

Модель сорта пленчатого овса для алюмокислых почв Северо-Востока европейской части России

Г. А. Баталова, Е. М. Лисицын

Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, г. Киров

g.batalova@mail.ru
edaphic@mail.ru

Аннотация

В полевых условиях 2015–2021 гг. были оценены и проанализированы количественные характеристики роста и развития растений овса пленчатого (*Avena sativa* L.) с целью модификации модели сорта овса для условий алюмокислых дерново-подзолистых почв. опыты проведены на двух почвенных фонах: нейтральном (рН 6,4, без подвижного алюминия) и алюмокислом (рН 3,93–4,05, с содержанием подвижного алюминия около 13 мг/100 г почвы). Показано значительное разнообразие реакций коллекционного и селекционного материалов овса на условия выращивания по степени развития элементов структуры продуктивности растений, размерам листовой поверхности и содержанию зеленых (хлорофиллы) и желтых (каротиноиды) пигментов флаговых листьев. На алюмокислых почвах выделены образцы овса пленчатого с пониженным относительно контроля (сорт Аргамак) уровнем депрессии площади флагового листа: селекционные номера И-4595 (48,6 %), И-4592 (51,0 %), 2h09 (62,5 %) и др. В условиях нейтрального почвенного фона среднее содержание пигментов во флаговых листьях пленчатого овса составило 13,54; 8,23 и 3,49 мг/г сухой массы для хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов соответственно. При изменении почвенных условий эти средние величины снизились до уровня 7,74; 3,86 и 2,81 мг/г сухой массы. В наименьшей степени депрессия содержания хлорофилла *a* на кислой почве коснулась таких селекционных образцов, как к-3752 (19,4 %), И-4815 (24,4 %), а у образца И-4388 отмечен стимулирующий эффект – содержание пигмента выросло на 6,9 %. Изменение содержания хлорофилла *b* было наименьшим для образцов И-4592 (снижение – на 28,9 %), И-4815 (на 33,9 %), И-3752 (на 35,0 %). В результате проведенной работы выделены генотипы пленчатого овса, превышающие на 10–15 % урожайность стандартных сортов при выращивании в стрессовых почвенных условиях. На основе полученных данных предложена модель сорта пленчатого овса для условий алюмокислых почв.

Ключевые слова:

Avena sativa L., дерново-подзолистая почва, структура продуктивности, хлорофилл, каротиноиды, площадь листа, урожайность

Model of *Avena sativa* L. cultivar for aluminum acid soils of the European North-East of Russia

G. A. Batalova, E. M. Lisitsyn

N. V. Rudnitskiy Federal Agricultural Research Centre of the North-East,

Kirov
g.batalova@mail.ru
edaphic@mail.ru

Abstract

In the field conditions of 2015–2021, we evaluated and analysed quantitative growth and development characteristics of oat plants (*Avena sativa* L.) to modify the model of oat cultivar for conditions of aluminum acid sod-podzolic soils. The experiments were carried out in two soil backgrounds: neutral (pH 6.4, without mobile aluminum) and aluminum acid (pH 3.93–4.05 with a mobile aluminum content of about 13 mg/100 g of soil). There exist significant differences in reactions of the collection and breeding oat material to growing conditions by the development of yield structure elements, leaf surface size, and content of green (chlorophylls) and yellow (carotenoids) pigments in flag leaves. The samples of covered oats in aluminum acid soils with a lower (relatively to the control (Argamak cultivar)) level of flag leaf area depression were identified. They were the breeding samples И-4595 (48.6 %), И-4592 (51.0 %), 2h09 (62.5 %) and others. Under neutral soil conditions, the average pigment content in flag leaves of covered oats was 13.54; 8.23 and 3.49 mg/g dry weight for chlorophylls *a*, *b* and carotenoids, respectively. When soil conditions changed, these averages decreased to a level of 7.74; 3.86 and 2.81 mg/g dry weight. The chlorophyll *a* content depression in acid soil was least expressed in the following breeding samples as к-3752 (19.4 %), И-4815 (24.4 %). The sample И-4388 demonstrated a reverse effect – its pigment content increased by 6.9 %. The change in chlorophyll *b* content was relatively low for the breeding samples И-4592 (decrease by 28.9 %), И-4815 (by 33.9 %), and И-3752 (by 35.0 %). By the study results, we identified the genotypes of covered oats that exceeded the yield of standard cultivar by 10–15 % when grown in stress soil conditions. Based on the obtained data, we proposed a model of the covered oat cultivar for aluminum acid.

Keywords:

Avena sativa L., sod-podzolic soil, yield structure, chlorophyll, carotenoids, leaf area, yield

Введение

К настоящему времени для условий Северо-Востока Нечерноземной зоны Российской Федерации разработаны модели сортов основных зерновых культур [1–3]. Анализируя эти модели, можно отметить, что, во-первых, разные авторы используют различные параметры для описания модели сорта; во-вторых, эти модели разработаны для селекционных целей (определить направление селекционных разработок); в-третьих, они предлагаются для возделывания в оптимальных почвенно-агротехнических условиях. Между тем, почвы Нечерноземья России отличаются большим разнообразием, но основной их тип – дерново-подзолистые низкоплодородные низкогумусовые почвы с высоким уровнем кислотности и низким содержанием питательных веществ. В некоторых регионах, например, в Костромской, Кировской областях и Пермском крае, кислые почвы занимают более 70 % сельскохозяйственных земель [4].

Однако использовать модели сорта можно для двух основных целей, значительно отличающихся между собой по применению на практике, и, соответственно, по предъявляемым требованиям. Первая цель – использование данных подходов для выведения новых стрессоустойчивых сортов (т. е. получение или выделение нового исходного материала). При такой цели большое значение имеет уровень устойчивости растений, т. е. необходимо учитывать относительные уровни развития тех или иных показателей: предлагаемый новый сорт должен превосходить районированный сорт-стандарт по степени проявления признака в стрессовых условиях, независимо от абсолютных показателей продуктивности и урожайности.

Вторая цель – производственная. При такой цели уровень устойчивости сорта не будет иметь решающего значения, основное внимание следует уделить абсолютной продуктивности (урожайности) вне зависимости от уровня устойчивости к стрессам. Другими словами, новый сорт может значительно снизить уровень проявления признака (т. е. иметь низкую устойчивость), но при этом по абсолютным показателям продуктивности в условиях действия стрессового фактора значимо превосходить используемый районированный сорт.

В обоих случаях для описания модели сорта, пригодного к выращиванию в условиях действия стрессовых факторов кислых дерново-подзолистых почв, необходимо проведение многолетних полевых исследований.

Хотя модели сортов сельскохозяйственных культур, постоянно разрабатываемые селекционерами, содержат указания на уровни развития структурных элементов продуктивности, уровни развития таких физиологических параметров, как болезнеустойчивость или устойчивость к абиотическим стрессорам в подобных моделях практически не учитываются. Но поскольку у растений есть только один способ создавать пластические вещества – фотосинтез [5], и все структурные параметры растений определяются работой фотосистем зеленых частей растений, структурно-функциональный состав пигментного комплекса листьев должен стать одним из параметров,

учитывающихся в моделях сортов. Молекулы пигментов преобразуют энергию солнечной радиации в запасаемую химическую энергию [6]. Есть данные о высокой степени наследуемости уровня содержания пигментов в листьях [7]. Наследуемый уровень содержания фотосинтетических пигментов в листьях зерновых культур имеет свою возрастную и структурную динамику, повышаясь от нижних листьев к верхним, становясь максимальным у флагового листа в фазу цветения. Содержание фотосинтетических пигментов (хлорофиллов и каротиноидов) является одним из основных показателей фотосинтетической способности растительных тканей [8]. Этот показатель активно используется в исследовательской практике при создании или оценке устойчивости растений к абиотическим стрессам, в частности, засухе [9]. Создание новых, более продуктивных сортов зерновых культур часто связано именно с количественными изменениями пигментного состава листьев [10, 11]. Поэтому все более актуальным становится анализ содержания хлорофиллов и каротиноидов в растениях, который позволяет получить информацию о том, за счет каких структурно-функциональных особенностей пигментного аппарата может происходить повышение продуктивности и качества получаемого зерна.

Овес возделывают практически повсеместно на территории России и в большинстве стран мира. Мировое производство зерна овса в 2020 г. составило 25,18 млн т (<https://www.tridge.com/ru/intelligences/oats/production>), в России – 4,13 млн т (20,1 % мирового производства). С учетом сбалансированного по аминокислотному составу белка и высокого содержания масла в зерне овес имеет преимущества перед пшеницей и ячменем для использования на корм скоту и птице [12]. В ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (г. Киров) проводят исследования в области селекции овса пленчатого и голозерного. Овес пленчатый преимущественно используют на кормовые цели, для получения кормовой массы, овес голозерный целесообразен в переработке на продовольственные цели.

В связи с этим, основная цель настоящего исследования – модификация существующей модели сорта пленчатого овса (*Avena sativa* L.) при возделывании его на сильнокислых почвах с высоким содержанием ионов трехвалентного алюминия. Новизна предлагаемой работы заключается, во-первых, в выявлении оптимальных параметров развития элементов структуры продуктивности овса при возделывании на сильнокислой почве, во-вторых, во включении в модель сорта дополнительных диагностических параметров, оценивающих степень адаптивности растений к кислым почвам.

Материалы и методы

Данные получены в 2015–2021 гг. при выращивании различных наборов коллекционных и селекционных образцов овса пленчатого (от 30 до 100 генотипов в разные годы исследования) в сравнении со стандартами – сортами Кречет и Аргамак, на Фаленской селекционной станции – филиале ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока на двух фонах дерново-подзолистых почв: окультуренном (pH 6,4, Al³⁺

0,96 мг/100 г почвы) и алюмоокислом (рН 3,93–4,05, Al³⁺12,60–13,49 мг/100 г почвы). Посев проводили в оптимальные агротехнические сроки с нормой высева 600 всхожих семян на 1 м², площадь делянки – 1 м², повторность – трехкратная, агротехника – принятая для овса в местных условиях, предшественник – зернобобовые культуры. Наблюдения, оценки и учеты осуществлены в соответствии с государственной методикой [13]. Оценка содержания фотосинтетических пигментов – на спектрофотометре «UVmini-1240» производства Shimadzu Corporation (Japan) в ацетоновых вытяжках флаговых листьев по методике [14]. Статистическую обработку выполнили методами дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализов с использованием пакета программ статистического и биометрико-генетического анализа в растениеводстве и селекции AGROS (версия 2.07), программ Microsoft Office Excel 2002 и 2013 и StatSoft Statistica 10. В тексте отдельные генотипы обозначены не только по их названию, но и по номеру каталога Всероссийского института генетических ресурсов растений (бывший ВИР, г. Санкт-Петербург), из коллекции которого получены данные образцы; в этом случае указаны номер каталога, начинающийся с буквы «к», и название сорта (например, к-15174 Furlong и т. д.).

Погодные условия разных лет исследования значительно отличались по периодам роста и развития растений, что позволило максимально учесть реакцию сортов на условия вегетации (табл. 1).

Результаты и их обсуждение

При выращивании на алюмоокислом почвенном фоне урожайность зерна, превышающую урожайность стандартного сорта на 15 %, в различные по погодным условиям годы показывали разные коллекционные генотипы. Так, в условиях 2015 г. урожайность стандартов Кречет и Аргамак превзошли всего четыре образца из 48 испытанных (IFMI 3437; AC-7; АНТ и к-2164 ВАИ 5014); в 2016 г. из 80 коллекционных номеров – соответственно 29 и 31 образцы; в 2017 г. – 23 и 0 из 100 исследованных; в условиях 2018 г. ни один из испытываемых сортов статистически значимо не превзошел стандарт. В среднем за 2015–2021 гг. превышение над стандартным сортом Кречет более чем на 15 % (по урожайности зерна) имели 27 сортов; над стандартом Аргамак – 13 сортов, некоторые из них представлены в табл. 2.

На урожайность в разной степени влияют такие параметры структуры продуктивности растений, как высота растения, длина метелки, продуктивная кустистость, число колосков и зерен в метелке, масса зерна с метелки, масса 1 тыс. зерен; поэтому в селекции овса на урожайность большое значение имеет подбор доноров и источников по элементам

ее структуры. При этом низкие показатели одних элементов компенсируются в определенной степени более интенсивным развитием других [15].

В различные по метеорологическим условиям годы наибольшее варьирование отмечено для массы зерна метелки (CV=27,2–32,4 % на окультуренном фоне и 27,9–37,0 % на алюмоокислом) и числа зерен в метелке (соответственно CV=28,8–32,3 и 26,3–32,4 %), наиболее стабильным был показатель массы 1 тыс. зерен (CV=10,6–11,4 и 9,4–13,8 %). Для примера в табл. 3 приведены данные о развитии признаков «число колосков в метелке», «число зерен в метелке» и «масса зерна с метелки» у пяти генотипов овса на нейтральном и кислом почвенном фонах.

Однако проведенный статистический анализ данных показал, что ни один из указанных элементов структуры продуктивности не может быть напрямую использован в целях селекции на повышение урожайности культуры в условиях действия эдафических стрессов, поскольку в разные годы были получены различающиеся по абсолютной величине значения коэффициентов парных

Таблица 1

Величины гидротермического коэффициента (2015–2021 годы, пос. Фаленки, Кировская область)

Table 1

Hydrothermal coefficient values (2015–2021, Falenki settlement, Kirov Region)

Период	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Посев – всходы	1,47	1,24	1,10	4,94	1,50	1,32	2,74
Всходы – выметывание	1,13	0,69	6,25	1,56	2,13	1,81	0,87
Выметывание – созревание	1,68	1,01	0,38	1,14	3,22	0,77	1,57
Посев – созревание	1,39	0,84	1,74	1,65	1,91	1,26	1,21

Таблица 2

Средняя урожайность образцов овса, превосходящих стандарты более чем на 15 %, по урожайности зерна при выращивании на алюмоокислых почвах (2015–2021 годы, пос. Фаленки, Кировская область), г/м²

Table 2

Average productivity of oats samples exceeding the standard by more than 15 % by crop yield when grown in aluminum acid soils (2015–2021, Falenki settlement, Kirov Region), g/m²

Образец	Происхождение	Урожайность средняя	% от стандарта
55h2106	Россия, Московская обл.	198,7	115,5*
Астад	Россия, Ленинградская обл.	199,7	116,5*
Saltaret	Молдова	192	129,0*
Duffy	Германия	213	150,2*
Werva	Германия	133	119,6*
Baiyan N 0.14	Китай	162	117,4*
Яков	Россия, Московская обл.	201,3	117,0*
XIN YUAN	Китай	204,3	118,8*
IFMI 3437	США	207	120,3*
Боец	Россия, Тюменская обл.	207,7	120,8*
50h2035	Россия, Московская обл.	207,7	120,8*
Скроколик	Россия, Ленинградская обл.	210,7	122,5*
100433-4	США	218,5	115,0**
BORYNA	Польша	223,7	117,3**
100433-5	США	274	143,7**

Примечание. Стандартные сорта: * – Кречет; ** – Аргамак.
Note. Standard cultivars: * – Krechets, ** – Argamak.

Таблица 3

Влияние кислого почвенного фона на развитие элементов структуры продуктивности овса (среднее за 2018–2020 годы)

Table 3

Influence of acid soil background on the development of oats yield structure elements (average for 2018–2020)

Генотип	Колосков в метелке, шт.		Зерен в метелке, шт.		Масса зерна с метелки, г	
	НФ	КФ	НФ	КФ	НФ	КФ
Кречет	20,3	7,8	29,4	9,1	1,00	0,33
Werva	19,3	7,2	32,4	11,7	1,34	0,44
Prelekst	30,0	6,1	46,8	7,3	1,82	0,25
Leniak	28,9	7,1	44,1	8,4	1,57	0,27
Duffy	19,5	12,1	31,4	15,3	1,04	0,49

Условные обозначения. Здесь и в табл. 4: НФ – нейтральный почвенный фон; КФ – алюмокислый почвенный фон.

Symbols. here and in Table 4: НФ – neutral soil background; КФ – aluminum acid soil background.

корреляций. Например, в условиях 2016 г. урожайность генотипов овса на алюмокислом фоне статистически значимо (при $p \leq 0,05$) коррелировала со всеми изученными показателями за исключением продуктивной кустистости ($r=0,38-0,55$). В 2017 г. отмечено существенное влияние на урожайность массы зерна с метелки и массы 1 тыс. зерен ($r=0,42$ и $0,62$ соответственно). В 2018 г. на фоне эдафического стресса значимое влияние на урожайность образцов овса оказали высота растения, число колосков и зерен в метелке, масса зерна с метелки ($r=0,58-0,71$), на окультуренной почве – число колосков.

В то же время масса зерна с метелки во все годы исследований находилась в тесной связи с ее озерненностью ($r=0,93-0,95$), числом колосков ($r=0,70-0,92$) и длиной метелки ($r=0,78-0,83$). Для использования в селекции выделены источники с высокой массой зерна с метелки – к-15174 Furlong (0,46 г), к-15333 КСИ 542/05 (0,53 г), к-15280 55h2106 (0,54 г), к-15281 120h2106 (0,61 г), при 0,43 г и 0,45 г у стандарта Кречет соответственно. Статистически значимая положительная связь отмечена между количеством зерен в метелке и числом колосков в ней ($r=0,89-0,91$), количеством зерен в метелке и ее длиной ($r=0,82-0,87$). Лучшими по данному признаку (количество зерен в метелке) в стрессовых условиях роста были генотипы к-15213 Яков (14,3 шт.), к-2987 IFMI 3150 (15,7 шт.), к-15280 55h2106 (15,9 шт.), к-15281 120h2106 (17,1 шт.), к-15279 50h2035 (19,3 шт.).

Как известно, биологическая и хозяйственная урожайность зерновых культур определяется интенсивностью фотосинтетической деятельности листового аппарата растений. На этот параметр оказывают влияние размер листьев (индекс листовой поверхности = Leaf area index (LAI)), продолжительность их активного функционирования и содержание фотосинтетических пигментов. Первые два показателя часто используются в научных и селекционных исследованиях, поскольку тесно коррелируют с зерновой продуктивностью [16, 17].

Положительное влияние на формирование зерновой продуктивности (массы зерна) и озерненности метелки (количества зерен в метелке) оказала площадь листьев

Таблица 4

Коэффициенты корреляции (r) между площадью листьев овса, зерновой продуктивностью и количеством зерен в метелке

Table 4

Correlation coefficients (r) between oats leaf area, crop productivity, and grain number per panicle

Площадь	Фон	Продуктивность		Зерен в метелке, шт.
		метелки	растения	
Флаговый лист	НФ	0,59*	0,59*	0,43
	КФ	0,75*	0,72*	0,76*
Подфлаговый лист	НФ	0,52*	0,59*	0,59*
	КФ	0,71*	0,69*	0,71*
Листья главного стебля	НФ	0,40	0,37	0,59*
	КФ	0,67*	0,63*	0,70*

Примечание. * – корреляции статистически значимы при $p \leq 0,05$.

Note. * – correlations are statistically significant at $p \leq 0,05$.

как в благоприятных почвенных условиях, так и на фоне эдафического стресса (табл. 4).

Исследования показали негативное влияние эдафического стресса на формирование площади отдельных листьев и суммарной площади листьев стебля овса. На алюмокислых почвах выделены образцы овса пленчатого с пониженным относительно контроля (сорт Аргамак) уровнем депрессии площади флагового листа: селекционные номера И-4595 (48,6 %), И-4592 (51,0 %), 2h09 (62,5 %) и др. Превысили стандарт по площади флагового листа только селекционные образцы И-4595, 2h09, И-4553, И-4592 и сорт Кречет, имеющий пониженные показатели депрессии флагового (58,5 %) и подфлагового (53,9 %) листьев, суммарной площади листьев (50,4 %). Аналогичные или близкие к ним показатели имел перспективный образец И-4595. Величина площади подфлагового листа у селекционного образца И-4595 (8,96 см²) была выше уровня развития признака у сорта-стандарта Аргамак на фоне эдафического стресса на 2,82 см². Высокие показатели были у образца И-4584, который превзошел стандарт по суммарной площади листьев главного стебля в благоприятных и стрессовых условиях.

Эффективность работы фотосинтетического аппарата зависит от степени развития пигментного комплекса листьев и ассимиляционной поверхности растения, особенно после фазы выметывания [18, 19]. К настоящему времени не удалось показать четкой связи между величиной урожайности зерна и степенью развития пигментного комплекса листьев. В то же время есть указания на необходимость учета параметров, физиологически связанных с продукционным процессом (площадь листьев, содержание хлорофилла, продолжительность жизни листьев и т. д.) при селекции высокоурожайных генотипов зерновых культур [20, 21]. В отдельных работах указывается на значимую связь между содержанием пигментов в листьях овса и кормовой продуктивностью культуры [22].

Наибольший вклад в формирование урожая зерновых вносят два верхних листа [23], поэтому исследователи выбирают индексы площади этих листьев (которые активно функционировали в период заполнения) в качестве критериев

рия для оценки производительности растений [24]. Вклад флагового листа в ежедневную фотосинтетическую продуктивность растений зерновых культур, в частности пшеницы, оценивается в 50–60 % [25], а его удаление приводит к потере 18–30 % урожая зерна [26]. Важность флагового листа в создании урожая зерна объясняется его расположением и самым молодым возрастом из всей листовой массы растения [27].

Результаты, полученные в ходе выполнения работы, показали, что содержание хлорофилла *a* во флаговых листьях ярового овса может колебаться в довольно широких пределах: коэффициент вариации для нейтрального почвенного фона – от 6,5 (2015) до 23,0 % (2017), для кислого – от 9,0 (2019) до 23,3 % (2017). Наиболее высокий коэффициент депрессии содержания пигмента при воздействии стрессового почвенного фактора (ионов алюминия) отмечен в 2015 г. (60 %), наиболее низкий – в 2017 г. (16,4 %). Таким образом, абсолютные величины содержания пигмента во флаговых листьях значительно варьировали в зависимости от изучаемых факторов.

Результаты оценки содержания пигментов во флаговых листьях на примере 10 образцов овса, выращиваемых на кислом (рН 3,8, содержание алюминия – до 13,5 мг/100 г почвы) и нейтральном (рН 6,0, без подвижного алюминия) почвенных фонах Фаленской селекционной станции, приведены в табл. 5.

Как следует из данных табл. 5, образцы значительно отличались друг от друга по содержанию отдельных элементов

пигментного комплекса хлоропластов флаговых листьев на обоих почвенных фонах. В условиях нейтрального почвенного фона среднее содержание пигментов во флаговых листьях пленчатого овса составило 13,54; 8,23 и 3,49 мг/г сухой массы для хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов соответственно. При изменении почвенных условий эти средние величины снизились до уровня 7,74; 3,86 и 2,81 мг/г сухой массы. Эти величины согласуются с данными других авторов (например, [28]). Таким образом, средний уровень депрессии составил для хлорофилла *a* – 42,8 %; для хлорофилла *b* – 53,1 %; для каротиноидов – 19,5 %. При этом, интересно отметить, что при таком среднем уровне снижения содержания хлорофилла *a*, эта депрессия в большей степени характерна для светособирающих комплексов (снижение величины – на 52,7 %), чем для реакционных центров (снижение – на 17,0 %).

Однако средние показатели можно использовать для сравнительного анализа влияния стресса на пигментные комплексы разных зерновых культур. Для селекционной работы гораздо важнее выделить те образцы, которые значительно отличаются от средних показателей для всей выборки. В таком случае можно отметить, что в наименьшей степени депрессия содержания хлорофилла *a* на кислой почве коснулась таких селекционных образцов, как к-3752 (19,4 %), И-4815 (24,4 %), а у образца И-4388 отмечен стимулирующий эффект – содержание пигмента выросло на 6,9 %.

Изменение содержания хлорофилла *b* было наименьшим для образцов И-4592 (снижение – на 28,9 %), И-4815 (на 33,9 %), И-3752 (на 35,0 %); а для образца И-4388 и по данному параметру не отмечено статистически значимой депрессии.

Исходя из полученных результатов, можно предложить для дальнейшей углубленной селекционной работы перечисленные в предыдущих абзацах образцы, как имеющие в условиях алюмокислого эдафического фона наиболее устойчивые пигментные комплексы.

Заключение

Учитывая все вышеизложенное, модель сорта ярового овса предлагается дополнить данными о площади листьев и содержании в них пигментов, и для условий алюмокислых дерново-подзолистых почв она будет выглядеть следующим образом (табл. 6).

По аналогичной схеме можно рассчитать использованные нами параметры моделей сорта для других зерновых культур, которые в условиях алюмокислых дерново-подзолистых почв будут обеспечивать получение урожая зерна на уровне, превышающем уровень стандартного районированного сорта на 10–15 %.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Таблица 5
Содержание пигментов во флаговых листьях селекционных линий овса на разных почвенных фонах (мг/г сухой массы). Среднее за 2016–2021 годы
Table 5
Content of pigments in flag leaves of oats breeding lines grown in different soil backgrounds (mg/g dry weight). Average for 2016–2021

Образец	Хл <i>a</i>	Хл <i>b</i>	Каротиноиды	Хл <i>a</i> / хл <i>b</i>	Хл / кар
Нейтральный почвенный фон					
2h12o	16,61±0,48	11,19±0,64	3,80±0,05	1,49±0,04	7,30±0,23
378h08	13,69±0,55	7,96±0,38	3,62±0,10	1,72±0,02	5,96±0,09
397h07	12,14±0,41	6,98±0,32	3,41±0,05	1,74±0,02	5,59±0,14
325h12	14,46±0,32	9,96±0,30	3,31±0,06	1,45±0,02	7,38±0,13
256h12	16,34±0,46	10,51±0,54	3,85±0,12	1,57±0,04	7,00±0,31
И-4592	12,77±0,67	7,24±0,43	3,44±0,20	1,77±0,04	5,82±0,06
И-4388	9,36±0,47	4,84±0,26	3,03±0,09	1,94±0,03	4,68±0,09
И-4815	12,15±0,67	6,76±0,66	3,40±0,08	1,83±0,07	5,55±0,31
к-3752	10,60±2,19	6,67±1,38	2,57±0,53	1,59±0,01	6,71±0,05
И-4808	15,77±0,54	10,18±0,31	3,75±0,11	1,55±0,02	6,93±0,10
Алюмокислый почвенный фон					
2h12o	6,75±0,49	3,27±0,25	2,84±0,11	2,07±0,07	3,51±0,15
378h08	9,48±0,31	4,61±0,21	3,30±0,09	2,07±0,06	4,28±0,12
397h07	6,67±0,43	3,26±0,24	2,48±0,12	2,05±0,07	3,98±0,10
325h12	7,99±0,38	4,07±0,23	2,87±0,13	1,97±0,06	4,20±0,09
256h12	7,76±0,63	3,79±0,33	3,04±0,11	2,05±0,05	3,78±0,19
И-4592	9,87±0,55	5,15±0,34	3,34±0,11	1,92±0,02	4,47±0,12
И-4388	10,01±0,23	5,30±0,17	3,31±0,06	1,89±0,05	4,62±0,08
И-4815	9,18±0,26	4,47±0,12	3,31±0,11	2,05±0,01	4,12±0,05
к-3752	8,54±0,22	4,33±0,17	2,82±0,06	1,98±0,04	4,56±0,08
И-4808	4,07±0,10	2,03±0,09	1,96±0,04	2,02±0,08	3,12±0,06

Таблица 6
**Параметры модели сортов ярового овса для условий алюмокислых почв
 Волго-Вятского региона**

Table 6
**Model parameters of spring oat cultivars for conditions of aluminum acid
 soils of the Volga-Vyatka Region**

Параметры	Современный модельный сорт*	Модельный сорт для кислых почв
Период вегетации, сут	70-100	70-100
Урожайность, т/га	5,0-6,0	1,9-2,2
Продуктивная кустистость, шт.	1,3-1,4	1,0-1,1
Число зерен в колоске, шт.	1,9-2,0	1,9-2,0
Число зерен в метелке, шт.	35-50	15-19
Масса зерна с метелки, г	1,2-1,3	0,5-0,6
Масса 1 тыс. зерен, г	35-40	30-35
Высота растений, см	65-100	50-100
Выход зерна, %	45-55	35-40
Площадь флагового листа, см ²	-	3-4
Площадь подфлагового листа, см ²	-	7-9
Содержание хлорофилла <i>a</i> во флаговом листе, мг/г сухой массы	-	8-10
Содержание хлорофилла <i>b</i> во флаговом листе, мг/г сухой массы	-	4-6
Содержание каротиноидов во флаговом листе, мг/г сухой массы	-	3-3,5

Примечание. * – по [3].
 Note. * – by [3].

Литература

- Щенникова, И. Н. Модели сортов ярового ячменя для условий Волго-Вятского региона / И. Н. Щенникова // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. – 2015. – № 6 (49). – С. 9–13.
- Коряковцева, Л. А. Обоснование параметров модели высокоурожайного сорта яровой мягкой пшеницы для условий Нечерноземной зоны России / Л. А. Коряковцева, Л. В. Волкова // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. – 2014. – № 6 (43). – С. 13–18.
- Баталова, Г. А. Овес. Технология возделывания и селекция / Г. А. Баталова. – Киров : НИИСХ Северо-Востока, 2000. – 206 с.
- Batalova, G. A. Breeding of grain crops in extreme climatic conditions / G. A. Batalova, I. N. Shchennikova, E. M. Lisitsyn // In: *Temperate Crop Science and Breeding: Ecological and Genetic Studies*. – Waretown, NJ : Apple Academic Press, 2016. – P. 3–16.
- Croft, H. Leaf pigment content / H. Croft, J. M. Chen // *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. – Oxford : Elsevier Inc., 2016. – P. 1–22.
- Chen, M. Chlorophyll modifications and their spectral extension in oxygenic photosynthesis / M. Chen // *Annual Review of Biochemistry*. – 2014. – Vol. 83. – P. 317–340.
- Racz, I. The influence of flag leaf removal and its characteristics on main yield components and yield quality indices on wheat / I. Racz, D. Hirişcău, I. Berindean, R. Kadar, E. Muntean [et al.] // *Agronomy*. – 2022. – Vol. 12. – ID 2545.
- Niroula, A. Profile of chlorophylls and carotenoids of wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) microgreens / A. Niroula, S. Khatri, R. Timilsina, D. Khadka, A. Khadka [et al.] // *J Food Sci Technol*. – 2019. – Vol. 56 (5). – P. 2758–2763.
- Tian, H. Responses of photosynthetic characteristics of oat flag leaf and spike to drought stress / H. Tian, Q. Zhou, W. Liu, J. Zhang, Y. Chen [et al.] // *Front. Plant Sci*. – 2022. – Vol. 13. – ID 917528.
- Тарасенко, С. Пигментный состав сортов мягкой озимой пшеницы / С. Тарасенко, Е. Живлюк // *Наука и инновации*. – 2009. – № 7 (77). – С. 25–28.
- Li, X. Chlorophyll fluorescence observed by OCO-2 is strongly related to gross primary productivity estimated from flux towers in temperate forests / X. Li, J. Xiao, B. He // *Remote Sensing of Environment*. – 2018. – Vol. 204. – P. 659–671.
- Gorash, A. Aspects in oat breeding: nutrition quality, nakedness and disease resistance, challenges and perspectives / A. Gorash, R. Armoniene, J. Mitchell Fetch, Ž. Liatukas, V. Danyte // *Annals of Applied Biology*. – 2017. – Vol. 171 (3). – P. 543.
- Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. – Москва, 1985. – Вып. 1. – 270 с.
- Lichtenthaler, H. K. Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy / H. K. Lichtenthaler, C. Buschmann // *Current Protocols in Food Analytical Chemistry (CPFA)*. – New York : John Wiley and Sons, 2001. – F4.3.1–F4.3.8.
- Русакова, И. И. Источники хозяйственно ценных признаков для селекции овса пленчатого / И. И. Русакова, Г. А. Баталова, Ю. Е. Ведерников [и др.] // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. – 2016. – № 5 (54). – С. 4–9.
- Gaju, O. Leaf photosynthesis and associations with grain yield, biomass and nitrogen use efficiency in landraces, synthetic-derived lines and cultivars in wheat / O. Gaju, J. DeSilva, P. Carvalho, M.J. Hawkesford, S. Griffiths [et al.] // *Field Crops Research*. – 2016. – Vol. 193. – P. 1–15.
- Roy, C. Association of leaf chlorophyll content with the stay-green trait and grain yield in wheat grown under heat stress conditions / C. Roy, T. Chattopadhyay, R. D. Ranjan, W. Ul Hasan, A. Kumar [et al.] // *Czech J. Genet. Plant Breed*. – 2021. – Vol. 57. – P. 140–148.
- Гурова, Т. А. Спектральные характеристики сортов пшеницы при биотическом стрессе / Т. А. Гурова, Д. Н. Клименко, О. С. Луговская [и др.] // *Достижения науки и техники АПК*. – 2019. – Т. 33, № 10. – С. 71–75.
- Din, M. Estimation of dynamic canopy variables using hyperspectral derived vegetation indices under varying N rates at diverse phenological stages of rice / M. Din, J. Ming, S. Hussain, S. T. Ata-Ul-Karim, M. Rashid [et al.] // *Front. Plant Sci*. – 2019. – Vol. 9. – № 1883.
- Щенникова, И. Н. Приемы возделывания многорядного ячменя в Волго-Вятском регионе / И. Н. Щенникова, Н. Н. Назарова, Е. М. Лисицын // *Земледелие*. – 2011. – № 6. – С. 20–22.
- Batalova, G. A. Correlation analysis of the parameters of oats assimilation apparatus and productivity elements /

- G. A. Batalova, E. M. Lisitsyn // *Nexo Revista Cientifica*. – 2021. – Vol. 34. – № 1. – P. 379–389.
22. Софронова, В. Е. Фонд зеленых и желтых пигментов у ярового овса, культивируемого для получения крио-корма в условиях Центральной Якутии / В. Е. Софронова, В. А. Чепалов, К. А. Петров [и др.] // *Аграрный вестник Урала*. – 2019. – № 4 (183). – С. 72–77.
 23. Rahman, M. A. Correlation analysis of flag leaf with yield in several rice cultivars / M. A. Rahman, M. E. Haque, B. Sikdar, M. A. Islam, M. N. Matin // *J. Life Earth Sci.* – 2014. – № 8. – P. 49–54.
 24. Verma, D. Study of leaf area index and leaf area duration of growth analytical parameters in wheat, barley, and oat / D. Verma, A. S. Gontia, A. Jha, A. Deshmukh // *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*. – 2016. – Vol. 9 (5). – P. 837–831.
 25. Towfiq, S.I. Response of grain yield and its components to organic matter and removal of some photosynthetic organs of durum wheat (*Triticum aestivum* L.) in two years of Sulaimani-Iraq region / S. I. Towfiq, S. H. Abdulkader, K. R. Ahmad, S. J. Hama // *Int. J. Plant Anim. Environ. Sci.* – 2015. – № 5. – P. 134–140.
 26. Ma, J. Combining protein content and grain yield by genetic dissection in bread wheat under low-input management / J. Ma, Y. Xiao, L. Hou, Y. He // *Foods*. – 2021. – Vol. 10 (5). – ID 1058.
 27. Liu, X. Physiological response of flag leaf and yield formation of winter wheat under different spring restrictive irrigation regimes in the Haihe Plain, China / X. Liu, B. Yin, Z. Hu, X. Bao, Y. Wang [et al.] // *J. Integr. Agric.* – 2021. – Vol. 20. – P. 2343–2359.
 28. Софронова, В. Е. Функциональное состояние ФС II в листьях ярового овса при снижении температуры в осенний период / В. Е. Софронова, В. А. Чепалов, О. В. Дымова [и др.] // *Физиология растений*. – 2020. – Т. 67, № 4. – С. 417–427.
- M. Lisitsyn // In: *Temperate Crop Science and Breeding: Ecological and Genetic Studies*. – Waretown, NJ : Apple Academic Press, 2016. – P. 3–16.
5. Croft, H. Leaf pigment content / H. Croft, J. M. Chen // *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. – Oxford : Elsevier Inc., 2016. – P. 1–22.
 6. Chen, M. Chlorophyll modifications and their spectral extension in oxygenic photosynthesis / M. Chen // *Annual Review of Biochemistry*. – 2014. – Vol. 83. – P. 317–340.
 7. Racz, I. The influence of flag leaf removal and its characteristics on main yield components and yield quality indices on wheat / I. Racz, D. Hirişcău, I. Berindean, R. Kadar, E. Muntean [et al.] // *Agronomy*. – 2022. – Vol. 12. – ID 2545.
 8. Niroula, A. Profile of chlorophylls and carotenoids of wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) microgreens / A. Niroula, S. Khatrri, R. Timilsina, D. Khadka, A. Khadka [et al.] // *J Food Sci Technol*. – 2019. – Vol. 56 (5). – P. 2758–2763.
 9. Tian, H. Responses of photosynthetic characteristics of oat flag leaf and spike to drought stress / H. Tian, Q. Zhou, W. Liu, J. Zhang, Y. Chen [et al.] // *Front. Plant Sci.* – 2022. – Vol. 13. – ID 917528.
 10. Tarasenko, S. Pigmentnyj sostav sortov myagkoj ozimoj pshenicy [Pigment composition of soft winter wheat varieties] / S. Tarasenko, E. Zhivlyuk // *Nauka i innovacii [Science and Innovations]*. – 2009. – № 7 (77). – P. 25–28.
 11. Li, X. Chlorophyll fluorescence observed by OCO-2 is strongly related to gross primary productivity estimated from flux towers in temperate forests / X. Li, J. Xiao, B. He // *Remote Sensing of Environment*. – 2018. – Vol. 204. – P. 659–671.
 12. Gorash, A. Aspects in oat breeding: nutrition quality, nakedness and disease resistance, challenges and perspectives / A. Gorash, R. Armoniene, J. Mitchell Fetch, Ž. Liatukas, V. Danyte // *Annals of Applied Biology*. – 2017. – Vol. 171 (3). – P. 543.
 13. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'sko-hozyajstvennyh kul'tur [Methods of state variety testing of crops]. – Moscow, 1985. – Iss. 1. – 270 p.
 14. Lichtenthaler, H. K. Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy / H. K. Lichtenthaler, C. Buschmann // *Current Protocols in Food Analytical Chemistry (CPFA)*. – New York : John Wiley and Sons, 2001. – F4.3.1–F4.3.8.
 15. Rusakova, I. I. Istochniki hozyajstvenno cennyh priznakov dlya selekcii ovsy plenchatogo [Sources of economically valuable features for selection of covered oats] / I. I. Rusakova, G. A. Batalova, Yu. E. Vedernikov, M. V. Tulyakova // *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka [Agricultural Science of the European Northeast]*. – 2016. – № 5 (54). – P. 4–9.
 16. Gaju, O. Leaf photosynthesis and associations with grain yield, biomass and nitrogen use efficiency in landraces, synthetic-derived lines and cultivars in wheat / O. Gaju, J. DeSilva, P. Carvalho, M.J. Hawkesford, S. Griffiths [et al.] // *Field Crops Research*. – 2016. – Vol. 193. – P. 1–15.

References

1. Shchennikova, I. N. Modeli sortov yarovogo yachmenya dlya uslovij Volgo-Vyatskogo regiona [Models of spring barley varieties for the conditions of the Volga-Vyatka Region] / I. N. Shchennikova // *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka [Agricultural Science of the European Northeast]*. – 2015. – № 6 (49). – P. 9–13.
2. Koryakovceva, L. A. Obosnovanie parametrov modeli vysokourozhajnogo sorta yarovoj myagkoj pshenicy dlya uslovij Nechernozemnoj zony Rossii [Justification of the parameters of the model of high-yielding spring soft wheat for the conditions of the Non-Black Earth Zone of Russia] / L. A. Koryakovceva, L. V. Volkova // *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka [Agricultural Science of the European Northeast]*. – 2014. – № 6 (43). – P. 13–18.
3. Batalova, G. A. Oves. Tekhnologiya vzdelyvaniya i selekcija [Oats. Cultivation technology and breeding] / G. A. Batalova. – Kirov : NIISKh Severo-Vostoka, 2000. – 206 p.
4. Batalova, G. A. Breeding of grain crops in extreme climatic conditions / G. A. Batalova, I. N. Shchennikova, E.

17. Roy, C. Association of leaf chlorophyll content with the stay-green trait and grain yield in wheat grown under heat stress conditions / C. Roy, T. Chattopadhyay, R. D. Ranjan, W. U. Hasan, A. Kumar [et al.] // Czech J. Genet. Plant Breed. – 2021. – Vol. 57. – P. 140–148.
18. Gurova, T. A. Spektral'nye harakteristiki sortov pshenicy pri bioticheskom stresse [Spectral characteristics of wheat varieties under biotic stress] / T. A. Gurova, D. N. Klimenko, O. S. Lugovskaya, O. V. Elkin, V. I. Kozik // Dostizheniya nauki i tekhniki APK [Achievements of Science and Technology of the Agro-Industrial Complex]. – 2019. – Vol. 33. – № 10. – P. 71–75.
19. Din, M. Estimation of dynamic canopy variables using hyperspectral derived vegetation indices under varying N rates at diverse phenological stages of rice / M. Din, J. Ming, S. Hussain, S. T. Ata-Ul-Karim, M. Rashid [et al.] // Front. Plant Sci. – 2019. – Vol. 9. – № 1883.
20. Shchennikova, I. N. Priemy vozdeleyvaniya mnogoryadnogo yachmenya v Volgo-Vyatskom regione [Methods of cultivating multi-row barley in the Volga-Vyatka Region] / I. N. Shchennikova, N. N. Nazarova, E. M. Lisicyn // Zemledelie [Agriculture]. – 2011. – № 6. – P. 20–22.
21. Batalova, G. A. Correlation analysis of the parameters of oats assimilation apparatus and productivity elements / G. A. Batalova, E. M. Lisitsyn // Nexo Revista Cientifica. – 2021. – Vol. 34. – № 1. – P. 379–389.
22. Sofronova, V. E. Fond zelenyh i zheltyh pigmentov u yarovogo ovsy, kul'tiviruemogo dlya polucheniya kriokorma v usloviyah Central'noj Yakutii [Green and yellow pigments of spring oats cultivated for harvesting cryofodder in the conditions of central Yakutia] / V. E. Sofronova, V. A. Chepalov, K. A. Petrov, O. V. Dymova, T. K. Golovko // Agrarnyj vestnik Urala [Agrarian Bulletin of the Urals]. – 2019. – № 4 (183). – P. 72–77.
23. Rahman, M. A. Correlation analysis of flag leaf with yield in several rice cultivars / M. A. Rahman, M. E. Haque, B. Sikdar, M. A. Islam, M. N. Matin // J. Life Earth Sci. – 2014. – № 8. – P. 49–54.
24. Verma, D. Study of leaf area index and leaf area duration of growth analytical parameters in Wheat, Barley, and Oat / D. Verma, A. S. Gontia, A. Jha, A. Deshmukh // International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology. – 2016. – Vol. 9 (5). – P. 827–831.
25. Towfiq, S. I. Response of grain yield and its components to organic matter and removal of some photosynthetic organs of durum wheat (*Triticum aestivum* L.) in two years of Sulaimani-Iraq region / S. I. Towfiq, S. H. Abdulqader, K. R. Ahmad, S. J. Hama // Int. J. Plant Anim. Environ. Sci. – 2015. – № 5. – P. 134–140.
26. Ma, J. Combining protein content and grain yield by genetic dissection in bread wheat under low-input management / J. Ma, Y. Xiao, L. Hou, Y. He // Foods. – 2021. – Vol. 10 (5). – ID 058.
27. Liu, X. Physiological response of flag leaf and yield formation of winter wheat under different spring restrictive irrigation regimes in the Haihe Plain, China / X. Liu, B. Yin, Z. Hu, X. Bao, Y. Wang [et al.] // J. Integr. Agric. – 2021. – Vol. 20. – P. 2343–2359.
28. Sofronova, V. E. Funkcional'noe sostoyanie FS II v list'yah yarovogo ovsy pri snizhenii temperatury v osennij period [Functional state of PS II in spring oat leaves with a decrease in temperature in autumn] / V. E. Sofronova, V. A. Chepalov, O. V. Dymova, T. K. Golovko // Fiziologiya rastenij [Russian Plant Physiology]. – 2020. – Vol. 67, № 4. – P. 417–427.

Благодарность (госзадание):

Работа выполнена в рамках государственного задания № FNWE-2022-0007, регистрационный номер НИОКТР 123011900033-3.

Acknowledgements (state task)

The work was performed within the frames of the state task № FNWE-2022-0007, registration number НИОКТР 123011900033-3.

Информация об авторах:

Баталова Галина Аркадьевна – академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий отделом селекции овса Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого; Scopus Author ID: 16641870200; <http://orchid.org/0000-0002-3491-499X> (610007, Российская Федерация, г. Киров, ул. Ленина, д. 166а; e-mail: g.batalova@mail.ru).

Лисицын Евгений Михайлович – доктор биологических наук, заведующий отделом эдафической устойчивости сельскохозяйственных растений Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого; Scopus Author ID: 6602092498; Web of Science ResearcherID: S-6267-2016; <http://orchid.org/0000-0002-3125-3604> (610007, Российская Федерация, г. Киров, ул. Ленина, д. 166а; e-mail: edaphic@mail.ru).

About the authors:

Galina A. Batalova – RAS Academician, Doctor of Sciences (Agriculture), Head of the Department of Oat Breeding at the N. V. Rudnitsky Federal Agricultural Research Centre of the North-East; Scopus Author ID: 16641870200; <http://orchid.org/0000-0002-3491-499X> (N. V. Rudnitsky Federal Agricultural Research Centre of the North-East, 166a Lenin str., Kirov, 610007, Russian Federation; e-mail: g.batalova@mail.ru).

Eugene M. Lisitsyn – Doctor of Sciences (Biology), Head of the Department of Plant Edaphic Resistance at the N. V. Rudnitsky Federal Agricultural Research Centre of the North-East; Scopus Author ID: 6602092498; Web of Science Researcher ID: S-6267-2016; <http://orchid.org/0000-0002-3125-3604> (N. V. Rudnitsky Federal Agricultural Research Centre of the North-East, 166a Lenin str., Kirov, 610007, Russian Federation; e-mail: edaphic@mail.ru).

Для цитирования:

Баталова, Г. А. Модель сорта пленчатого овса для алюмокислых почв Северо-Востока европейской части России / Г. А. Баталова, Е. М. Лисицын // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия «Сельскохозяйственные науки». – 2024. – № 7 (73). – С. 10–18.

For citation:

Batalova, G. A. Model sorta plenchatogo ovsa dlya alyumokislyh pochv Severo-Vostoka Evropejskoj chasti Rossii [Model of *Avena sativa* L. cultivar for aluminum acid soils of the European North-East of Russia] / G. A. Batalova, E. M. Lisitsyn // Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series "Agricultural Sciences". – 2024. – № 7 (73). – P. 10–18.

Дата поступления статьи: 09.09.2024

Прошла рецензирование: 28.10.2024

Принято решение о публикации: 26.09.2024

Received: 09.09.2024

Reviewed: 28.10.2024

Accepted: 26.09.2024