

Изменение урожайности и качества зерна овса с повышением адаптивности сортов

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-42-49

УДК 664.617:633.13:1 925.116

Поступление/Received: 11.02.2020

Принято/Accepted: 09.06.2020



Changes in oat grain yield and quality with increased adaptability of cultivars

О. А. ЮСОВА¹, П. Н. НИКОЛАЕВ¹,
И. В. САФОНОВА², Н. И. АНИСЬКОВ²

O. A. YUSOVA¹, P. N. NIKOLAEV¹,
I. V. SAFONOVA², N. I. ANISKOV²

¹ Омский Аграрный научный центр,
644012 Россия, г. Омск, пр. Королева, 26
✉ ksanajusva@rambler.ru, nikolaevpetr@mail.ru

¹ Omsk Agrarian Scientific Center,
26 Koroleva Ave., Omsk 644012, Russia
✉ ksanajusva@rambler.ru, nikolaevpetr@mail.ru

² Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических
ресурсов растений имени Н.И. Вавилова,
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
✉ i.safonova@vir.nw.ru

² N.I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources,
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,
St. Petersburg 190000, Russia
✉ i.safonova@vir.nw.ru

Актуальность. Среди яровых зерновых овес – это одна из основных зерновых культур Сибири. Цель исследования – определение сопряженности параметров адаптивности сортов овса с урожайностью и основными показателями качества зерна. **Материал и методы.** Исследования проведены с 2011 по 2019 гг. в условиях южной лесостепи Западной Сибири. Определены содержания белка в зерне, сырого жира, крахмала и пленчатость зерна по Б. В. Плешкову и Н. С. Беркутовой. Математическая обработка проведена по Б. А. Доспехову, S. A. Eberhart и W. A. Russell. **Результаты и обсуждение.** Отмечено значительное варьирование урожайности и показателей качества зерна ($CV > 20\%$) у сортов овса, что обусловлено высокой долей вклада условий года ($26,7...80,9\%$), а также сильной прямой ($r = 0,607...0,825$) либо сильной обратной ($r = -0,660...-0,994$) сопряженностью с климатическими факторами. С повышением содержания белка в зерне повышались крахмалистость, масличность ($r = 0,960...0,962$) и пленчатость зерна ($r = 0,442$). Сорта овса голозерной формы характеризуются повышенным качеством зерна ($+4,6\%$ белка, $+17,6\%$ крахмала, $+2,2\%$ сырого жира) и пониженной урожайностью ($-1,45$ т/га) по отношению к пленчатым сортам. **Заключение.** Повышение пластичности (b_i) и стабильности (σ_a^2) сортов способствовало увеличению урожайности ($r_{b_i} = 0,943$; $r_{\sigma_a^2} = 0,344$), но снижало показатели качества ($r_{b_i} = -0,697...-0,812$; $r_{\sigma_a^2} = -0,270...-0,300$). Пленчатость зерна у пластичных сортов снижалась ($r_{b_i} = -0,201$).

Ключевые слова: яровой овес, белок, крахмал, пленчатость, сырой жир, стабильность, пластичность, корреляция.

Background. Among spring cereals, oat is one of the main grain crops in Siberia. The aim of this study was to determine how the parameters of adaptability in oat cultivars are correlated with yield and basic indicators of grain quality. **Material and methods.** The studies were carried out from 2011 to 2019 in the southern forest steppe of Western Siberia. The content of protein, crude fat and starch in grain, and its hull content were measured according to B. V. Pleshkov and N. S. Berkutova. Mathematical processing was performed following the guidelines by B. A. Dospekhov, S. A. Eberhart and W. A. Russell. **Results.** There was a significant variation in grain yield and grain quality ($CV > 20\%$) in oat cultivars due to a high contribution from the conditions of the year ($26.7...80.9\%$) as well as a strong direct ($r = 0.607...0.825$) or strong reverse ($r = -0.660...-0.994$) conjugation with climatic factors. As the protein content in grain increased, starch, oil ($r = 0.960...0.962$) and hull content ($r = 0.442$) increased as well. Naked oat cultivars manifested higher grain quality (4.6% protein, 17.6% starch, and 2.2% crude fat) and reduced yield (-1.45 t/ha) compared with hulled oat cultivars. **Conclusion.** Increased plasticity (b_i) and stability (σ_a^2) of oat cultivars contributed to higher yields ($r_{b_i} = 0.943$; $r_{\sigma_a^2} = 0.344$) but reduced grain quality indicators ($r_{b_i} = -0.697...-0.812$; $r_{\sigma_a^2} = -0.270...-0.300$). Hull content in plastic cultivars decreased ($r_{b_i} = -0.201$).

Key words: spring oats, protein, starch, hull content, crude fat, yield, stability, plasticity, correlation.

Введение

Среди яровых зерновых овес – это одна из основных, хорошо приспособленных к условиям Сибири зерновых культур. Он неприхотлив к почвам и климату, имеет сравнительно короткий вегетационный период, поэтому культура с успехом выращивается во всех районах Омского региона. Овес – культура разностороннего использования, прежде всего в животноводстве, а также в пищевой промышленности. К биохимическому составу зерна овса современным производством предъявляются раз-

личные требования в зависимости от направления использования. В селекции на производственные цели следует ориентироваться на высокое содержание в овсе белка, β -глюканов (Loskutov, Polonskiy, 2017), антиоксидантов (Polonskiy et al., 2018) и низкое содержание жира. При фуражном использовании, напротив, ценятся высокое содержание белка и жира (Polonskiy et al., 2019).

С учетом климатических факторов и запросов производства в настоящее время актуальна селекция на повышенную продуктивность и адаптивность к местным природно-климатическим факторам (Surin et al., 2015; Karsai

et al., 2001), устойчивость к биотическим и абиотическим стрессам (Robinson et al., 2007; Sarkar et al., 2014), что является ключевым фактором для стабильного увеличения как урожайности, так и качества сельскохозяйственной продукции. Однако взаимосвязь адаптивности сортов с показателями качества зерна сельскохозяйственных культур и, в частности, овса изучена недостаточно.

В связи с вышеизложенным *цель исследования* – определение сопряженности параметров адаптивности сортов овса с урожайностью и основными показателями качества зерна.

Материал и методы

Экспериментальная часть работы проводилась в течение 2011–2019 гг. на опытных полях Омского аграрного научного центра (ФГБНУ «Омский АНЦ»; г. Омск), расположенных в южной лесостепи Западной Сибири. Почва – чернозем обыкновенный выщелоченный, содержание гумуса 6–7%. Площадь делянки – 10 м², повторность 4-кратная. Норма высева – 4 млн всхожих зерен на 1 га. Посев произведен селекционной сеялкой ССФК-7, третий селекционный севооборот по предшественнику пшеницы, четвертая культура после пара. Агротехника проведения опытов общепринятая для Западно-Сибирского региона. Уборка проведена в фазу полной спелости селекционным комбайном Nege 125.

Объектами исследований являлись 10 сортов ярового овса селекции ФГБНУ «Омский АНЦ» (ФГБНУ СибНИИСХ), включенные в Госреестр по Западно-Сибирскому (10) региону. К пленчатой группе относятся сорта 'Орион' (стандарт), 'Иртыш 13', 'Иртыш 21', 'Тарский 2', 'Памяти Богачкова', 'Скакун', 'Факел', 'Сибирский Геркулес'; к голозерной – 'Сибирский голозерный' (стандарт), 'Прогресс'.

Анализ образцов конкурсного сортоиспытания проводился по полевым повторениям (не менее двух) с последующим перерасчетом достоверности признака. Аналитическая повторность двукратная.

Определение биохимических показателей проводили с использованием современных и традиционных методов и технологий. Содержание азота в зерне определяли на автоматическом анализаторе KjelttekAuto 1030 Analyzer, коэффициент пересчета азота на белок для зерна овса – 5,7. Содержание сырого жира определяли в аппарате Сокслета по разности обезжиренного и необезжиренного остатка, содержание крахмала в зерне – поляриметрическим методом (Pleshkov, 1985), пленчатость зерна – с применением 3% NaOH (Berkutova, 1991).

Математическая обработка данных проведена методами вариационного, корреляционного и двухфакторного дисперсионного анализов по пособию Б. А. Доспехова (Dospikhov, 1979) в приложении Excel для ПК. Индекс условий окружающей среды (Ij), коэффициент линейной регрессии (bi) и величина стабильности реакции сортов (σ_a^2) рассчитаны по методике S. A. Eberhart и W. A. Russell (1966).

Периоды исследований с 2011 по 2019 г. характеризовались контрастными условиями, что характерно для резко континентальных условий Омской области. Периоды вегетации 2011 и 2014 г. отмечены как засушливые (ГТК = 0,90 и 0,92), 2015 г. – сухой и холодный (ГТК = 0,70), 2013 г. – достаточно увлажненный (ГТК = 0,99). По средним температурам на протяжении всего периода исследований наблюдался недобор (–6,9...–0,4°C) по сравнению со среднемноголетними данными (рис. 1). Исключения наблюдались в мае и июне 2015 г. (+0,8°C); июне 2017 г. (+0,3°C); июле 2012 г. (+3,4°C), 2016 и 2018 г. (+0,3 и +0,4°C к норме). Температура воздуха в июне 2011 и 2013 г. соответствовали среднемноголетним данным

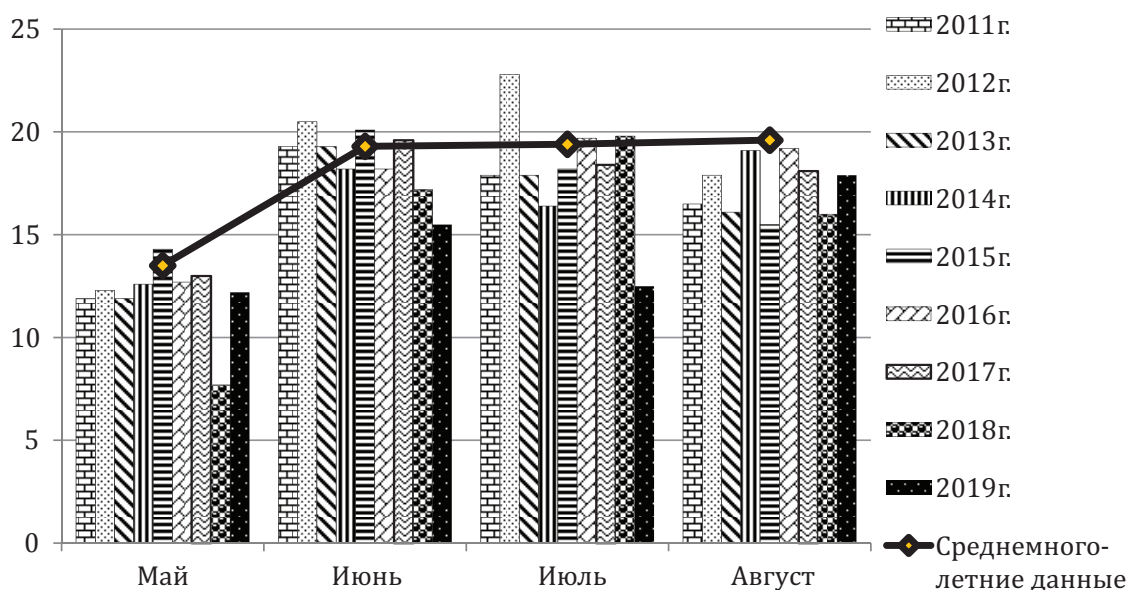


Рис. 1. Характеристика вегетационных периодов 2011–2019 гг. по средней температуре воздуха, °С (Омская ГМОС)

Fig. 1. Characteristics of the growing seasons in 2011–2019 by mean air temperature, °C (Omsk Regional Weather Station)

(19,3°C). На этом фоне наблюдались обильные осадки (+31,3...+414,3% к среднемноголетним данным (рис. 2).

Недостаток осадков характерен для следующих периодов: май и июнь 2011 г. (51,3 и 64,7% к норме), май 2016 г. (36,0%), июнь 2014 г. (78,9%), июль 2012 г. (38,1%), август 2017 г. (87,5%). В третьих декадах июля и августа в метелке растения образуется зерновка, поэтому климатические показатели данных периодов оказывают непосредственное воздействие на урожайность.

В условиях интенсификации земледелия, сортовых особенностей возделываемой культуры. В современных агроэкологических условиях, вследствие недостаточной стрессоустойчивости растений, потенциальная урожайность сельскохозяйственных культур реализуется крайне слабо – от 25 до 40% (Rybas, 2016; Feng et al., 2014). Улучшить данный фактор возможно путем более эффективного использования ресурсовосстанавливающей роли сорта, которая оказывает непосредственное влияние на потен-

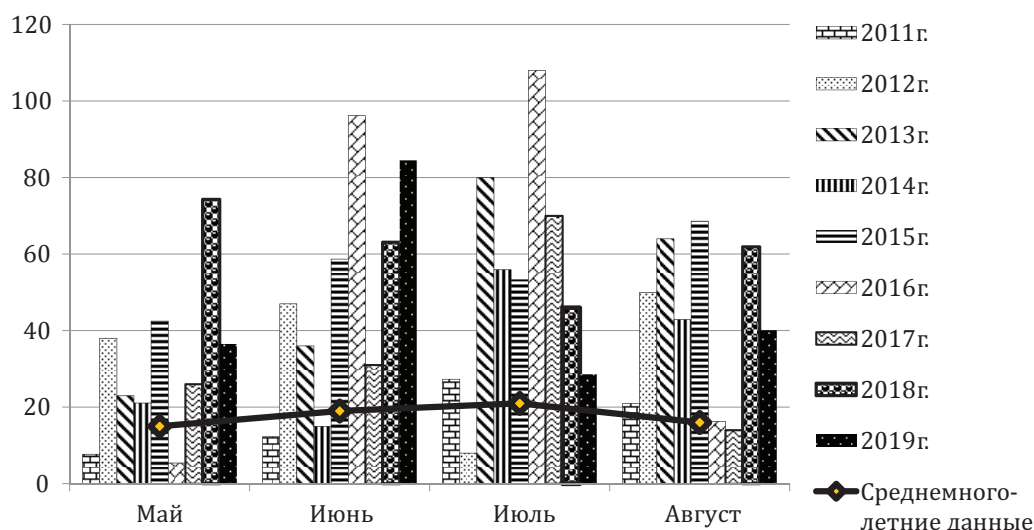


Рис. 2. Характеристика вегетационных периодов 2011–2019 гг. по сумме осадков, мм (Омская ГМОС)

Fig. 2. Characteristics of the growing seasons in 2011–2019 by total rainfall, mm (Omsk Regional Weather Station)

Результаты и обсуждение

Урожайность является основополагающим агрономическим показателем, определяющим результативность любых исследований (Hill, Li, 2016; Nikolaev et al., 2018; Popolzhukhin et al., 2018). Это интегральный признак, выражение которого зависит от многочисленных составляющих: абио- и биотических показателей, усло-

вительную продуктивность, но в настоящий момент слабо изучена (Keshavarzi et al., 2013; Varga et al., 2015).

В среднем за 2011–2019 гг. сорта овса голозерной формы превышали по качеству зерна пленчатые образцы: прибавка по содержанию белка составила 4,6%, крахмала – 17,6%, жира – 2,2%. Однако, по урожайности (рис. 3) сорта пленчатой формы превышали голозерные (+1,45 т/га).

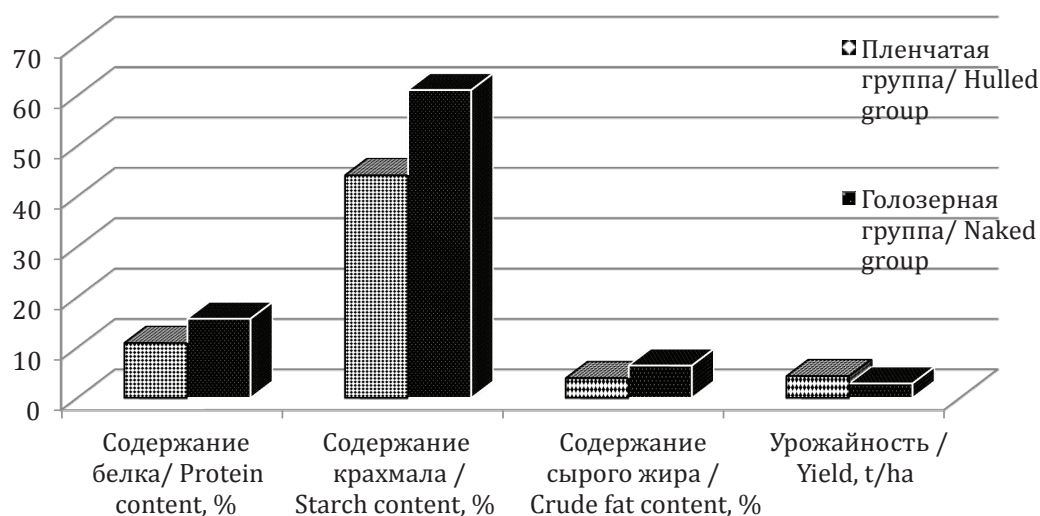


Рис. 3. Сравнительная характеристика пленчатой и голозерной форм овса по урожайности и основным показателям качества зерна, в среднем за 2011–2019 гг.

Fig. 3. Comparative characteristics of hulled and naked oat forms by yield and main grain quality indicators, mean for 2011–2019

Максимальная урожайность зерна овса сформировалась в 2019 г.: индекс условий окружающей среды (I_j) составил 1,48 (табл. 1). Среднегрупповая урожайность в данном периоде составляла 5,84 т/га у пленчатых и 4,11 т/га у голозерных сортов. В пленчатой группе наблюдалось изменение урожайности от 4,11 т/га ('Скакун') до 8,50 т/га ('Факел'); в голозерной – от 4,39 т/га до 3,82 т/га у сортов 'Сибирский голозерный' и 'Прогресс' соответственно.

Минимальная урожайность (в среднем 2,32 т/га у пленчатых сортов и 1,54 т/га у голозерных) наблюдалась в 2012 г. при $I_j = -1,84$. В данном вегетационном периоде урожайность варьировала от 2,17 т/га у сорта 'Сибирский геркулес' до 2,51 т/га у стандартного сорта 'Орион'.

В среднем за период исследований урожайность стандартного сорта пленчатой группы 'Орион' составила 4,19 т/га, достоверной прибавкой характеризовались

сорта 'Факел' и 'Сибирский геркулес' (+0,61 и +0,34 т/га к ст. соответственно).

В голозерной группе средняя урожайность стандарта 'Сибирский голозерный' отмечена на уровне 3,03 т/га, что превышало урожайность сорта 'Прогресс'.

По результатам двухфакторного дисперсионного анализа за 2011–2019 гг. выявлено, что при формировании урожайности лимитирующими факторами являлись условия года (80,9% и 70,5% у пленчатой и голозерной форм соответственно), что подтверждает значительная изменчивость признака ($CV > 20\%$). У голозерной формы наблюдался значительный вклад генотипа (13,5%) и взаимодействия факторов «генотип × среда» (16,0%).

Учитывая обратную корреляционную зависимость урожайности зерна овса как со средними температурами воздуха ($r = -0,606 \dots -0,994$), так и с суммой осадков ($r = -0,240 \dots -0,869$) можно сделать вывод, что для формирования повышенной урожайности необходимо опти-

Таблица 1. Выраженность и изменчивость урожайности сортов ярового овса, %

Table 1. Expression and variability of yield in spring oat cultivars, %

Сорт / Cultivar	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	$\bar{X}_i$	b_i	σ_d^2
пленчатая группа / hulled group												
Орион / Orion, st.	4,31	2,51	4,15	3,97	5,47	3,08	5,09	3,79	5,30	4,19	0,99	0,08
Иртыш 13 / Irtysh 13	3,65	2,24	3,89	3,62	5,69	2,99	4,86	4,22	5,85	4,11	1,06	0,02
Иртыш 21 / Irtysh 21	4,14	2,44	4,27	4,16	5,42	3,00	5,89	3,24	5,69	4,25	1,06	0,26
Тарский 2 / Tarsky 2	3,65	2,38	4,34	3,95	5,52	3,54	5,24	3,29	6,06	4,22	1,05	0,16
Памяти Богачкова / Pamyati Bogachkova	4,04	2,27	4,09	4,34	5,96	2,98	5,25	2,80	4,94	4,07	1,00	0,39
Скакун / Skakun	4,06	2,23	3,83	4,34	4,96	2,77	4,54	7,23	4,11	4,23	0,92	1,54
Факел / Fakel	3,89	2,34	4,65	2,69	5,90	4,72	5,26	5,24	8,50	4,80	1,29	1,05
Сибирский геркулес / Sibirsky gerkules	4,17	2,17	5,26	4,57	5,69	3,09	5,75	3,79	6,26	4,53	1,15	0,23
Среднее по группе / Mean for the group	3,99	2,32	4,31	3,96	5,58	3,27	5,24	4,2	5,84	4,30	–	–
голозерная группа / naked group												
Сибирский голозерный / Sibirsky golozerny, st.	2,54	1,53	2,41	2,42	4,26	2,30	3,01	4,39	4,39	3,03	0,79	0,34
Прогресс / Progress	2,12	1,55	2,43	2,64	4,02	2,04	2,90	2,49	3,82	2,67	0,69	0,07
Среднее по группе / Mean for the group	2,33	1,54	2,42	2,53	4,14	2,17	2,96	3,44	4,11	2,85	–	–
HCP_{05}	0,50	0,20	0,80	0,94	0,82	1,00	0,95	1,10	0,94	–	–	–
X_j	3,66	2,17	3,93	3,67	5,29	3,05	4,78	4,05	5,49	3,58	–	–
I_j	-0,35	-1,84	-0,08	-0,34	1,28	-0,96	0,77	0,04	1,48	–	–	–

Примечание / Note: $\bar{X}_i$ – среднее по сорту / mean for the cultivar;

X_j – среднее по году / mean for the year;

I_j – индекс условий окружающей среды / index of environmental conditions;

HCP_{05} – наименьшая существенная разница / lowest significant difference;

st. – стандартный сорт / standard reference cultivar

мальное соотношение данных гидротермических показателей.

Глобальные климатические изменения, безусловно, являются одним из факторов снижения производительности зерновых культур (Chaika et al., 2013). В связи с чем особую актуальность приобретает проблема создания и использования в сельскохозяйственном производстве сортов с повышенными приспособительными качествами (Surin et al., 2015), что является ключевым фактором для стабильного увеличения урожайности. Интенсивность процессов изменений климата диктует необходимость исследований сортов на предмет их адаптивности.

Метод S. A. Eberhart, W. A. Russell (1966) позволяет оценить сорта по их отзывчивости на условия выращивания путем определения коэффициента регрессии (b_i) и дисперсии стабильности (σ_a^2). Считается, что чем выше единицы коэффициент регрессии, тем сильнее отзывчивость сорта на улучшение условий выращивания. Такие сорта требовательны к высокому уровню агротехники, так как только в этом случае они дадут максимум отдачи. В случае, когда коэффициент регрессии меньше, сорта показывают лучшие результаты в неблагоприятных условиях выращивания.

Анализ коэффициентов регрессии позволил все исследуемые сорта по основным показателям качества зерна и продуктивности разделить на три группы:

1. Представлена сортами при $b_i > 1$: 'Факел' и 'Сибирский геркулес'. Данные сорта при улучшении условий выращивания увеличивали урожайность, что соответствует интенсивному типу.

2. Группа при $0,96 < b_i < 1,06$ включает стандарт 'Орион', а также сорта 'Иртыш 13', 'Иртыш 21', 'Тарский 2' и 'Памяти Богачкова'. Коэффициент регрессии перечисленных сортов близок к единице, что свидетельствует о полном соответствии полученной урожайности изменению условий выращивания.

3. Сорт 'Скакун', у которого отмечен минимальный по опыту коэффициент регрессии ($b_i < 1$), характеризовался слабой реакцией урожайности на улучшение условий выращивания, что соответствует экстенсивному типу.

S. A. Eberhart, W. A. Russell (1966) предложили использовать дополнительный параметр, характеризующий степень изменчивости исследуемых сортов, который определяется как отклонение от линии регрессии. Это степень стабильности реакции (σ_a^2), которая является важным параметром оценки генотипов в процессе их изучения. Чем ниже σ_a^2 , тем меньше различие между теоретическими и практическими показателями качества, а отсюда – более высокая устойчивость данного признака. Согласно полученным данным, высокой стабильностью характеризовались пленчатые сорта: 'Орион', 'Иртыш 13', 'Иртыш 21', 'Тарский 2' и 'Памяти Богачкова', 'Сибирский геркулес', а также голозерные сорта 'Сибирский голозерный' (стандарт) и 'Прогресс'.

Современный уровень земледелия еще не может в достаточной степени нивелировать действия неблагоприятных природных факторов. Поэтому сорта должны сочетать хорошую отзывчивость на повышение плодородия и устойчивость к лимитирующим факторам среды (Surin, 2011). Таким образом, согласно данным наших исследований, высокой отзывчивостью на улучшение условий среды и высокой стабильностью обладал сорт овса 'Сибирский геркулес' ($b_i > 1$; $\sigma_a^2 < 1$).

Качество зерна сортов значительно варьирует по годам ($CV > 20\%$ по всем перечисленным ниже показателям качества зерна).

Содержание белка у пленчатых форм являлось генетически обусловленным признаком (Фактор А = 60,4%) с высокой долей вклада условий года (Фактор Б = 30,2%); у голозерных форм доля вклада года и взаимодействие факторов «генотип × среда» равноценны (Фактор Б = 40,6%; Фактор А×Б = 39,0%). Высокая доля условий года обуславливает значительное варьирование содержания белка в зерне: от 8,2% (сорт 'Скакун') до 13,6 и 13,7% у 'Факел' и 'Сибирский геркулес' (табл. 2). В голозерной группе белковость зерна изменялась от 12,7 до 18,0%. Корреляционный анализ показал, что содержание белка прямо пропорционально сумме температур ($r = 0,320...0,968$) и обратно пропорционально сумме осадков ($r = -0,296...-0,691$).

Аналогичная картина наблюдалась по содержанию в зерне сырого жира, (масла), который является главным запасным продуктом растения, определяя питательность как зерна, так и производимой из него продукции. Значительное варьирование данного показателя по годам (Lim. 1,5–7,0% у пленчатых и 4,7–7,6% у голозерных) объясняется высокой долей вклада условий года: Фактор Б = 38,8% у голозерных сортов и 70% у пленчатых. На формирование масличности овса негативное влияние оказывали избыток средних температур воздуха ($r = -0,762$).

Главным углеводом зерна, накопление которого определяет продуктивность растений, считается крахмал. Как отмечалось выше, голозерные сорта значительно превосходят пленчатые по показателям качества. Так, крахмалистость зерна составляла 61,1% у голозерных сортов (Lim. 56,0–66,2%) и 44,2 % у пленчатых (Lim. 37,5–53,7%) при основном влиянии условий года (Фактор Б = 71,8 и 89,5%). В среднем за период исследований в пленчатой группе ни один сорт по содержанию крахмала не превышал стандарт (45,4%). Содержанием данного компонента на уровне стандарта характеризовались сорта пленчатые 'Иртыш 13', 'Иртыш 21' и 'Сибирский геркулес' (44,6–45,1%). В голозерной группе достоверно превышал стандарт сорт 'Прогресс' (+1,4%). Учитывая обратную корреляционную зависимость крахмалистости зерна овса как со средними температурами воздуха ($r = -0,968$), так и с суммой осадков ($r = -0,691$), можно сделать вывод, что для формирования данного показателя качества необходимо оптимальное соотношение гидротермических показателей.

В настоящее время все более широкое применение находят голозерный овес благодаря ряду пищевых и технологических преимуществ перед пленчатым за счет отсутствия цветковых пленок, что упрощает его переработку в крупу. Аналогичные требования предъявляются к пленчатым сортам – снижение доли пленки зерновки. В наших исследованиях среднее содержание пленки составило 28,6% (Lim. 23,6–36,2%). Минимальной пленчатостью зерна в среднем с 2011 по 2019 г. характеризовался стандартный сорт 'Орион' (26,8%). На уровне стандарта – сорт 'Иртыш 13' (27,2%), остальные исследуемые сорта значительно превосходят стандарт по данному показателю (+1,3...+3,9%). Результаты двухфакторного дисперсионного анализа показали, что на формирование пленчатости зерна факторы «генотип», «год» и их взаимодействие практически равноценны (Фактор А = 36,9%, Фактор Б = 26,7%, Фактор А×Б = 33,7%). Повышение средних температур воздуха способствовало увеличению доли пленчатости зерна ($r = 0,825$), с суммой осадков наблюдалась слабая сопряженность ($r = 0,243$).

Таблица 2. Выраженность и изменчивость качества зерна сортов ярового овса, %**Table 2. Expression and variability of grain quality in spring oat cultivars, %**

Сорт / Cultivar	Содержание белка / Protein content, %		Содержание сырого жира / Crude fat content, %		Содержание крахмала / Starch content, %		Пленчатость зерна / Hull content, %	
	Lim.	$\bar{x}$	Lim.	$\bar{x}$	Lim.	$\bar{x}$	Lim.	$\bar{x}$
пленчатая группа / hulled group								
Орион / Orion, st.	10,0–13,4	11,2	1,5–6,9	3,9	38,2–53,7	45,4	23,6–30,4	26,8
Иртыш 13 / Irtysh 13	10,4–12,1	11,1	2,5–7,0	4,5*	38,2–52,4	45,1	23,7–30,7	27,2
Иртыш 21 / Irtysh 21	9,5–12,0	10,5*	1,7–6,1	3,9	37,5–53,0	44,7	23,8–34,5	28,1*
Тарский 2 / Tarsky 2	9,5–12,6	10,9	1,9–5,1	3,8	37,6–48,4	43,0*	26,6–36,2	29,8*
Памяти Богачкова / Pamyati Bogachkova	9,2–11,9	10,8	1,8–5,4	3,5	37,6–51,7	43,6*	26,2–36,2	30,7*
Скакун / Skakun	8,2–12,1	10,4*	1,5–5,7	3,7	37,6–52,4	43,9*	26,5–33,2	29,6*
Факел / Fakel	9,9–13,6	10,9	2,2–5,2	4,0	37,6–47,8	43,6*	25,8–31,5	28,5*
Сибирский геркулес / Sibirsky gerkules	10,1–13,7	11,4	2,4–5,4	4,1	36,9–49,8	44,6	25,5–30,6	28,2*
Среднее по группе / Mean for the group	8,2–13,7	10,9	1,5–7,0	3,9	37,5–53,7	44,2	23,6–36,2	28,6*
голозерная группа / naked group								
Сибирский голозерный / Sibirsky голозерный, st.	12,7–18,0	15,9	5,4–7,6	6,7	56,0–66,2	60,4	–	–
Прогресс / Progress	12,7–17,4	15,5	4,7–7,6	6,1	57,7–66,2	61,8*	–	–
Среднее по группе / Mean for the group	12,7–18,0	15,7	4,7–7,6	6,4	56,0–66,2	61,1	–	–

* различия достоверны при уровне значимости $p \leq 0,05$ * differences are significant at significance level $p \leq 0.05$

Также, согласно корреляционному анализу, в период исследований 2011–2019 гг. тесная прямая сопряженность между показателями качества зерна способствовала тому, что при повышении содержания белка в зерне повышались крахмалистость и масличность зерна ($r = 0,960 \dots 0,962$), а также его пленчатость ($r = 0,442$).

Однако при увеличении урожайности зерна его качественные показатели снижались ($r = -0,925 \dots -0,969$).

Повышение пластичности (bi) и стабильности (σ_d^2) сортов способствовало увеличению урожайности ($r_{bi} = 0,943$; $r_{\sigma_d^2} = 0,344$), но снижало рассмотренные выше показатели качества ($r_{bi} = -0,697 \dots -0,812$; $r_{\sigma_d^2} = -0,270 \dots -0,300$) при $F_{факт.} > F_{05}$. Положительным является обратная сопряженность пластичности с пленчатостью зерна ($r_{bi} = -0,201$).

Очевидно, в данном случае стоит вести речь о конкуренции при формировании урожайных и качественных показателей зерна, что подтверждается исследованиями других авторов (Law, Payne, 1984). Учитывая выявленные взаимосвязи, можно предложить либо вести селекцию овса независимо по направлению адаптивности и урожайности и по направлению качества зерна, либо найти определенный баланс, позволяющий оптимально сочетать в одном сорте перечисленные выше показатели.

Выводы

1. В условиях периода вегетации 2011–2019 гг. наблюдалось значительное варьирование урожайности и основных показателей качества зерна ($CV > 20\%$) как у сортов пленчатой, так и голозерной форм. Данное варьирование обусловлено значительной долей вклада условий года при формировании исследуемых показателей (Фактор Б = 26,7–80,9%), а также сильной прямой ($r = 0,607 \dots 0,825$) либо сильной обратной ($r = -0,660 \dots -0,994$) сопряженностью с климатическими факторами.

2. Показатели качества зерна тесно сцеплены: с повышением содержания белка в зерне повышались крахмалистость и масличность зерна ($r = 0,960 \dots 0,962$).

3. Повышение пластичности (bi) и стабильности (σ_d^2) сортов способствовало увеличению урожайности ($r_{bi} = 0,943$; $r_{\sigma_d^2} = 0,344$), но снижало показатели качества ($r_{bi} = -0,697 \dots -0,812$; $r_{\sigma_d^2} = -0,270 \dots -0,300$; $r_{урожайности} = -0,925 \dots -0,969$).

4. Сорта овса голозерной формы характеризуются повышенным качеством зерна (+4,6% белка, +17,6% крахмала, +2,2% сырого жира) на фоне пониженной урожайности (–1,45 т/га) по отношению к пленчатым сортам.

5. В настоящее время актуальны низкопленчатые сорта. Среди исследуемых сортов данному условию отвечают сорта 'Орион' и 'Иртыш 13' (26,8 и 27,2%). На формирование данного показателя равноценное влияние оказывали факторы «генотип», «год» и их взаимодействие (Фактор А = 36,9%, Фактор Б = 26,7%, Фактор А×Б = 33,7%). Пленчатость зерна возрастала при увеличении доли белка ($r = 0,442$) и снижалась у пластичных сортов ($r_{bi} = -0,201$).

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическим планам:

ФГБНУ «Омский АНЦ» по теме № 0797-2019-0009 «Создание новых сортов зернобобовых культур (горох и соя), зернофуражных (ячмень, овес) и многолетних трав (люцерна, костреч безостый) с улучшенными показателями продуктивности и качества, повышенной устойчивостью к болезням, к неблагоприятным биотическим и абиотическим факторам среды»;

ВИР по проекту № 0662-2019-0006 «Поиск, поддержание жизнеспособности и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

The research was performed within the framework of the State Task according to the theme plans of:

Omsk Agrarian Scientific Center, theme No. 0797-2019-0009 "Development of New Legume Crop (Pea and Soybean), Grain Forage (Barley and Oat) and Perennial Grass (Alfalfa and Awnless Bromegrass) Cultivars with Improved Indicators of Productivity and Quality, Increased Resistance to Diseases, Unfavorable Biotic and Abiotic Environmental Stressors"; and

VIR, Project No. 0662-2019-0006 "Search For and Viability Maintenance, and Disclosing the Potential of Hereditary Variation in the Global Collection of Cereal and Grain Crops at VIR for the Development of an Optimized Genebank and Its Sustainable Utilization in Plant Breeding and Crop Production".

References/Литература

Berkutova N.S. Methods of grain quality evaluation and formation (Metody otsenki i formirovaniya kachestva zerna). Moscow: Rosagropromizdat; 1991. [in Russian] (Беркутова Н.С. Методы оценки и формирования качества зерна. Москва: Росагропромиздат; 1991).

Chayka V.M., Rubezhniak I.G., Grib O.G. Effect of climatic changes on the productivity of agrocoenoses and semi-natural forest-steppe ecosystems. *Science and Society*. 2013;1:192-201.

Dospikhov B.A. Methodology of field trial (Metodika polevogo opyta). Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат; 1985).

Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966;6(1):36-40.

Feng B., Liu P., Li G., Dong S.T., Wang F.H., Kong L.A. et al. Effect of heat stress on the photosynthetic characteristics in flag leaves at the grain-filling stage of different heat-resistant winter wheat varieties. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2014;200(2):143-155. DOI: 10.1111/jac.12045

Hill C.B., Li C. Genetic architecture of flowering phenology in cereals and opportunities for crop improvement. *Frontiers in Plant Science*. 2016;7:1906.

Karsai I., Mészáros K., Láng L., Hayes P.M., Bedő Z. Multivariate analysis of traits determining adaptation in cultivated barley. *Plant Breeding*. 2001;120(3):217-222. DOI: 10.1046/j.1439-0523.2001.00599.x

Keshavarzi M., Miri H.R., Haghighi B.J. Effect of water deficit stress on grain yield and yield components of wheat cultivars. *Agronomy and Plant Production*. 2013;4(6):1376-1380.

Law C.N., Paune P.J. Studies of genetical variations effecting grain protein type and amount in wheat. In: *Cereal Grain Protein Improvement. Proceedings of the Final Research Coordination Meeting, Vienna, 6-10 Dec. 1982*. Vienna: IAEA; 1984. p.279-300.

Loskutov I.G. Polonskiy V.I. Content of β -glucans in oat grain as a perspective direction of breeding for health products and fodder (review). *Agricultural Biology*. 2017;52(4):646-657. [in Russian] (Лоскутов И.Г., Полонский В.И. Селекция на содержание β -глюканов в зерне овса как перспективное направление для получения продуктов здорового питания, сырья и фуража. *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(4):646-657). DOI: 10.15389/agrobiology.2017.4.646rus

Nikolaev P.N., Aniskov N.I., Yusova O.A., Safonova I.V., Popoluzhkin P.V. Assessment of adaptive features of spring barley in the steppe of Siberian Priirtyshya. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2018;2(47):37-44. [in Russian] (Николаев П.Н., Аниськов Н.И., Юсова О.А., Сафонова И.В., Поползухин П.В. Оценка адаптивных свойств сортов ярового ячменя в степных условиях Сибирского Прииртышья. *Вестник НГАУ*. 2018;2(47):37-44).

Pleshkov B.V. Practical guide to plant biochemistry (Praktikum po biokhimmii rasteniy). Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Плешков Б.В. Практикум по биохимии растений. Москва: Агропромиздат; 1985).

Polonskiy V.I., Loskutov I.G., Sumina A.V. Breeding for antioxidant content in grain as a promising trend in obtaining healthy food products. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(3):343-352. [in Russian] (Полонский В.И., Лоскутов И.Г., Сумина А.В. Селекция на содержание антиоксидантов в зерне как перспективное направление для получения продуктов здорового питания. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018;22(3):343-352. DOI: 10.18699/VJ18.370

Polonskiy V.I., Surin N.A., Gerasimov S.A., Lipshin A.G., Sumina A.V., Zute S. The study of oat varieties (*Avena sativa* L.) of various geographical origin for grain quality and productivity. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(6):53-60. [in Russian] (Полонский В.И., Сурин Н.А., Герасимов С.А., Липшин А.Г., Сумина А.В., Зюте С. Изучение сортов овса (*Avena sativa* L.) различного географического происхождения по качеству зерна и продуктивности. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2019;23(6): 53-60). DOI 10.18699/VJ19.541

Popoluzhkin P.V., Nikolaev P.N., Aniskov N.I., Yusova O.A., Safonova I.V. Evaluation of productivity and adaptive properties of spring barley varieties under conditions of the Siberian Irtysh region. *Zemledelie = Crop Farming*. 2018;3:40-43. [in Russian] (Поползухин П.В., Николаев П.Н., Аниськов Н.И., Юсова О.А., Сафонова И.В. Оценка продуктивности и адаптивных свойств сортов ярового ячменя в условиях

- Сибирского Прииртышья. *Земледелие*. 2018;3:40-43). DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10309
- Robinson L.H., Juttner J., Milligan A., Lahnstein J., Eglinton J.K., Evans D.E. The identification of a barley haze active protein that influences beer haze stability: Cloning and characterisation of the barley SE protein as a barley trypsin inhibitor of the chloroform/methanol type. *Journal of Cereal Science*. 2007;45(3):343-352. DOI: 10.1016/j.jcs.2006.08.012
- Rybas I.A. Breeding grain crops to increase adaptability (review). *Agricultural Biology*. 2016;51(5):617-626. [in Russian] [Рыбас И.А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур. *Сельскохозяйственная биология*. 2016;51(5):617-626]. DOI: 10.15389/agrobio-logy.2016.5.617rus
- Sarkar B., Sharma R.C., Verma R.P.S., Sarkar A., Sharma I. Identifying superior feed barley genotypes using GGE biplot for diverse environments in India. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*. 2014;74(1):26-33. DOI: 10.5958/j.0975-6906.74.1.004
- Surin N.A. Adaptive potential of grain varieties of Siberian breeding and ways of its improvement (wheat, barley, oats): a monograph (Adaptivny potentsial sortov zernovykh kultur sibirskoy seleksii i puti ego sovershenstvovaniya [pshenitsa, yachmen, oves]: monografiya). Novosibirsk; 2011. [in Russian] (Сурин Н.А. Адаптивный потенциал сортов зерновых культур сибирской селекции и пути его совершенствования (пшеница, ячмень, овес): монография. Новосибирск; 2011).
- Surin N.A., Lyakhova N.E., Gerasimov S.A. Comprehensive breeding patterns assessment on adaptability in the Eastern Siberia region in the selection of barley. *Bulletin of Kemerovo State University*. 2015;4(64):98-103. [in Russian] [Сурин Н.А., Ляхова Н.Е., Герасимов С.А. Комплексная оценка селекционного материала в селекции ячменя на адаптивность в Восточносибирском регионе. *Вестник Кемеровского государственного университета*. 2015;4(64):98-103].
- Varga B., Vida G., Varga-László E., Bencze S., Veisz O. Effect of simulating drought in various phenophases on the water use efficiency of winter wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2015;201(1):1-9. DOI: 10.1111/jac.12087

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Юсова О.А., Николаев П.Н., Сафонова И.В., Анисков Н.И. Изменение урожайности и качества зерна овса с повышением адаптивности сортов. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(2):42-49. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-42-49

Nikolaev P.N., Yusova O.A., Safonova I.V., Aniskov N.I. Changes in oat grain yield and quality with increased adaptability of cultivars. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(2):42-49. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-42-49

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-2-42-49>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Все авторы одобрили рукопись / All authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Yusova O.A. <https://orcid.org/0000-0003-3679-8985>

Nikolaev P.N. <https://orcid.org/0000-0002-5192-2967>

Safonova I.V. <https://orcid.org/0000-0001-8138-930X>

Aniskov N.I. <https://orcid.org/0000-0002-7819-8286>