

В.В. Бычкова ✉
О.П. Кибальник
И.А. Сазонова
О.Б. Каменева

Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы, Саратов, Россия

✉ bychkova_vv@list.ru

Поступила в редакцию:
14.04.2023

Одобрена после рецензирования:
20.11.2023

Принята к публикации:
04.12.2023

Vera V. Bychkova ✉
Oksana P. Kibalnik
Irina A. Sazonova
Olga B. Kameneva

Russian Research and Design-Technological Institute of Sorghum and Corn, Saratov, Russia

✉ bychkova_vv@list.ru

Received by the editorial office:
14.04.2023

Accepted in revised:
20.11.2023

Accepted for publication:
04.12.2023

Влияние метеорологических условий года на биохимический состав зерна сорго

РЕЗЮМЕ

Актуальность. В настоящее время изучение взаимодействия этих признаков между собой — очень важная задача селекции. В работе было изучено 15 сортообразцов зернового сорго, различающихся по морфологическим параметрам, вегетационному периоду, степени созревания зерна, биохимическому составу и урожайности зерна и зеленой массы.

Цели исследования — изучение взаимодействия условий окружающей среды на урожайность и биохимический состав зерна сорго и оценка значимости этих взаимосвязей.

Методы. Исследования проводили в 2020, 2021 и 2022 гг. Годы исследований различались метеорологическими условиями (ГТК составил 0,56–0,76). Для оценки биохимического состава в зерне сорго пользовались методом спектроскопирования с применением инфракрасного анализатора Spectra Star XT. Урожайность зерна определяли по общепринятой методике.

Результаты. Результаты экспериментов обрабатывали с помощью пакета программ Agros 2.09 методом корреляционного анализа. По итогам трехлетних исследований установлена корреляционная связь биохимического состава от метеорологических условий года (сумма температур, сумма осадков, ГТК), а также значимое влияние этих признаков на урожайность зерна сорго.

Ключевые слова: сорго, зерно, биохимический состав, урожайность, корреляция, метеоусловия

Для цитирования: Бычкова В.В., Кибальник О.П., Сазонова И.А., Каменева О.Б. Влияние метеорологических условий года на биохимический состав зерна сорго. *Аграрная наука.* 2023; 377(12): 102–107. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-377-12-102-107>

© Бычкова В.В., Кибальник О.П., Сазонова И.А., Каменева О.Б.

Influence of meteorological conditions of the year on the biochemical composition of sorghum grain

ABSTRACT

Relevance. Currently, the study of the interaction of these traits with each other is a very important task of breeding. In the work, 15 varieties of grain sorghum were studied, differing in morphological parameters, growing season, degree of grain ripening, biochemical composition and yield of grain and green mass. *The purpose of the study* is to study the interaction of environmental conditions on the yield and biochemical composition of sorghum grain and to assess the significance of these relationships.

Methods. The studies were conducted in 2020, 2021 and 2022. The years of research differed in meteorological conditions (hydrothermal Selyaninov coefficient (SCC) was 0.56–0.76). To assess the biochemical composition in sorghum grain, the spectroscopy method was used using an infrared analyzer Spectra Star XT. The grain yield was determined according to the generally accepted method.

Results. The experimental results were processed using the “Agros 2.09” software package by the method of correlation analysis. Based on the results of three years of research, a correlation was established between biochemical composition and the meteorological conditions of the year (sum of temperatures, total precipitation, SCC), as well as a significant effect of these traits on the yield of sorghum grain.

Key words: sorghum, grain, biochemistry, productivity, correlation, weather conditions

For citation: Bychkova V.V., Kibalnik O.P., Sazonova I.A., Kameneva O.B. Influence of meteorological conditions of the year on the biochemical composition of sorghum grain. *Agrarian science.* 2023; 377(12): 102–107 (In Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-377-12-102-107>

© Bychkova V.V., Kibalnik O.P., Sazonova I.A., Kameneva O.B.

Введение/Introduction

Многочисленные исследования показали, что на урожайность и качественный состав зерна и зеленой массы сельскохозяйственных культур влияют особенности климатических и погодных условий (преимущественно в период формирования и созревания зерна). Поэтому при ведении селекции на увеличение питательных характеристик в зерне сельскохозяйственных культур необходимо учитывать взаимодействие «генотип × окружающая среда» [1].

Известно, что разные типы генотипов у растений неодинаково проявляют свою чувствительность к тому или иному стрессу [2–7]. Исследования М. Титисаксакула с соавторами свидетельствуют, что в некоторых случаях дефицит влаги в период развития зерна может привести к снижению содержания крахмала в связи с изменением активности ферментов, ответственных за его биосинтез [8], а опыт Дж. Така показал, что озимая пшеница проявляет высокую восприимчивость к отрицательным температурам осенью и тепловому стрессу в период созревания зерна [9].

Содержание белка и крахмала также зависит от генотипа, метеорологических условий, плодородности почвы и других факторов окружающей среды [10–12].

Учеными из Республики Татарстан проведен анализ влияния погодных условий на урожайность зерновых культур, который показал, что она увеличивается при выпадении достаточного количества осадков в первой половине вегетации и, наоборот, снижается при высоких температурах воздуха в начале вегетационного периода [13].

Одна из сельскохозяйственных культур, которая легко адаптируется к аридизации климата и дает высокие урожаи, — сорго зерновое. Изучение влияния факторов окружающей среды на питательную ценность зерна — исключительно важная задача. Она позволяет выявить, какой из изученных гидротермических параметров оказывает наибольшее влияние на качественный состав зерна.

Цель исследований — выявление корреляционных связей между биохимическими показателями зерна сорго в фазе полной спелости и метеоусловиями (сумма температур, сумма осадков, гидротермический коэффициент), а также влияние этих показателей на урожайность зерна.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

В работе оценивали биохимический состав 15 сортов образцов зернового сорго собственной селекции ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» в 2020, 2021 и 2022 гг. (за каждый год) (табл. 1).

Образцы различались между собой по морфометрическим параметрам, продолжительности вегетационного периода, показателям биохимического состава и урожайности зерна.

Изучаемые сортообразцы высевались на опытном поле ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» в Саратовской области на Приволжской возвышенности, расположенной в 5 км от г. Саратова, в южной части черноземной зоны. Почва опытного поля представлена слабовыщелоченным южным черноземом, среднесуглинистым по механическому составу. Площадь делянок в питомниках конкурсного сортоиспытания — 30,8 м².

Закладка делянок и учет урожайности зерна проводились согласно методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур¹ в заключительной стадии онтогенеза «полная спелость».

Фенологические наблюдения проводились согласно широкому унифицированному классификатору СЭВ и международному классификатору СЭВ возделываемых видов рода *Sorghum Moench*². Густота стояния растений скорректирована вручную (80 тыс. раст/га). Посев сортообразцов зернового сорго проводили в III декаде мая селекционной кассетной сеялкой СКС-6-10, агротехника выращивания — зональная.

Метеоусловия складывались следующим образом: в 2020 г. средняя температура воздуха по Саратовской области составила 19,6 °С, количество осадков — 19,9 мм. Во II декаде июля и III декаде августа осадков не наблюдалось. В 2021 году за вегетационный период зафиксирована среднедекадная температура по области — 21,8 °С, количество осадков — 14,7 мм. В I декаде августа осадков не наблюдалось. В 2022 году среднее значение температуры составило 16,7 °С, за период вегетации выпало 43,3 мм осадков.

За вегетационный период «всходы — полная спелость» был рассчитан показатель увлажненности территории ГТК (гидротермический коэффициент), который

Таблица 1. Вегетационный период и характеристика агроклиматических показателей сортообразцов сорго, 2020–2022 гг.

Table 1. Growing season and characteristics of agroclimatic indicators of sorghum varieties, 2020–2022

Сортообразец	Страна	Вегетационный период, дни			Сумма температур, °С			Сумма осадков, мм			ГТК		
		2020 г.	2021 г.	2022 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
РСК Локус	Россия	95	95	95	2061,1	2244,6	2083,9	154	130,3	127,4	0,75	0,58	0,61
Азарт	Россия	96	96	96	2077,6	2260,7	2116,0	154	150,5	127,7	0,74	0,67	0,60
Гранат	Россия	95	95	95	2061,1	2244,6	2071,1	154	130,3	127,2	0,75	0,58	0,61
Жемчуг	Россия	94	93	93	2038,0	2209,1	2043,9	154	122,8	126,5	0,76	0,56	0,62
Волжское 4	Россия	105	102	102	2226,5	2348,0	2228,3	154	155,8	140,7	0,69	0,66	0,63
РСК Оникс	Россия	95	94	94	2061,1	2227,6	2099,4	154	130,3	127,5	0,75	0,58	0,61
Топаз	Россия	95	95	95	2061,1	2244,6	2083,9	154	130,3	127,4	0,75	0,58	0,61
РСК Каскад	Россия	96	97	97	2077,6	2276,8	2140,6	154	155,8	131,2	0,74	0,68	0,61
Бакалавр	Россия	97	96	96	2092,3	2260,7	2116,0	154	130,3	127,7	0,74	0,58	0,60
Камелик	Россия	95	94	94	2061,1	2227,6	2083,9	154	130,3	127,4	0,75	0,58	0,61
Кремное	Россия	93	93	93	2013,8	2209,1	2071,1	154	130,3	127,2	0,76	0,59	0,61
Аванс	Россия	96	94	94	2077,6	2227,6	2128,3	154	130,3	131,2	0,74	0,58	0,62
РСК Кахолонг	Россия	107	112	112	2256,9	2489,3	2317,7	154	156,9	146,7	0,68	0,63	0,63
РСК Коралл	Россия	108	112	112	2271,7	2489,3	2329,8	155	156,9	154,6	0,68	0,63	0,66
Инфинити	Россия	104	103	103	2212,8	2362,2	2214,8	154	155,8	140,2	0,70	0,66	0,63

¹ Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / Под ред. В.И. Головачева, Е.В. Кириловской. М.: Государственная комиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур. 1989; 194.

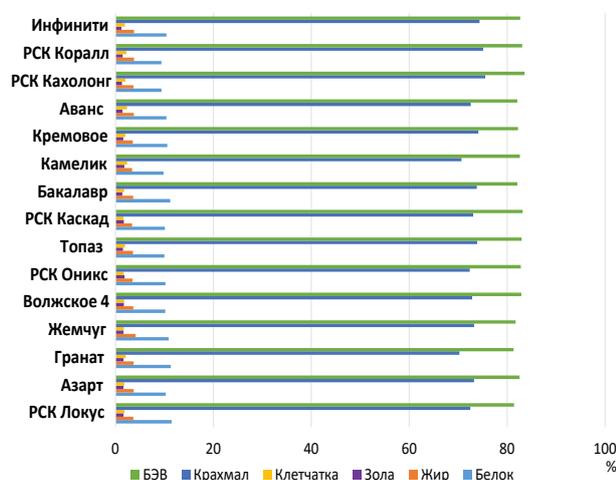
² Якушевский Е.С., Варадинов С.Г., Корнейчук В.А. Широкий унифицированный классификатор СЭВ и международный классификатор СЭВ возделываемых видов рода *Sorghum Moench*. СССР. Л. Баня (ВНР). Л.: ВНИИР им. Н.И. Вавилова (ВИР). 1982; 34.

составил: 0,68–0,76 в 2020 г., 0,56–0,68 в 2021 г., 0,60–0,66 в 2022 г. В среднем за три года исследований ГТК находился в пределах 0,64–0,68. Данный показатель свидетельствует о том, что за изученный период вегетации степень увлажненности варьировала от среднезасушливой до недостаточно влажной. Продолжительность вегетационного периода составила 95–116 дней³.

Оценка биохимического состава зерна сорго проведена на инфракрасном анализаторе Spectra Star XT модификации 2600XT-1 (Unity Scientific, США) методом спектроскопирования в трехкратной повторности. Результаты экспериментов обрабатывали с помощью пакета программ Agros 2.09 методом корреляционно-го анализа⁴.

Рис. 1. Биохимический состав сортообразцов сорго в среднем за 2020–2022 гг., %

Fig. 1. Biochemical composition of sorghum varieties on average for 2020–2022, %



Примечание:

Значение	Белок	Жир	Зола	Клетчатка	Крахмал	БЭВ
НСР ₀₅	0,278	0,130	0,107	0,201	0,438	0,314
F _A (сорт)	121,845*	42,265*	63,394*	30,975*	256,496*	103,615*
F _B (год)	32,412*	617,173*	1607,771*	177,195*	1261,050*	1251,457*
F _{AB}	61,744*	9,649*	10,130*	8,808*	48,655*	85,385*

Рис. 2. Показатели урожайности зерна сортообразцов сорго в среднем за 2020–2022 гг., т/га

Fig. 2. Grain yield indicators of sorghum varieties on average for 2020–2022, t/ha



Результаты и обсуждение / Results and discussion

Биохимический состав зерна сорго показал значительную вариабельность изучаемых признаков в зависимости от года исследования⁵. Представленные данные (рис. 1) характеризуют среднее значение биохимического состава за три года исследований, которые показали, что содержание белка находилось в пределах 9,38–11,48%, количество жира составило 3,04–4,09%, золы — 1,22–1,84%, клетчатки — 1,64–2,37%. Количество крахмала и БЭВ составило 70,23–72,52% и 81,29–83,55% соответственно.

Важным показателем продуктивности сорта является урожайность зерна. В данных исследованиях урожайность в среднем за три года изменялась от 3,03 до 5,02 т/га.

Полученные данные биохимического состава зерна сорго были использованы в корреляционном анализе. В результате анализа выявлены сильные взаимосвязи изучаемых признаков в среднем за 2020–2022 г.

Установлено, что содержание белка в зерне сорго отрицательно коррелировало с количеством безазотистых экстрактивных веществ ($r = -0,91$) (табл. 2).

Сильная корреляция также проявлялась в 2021 г. ($-0,93$) и 2022 г. ($-0,96$). Отмечалась отрицательная корреляционная зависимость белка и крахмала в 2021 г.

Таблица 2. Существенные корреляционные связи зависимости биохимических показателей зерна сорго от метеорологических условий года

Table 2. Significant correlations between the dependence of biochemical parameters of sorghum grain on meteorological conditions of the year

Коррелирующие признаки	Год исследования			
	2020	2021	2022	Средняя за три года
Белок-крахмал	-0,18	-0,76**	-0,33	-0,43
Белок-БЭВ	0,09	-0,93**	-0,96**	-0,91**
Белок-жир	-0,23	0,62*	0,26	0,18
Белок- Σ температур	-0,17	-0,62*	-0,04	-0,62*
Белок- Σ осадков	-0,08	-0,51*	-0,46	-0,64**
Белок-урожайность	-0,30	-0,37	-0,11	-0,60*
Крахмал-БЭВ	0,60*	0,74**	0,38	0,56*
Крахмал- Σ температур	0,49	0,52*	0,02	0,62*
Крахмал- Σ осадков	0,18	0,35	0,59*	0,58*
Крахмал-урожайность	0,57*	0,22	0,03	0,61*
БЭВ- Σ температур	0,13	0,58*	0,05	0,63*
БЭВ- Σ осадков	0,03	0,52*	0,41	0,69**
БЭВ-урожайность	0,33	0,42	0,00	0,61*
Зола-крахмал	-0,76**	-0,38	-0,56*	-0,66**
Зола- Σ температур	-0,50	-0,59*	0,14	-0,53*
Зола-ГТК	0,51*	-0,25	-0,26	0,16
Зола-урожайность	-0,56*	-0,08	0,27	-0,34
Жир-зола	-0,31	-0,02	-0,76**	-0,45
Жир-БЭВ	-0,35	-0,73**	-0,31	-0,32
Σ температур- Σ осадков	0,51*	0,80**	0,46	0,94**
Σ температур-ГТК	-1,00**	0,53*	0,20	0,23
Σ температур-урожайность	0,68**	0,42	0,49	0,78**
Σ осадков-ГТК	-0,49	0,93**	0,91**	0,54*
Σ осадков-урожайность	0,68**	0,50	0,29	0,75**
ГТК-урожайность	-0,67**	0,45	0,06	0,11

* Значимо на 5%-ном уровне, ** значимо на 1%-ном уровне, Σ температур — сумма активных температур за вегетационный период, Σ осадков — сумма осадков за вегетационный период.

³ По данным химико-аналитической лаборатории ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока», г. Саратов.

⁴ Мартынов С.П. Статистический и биометрико-генетический анализ в растениеводстве и селекции. Пакет программ Agros 2.09. Тверь. 1999.

⁵ Сазонова И.А. и др. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022622509. Российская Федерация. Характеристика питательной ценности сорго зернового в условиях

($r = -0,76$) и положительная между белком и жиром в этот же год исследования ($r = -0,62$).

Следует отметить, что синтез белка зависит от складываемых погодных условий. Выявлена средняя и сильная отрицательная корреляция между содержанием белка и суммой активных температур, а также количеством осадков — $-0,62$ и $-0,64$ соответственно. Причем значимые зависимости этих показателей обнаружены только в условиях 2021 г. ($r = -0,62$ и $-0,51$).

В исследованиях Е.А. Семеновой на посевах сои были выявлены аналогичные проявления признака: на основе корреляционного анализа выявлена сильная отрицательная связь между содержанием белка и количеством осадков в Амурской области в период «цветение — созревание» ($r = -0,749$, $p < 0,01$), а также между содержанием белка и среднесуточной температурой воздуха за период «цветение — созревание» — в Саратовской и Оренбургской областях [14].

Примечательно, что средняя отрицательная корреляционная зависимость выявлена между белком и урожайностью в среднем за три года исследований ($r = -0,60$), в то время как в каждый из сезонов исследования значимые связи отсутствовали. Эти данные подтверждают тот факт, что сорго — засухоустойчивая культура, у которой содержание и накопление белка зависят от климатических условий.

Накопление крахмала и безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) также зависело от суммы активных температур и количества осадков за вегетационный период: в среднем за три года изучения $r = 0,62-0,63$ и $r = 0,58-0,69$ соответственно.

Вместе с тем сопряженность содержания крахмала и метеорологических условий наблюдалась еще в условиях 2021–2022 гг. ($r = 0,52-0,59$), тогда как в 2020 г. существенно значимая зависимость отсутствовала. В то же время содержание БЭВ коррелировало от погодных условий в среднем за три года и составило $0,63$ при взаимодействии с суммой температур, $0,69$ — при взаимодействии с количеством осадков. Положительная корреляционная зависимость между этими параметрами выявлена в условиях 2021 г. ($r = 0,58-0,52$ соответственно). Установлено, что содержание крахмала положительно коррелирует с содержанием БЭВ в среднем за 2020–2022 гг. ($r = 0,56$) и в 2020–2021 гг. ($r = 0,60-0,74$).

В работе F. DuPont и S. Altenbach представлено существенное влияние условий окружающей среды на накопление белка и крахмала в зерне пшеницы [15].

Количество золы обратно коррелировало с накоплением крахмала, что подтверждается выявленными корреляционными связями как за весь период исследований ($r = -0,66$), так и в 2020 г. и 2022-м (коэффициент корреляции составил $-0,76$ и $-0,56$ соответственно).

Установлена отрицательная значимая взаимосвязь между содержанием минеральных элементов и суммой активных температур: в среднем за 2020–2022 гг. $r = -0,53$, в 2021-м $r = -0,59$. Отмечена средняя отрицательная корреляция между золой и урожайностью исключительно в 2020 г., которая составила $-0,56$.

Следует отметить, что в условиях 2022 г. выявлена сильная сопряженность признаков содержания жира и золы: коэффициент корреляции составил $-0,76$. Сильные корреляционные связи обнаружены между жиром и БЭВ в 2021 г. — $0,73$.

Известно, что сумма активных температур находится в прямой зависимости от суммы осадкой и обратной

зависимости от гидротермического коэффициента (ГТК) и, соответственно, влияет на урожайность.

Выявлена сильная положительная корреляционная связь температуры от осадков в среднем за три года и в 2021 г. ($r = 0,94-0,80$), а также средняя в 2020 г. ($r = 0,51$). При этом следует отметить, что в зависимости от сезона исследований взаимодействие сопряженных признаков может проявляться по-разному. Так, наблюдается отрицательная корреляция между температурой и ГТК в 2020 г. ($r = -1,00$) и положительная корреляционная связь в 2021-м ($r = 0,53$). Высокая корреляционная зависимость выявлена по показателям урожайности зерна, которая составила $0,78$ в среднем за 2020–2023 гг., $0,68$ — в 2020 г. исследования.

Отмечаются положительные корреляционные связи между признаками сумма осадков и ГТК в среднем за три года ($r = 0,54$), в 2021 и 2022 гг., которые составили $0,93$ и $0,91$ соответственно. Одним из важных параметров, влияющих на урожайность зерна сорго, является количество осадков за вегетационный период.

В данных исследованиях выявлена положительная корреляция между этими признаками, которая составила $0,75$ в 2020–2022 гг. и $0,68$ в 2020-м.

В исследованиях Н.А. Ковтуновой с коллегами [16] выявлена аналогичная зависимость при корреляции урожайности зеленой массы суданской травы с количеством осадков ($r = 0,79$), при этом авторы отмечают среднюю отрицательную корреляционную связь со средней температурой воздуха за вегетацию ($r = -0,59$).

Сильная отрицательная корреляционная зависимость выявлена по показателям ГТК и урожайности только в 2020 г. ($r = -0,67$), что свидетельствует о высокой засухоустойчивости растений сорго.

Известны аналогичные результаты исследований по другим сельскохозяйственным культурам. Например, данные В.Ю. Селивановой показали [17], что при проведении корреляционно-регрессивного анализа была выявлена существенная зависимость урожайности зерна пшеницы от количества осадков в сухостепной зоне Нижнего Поволжья. Другим примером является тесная положительная корреляционная связь между урожайностью и показателями влагообеспеченности (суммой осадков и ГТК) посевов сои, возделываемых в Нечерноземье [18].

Выводы/Conclusion

В результате полученных результатов выявлены как отрицательные, так и положительные связи между признаками биохимического состава зерна сорго и условиями окружающей среды. Обнаружены значимые отрицательные корреляционные связи между показателями белка, жира, золы и клетчатки между собой, а также в зависимости от показателей крахмала, БЭВ и метеоусловиями.

В свою очередь, отмечена средняя и высокая положительная корреляция между признаками крахмала и БЭВ от суммы температур и осадков.

Урожайность зерна находится в тесной положительной корреляционной зависимости от суммы активных температур и суммы осадков за вегетационный период. Установлено, что в условиях с недостаточным увлажнением (ГТК $0,56-0,76$) сорго способно давать высокие урожаи зерна (до $5,02$ т/га).

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные.

Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках тематического плана ФГБНУ «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы» согласно государственному заданию № 123020800161-6, № 123011200039-2 Министерства сельского хозяйства Российской Федерации.

FINANCING

The work was carried out within the framework of the thematic plan of the Federal State Budgetary Educational Institution "Russian Research and Design-Technological Institute of Sorghum and Corn" according to the state task No. 123020800161-6, No. 123011200039-2 of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ray C.L., Shipe E.R., Bridges W.C. Planting Date Influence on Soybean Agronomic Traits and Seed Composition in Modified Fatty Acid Breeding Lines. *Crop Science*. 2008; 48(1): 181–188. <https://doi.org/10.2135/cropsci2007.05.0290>
2. Cramer G.R., Urano K., Delrot S., Pezzotti M., Shinozaki K. Effects of abiotic stress on plants: a systems biology perspective. *BMC Plant Biology*. 2011; 11: 163. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-11-163>
3. Beta T., Corke H. Genetic and Environmental Variation in Sorghum Starch Properties. *Journal of Cereal Science*. 2001; 34(3): 261–268. <https://doi.org/10.1006/jcrs.2000.0379>
4. Tester R.F., Karkalas J. The Effects of Environmental Conditions on the Structural Features and Physico-chemical Properties of Starches. *Starch*. 2001; 53(10): 513–519. [https://doi.org/10.1002/1521-379X\(200110\)53:10<513::AID-STAR513>3.0.CO;2-5](https://doi.org/10.1002/1521-379X(200110)53:10<513::AID-STAR513>3.0.CO;2-5)
5. Matsuki J., Yasui T., Kohyama K., Sasaki T. Effects of Environmental Temperature on Structure and Gelatinization Properties of Wheat Starch. *Cereal Chemistry*. 2003; 80(4): 476–480. <https://doi.org/10.1094/CHEM.2003.80.4.476>
6. Kiprotich F.K., Cheruiyot E.K., Mwendia C.M., Wachira F.N., Owuoche J. Biochemical quality indices of sorghum genotypes from east Africa for malting and brewing. *African Journal of Biotechnology*. 2014; 13(2): 313–321. <https://doi.org/10.5897/AJB2013.13184>
7. Trikoesoemaningtyas, Wirnas D., Sopandie D., Tesso T. Genotypes X environment interaction effect on nutritional quality of sorghum lines in Indonesia. *Ekin Journal of Crop Breeding and Genetics*. 2015; 1(2): 26–31.
8. Thitisaksakul M., Jiménez R.C., Arias M.C., Beckles D.M. Effects of environmental factors on cereal starch biosynthesis and composition. *Journal of Cereal Science*. 2012; 56(1): 67–80. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.04.002>
9. Tack J., Barkley A., Nalley L.L. Effect of warming temperatures on US wheat yields. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2015; 112(22): 6931–6936. <https://doi.org/10.1073/pnas.1415181112>
10. Костина Г.И., Семин Д.С., Ефремова И.Г., Кибальник О.П., Маркелов А.Н. Влияние гидротермических условий на хозяйственно полезные признаки зернового сорго. *Кормопроизводство*. 2011; (1): 30–32. <https://www.elibrary.ru/nchksj>
11. Ebadi M.R., Pourreza J., Jamaljan J., Edriss M.A., Samie A.H., Mirhadi S.A. Amino Acid Content and Availability in Low, Medium and High Tannin Sorghum Grain for Poultry. *International Journal of Poultry Science*. 2005; 4(1): 27–31. <https://doi.org/10.3923/ijps.2005.27.31>
12. Yi B. et al. Effect of Drought Stress During Flowering Stage on Starch Accumulation and Starch Synthesis Enzymes in Sorghum Grains. *Journal of Integrative Agriculture*. 2014; 13(11): 2399–2406. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60694-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60694-2)
13. Мустафина А.Б. Основные особенности влияния погодных условий на урожайность зерновых культур в Республике Татарстан. *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*. 2019; (2): 144–153. <https://www.elibrary.ru/nimtlg>
14. Семенова Е.А. Теоретическое и экспериментальное обоснование роли адаптации сои в повышении урожайности. Диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук. Благовещенск. 2019; 470.
15. DuPont F.M., Altenbach S.B. Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. *Journal of Cereal Science*. 2003; 38(2): 133–146. [https://doi.org/10.1016/S0733-5210\(03\)00030-4](https://doi.org/10.1016/S0733-5210(03)00030-4)
16. Ковтунова Н.А., Ковтунов В.В., Романюкин А.Е., Ермолина Г.М. Урожайность сорго травянистого в зависимости от метеорологических условий. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022; 23(3): 334–342. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.334-342>
17. Селиванова В.Ю. Оценка влияния метеорологических факторов методом корреляции на формирование структуры урожая яровой пшеницы в сухостепной зоне Нижнего Поволжья. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2019; (3): 207–214. <https://www.elibrary.ru/jfhwor>
18. Тевченков А.А., Федорова З.С. Оценка пригодности различных сортов сои к возделыванию в условиях Центрального района Нечерноземья РФ. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022; 23(6): 796–804. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.796-804>

REFERENCES

1. Ray C.L., Shipe E.R., Bridges W.C. Planting Date Influence on Soybean Agronomic Traits and Seed Composition in Modified Fatty Acid Breeding Lines. *Crop Science*. 2008; 48(1): 181–188. <https://doi.org/10.2135/cropsci2007.05.0290>
2. Cramer G.R., Urano K., Delrot S., Pezzotti M., Shinozaki K. Effects of abiotic stress on plants: a systems biology perspective. *BMC Plant Biology*. 2011; 11: 163. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-11-163>
3. Beta T., Corke H. Genetic and Environmental Variation in Sorghum Starch Properties. *Journal of Cereal Science*. 2001; 34(3): 261–268. <https://doi.org/10.1006/jcrs.2000.0379>
4. Tester R.F., Karkalas J. The Effects of Environmental Conditions on the Structural Features and Physico-chemical Properties of Starches. *Starch*. 2001; 53(10): 513–519. [https://doi.org/10.1002/1521-379X\(200110\)53:10<513::AID-STAR513>3.0.CO;2-5](https://doi.org/10.1002/1521-379X(200110)53:10<513::AID-STAR513>3.0.CO;2-5)
5. Matsuki J., Yasui T., Kohyama K., Sasaki T. Effects of Environmental Temperature on Structure and Gelatinization Properties of Wheat Starch. *Cereal Chemistry*. 2003; 80(4): 476–480. <https://doi.org/10.1094/CHEM.2003.80.4.476>
6. Kiprotich F.K., Cheruiyot E.K., Mwendia C.M., Wachira F.N., Owuoche J. Biochemical quality indices of sorghum genotypes from east Africa for malting and brewing. *African Journal of Biotechnology*. 2014; 13(2): 313–321. <https://doi.org/10.5897/AJB2013.13184>
7. Trikoesoemaningtyas, Wirnas D., Sopandie D., Tesso T. Genotypes X environment interaction effect on nutritional quality of sorghum lines in Indonesia. *Ekin Journal of Crop Breeding and Genetics*. 2015; 1(2): 26–31.
8. Thitisaksakul M., Jiménez R.C., Arias M.C., Beckles D.M. Effects of environmental factors on cereal starch biosynthesis and composition. *Journal of Cereal Science*. 2012; 56(1): 67–80. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.04.002>
9. Tack J., Barkley A., Nalley L.L. Effect of warming temperatures on US wheat yields. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2015; 112(22): 6931–6936. <https://doi.org/10.1073/pnas.1415181112>
10. Kostina G.I., Semin D.S., Efremova I.G., Kibalnik O.P., Markelov A.N. Influence of hydrothermal conditions on economic traits of grain sorghum. *Fodder Production*. 2011; (1): 30–32 (In Russian). <https://www.elibrary.ru/nchksj>
11. Ebadi M.R., Pourreza J., Jamaljan J., Edriss M.A., Samie A.H., Mirhadi S.A. Amino Acid Content and Availability in Low, Medium and High Tannin Sorghum Grain for Poultry. *International Journal of Poultry Science*. 2005; 4(1): 27–31. <https://doi.org/10.3923/ijps.2005.27.31>
12. Yi B. et al. Effect of Drought Stress During Flowering Stage on Starch Accumulation and Starch Synthesis Enzymes in Sorghum Grains. *Journal of Integrative Agriculture*. 2014; 13(11): 2399–2406. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60694-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60694-2)
13. Mustafina A.B. The main features of the influence of weather conditions on the productivity of grain crops in the Republic of Tatarstan. *Hydrometeorological Research and Forecasting*. 2019; (2): 144–153 (In Russian). <https://www.elibrary.ru/nimtlg>
14. Semenova E.A. Theoretical and experimental substantiation of the role of soybean adaptation in increasing yields. Dissertation for the degree of Doctor of Agricultural Sciences. Blagoveshchensk. 2019; 470 (In Russian).
15. DuPont F.M., Altenbach S.B. Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. *Journal of Cereal Science*. 2003; 38(2): 133–146. [https://doi.org/10.1016/S0733-5210\(03\)00030-4](https://doi.org/10.1016/S0733-5210(03)00030-4)
16. Kovtunova N.A., Kovtunov V.V., Romanyukin A.E., Ermolina G.M. Sudan grass productivity depending on meteorological conditions. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2022; 23(3): 334–342 (In Russian). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.334-342>
17. Selivanova V.Yu. Estimation of the influence of meteorological factors by correlation method on formation of the structure of the crop of spring wheat in the dry zone of the lower Volga region. *Proceedings of Nizhnevolskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education*. 2019; (3): 207–214 (In Russian). <https://www.elibrary.ru/jfhwor>
18. Tsvchenkov A.A., Fedorova Z.S. Evaluation of suitability of different soybean varieties for cultivation in the conditions of the Central part of the Non-Chernozem region of the Russian Federation. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2022; 23(6): 796–804 (In Russian). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.796-804>

ОБ АВТОРАХ**Вера Валерьевна Бычкова**

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
bychkova_vv@list.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0288-663X>

Оксана Павловна Кибальник

кандидат биологических наук, главный научный сотрудник
kibalnik79@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1808-8974>

Ирина Александровна Сазонова

доктор биологических наук, главный научный сотрудник
iasazonova@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-9844-5339>

Ольга Борисовна Каменева

кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
kamenewa.olga2012@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1583-7711>

Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы,
1-й Институтский проезд, 4, Саратов, 410050, Россия

ABOUT THE AUTHORS**Vera Valerievna Bychkova**

Candidate of Biological Sciences, Senior researcher
bychkova_vv@list.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0288-663X>

Oksana Pavlovna Kibalnik

Candidate of Biological Sciences, Chief Researcher
kibalnik79@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1808-8974>

Irina Alexandrovna Sazonova

Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher
iasazonova@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-9844-5339>

Olga Borisovna Kameneva

Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher
kamenewa.olga2012@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1583-7711>

Russian Research and Design-Technological Institute
of Sorghum and Corn,
4 1st Institute Passage, Saratov, 410050, Russia