УДК 633.62:57.04:631.559.2

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ПОВЫШЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ И КАЧЕСТВА ЗЕЛЕНОЙ МАССЫ СОРГО

Алабушев А.В., Ковтунова Н.А., Романюкин А.Е., Горпиниченко С.И., Ермолина Г.М.
ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», Зерноград, e-mail: n-beseda@mail.ru

Сорго сахарное – одна из основных кормовых культур в засушливых регионах России. Формирование урожайности – сложный процесс, на который оказывают влияние различные факторы. Продуктивность – комплексный показатель, уровень которого зависит от вклада отдельных количественных признаков. Компонентный анализ продуктивности позволяет дать полную информацию о влиянии каждого признака. Цель данной работы – определение основных факторов, влияющих на урожайность и качество зеленой массы, а также оценка стабильности и изменчивости основных хозяйственно-ценных показателей. Исследования проводились в 2010–2016 гг. Объектом исследований являлись 9 сортов сорго сахарного, созданных в АНЦ «Донской». Дисперсионный анализ показал, что урожайность зеленой массы сорго сахарного на 45,1 % определяется сортовыми особенностями, на 30,3 % – погодными условиями; сбор абсолютно сухого вещества, наоборот, больше зависит от года исследования (45,7 %), чем от сорта (13,0 %), и от их взаимодействия (35,1 %). Было изучено влияние на урожайность климатических условий, а именно температуры воздуха и количества осадков. Существенное влияние на формирование урожайности зеленой массы оказывает среднесуточная температура в августе (–0,58 ± 0,08) и количество осадков в июле (0,59 ± 0,07). Урожайность абсолютно сухого вещества имеет отрицательную корреляцию со среднесуточной температурой за период всей вегетации, выпадение осадков приводит к увеличению данного показателя. Для формирования максимальной урожайности зеленой массы и абсолютно сухого вещества метеоусловия по месяцам немного различаются, однако в целом по вегетации, для получения высокой продуктивности и качества требуется среднесуточная температура воздуха 20,5–22,0 °С и осадков более 240 мм. Анализ взаимосвязи урожайности с ее компонентами позволил выделить маркерные признаки высокой урожайности зеленой массы – это высота растений (r = 0,62 ± 0,05) и длина листа (r = 0,52 ± 0,12). В АНЦ «Донской» созданы сорта сорго сахарного с высокой урожайностью зеленой массы и абсолютно сухого вещества.

Ключевые слова: сорго сахарное, урожайность, зеленая масса, абсолютно сухое вещество, метеоусловия, дисперсионный анализ, корреляционно-регрессионный анализ.

THE PRINCIPAL FACTORS OF IMPROVEMENT OF PRODUCTIVIVTY AND QUALITY OF SORGHUM SACCHARATUM GREEN MASS

Alabushev A.V., Kovtunova N.A., Romanyukin A.E., Gorpinichenko S.I., Ermolina G.M.
Federal State Budgetary Scientific Institution Agricultural Research Center «Donskoy», Zernograd, e-mail: n-beseda@mail.ru

Sweet sorghum is one of the main forage crops in the arid regions of Russia. The formation of yield is a very difficult process which is affected by various factors. Productivity is a complex characteristic, the level of which depends on the contribution of individual quantitative traits. The component analysis of productivity allows giving full information about influence of each trait. The purpose of the work is to determine principal factors having an effect on productivity and quality of green chop, as well as to assess stability and changeability of the main economic-valuable traits. The study was carried out in the years of 2010–2016. The objects of the study were 9 varieties of sweet sorghum developed in ARC 'Donskoy'. The variance analysis showed that the productivity of green chop of sweet sorghum depends on varietal traits on 45.1 %, on weather on 30,3 %; the yield of absolutely dry matter is more dependent on the year of research (45,7 %), than on variety (13,0 %) and their interaction (35,1 %). There has been studied the effect of climatic conditions on productivity, namely air temperature and amount of precipitation. The average daily temperature in August (–0,58 ± 0,08) and amount of precipitation in July (0,59 ± 0,07) have a significant effect on formation of productivity of green chop. The productivity of absolutely dry matter has got negative correlation with the average daily temperature during vegetation, precipitation increases this trait. For the formation of maximum productivity of green chop and absolutely dry matter, the meteoconditions differ through the months, but in general during vegetation period the average daily temperature of 20,5–22,0 °C and more than 240 mm of precipitation are enough for high productivity and quality. The analysis of interconnection between productivity and its component allowed establishing marker traits of high productivity of green chop, i.e. plant height (r = 0,62 ± 0,05) and length of leaf (r = 0,52 ± 0,12). The ARC 'Donskoy' developed the sweet sorghum varieties with high productivity of green chop and absolutely dry matter.

Keywords: sweet sorghum, productivity, green chop, absolutely dry matter, meteoconditions, variance analysis, correlation and regression analysis

Сорго сахарное *(Sorghum saccharatum)* – одна из основных кормовых культур в засушливых регионах России. Ее засухоустойчивость определяется анатомическими и морфологическими свойствами, такими как строение устьиц, восковой налет на листьях и стеблях, мощная корневая система, способность приостанавливать рост при длительном отсутствии влаги, а при улучшении водного режима – продолжать его [1–3]. Еще одним достоинством сорго является солевыносливость. Корни обходят

очаги скопления солей и развиваются в менее засоленной почве – это является приспособительным свойством растений к засолению.

В 100 кг зеленой массы сорго сахарного содержится 24–25 кормовых единиц (к.е.) и 0,6 кг переваримого протеина, коэффициент переваримости составляет 72,7%; силоса – 22–23 к.е., 0,6 кг переваримого протеина, переваримость – 66,8% [4, 5]. Отличительная особенность сорго сахарного – высокое содержание сахаров в соке стеблей и сочность стеблей и листьев даже в фазе полной спелости зерна. Лучший силос по качеству получается при силосовании сорго с бобовыми растениями, однако его можно силосовать с пожнивными остатками, соломой и т.д.

Согласно исследованиям Г.С. Голубевой, в засушливых условиях степной зоны сорго на 35–40% продуктивнее кукурузы, хотя в оптимальных условиях ее урожайность выше [6]. Формирование урожайности – сложный процесс, на который оказывают влияние различные факторы, в том числе климатические [7–9]. Согласно закону равнозначности и незаменимости факторов все процессы жизнедеятельности в растении активно проходят при оптимальных значениях факторов внешней среды. В связи с участившимися засухами в летний период и значительными изменениями климатических характеристик вопросы влияния климата на урожайность приобретают особую актуальность [10–12].

Не следует забывать, что урожайность – комплексный показатель, уровень которого зависит от вклада отдельных количественных признаков. Поэтому трудно получить существенный селекционный результат за счет улучшения какого-либо одного свойства. Компонентный анализ урожайности позволяет дать полную информацию о влиянии каждого признака [13, 14].

Цель данной работы – определение основных факторов, влияющих на урожайность и качество зеленой массы сорго сахарного, а также оценка стабильности и изменчивости основных хозяйственно ценных показателей.

Научная новизна – на основе дисперсионного анализа выявлена зависимость урожайности и качества зеленой массы от основных факторов: условий возделывания, сортового состава и их взаимодействия. В результате корреляционно-регрессионного анализа определены оптимальные метеорологические условия для получения максимального урожая; выделены маркерные признаки высокой урожайности и качества зелёной массы; оценено варьирование основных хозяйственно ценных признаков у новых сортов сорго сахарного зерноградской селекции.

Материалы и методы исследования

Объект исследований: 9 сортов сорго сахарного, созданных в АНЦ «Донской». В качестве стандарта использовался сорт Зерноградский янтарь.

Исследования проводились в 2010–2016 гг. в АНЦ «Донской» в г. Зернограде Ростовской области (зона неустойчивого увлажнения). Гидротермический коэффициент Селянинова за период вегетации сорго варьировал от 0,64 (2012 г.) до 0,97 (2016 г.), при этом в 2012, 2013, 2014 гг. наблюдалась средняя засуха, в остальные годы – отсутствие засухи.

Подготовка почвы, посев, уход за посевом, уборка проводились в соответствии с методикой государственного испытания и рекомендациями по возделыванию сорго сахарного [15]. Математическую обработку, корреляционный и регрессионный анализы проводили с использованием программы Statistica10, дисперсионный анализ – по методике Б.А. Доспехова [16].

Результаты исследования и их обсуждение

Для ведения селекционной работы на урожайность и качество необходимо выявить основные факторы, оказывающие наибольшее влияние на них. Проведен дисперсионный анализ, в котором изучено влияние на урожайность зеленой массы и абсолютно сухого вещества двух факторов: сорт (фактор А), год исследований (фактор В), на примере сортов сорго сахарного (табл. 1).

Разложение дисперсии С на частные дисперсии C_p,C_A, C_B, C_{AB}, C_z, которые характеризуют варьирование признака под влиянием каждого фактора и их взаимодействия, позволяет определить значимость их воздействия. Данный анализ показал, что урожайность зеленой массы сорго сахарного на 45,1% определяется сортовыми особенностями, на 30,3% – погодными условиями; сбор абсолютно сухого вещества, наоборот, больше зависит от года исследования (45,7%), чем от сорта (13,0%), и от их взаимодействия (35,1%). Доля случайных факторов для обоих показателей незначительна – 6,1–6,8%.

В ходе корреляционно-регрессионного анализа было изучено влияние на урожайность климатических условий, а именно температуры воздуха и количества осадков. Ранее было установлено, что урожайность зеленой массы и зерна находятся в тесной положительной связи с количеством осадков. При увеличении осадков на 1 мм за вегетацию сорго урожайность зеленой массы увеличивается на 0,05 т/га, урожайность зерна – на 0,01 т/га. Увеличение суммы температур за период «май сентябрь» на 1 °С приводит к уменьшению продолжительности вегетационного периода на 0,04 дня [11].

Существенное влияние на формирование урожайности зеленой массы оказывает среднесуточная температура в августе (– 0,58 ± 0,08) и количество осадков в июле (0,59 ± 0,07). Урожайность зерна имеет среднюю корреляцию со среднесуточной температурой июля (– 0,46 ± 0,02) и августа (– 0,57 ± 0,08). Урожайность абсолютно сухого вещества имеет отрицательную корреляцию со среднесуточной температурой за период всей вегетации, выпадение осадков, наоборот, приводит к увеличению данного показателя. Так, выпадение 1 мм осадков в июле сопровождается повышением урожайности абсолютно сухого вещества на 0,17 т/га.

Анализ графиков зависимости урожайности зеленой массы от среднесуточной температуры и количества осадков по месяцам позволил выявить оптимальные параметры для формирования максимальной продуктивности и качества зеленой массы сортов сорго сахарного (табл. 2).

Таблица 1

Влияние различных факторов на урожайность зеленой массы и абсолютно сухого вещества сорго сахарного

Фактор	Урожайность зеленой массы		Урожайность абсолютно сухого вещества	
	Значение дисперсии	Доля фактора, %	Значение дисперсии	Доля фактора, %
С (общая дисперсии)	1901,6	100	722,6	100
C_p – влияние повторений	1,1	0,1	0,9	0,1
C_A – влияние фактора А	858,4	45,1	94,2	13,0
C_B – влияние фактора В	576,3	30,3	330,2	45,7
C_{AB} – совместное влияние А и В	336,9	17,7	253,4	35,1
C_z – влияние других факторов	128,4	6,8	43,8	6,1

Примечание: фактор А – сорт; фактор В – год исследований.

Таблица 2

Метеорологические параметры для формирования максимальной и минимальной урожайности зеленой массы и абсолютно сухого вещества сорго сахарного (2010–2016 гг.)

Месяц	Параметры	Урожайность зеленой массы		Урожайность абсолютно сухого вещества	
		max	min	max	min
Май	Среднесуточная температура, °С	21–22	16–20	21–22	18–20
	Осадки за месяц, мм	100–140	20–60 120–160	20–60 80–100	более 100
Июнь	Среднесуточная температура, °С	23,5–24,5	20–21	24,0–24,5	20–22
	Осадки за месяц, мм	более 140	60–100	более 100	более 140
Июль	Среднесуточная температура, °С	22–24	26–27	21–23	26–27
	Осадки за месяц, мм	50–60	не влияют	55–60	не влияют
Август	Среднесуточная температура, °С	24–28	27–28	21–23	25–27
	Осадки за месяц, мм	50–70	менее 50 мм	60–70	менее 60
Сентябрь		не влияют			
Вся вегетация	Среднесуточная температура, °С	20,5–22,5	–	20,5–22,0	–
	Осадки за месяц, мм	более 240	–	более 250	–

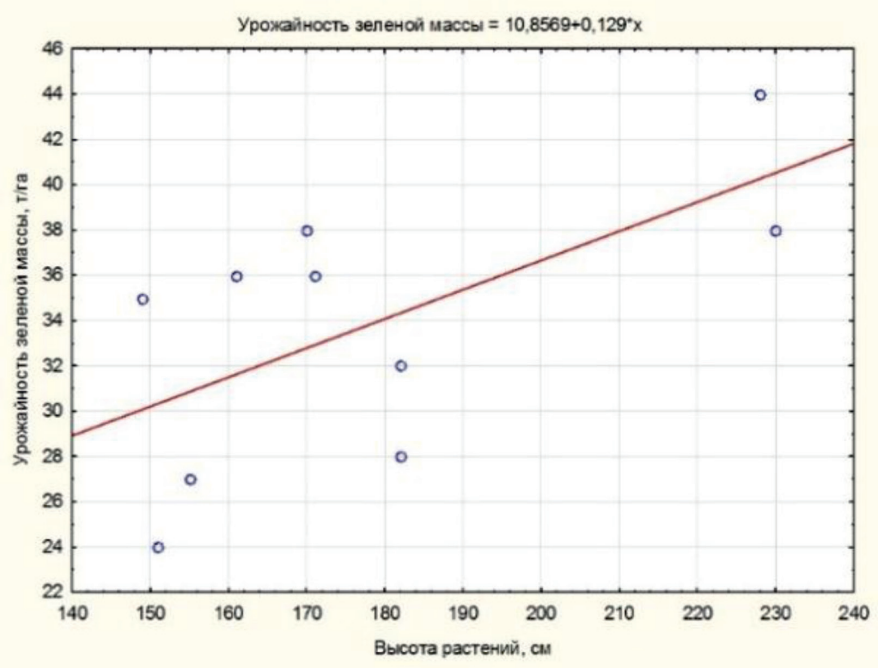

Рис. 1. Зависимость урожайности зеленой массы сорго сахарного от высоты растений

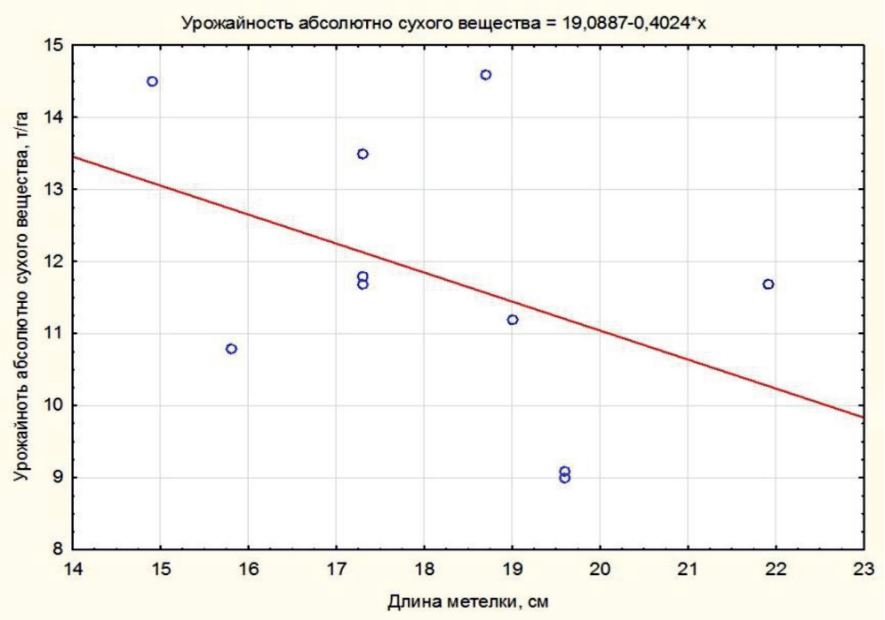

Рис. 2. Зависимость урожайности абсолютно сухого вещества сорго сахарного от длины метелки

Из табл. 2 видно, что для формирования максимальной урожайности зеленой массы и абсолютно-сухого вещества, метеоусловия по месяцам немного различаются, однако в целом по вегетации, для получения высокой продуктивности и качества требуется среднесуточная температура воздуха 20,5–22,0 °С и осадков более 240 мм.

Анализ взаимосвязи урожайности с ее компонентами позволяет выделить маркерные признаки, которые на ранних этапах развития, без уборки и взвешивания

помогут выбирать высокоурожайные образцы. Зеленая масса на силос сорго сахарного убирается в фазе молочно-восковой спелости и слагается из стеблей, листьев и метелок. По результатам исследований средняя положительная связь урожайности зеленой массы выявлена с высотой растений (0,62 ± 0,05) и длиной листа (0,52 ± 0,12). При увеличении значений этих признаков на единицу измерения урожайность зеленой массы увеличивается на 0,13 и 0,4 т/га соответственно (рис. 1). Таким образом, данные показатели являются маркерными при селекции на высокую урожайность зеленой массы сорго сахарного.

Урожайность зерна имеет среднюю корреляцию с шириной метелки (0,59 ± 0,13), при ее увеличении на 1 см урожайность зерна выше на 0,2 т/га. С остальными признаками существенной связи не выявлено. Урожайность абсолютно сухого вещества и переваримого протеина определяет качество зеленой массы. По фенотипу высокое качество зеленой массы выявить практически невозможно. В наших исследованиях наблюдалась средняя отрицательная корреляция урожайности абсолютно сухого вещества с длиной метелки (– 0,53 ± 0,12), ее увеличение на 1 см – снижает сбор сухого вещества на 0,4 т/га (рис. 2).

В АНЦ «Донской» созданы сорта сорго сахарного с высокой урожайностью зеленой массы и абсолютно сухого вещества (табл. 3).

Представленные сорта имеют продолжительность периода «всходы – молочно-восковая спелость» в пределах 91–106 дней и относятся к среднеспелой группе созревания, кроме раннеспелого сорта Костер (86 дней). По урожайности зеленой массы 6 сортов со значениями 40–43 т/га существенно превосходят стандарт Зерноградский янтарь, по урожайности абсолютно сухого вещества превышение отмечено у 5 сортов (13,5–14,8 т/га), по сбору переваримого протеина – у 3 сортов (Лиственит, Зерноградское 454, Янтарное 41).

По урожайности зеленой массы у 6 из 9 сортов отмечена низкая изменчивость по годам (5,1–9,0%), что говорит о их высокой стабильности. Сорта ЗСР-441, Север 44, Янтарное 41 имели среднюю изменчивость (10,8–11,5%). Варьирование по сортам было слабым – в 2012, 2014 и 2015 гг. и средним – в 2013, 2016 гг., что говорит о незначительной разнице между сортами к внешним условиям. По урожайности абсолютно сухого вещества показатели изменчивости были значительно выше. Только 2 сорта (Зерноградское 32 и Дебют) имели слабое варьирование по годам (9,6–9,9%), 6 сортов – среднее. Сорт Костер отличается высокой зависимостью от внешних условий и имеет коэффициент варьирования по годам 26,8%. По урожайности зерна и переваримого протеина наблюдалась средняя и сильная изменчивость как по годам, так и по сортам. Из рассмотренных хозяйственно-ценных показателей изученные сорта проявили наибольшую стабильность по урожайности зеленой массы и продолжительности вегетационного периода.

Таблица 3

Характеристика новых сортов сорго сахарного (2010–2016 гг.)

Сорт	Урожайность, т/га								Период «всходы – молочно-восковая спелость», дни	
	зеленой массы		зерна		абсолютно сухого вещества		переваримого протеина			
	среднее	Cv,%	среднее	Cv,%	среднее	Cv,%	среднее	Cv,%	среднее	Cv,%
Зерноградский янтарь, ст.	36	6,8	2,3	27,6	12,0	12,2	0,55	14,2	92	11,0
Дебют	35	5,1	2,2	23,3	12,7	9,9	0,59	23,7	91	8,8
Костер	35	8,8	1,9	20,7	13,1	26,8	0,59	36,9	86	8,0
Лиственит	42	8,2	2,6	22,5	14,0	17,9	0,66	23,9	102	10,4
Зерноградское 454	40	9,0	2,5	27,6	14,6	13,0	0,71	20,1	95	13,7
Север 44	41	10,8	2,7	23,4	14,8	15,9	0,57	31,3	100	9,9
ЗСР-441	43	11,0	2,7	25,8	14,0	18,8	0,61	6,0	97	11,7
Янтарное 41	42	11,5	2,6	27,3	13,4	21,1	0,72	32,7	106	9,0
Зерноградское 32	41	6,3	2,7	21,5	13,5	9,6	0,54	30,8	106	9,9
среднее	40	–	2,5	–	2,5	13,6	0,61	–	96	–
Sx	4		0,3	–	1,5	1,5	0,11	–	6	–
Cv по годам,%	20,8	–	25,5	–	16,1	16,1	24,4	–	10,0	–

Выводы

1. Урожайность зеленой массы сорго сахарного на 45,1 % определяется сортовыми особенностями, на 30,3 % – погодными условиями; сбор абсолютно сухого вещества, наоборот, больше зависит от года исследования (45,7 %), чем от сорта (13,0 %), и от их взаимодействия (35,1 %). Доля случайных факторов для обоих показателей незначительна – 6,1–6,8 %.

2. На формирование урожайности зеленой массы наибольшее влияние оказывает среднесуточная температура в августе (– 0,58 ± 0,08) и количество осадков в июле (0,59 ± 0,07). Урожайность абсолютно сухого вещества имеет отрицательную корреляцию со среднесуточной температурой за период всей вегетации, выпадение осадков приводит к увеличению данного показателя.

3. Для формирования максимальной урожайности зеленой массы и абсолютно сухого вещества метеоусловия по месяцам немного различаются, однако в целом по вегетации, для получения высокой продуктивности и качества требуется среднесуточная температура воздуха 20,5–22,0 °С и осадков более 240 мм.

4. Маркерными признаками при селекции на высокую урожайность зеленой массы сорго сахарного является высота растений (r = 0,62 ± 0,05) и длина листа (r = 0,52 ± 0,12).

5. Среди изученных сортов сахарного сорго наибольшая стабильность наблюдалась по урожайности зеленой массы и продолжительности вегетационного периода.

6. По урожайности зеленой массы (40–43 т/га) существенно превосходят стандарт Зерноградский янтарь следующие сорта: Лиственит, Зерноградское 454, Север 44, Янтарное 41, Зерноградское 32, ЗСр-441.

Список литературы

1. Семеноводство сорго зернового в Ростовской области / А.В. Алабушев [и др.] // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2016. – № 1. – С. 12–15.

2. Ионова Е.В. Проводящая система транспорта воды и ассимилятов растений сорго зернового / Е.В. Ионова, А.В. Алабушев // Зерновое хозяйство России. – 2009. – № 2. – С. 36–42.

3. Ковтунова Н.А. Биологические особенности роста и развития суданской травы / Н.А. Ковтунова // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30, № 6. – С.48–51.

4. Агроэнергетическая эффективность возделывания новых сортов и гибридов сорго сахарного / Г.В. Метлина [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 114. – С. 288–297.

5. Володин А.Б. Потенциальные возможности сахарного сорго / А.Б. Володин, М.П.Жукова // Кормопроизводство. – 2002. – № 4. – С. 11–15.

6. Голубева Г.С. Достижения в технологии возделывания сорго/ Г.С. Голубева. – М.: ВНИИТИСХ, 1983. – 42 с.

7. Влияние метеоусловий года, условий посева сорго на развитие полосатой пятнистости (Pseudomonasandropogoni) в условиях лесостепи Самарской области / Матвиенко Е.В. [и др.] // Успехи современной науки. – 2015. – № 3. – С. 36–38.

8. Новые направления селекции стрессоустойчивых сортов: Научное обеспечение производства сельскохозяйственных культур в современных условиях / П.И. Костылев [и др.]. Международная научно-практическая конференция. – Краснодар, 2016. – С. 106–112.

9. Дубинина О.А. Устойчивость озимой пшеницы к основным стрессовым факторам окружающей среды и погодных условий (обзор) / О.А.Дубинина // Зерновое хозяйство России. – 2017. – № 1 (49). – С. 23–26.

10. Васильченко С.А. Влияние метеоусловий на продуктивность сорго зернового в южной зоне Ростовской области / С.А. Васильченко, Г.В. Метлина, В.В. Ковтунов// Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 120. – С. 744–754.

11. Ковтунова Н.А. Влияние метеоусловий на основные хозяйственно-ценные признаки сорго сахарного / Н.А. Ковтунова, Г.М. Ермолина, Е.А. Шишова // Зерновое хозяйство России. – 2013. – № 1(25). – С.31–34.

12. Ковтунова Н.А. Влияние метеорологических условий на урожайность и качество зеленой массы суданской травы / Н.А. Ковтунова, В.В.Ковтунов, Е.А.Шишова // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2016. – № 3. – С. 39–41.

13. Некрасова О.А. Изучение типов наследования массы 1000 зерен у гибридов F2 мягкой озимой пшеницы / О.А. Некрасова, П.И. Костылев, Е.И. Некрасов // Зерновое хозяйство России. – 2017. – № 1 (49). – С. 23–26.

14. Проблемы и результаты по селекции сорго зернового / Н.А. Беседа [и др.] // Зерновое хозяйство России. – 2010. – № 6. – С. 49–51.

15. Рекомендации по возделыванию сорго сахарного / С.И. Горпиниченко, Н.А. Ковтунова, Г.М. Ермолина, В.В. Ковтунов, О.Д. Шарова. – Ростов н/Д: ЗАО «Книга», 2013. – 24 с.

16. Доспехов Б.А. Методы полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для высших сельскохозяйственных учебных заведений. – М.: Альянс, 2014. – 351 с.