятся в разных диапазонах по величине массы 1000 зерен (46,5, 54,3 и 60,5 г соответственно) или размерам решет (2,6-2,8; 2,8-3,0 и 3,0-3,2 мм соответственно).

Проведение множественного регрессионного анализа позволило рассчитать уравнение регрессии, отражающего в пределах полученных экспериментальных данных зависимость экстрактивности (Y, % а.с.в) от содержания белка (X₁, % а.с.в.) и массы 1000 зерен (X₂, г): $Y = 70,324 - 0,022X_1^2 + 0,360X_2 - 0,003X_2^2$; $R^2 = 0,647^*$ (рис. 3). С увеличением содержания белка в зерне экстрактивность зерна снижалась, при этом каждое последующее (на единицу) его повышение приводило к более сильному снижению экстрактивности по сравнению с предыдущим (- X₁²). Независимо от содержания белка с увеличением массы 1000 зерен экстрактивность зерна возрастала (+ X₂), однако, каждое последующее повышение массы 1000 зерен (на единицу) приводило к меньшему увеличению экстрактивности по сравнению с предыдущим (-X₂²) и, достигнув точки экстремума (60,0 г), она начинала снижаться. При этом максимальной экстрактивностью (79-80%) характеризовались фракции ячменя с содержанием белка менее 10,0% и массой 1000 зерен 55-65 г.

При проведении исследований, как и в работе [12],

не удалось получить уравнение множественной регрессии, статистически значимо (при $p < 0,05$) отражающего зависимость одного из основных показателей качества зерна продовольственного овса – природы (ГОСТ 28673 – 90) от содержания в нем сырого белка и массы 1000 зерен. Вероятно, это связано с более высокой, чем у ячменя, пленчатостью, которую, считают [3, 4] сортовым признаком.

Одним из наиболее дискуссионных моментов в научных публикациях является зависимость содержания белка в зерне злаковых культур от величины урожая [13-18]. Так, в работе [13] выявлена положительная зависимость между величиной урожая и содержанием белка в зерне. В то же время в работах [14, 15] обнаружена отрицательная зависимость между этими показателями. В работе [15] авторы объясняют это наличием антагонизма между накоплением белка и крахмала в зерне. При модификационных различиях (под действием возрастающих доз минеральных удобрений, чаще всего азотных) наблюдается положительная зависимость содержания белка в зерне от величины урожая, а при генотипических (сортовые различия) – отрицательная [16, 17]. В работе [18] показано, что абсолютное содержание белка в зерне не зависит от урожайности и обладает значительной устойчивостью, однако, относительное его содержание и урожайность зерна подвержены значительным изменениям.

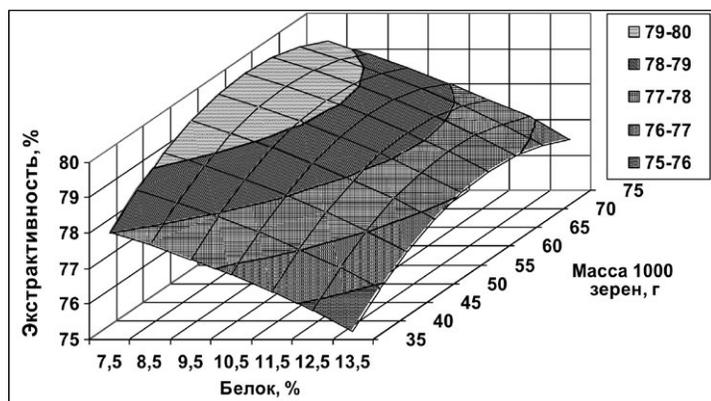


Рис. 3. Зависимость экстрактивности от содержания белка и массы 1000 зерен при фракционировании зерна пивоваренного ячменя.

Табл. 2. Зависимость содержания белка в зерне ячменя и овса (Y, %) от величины урожая различных фракций (X, ц/га)

Год	Уравнение регрессии	r	R ²
Ячмень (г критич. = 0,810)			
Первый (n = 6) (ГТК* = 1,34)	$Y = 11,894 - 0,024X$	-0,174	0,030
	$Y = 12,632 - 0,384X + 0,020X^2$	-	0,220
Второй (n = 6) (ГТК = 1,57)	$Y = 12,821 - 0,148X$	-0,705	0,497
	$Y = 13,101 - 0,356X + 0,017X^2$	-	0,230
Третий (n = 6) (ГТК = 1,46)	$Y = 8,866 - 0,023X$	-0,164	0,027
	$Y = 9,681 - 0,314X + 0,012X^2$	-	0,000
За 3 года (n = 18) (г критич. = 0,470)	$Y = 11,261 - 0,068X$	-0,242	0,059
	$Y = 11,501 - 0,164X + 0,005X^2$	-	0,000
Овес (г критич. = 0,707)			
Первый (n = 8)	$Y = 9,718 - 0,045X$	-0,229	0,052
	$Y = 9,763 - 0,134X + 0,009X^2$	-	0,000
Второй (n = 8)	$Y = 9,287 - 0,139X$	-0,515	0,266
	$Y = 9,156 + 0,011X - 0,010X^2$	-	0,000
Третий (n = 8)	$Y = 9,209 - 0,100X$	-0,484	0,234
	$Y = 9,433 - 0,212X + 0,007X^2$	-	0,000
За 3 года (n = 24) (г критич. = 0,404)	$Y = 9,447 - 0,109X$	-0,400	0,160
	$Y = 9,396 - 0,065X - 0,003X^2$	-	0,000

*ГТК – гидротермический коэффициент (по Г.Т. Селянинову) за период посев – полная спелость.

Статистическая обработка экспериментальных данных, полученных при фракционировании [1, 2], независимо от гидротермических условий, складывающихся в весенне-летний период вегетации, показала отрицательную зависимость между белковостью зерна изучаемых культур и величиной урожая отдельных фракций. Однако как при линейной, так и нелинейной

(второго порядка) зависимостях рассматриваемая связь не является статистически значимой при $p < 0,05$ (табл. 2; рис. 1 и 2).

Таким образом, при фракционировании зерна пивоваренного ячменя и пленчатого овса в большей степени варьируют масса 1000 зерен и содержание белка, в меньшей – натура зерна, а также экстрактивность ячменя и пленчатости у овса. Широкое варьирование массы 1000 зерен и содержания белка в зерне позволяет сделать вывод о возможности существенного регулирования в желаемом направлении этих технологических качеств по сравнению с натурой зерна, экстрактивностью и пленчатостью. Между экстрактивностью и содержанием белка в зерне различных фракций пивоваренного ячменя существует значимая отрицательная зависимость: с увеличением содержания белка экстрактивность снижается, при этом каждое последующее (на единицу) увеличение содержания белка приводит к более сильному снижению экстрактивности зерна по сравнению с предыдущим. У обеих культур не выявлено каких-либо значимых зависимостей натуры зерна от содержания белка в зерне различных фракций. Зависимости содержания экстрактивных веществ в зерне ячменя, содержания белка в зерне и натуры зерна у обеих культур от массы 1000 зерен имеют сложный нелинейный характер. Эти зависимости наиболее точно отражают уравнения второго порядка с четко выраженными точками экстремума, находящимися в пределах экспериментальных данных. Однако минимальные величины содержания белка в зерне пивоваренного ячменя и максимальные – экстрактивности и натуры зерна находятся в разных диапазонах по величине массы 1000 зерен. Независимо от складывающихся гидротермических условий вегетационного периода между содержанием белка в зерне различных фракций пивоваренного ячменя и пленчатого овса и величиной их (фракций) урожая каких-либо статистически значимых зависимостей не обнаружено.

Литература.

1. Пасынков А.В., Завалин А.А., Пасынкова Е.Н., Скоробогатых Н.А. Изменение показателей качества зерна пивоваренного ячменя при его фракционировании // Российская сельскохозяйственная наука. – 2017. – № 4. – С. 12-16.
2. Пасынкова Е.Н., Завалин А.А., Пасынков А.В., Котельникова Н.В. Изменение показателей качества зерна пленчатого овса при фракционировании // Российская сельскохозяйственная наука. – 2018. – № 4. – С. 16-20.
3. Баталова Г.А. Формирование урожая и качества зерна овса // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – № 11. – С. 10-13.
4. Баталова Г.А. Овес в Волго-Вятском регионе. – Киров: Орма, 2013. – 288 с.
5. Сурин Н.А., Ляхова Н.Е., Герасимова С.А., Литшин А.Г. Создание высокопродуктивных сортов ячменя Восточно-Сибирской селекции в условиях глобального изменения климата // Достижения науки и техники АПК. – 2014. – № 6. – С. 3-6.
6. Политыко П.М., Киселев Е.Ф., Капранов В.Н.,

- Мерзлякин А.С. и др. Роль минеральных удобрений и средств защиты растений в формировании урожайности и качества зерна сортов ярового ячменя (*Hordeum vulgare L.*) при разных технологиях возделывания на дерново-подзолистых почвах // Проблемы агрохимии и экологии. – 2017. – № 2. – С. 13-18.
7. Шенникова И.Н., Кокина Л.П. Приоритетные направления и некоторые результаты селекции ярового ячменя в Волго-Вятском регионе // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2018. – Т. 20. – № 2 (2). – С. 214-219.
 8. Иванова Т.И. Прогнозирование эффективности удобрений с использованием математических моделей. – М.: Агропромиздат, 1989. – 235 с.
 9. Тарасенко А.П., Орбинский В.И., Мерчалова М.Э., Сорокин Н.Н. Совершенствование технологии получения качественных семян и продовольственного овса // Лесотехнический журнал. – 2014. – № 1. – С. 36-40.
 10. Тарасенко А.П., Орбинский В.И., Мерчалова М.Э. и др. Фракционирование зернового вороха на решетках // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2012. – № 5. – С. 26-29.
 11. Мухин В. П., Гущина Е.О. Реакция разнокачественных семян яровой пшеницы на разный уровень минерального питания // Известия ТСХА. – 2000. – Вып. 2. – С. 57-80.
 12. Пасынков А.В., Пасынкова Е.Н. Статистические зависимости основных показателей качества зерновых культур // Агрохимия. – 2011. – № 2. – С. 24 - 40.
 13. Бабицкий А.Ф. Взаимосвязь между урожаем и содержанием белка в зерне пшеницы // Плодородие. – 2008. – № 4. – С. 31-32.
 14. Хохлов А.Н. О причинах отрицательной зависимости между величиной урожая и белковостью зерна у пшеницы // Биологические науки. – 1987. – № 7. – С. 5-7.
 15. Долгодворова Л.И. Селекция полевых культур на качество. – М.: Изд. МСХА, 1995. – С. 99-105.
 16. Павлов А.Н. Повышение содержания белка в зерне. – М.: Наука, 1984. – С. 49-71.
 17. Павлов А.Н. Результаты исследований физиологических основ минерального питания растений / Труды ВИУА. – М., 1990. – С. 3-11.
 18. Скрипка О.В., Самофалов А.П., Подгорный С.В., Некрасова О.А. и др. Использование показателей относительного и абсолютного содержания белка в зерне озимой пшеницы при селекции на качество // Зерновое хозяйство России, – 2018. – № 1 (55). – С. 9-12.

Поступила в редакцию 22.01.19
 После доработки 15.03.19
 Принята к публикации 25.04.19