

УДК 631.8:633.174

Влияние хелатных микроудобрений на интенсивность набухания и прорастания семян зернового сорго*Степанченко Д.А., Степанченко В.И., Бочкарева Ю.В., Семин Д.С., Ефремова И.Г.**Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы***Аннотация**

Результаты трехлетних исследований в 2020–2023 гг. показали перспективность обработки семян сортов зернового сорго растворами хелатных микроудобрений, способствующих активизации физиолого-биохимических процессов на начальных этапах набухания и прорастания зерновок. Выявлена тенденция увеличения набухания семян в течение 2-х суток опыта в среднем у сортов при действии хелатных микроудобрений: с применением препарата Reasil Forte Carb-Ca/Mg/B Amino до 67,7%, а Reasil micro Amino Zn – до 67,5%, что выше контрольного варианта (66,3%). Наиболее отзывчивыми сортами на применение изучаемых микроудобрений оказались сорта Бакалавр, энергия прорастания семян которого увеличилась по сравнению с контрольным вариантом на 9,7%-15,4%, сорт Гарант – 9,2-15,0%, сорт РСК Каскад – 8,5-11,6%. Выявлено достоверное увеличение длины проростков и корешков сортов зернового сорго в результате замачивания семян в растворах хелатных микроудобрений перед опытом. Определена также индивидуальная реакция каждого сорта на применение хелатных микроудобрений в обработке семян. У сортов Бакалавр, Ассистент, Гарант, РСК Каскад, РСК Локус, Кулон и Принц при обработке семян препаратом Reasil Forte Carb-Ca/Mg/B Amino существенно повысилась длина проростков по сравнению с контрольным вариантом - на 10,6–21,8%. Препарат Reasil micro Amino Zn вызвал формирование проростков сорго большей, чем в контроле длины у сортов Магистр, Ассистент, Гарант и РСК Каскад, превышение контрольного варианта составило 10,0-28,1%. Наибольшей положительной ответной реакцией на применение хелатных микроудобрений отличился сорт Ассистент, у которого в результате обработки семян данными препаратами выявлено увеличение длины первичных проростков и корешков больше контрольного варианта соответственно на 20,5–28,1%.

Ключевые слова: ЗЕРНОВОЕ СОРГО, СОРТ, ХЕЛАТНЫЕ УДОБРЕНИЯ, НАБУХАНИЕ СЕМЯН, ЭНЕРГИЯ ПРОРАСТАНИЯ, ОЦЕНКА ПЕРВИЧНЫХ РОСТКОВ

Введение

Перспективным приемом сортовых технологий возделывания полевых культур является применение микроудобрений нового поколения с целью формирования повышенного урожая, а также усиления устойчивости растений к изменяющимся условиям окружающей среды.

В последнее время в мировой практике по усовершенствованию приемов агротехнологий большое внимание уделяется применению хелатных форм удобрений. Они обладают рядом ценных свойств: хорошо растворяются в воде, легко адсорбируются на поверхности листьев и в почве, длительное время не разрушаются микроорганизмами, обладают высокой устойчивостью в широком диапазоне кислотности (рН), сочетаются с различными пестицидами, успешно используются для оптимизации минерального питания.

Исследователями показано положительное влияние микроэлементов (цинк, кальций, магний, бор и многие другие) на рост и развитие растений. Для наиболее полной реализации биоклиматического потенциала сортов сельскохозяйственных культур необходимо достаточное поступление магния в периоды наибольшего потребления элементов растениями [1]. Он важен для осуществления фотосинтеза, транспорта фосфора, синтеза сахаров, перераспределения крахмала, образования жира, фиксации азота в клубеньках бобовых, входит в состав многих ферментов и является их активатором, контролирует потребление питательных элементов, улучшает усвоение железа [2].

При недостатке кальция у растений слабо развивается корневая система. Он усиливает обмен веществ, повышает активность ферментов (инвертаза, каталаза). Одна из основных функций этого элемента – влияние на физико-химическое состояние протоплазмы: ее вязкость, проницаемость, от которых зависит нормальное протекание биохимических процессов. Недостаток кальция вызывает деградацию оболочки клетки и приводит к потере прочности ткани растения, проявляется в виде хлороза [3].

Бор участвует в образовании и поддержании структуры межмолекулярных и надмолекулярных комплексов биополимеров: белков, нуклеиновых кислот, липидов, полисахаридов, лежащих в основе рибосом [4], оптимизирует активность ферментов.

Важным микроэлементом является цинк, входящий в состав ферментов, отвечающих за биохимические реакции синтеза, распада и обмена органических веществ. Низкое его содержание в растениях ведет к нарушению процессов превращения углеводов [5].

В настоящее время в сельскохозяйственной практике применяются микроудобрения в предпосевной обработке зерновок, а также в листовой внекорневой подкормке растений, использование которых направлено на повышение не только продуктивности, а также устойчивости растений полевых культур к изменяющимся условиям окружающей среды.

Известны исследования по применению хелатных форм микроудобрений на яровой пшенице. Так, в условиях лесостепи Поволжья использовали хелатные формы микроудобрений и регуляторов роста для предпосевной обработки яровой пшеницы и гороха. В результате установлено их положительное влияние на энергию прорастания, лабораторную всхожесть, набухание семян, полевую всхожесть гороха и пшеницы, а также в итоге на урожайность опытных культур [6]. Высокая отзывчивость возделываемой на южном черноземе яровой пшеницы на применение микроудобрений отмечена другими авторами [7], в которых выявлено положительное влияние препаратов на прорастание семян и продуктивность культуры. Хелатные препараты успешно использовали как в предпосевной обработке семян, так и по вегетирующим растениям гречихи [8].

Исследована эффективность использования жидких хелатных микроудобрений с кальцием и цинком в опытах по определению посевных качеств семян, а также влияния препаратов при листовой обработке посевов на урожайность биомассы и семян зернового сорго [9-12].

Ключевую роль в прорастании семян зерновых, зернобобовых и других культурных растений играет характер набухания зерновок. Быстрота и степень набухания семян связаны с пробуждением зародыша к активной жизнедеятельности. Находящиеся в состоянии покоя семена в период прорастания проходят три этапа: активация метаболизма; подготовка к началу роста растяжением и дальнейший рост органов проростка. На этом этапе начального развития растений перспективно изучение особенностей влияния хелатных форм микроудобрений на посевные качества и прорастание семян.

=====
Цель исследования – изучить влияние хелатных микроудобрений производства НПО «Сила жизни» на интенсивность и характер набухания и прорастания семян сортов зернового сорго селекции ФГБНУ РосНИИСК «Россорго».

Материалы и методы

Объектами исследований служили сорта зернового сорго Гарант, Принц, Кулон, РСК Локус, РСК Каскад, Бакалавр, Ассистент, Магистр селекции ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» в опыте по оценке влияния хелатных удобрений на набухание и прорастание семян. Для эксперимента выбраны хелатные микроудобрения, применяемые для предпосевной обработки семян, а также листовой по вегетирующим растениям. **Reasil Forte Carb-Ca/Mg/B-Amino** – жидкое удобрение, сбалансированного состава с высоким процентным содержанием бороэтанолamina, кальция и магния в комплексе с гидроксикарбоновыми и аминокислотами. Оно обеспечивает высокий уровень биодоступности питательных элементов, их незамедлительное поступление и мобильность в растении. Отличительная особенность удобрения **Reasil micro Amino Zn** – высокое содержание цинка в легкодоступной для растений форме. Цинк содержится в комплексе с гуминовыми, гидроксикарбоновыми и аминокислотами, что значительно повышает его усвоение через семенную оболочку зерновок, а также растениями через листовую поверхность. Жидкое органическое удобрение **Reasil micro Amino Zn** способствует значительному повышению урожайности и качества полевых культур.

Методы исследований

Лабораторные опыты по изучению влияния хелатных удобрений на набухание семян сортов зернового сорго в течение 2-х суток включали три варианта обработки семян: 1 – дистиллированной водой (контроль); 2 – **Reasil Forte Carb-Ca/Mg/B Amino**; 3 – **Reasil micro Amino Zn**. В опытных вариантах семена обрабатывали растворами удобрений концентрацией 1 л/т. Набухание семян определяли по формуле [13]:

$$A=(M_1-M_2)\times 100/M_2;$$

где, M_1 и M_2 – массы набухшего и исходного образцов, соответственно.

Энергию прорастания оценивали на 3-и сутки проращивания в чашках Петри в термостате при температуре 25°C в трехкратной повторности. На 7-е сутки проращивания измеряли длину проростков и корешков.

Результаты исследования статистически обработаны программой Agros версии 2.09 дисперсионным анализом [14]. Фактором А служили сорта зернового сорго, фактором В – варианты опыта (контроль и два препарата).

Результаты исследований

Изучение особенностей набухания и прорастания семян сортов зернового сорго в результате обработки зерновок хелатными микроудобрениями проведено в 2020 г., 2021 г. и 2023 г. Результаты трехфакторного дисперсионного анализа за три года изучения показывают тенденцию увеличения набухания семян в среднем у сортов при действии хелатных микроудобрений: с применением препарата Reasil Forte Carb-Ca/Mg/B Amino до 67,7%, а Reasil micro Amino Zn – до 67,5%, что выше контрольного варианта – 66,3% (табл. 1). В среднем за 48-часовой период эксперимента за 2020-2023 гг. наибольшим набуханием отличились сорта Принц (69,2%), Магистр и Гарант – 70,6-74,3%, соответственно.

Таблица 1. Влияние хелатных микроудобрений на набухание семян (%) сортов зернового сорго, 2020–2023 гг.

Сорт	Время набухания (часов)						Среднее за 48 часов	Среднее по фактору А
	1 час	2 часа	4 часа	6 часов	24 часа	48 часов		
Магистр конт. ¹	43,9	51,1	59,8	65,1	85,4	115,5	70,1	70,6 e
Магистр Са ²	47,9	52,3	59,0	64,1	83,9	115,8	70,5	
Магистр Zn ³	50,2	57,6	64,6	66,1	78,4	109,2	71,0	
Среднее	47,3	53,6	61,1	65,1	82,5	113,5	70,5	
Кулон конт.	41,4	47,6	53,5	57,7	76,0	107,3	69,9	65,5 b
Кулон Са	46,6	52,8	58,0	58,7	76,7	107,5	66,7	
Кулон Zn	45,7	50,2	54,9	58,9	76,1	110,2	66,0	
Среднее	44,5	50,2	55,5	58,4	76,3	108,3	65,5	
Гарант конт.	47,6	54,2	62,7	68,0	84,2	121,0	73,0	74,3 f
Гарант Са	52,1	58,2	64,4	68,3	87,1	123,4	75,6	
Гарант Zn	49,8	55,0	61,6	68,3	88,8	122,3	74,3	
Среднее	49,8	55,8	62,9	68,2	86,7	122,2	74,3	
РСК Локус конт.	41,5	45,9	52,1	57,2	76,5	104,3	62,9	63,7 ab
РСК Локус Са	43,4	45,9	52,8	56,5	75,7	97,4	62,0	
РСК Локус Zn	43,8	49,1	55,4	61,8	80,3	107,5	66,3	
Среднее	42,9	46,9	53,4	58,5	77,5	103,1	63,6	
Бакалавр конт.	36,1	44,3	54,3	56,4	78,1	98,5	61,3	61,6 a
Бакалавр Са	38,4	44,9	49,0	54,2	75,3	102,0	60,6	

Сорт	Время набухания (часов)						Среднее за 48	Среднее по
	39,2	46,5	55,0	56,7	75,3	104,5		
Бакалавр Zn	39,2	46,5	55,0	56,7	75,3	104,5	62,9	
Среднее	37,9	45,2	52,8	55,8	76,3	101,7	61,7	
РСК Каскад конт.	44,4	51,1	58,1	62,2	80,4	105,5	67,0	69,3 de
РСК Каскад Са	54,8	59,7	65,4	67,7	85,9	114,4	74,6	
РСК Каскад Zn	49,9	55,0	58,0	61,8	73,0	100,1	66,3	
Среднее	49,7	55,3	60,5	63,6	79,8	106,7	69,3	
Принц конт.	43,1	48,8	56,3	61,3	82,7	122,4	69,1	69,2 cde
Принц Са	42,8	47,9	56,9	59,9	81,0	122,7	68,5	
Принц Zn	43,2	49,7	57,5	60,9	79,4	128,3	69,8	
Среднее	43,0	48,8	56,9	60,7	81,0	124,5	69,1	
Ассистент конт.	35,5	44,2	54,9	56,0	78,1	108,3	62,8	63,0 ab
Ассистент Са	40,6	45,4	51,9	56,2	76,9	105,0	62,7	
Ассистент Zn	39,2	45,0	52,8	56,8	79,3	108,0	63,5	
Среднее	38,4	44,8	53,2	56,4	78,1	107,1	63,0	
Среднее по фактору В		конт. ¹					66,3	
		Са ²					67,7	
		Zn ³					67,5	
F _{факт.} (A)= 26,06*; HCP ₀₅ (A)= 3,45; F _{факт.} (B)= 2864,08*; HCP ₀₅ (B)= 1,72; F _{факт.} (AB)= 3,81 HCP ₀₅ (AB) = 8,44								

Примечание: конт.¹ – набухание семян в контрольном варианте; Са² – набухание семян в опытном варианте с Reasil Forte Carb-Ca/Mg/B Amino; Zn³ – набухание семян в опытном варианте с Reasil micro Amin.

Результаты исследований свидетельствуют о стимулирующем влиянии обработки семян хелатными микроудобрениями Reasil micro Amino Zn и Reasil Forte Carb-Ca/Mg/B Amino на процесс набухания семян некоторых сортов зернового сорго. Сорт Гарант в среднем за период опыта обнаружил некоторое усиление процесса набухания семян при обработке зерновок Reasil Forte Carb-Ca/Mg/B Amino до 75,6%, а Reasil micro Amino Zn – 74,3% при набухании в контрольном варианте 73,0%. Сорт РСК Каскад также отозвался на применение препарата Reasil Forte Carb-Ca/Mg/B Amino, в результате набухание семян возросло до 74,6%, что превысило показатель в контрольном варианте на 11,3%.

Сорт РСК Локус также характеризовался усилением набухания семян при действии микроудобрения Reasil micro Amino Zn в среднем за 2-суточный эксперимент до 66,3%, тогда как в контроле показатель равен 62,9%, повышение к контролю составило 5,4%.

Процессы водопоступления в семена зернового сорго характеризуются кривой набухания, имеющей S-образный вид (рис. 1).

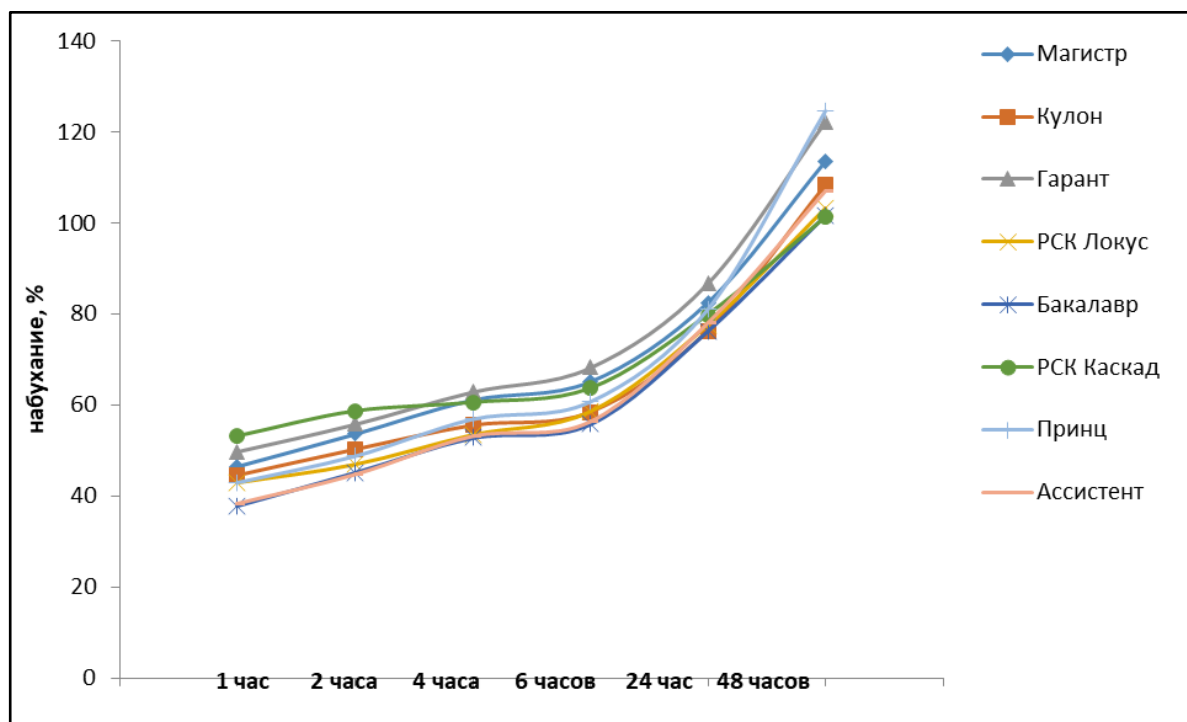


Рис. 1. Динамика набухания семян сортов зернового сорго (среднее в опыте с хелатными микроудобрениями), 2020–2023 гг.

В среднем по опыту в первые часы исследований отмечено интенсивное набухание семян в воде и опытных растворах микроудобрений. Через час от начала экспериментов масса зерновок сортов возросла на 44,2% от первоначального значения, второй час опытов характеризовался нарастанием набухания семян до 50,1%, что выше предыдущего показателя на 13,3%. Оценка степени набухания в течение 4-6 часов наблюдения показала так называемый лаг-период, в течение которого наблюдался незначительный рост массы набухших зерновок до 57,0-60,9% в среднем от массы исходного семенного материала.

Следующая экспозиция опыта характеризовалась повторным увеличением темпов водопоглощения: набухание возросло в среднем по сортам до 79,8–110,9% по истечении 24 и 48 часов опыта. Отмечен наиболее интенсивный рост набухания семян через 48 часов наблюдений (до 113,5-124,5%) у сортов Магистр, Гарант и Принц.

Обработка семян хелатными микроудобрениями, проведенная в 2020, 2021 и 2023 гг. оказала влияние на энергию прорастания в среднем по сортам зернового сорго: отмечено увеличение энергии прорастания с использованием микроудобрения Reasil Forte Carb-Ca/Mg/B Amino до 84,6%, Reasil micro Amino Zn – до 84,6% при средней величине признака в среднем по сортам в контрольном варианте 79,5% (табл. 2).

Таблица 2. Влияние хелатных микроудобрений на энергию прорастания семян (%), сортов зернового сорго, 2020–2023 гг.

Сорт	Среднее за 3 года	Среднее по фактору А
Бакалавр контрольный вариант	72,2 ab	78,2 a
Бакалавр обработка препаратом с кальцием	79,2 a-e	
Бакалавр обработка препаратом с цинком	83,3 a-e	
Ассистент контрольный вариант	89,7 b-e	91,7 d
Ассистент обработка препаратом с кальцием	93,6 e	
Ассистент обработка препаратом с цинком	91,8 e	
Магистр контрольный вариант	86,4 a-e	89,2 bcd
Магистр обработка препаратом с кальцием	92,9 e	
Магистр обработка препаратом с цинком	88,3 a-e	
Гарант контрольный вариант	72,6 a-c	78,5 a
Гарант обработка препаратом с кальцием	79,3 a-e	
Гарант обработка препаратом с цинком	83,5 a-e	
РСК Каскад контрольный вариант	70,9 a	75,6 a
РСК Каскад обработка препаратом с кальцием	79,1 a-e	
РСК Каскад обработка препаратом с цинком	76,9 a-e	
РСК Локус контрольный вариант	72,7 a-c	75,2 a
РСК Локус обработка препаратом с кальцием	75,5 a-e	
РСК Локус обработка препаратом с цинком	77,3 a-e	
Кулон контрольный вариант	80,7 a-e	84,2 abcd
Кулон обработка препаратом с кальцием	86,0 a-e	
Кулон обработка препаратом с цинком	85,7 a-e	
Принц контрольный вариант	90,9 c-e	90,9 cd
Принц обработка препаратом с кальцием	91,5 de	
Принц обработка препаратом с цинком	90,3 b-e	
Средние по фактору В	Контроль	79,5
	Удобрение с Ca	84,6
	Удобрение с Zn	84,6
F _{факт} = 19,637*; F _{факт.} (A) = 5,004*; HCP ₀₅ (A) = 8,803; F _{факт} (B) = 2,425; F _{факт.} (AB) = 0,195		

Данные дисперсионного анализа отражают особенности энергии прорастания семян зернового сорго под влиянием хелатных микроудобрений. Установлена значимость факторов А, В на энергию прорастания семян, на которые приходится 27,4 и 3,8%, соответственно. Отмечена достоверная разница энергии прорастания семян разных сортов зернового сорго в годы исследований, варьирование величины показателя составило 75,2% (РСК Локус) – 91,7% (Ассистент). Наиболее отзывчивыми сортами на применение микроудобрений оказались сорта Бакалавр, энергия прорастания семян которого

увеличилась по сравнению с контрольным вариантом на 9,7% и 15,4%, сорт Гарант – 9,2-15,0%, сорт РСК Каскад – 8,5-11,6%.

Проведено изучение влияния хелатных микроудобрений на длину проростков и корешков на 7-е сутки проращивания семян. Выявлены достоверные различия между сортами по нарастанию первичных ростков и корешков, а также существенное стимулирующее действие микроудобрений на развитие первичных ростков (табл. 3, 4) и корешков в среднем по сортам зернового сорго (табл. 5).

Таблица 3. Влияние хелатных микроудобрений на формирование первичных проростков семян сортов зернового сорго, см, 2020–2023 гг.

Сорт	2020 год	2021 год	2023 год	Среднее за 3 года	Среднее по фактору А
Бакалавр конт. ¹	8,05	10,08	8,96	9,03	9,18 a
Бакалавр Са ²	10,79	9,88	9,39	10,02	
Бакалавр Zn ³	9,64	9,30	6,57	8,50	
Ассистент конт.	8,42	9,73	8,34	8,83	10,26 ab
Ассистент Са	10,56	8,29	13,08	10,64	
Ассистент Zn	12,59	7,90	13,43	11,31	
Магистр конт.	11,00	10,95	10,70	10,88	11,53 b
Магистр Са	12,23	11,15	11,79	11,72	
Магистр Zn	12,89	11,05	11,98	11,97	
Гарант конт.	9,50	8,64	10,92	9,69	10,36 ab
Гарант Са	10,96	9,71	11,49	10,72	
Гарант Zn	12,33	10,22	9,49	10,68	
РСК Каскад конт.	9,00	8,50	8,33	8,61	9,50 a
РСК Каскад Са	12,68	10,10	6,35	9,71	
РСК Каскад Zn	13,00	10,01	7,52	10,18	
РСК Локус конт.	10,00	7,07	9,64	8,90	9,82 a
РСК Локус Са	11,99	8,92	11,60	10,84	
РСК Локус Zn	12,35	8,62	8,16	9,71	
Кулон конт.	8,45	8,75	9,31	8,84	9,41 a
Кулон Са	10,98	9,83	8,52	9,78	
Кулон Zn	12,78	9,24	6,82	9,61	
Принц конт.	8,62	8,11	8,95	8,56	9,20 a
Принц Са	10,54	9,11	9,54	9,73	
Принц Zn	11,02	8,74	8,14	9,30	
Средние по фактору В		Контроль		9,17 a	
		Удобрение с Са		10,40 b	
		Удобрение с Zn		10,16 b	
F _{факт.} (А) = 2,555*; HCP ₀₅ (А) = 1,409; F _{факт.} (В) = 4,591*; HCP ₀₅ (В) = 0,863; F _{факт.} (АВ) = 0,330					

Примечание: конт.¹ – набухание семян в контрольном варианте; Са² – набухание семян в опытном варианте с Reasil Forte Carb-Ca/Mg/B Amino; Zn³ – набухание семян в опытном варианте с Reasil micro Amin.

Результаты дисперсионного анализа позволили установить достоверную значимость увеличения длины первичных проростков сортов зернового сорго, на долю факторов А, В приходится 19,4 и 9,9%, соответственно (табл. 4).

Таблица 4. Результаты дисперсионного анализа длины проростков сортов зернового сорго при действии хелатных микроудобрений Reasil Forte Carb-Ca/Mg/B Amino и Reasil micro Amino Zn

Источник	SS	df	ms	F	HCP _{0.05}
Общее	204,687	71			
Блоки	32,487	2	16,244	7,328*	
Варианты	70,230	23	3,053	1,377	
Фактор А	39,643	7	5,663	2,555*	1,409
Фактор В	20,354	2	10,177	4,591*	0,863
Взаим. АВ	10,233	14	0,731	0,330	
Остат.	101,970	46	2,217		

Примечание: * $p \leq 0,05$.

Результаты исследований свидетельствуют о стимулирующем влиянии обработки семян сортов зернового сорго изучаемыми хелатными удобрениями на увеличение длины первичных проростков в среднем по группе образцов: в контрольном варианте длина составила 9,17 см, при использовании микроудобрений для обработки семян средняя длина существенно увеличилась до 10,16–10,40 см. Кроме того, выявлена индивидуальная реакция каждого сорта на применение хелатных микроудобрений на семенах. Сорта Бакалавр, Ассистент, Гарант, РСК Каскад, РСК Локус, Кулон и Принц при действии препарата Reasil Forte Carb-Ca/Mg/B Amino существенно повысили длину проростков на 7-й день проращивания семян по сравнению с контрольным вариантом на 10,6-21,8%. Препарат Reasil micro Amino Zn вызвал формирование проростков сортов сорго длиннее контроля у сортов Магистр, Ассистент, Гарант и РСК Каскад, превышение контрольного варианта составило 10,0-28,1%. Сорт Ассистент отличился наибольшим развитием проростков и корешков в результате замачивания семян в растворах хелатных микроудобрений, выявлено увеличение длины проростков на 20,5-28,1% больше контрольного варианта.

Проведена оценка формирования первичных корешков на 7-й день проращивания зерновок после действия растворов хелатных микроудобрений на семена зернового сорго. Результаты показали стимулирующее влияние хелатных микроудобрений на интенсивность формирования первичных корешков в среднем по сортам зернового сорго:

в контрольном варианте длина первичных корешков составила 7,14 см, тогда как в опытных вариантах она возросла до 8,38 см при обработке семян раствором препарата с кальцием и до 8,13 см с препаратом, содержащим цинк, превышение контрольного показателя составило 17,4% и 13,9%, соответственно (табл. 5). Исследуемые сорта зернового сорго проявили сортовые особенности формирования первичных корешков в среднем по опыту с применением хелатных микроудобрений: минимальный показатель длины корешка выявлен у сорта РСК Локус – 5,23 см, а наибольшая длина корешков обнаружена у сорта Принц – 10,87 см.

Таблица 5. Влияние хелатных микроудобрений на формирование первичных корешков семян сортов зернового сорго, см, 2020–2023 гг.

Сорт	2020 год	2021 год	2023 год	Среднее за 3 года	Среднее по фактору А
Бакалавр конт. ¹	5,90	6,60	6,42	6,31 ab	6,37 a
Бакалавр Са ²	7,47	6,64	5,60	6,57 a-e	
Бакалавр Zn ³	7,23	6,75	4,68	6,22 ab	
Ассистент конт.	8,87	10,86	6,30	8,68 c-j	10,71 de
Ассистент Са	11,90	11,41	12,25	11,85 lm	
Ассистент Zn	12,00	10,80	12,02	11,61 klm	
Магистр конт.	9,50	10,70	8,82	9,67 g-l	9,77 cde
Магистр Са	10,58	9,12	9,97	9,89 i-l	
Магистр Zn	11,00	9,80	8,45	9,75 h-l	
Гарант конт.	8,00	10,05	6,29	8,11 b-i	8,52 b
Гарант Са	9,99	8,38	7,88	8,75 e-j	
Гарант Zn	10,23	9,72	6,18	8,71 d-j	
РСК Каскад конт.	5,00	4,49	4,20	4,56 a	5,26 a
РСК Каскад Са	6,72	5,92	4,04	5,56 a	
РСК Каскад Zn	7,36	6,47	3,10	5,64 a	
РСК Локус конт.	5,18	3,78	4,58	4,51 a	5,23 a
РСК Локус Са	6,00	4,51	5,27	5,26 a	
РСК Локус Zn	8,23	6,09	3,41	5,91 ab	
Кулон конт.	6,95	6,44	4,58	5,99 ab	6,34 a
Кулон Са	8,36	6,26	5,27	6,63 a-e	
Кулон Zn	9,00	6,75	3,41	6,39 a-e	
Принц конт.	10,12	12,31	5,43	9,29 f-k	10,87 e
Принц Са	14,00	13,90	9,74	12,55 m	
Принц Zn	13,27	11,63	7,43	10,78 j-m	
Средние по фактору В		Контроль		7,14 a	
		Удобрение с Са		8,38 b	
		Удобрение с Zn		8,13 b	
F _{факт.} (А)=31,628*; HCP ₀₅ (А)=2,079; F _{факт.} (В)=6,416*; HCP ₀₅ (В)=0,735; F _{факт.} (АВ)=0,926					

Примечание: конт.¹ – набухание семян в контрольном варианте; Са² – набухание семян в опытном варианте с Reasil Forte Carb-Ca/Mg/B Amino; Zn³ – набухание семян в опытном варианте с Reasil micro Amin.

Индивидуальная оценка каждого сорта позволила выявить сортовые особенности начального роста и развития первичных корешков растений. Так, наиболее отзывчивым на применение удобрений оказался сорт Ассистент: длина корешков в опытном варианте с применением Reasil Forte Carb-Ca/Mg/B Amino увеличилась на 36,5%, а с использованием Reasil micro Amino Zn – на 33,8%. Обработка семян сорта Принц препаратами микроудобрений с кальцием и цинком также способствовала увеличению длины корешков на 35,1% и 16,0%, соответственно, по сравнению с контрольным вариантом (9,29 см). Другие изученные сорта зернового сорго обнаружили тенденцию увеличения длины первичных корешков в результате действия хелатных микроудобрений, не показавшей существенности различий с контрольными вариантами.

Заключение

Результаты трехлетних исследований позволили прийти к выводу, что обработка семян сортов зернового сорго хелатными микроудобрениями оказалась перспективным сортовым агроприемом, способствующим активизации физиолого-биохимических процессов на начальных этапах набухания и прорастания зерновок. Выявлена тенденция увеличения набухания семян в течение 2-х суток опыта в среднем у сортов при действии хелатных микроудобрений: с применением препарата Reasil Forte Carb-Ca/Mg/B Amino до 67,7%, а Reasil micro Amino Zn – до 67,5%, что выше контрольного варианта (66,3%).

В среднем за 48-мичасовой период эксперимента в 2020-2023 гг. наибольшим набуханием отличились сорта Принц (69,2%), Магистр и Гарант – 70,6-74,3%, соответственно. Сорт РСК Каскад также отозвался на применение препарата Reasil Forte Carb-Ca/Mg/B Amino возрастом набухания семян до 74,6%, что превысило показатель в контрольном варианте на 11,3%. Наиболее отзывчивыми сортами на применение изучаемых микроудобрений оказались: сорт Бакалавр, энергия прорастания семян которого увеличилась по сравнению с контрольным вариантом на 9,7% и 15,4%, сорт Гарант – 9,2-15,0%, сорт РСК Каскад – 8,5-11,6%.

Выявлено достоверное увеличение длины проростков и корешков группы сортов зернового сорго в результате замачивания семян в растворах хелатных микроудобрений перед проведением опыта. Определена также индивидуальная реакция каждого сорта на применение хелатных микроудобрений в обработке семян. Сорта Бакалавр, Ассистент, Гарант, РСК Каскад, РСК Локус, Кулон и Принц при действии препарата Reasil Forte

Carb-Ca/Mg/B Amino существенно повысили длину проростков на 7-й день проращивания зерновок по сравнению с контрольным вариантом на 10,6-21,8%. Препарат Reasil micro Amino Zn вызвал формирование проростков сорго большей, чем в контроле длины у сортов Магистр, Ассистент, Гарант и РСК Каскад, превышение контрольного варианта составило 10,0-28,1%. Сорт Ассистент отличился наибольшим развитием проростков и корешков в результате замачивания семян в растворах хелатных микроудобрений, выявлено увеличение длины первичных проростков и корешков больше контрольного варианта соответственно на 20,5-28,1%.

Список использованных источников:

1. Воеводина Л.А., Воеводин О.В. Магний для почвы и растений // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2015. – № 2(18). – С. 70–81.
2. Marschner H. Mineral nutrition of higher plants. – 3rd ed. – London, 2011. – 672 p.
3. Довлатбемян К.Г., Волков В.А. Кальций и магний для растений – макроэлементы первого порядка// Сб. по матер. межд. научно-практ. конф.: «Актуальные научные исследования и разработки». Нефтекамск, 2017. – С. 102-105.
4. Шерстнев Е.А., Шнеер В.С. Борное голодание и обмен нуклеиновых кислот у растений//Физиологическая роль микроэлементов у растений. – Л. Наука, 1970. – С. 55-60.
5. Пуховская Т.Ю. Влияние почвенных характеристик и минеральных удобрений на доступность цинка растениям // Агрехимический вестник. – 2009. – № 2. – С. 35-36.
6. Исайчев В.А., Андреев Н.Н., Каспировский А.В. Влияние предпосевной обработки хелатными микроудобрениями и регуляторами роста на посевные качества семян гороха и яровой пшеницы // Нива Поволжья. – 2013. – № 1 (26). – С. 16-19.
7. Титков В.И., Чуманова Г.Я., Ерохин И.И., Гулянов Ю.А. Микроэлементы важнейшие факторы роста и продуктивности яровой пшеницы на черноземах южных в степной зоне Южного Урала // Агрономия и лесное хозяйство. – 2010. – С. 39-41.
8. Кадыров С.В., Козлобаев А В. Влияние стимуляторов роста и микроудобрений на посевные качества семян гречихи // Совершенствование технологий производства зерновых, кормовых и технических культур в ЦЧР. – Воронеж, 2011. – С. 24-29.
9. Степанченко Д.А., Кибальник О.П., Куколева С.С. Влияние хелатных микроудобрений на набухаемость семян зернового сорго // В книге: Биотехнология в растениеводстве, животноводстве и сельскохозяйственной микробиологии. Сборник тезисов докладов 20-й Всероссийской конференции молодых учёных посвященной памяти академика РАСХН Георгия Сергеевича Муромцева. Москва. – 2020. – С. 185–187.

10. Степанченко Д.А., Куколева С.С., Старчак В.И., Кибальник О.П., Ефремова И.Г. Влияние хелатных микроудобрений на посевные качества семян сортов зернового сорго // Международный научно-исследовательский журнал. - 2021. – № 5. – С. 41–45.

11. Степанченко Д.А., Старчак В.И., Бочкарева Ю.В., Кибальник О.П., Ерохина А.В. Эффективность применения хелатных микроудобрений на формирование зелёной биомассы зернового сорго, возделываемого в засушливых условиях Саратовской области [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2022. – № 5. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/5/st_514.pdf. DOI: <https://doi.org/10.51419/202125514>.

12. Степанченко Д.А., Степанченко В.И., Бочкарева Ю.В., Ефремова И.Г., Семин Д.С. Влияние хелатных микроудобрений на элементы семенной продуктивности сортов зернового сорго в Поволжье [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2023. – № 2. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/2/st_232.pdf. DOI: <https://doi.org/10.51419/202132232>.

13. Зимон А.Д. Занимательная коллоидная химия. – М.: Агар, 2002. – 168 с.

14. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: 2011. – 352 с.

=====

Цитирование:

Степанченко Д.А., Степанченко В.И., Бочкарева Ю.В., Семин Д.С., Ефремова И.Г. Влияние хелатных микроудобрений на интенсивность набухания и прорастания семян зернового сорго [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2023. – № 5. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/5/st_505.pdf. DOI: <https://doi.org/10.51419/202135505>.