

УДК 631.811.9:546.47:633.11"321":631.559:632.631.432

ВЛИЯНИЕ СЕЛЕНА НА УРОЖАЙ И АМИНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ ЗЕРНА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ПРИ ЗАСУХЕ[§]

© 2024 г. И. И. Серегина*

*Российский Государственный Аграрный Университет—МСХА им. К.А. Тимирязева
127550 Москва, ул. Тимирязевская, 49, Россия***E-mail: seregina.i@inbox.ru*

В модельных опытах в почвенной культуре изучали влияние различных способов внесения селенита натрия на формирование урожайности и аминокислотного состава зерна сортов яровой пшеницы Злата и Эстер в зависимости от условий водообеспечения. Селенит натрия вносили путем предпосевной обработки семян и листовой обработки вегетирующих растений. В исследовании моделировали оптимальные условия водообеспечения и дефицит влаги в почве в критический период роста растений. Изучали роль селена в регулировании продукционного процесса и формировании аминокислотного состава зерна яровой пшеницы. Было установлено, что продукционный процесс растений пшеницы как при оптимальном водообеспечении, так и в условиях засухи, зависел от способа применения селена и сортовых особенностей яровой пшеницы. Результаты позволили сделать предположение, что селен активизировал аттрагирующую способность колоса за счет усиления его акцепторных свойств. В данных условиях зерновки были лучше обеспечены ассимилятами, что и позволило сформировать максимально возможный урожай зерна пшеницы. В условиях засухи при листовой обработке растений селенитом натрия были созданы благоприятные условия формирования репродуктивных органов пшеницы, что стимулировало восстановление процессов оттока ассимилятов из вегетативной массы в формирующееся зерновки. Это позволило влиять на продукционные процессы и снижать депрессию формирования урожая пшеницы. При применении селена выявлено увеличение совокупного содержания ключевых аминокислот, которые оказывали существенное влияние на антиоксидантный статус растений и способствовали реализации их адаптивного потенциала. Выявлено положительное влияние селена на содержание ряда аминокислот, в том числе на ассимиляцию метионина, что вероятно, было обусловлено синтезом селенометионина, поскольку пути их образования похожи и разделить их не представляется возможным. Наибольшее влияние селена отмечено при выращивании пшеницы сорта Злата по сравнению с пшеницей сорта Эстер, что определено сортовыми различиями, заложенными генетически и различным содержанием белка в зерне.

Ключевые слова: сорта яровой пшеницы, селен, урожай зерна, аминокислотный состав зерна, условия водообеспечения.

DOI: 10.31857/S0002188124040102, **EDN:** dlhasw

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия одной из основных причин климатических изменений считается нарастание антропогенной нагрузки на окружающую среду обитания, что приводит к нарушению ее естественного функционирования [1]. Сельскохозяйственное производство в наибольшей степени подвергается негативному влиянию изменений окружающей среды, в результате чего происходят

значительные потери урожая культур и снижение экономической эффективности применяемых технологий [2, 3]. Наибольшее негативное действие на окружающую среду оказывают дефицит влаги в почве и высокие температуры воздуха, вызывающие атмосферную и почвенную засухи, которые характерны для большой территории страны, случаясь не реже одного раза в 3–4 года [4]. Засуха в критический период роста растений запускает механизмы, вызывающие окислительные процессы в клетках и тканях растений, которые приводят к торможению ростовых и генеративных процессов, в результате чего происходит повреждение формирующейся пыльцы. Следствием этого

[§] Работа выполнена за счет средств программы развития университета в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030».

является потеря фертильности пыльцевых зерен, что является завершающим процессом микроспоорогенеза оплодотворения и вызывает снижение количества формирующихся семян в генеративных органах. Это является главной причиной потери урожайности культур [5, 6]. В связи с этим одним из актуальных вопросов является поиск технологий, позволяющих снижать ущерб при ведении сельскохозяйственного производства в экстремальных условиях выращивания.

Современные агротехнологии позволяют решать вопросы управления продукционным процессом путем регулирования условий минерального питания не только за счет макроэлементов, но также при включении в технологию выращивания культур и микроэлементов. В этом отношении селен является одним из элементов, рациональное применение которого позволяет стабилизировать антиоксидантную систему растений и снизить негативное действие факторов окружающей среды, вызывающих стрессовые реакции, положительно воздействуя на стресс-толерантность растений [7–10]. Исследования последних десятилетий показали, что селен при выращивании растений обладает защитным эффектом, который может быть достигнут благодаря стимулированию формирования селенобелков, в частности, защитных селенопероксидаз [11], в том числе он принимает участие в построении глутатионпероксидазы — фермента антиоксидантной защиты растительного организма от действия свободных радикалов, которые образуются в результате окислительного стресса, участвуя таким образом в поддержании в клетке перекисного гомеостаза [12–15].

Селен способен увеличивать поступление азота из удобрений и почвы и улучшать фотосинтетическую активность растений, что способствует увеличению содержания аминокислот, синтез которых зависит от количества глюкозы, образующейся в процессе фотосинтеза, содержания азота в растениях, поглощаемого из почвы и в результате дыхательной активности [16–20].

Физиолого-биохимическая роль селена в растениях обусловлена сходным строением его атома с атомом серы, аналогичным строением внешних их электронных оболочек, что обусловлено нахождением в одной подгруппе с кислородом в периодической системе Д.И. Менделеева [21, 22]. В то же время специфические свойства селена по сравнению с серой связаны с появлением у него новых электронных групп, что определяет увеличение заряда атома, атомной массы, ионных и ковалентных радиусов и уменьшение энергии, необходимой на отрыв внешних электронов. В связи с этим снижаются потенциалы ионизации и электроотрицательность [21], что определяет большие

восстановительные свойства селена по сравнению с серой. Благодаря близким свойствам селена и серы, элемент способен встраиваться вместо серы в различные неорганические соединения, а также в ряд органических веществ, в том числе в аминокислоты с образованием специфических аминокислот [23, 24].

При достаточном содержании селена в почве растения способны синтезировать ряд селенсодержащих аминокислот, в том числе селеноцистеин, селенометионин, и др., которые могут включаться в специфические белки без существенного снижения их активности [20, 22, 24, 25]. Было показано, что данные аминокислоты способствуют формированию антиоксидантного статуса и активизируют механизмы защиты клетки растений от действия свободно-радикальных форм кислорода, являющихся одними из основных форм метаболитов при окислительных стрессах [20, 26]. Исследования показали, что селенометионин обладает свойством быстро окисляться, что создает условия для быстрой нейтрализации реакционных форм кислорода в клетках растений [20, 27]. Это служит указанием на влияние селенсодержащих соединений на процессы биосинтеза аминокислот и белков в растениях. Установлено, что основной из обнаруженных до настоящего времени функций селена в растениях является его антиоксидантная роль. В некоторых работах отмечено снижение отрицательного действия окислительного стресса, вызванного засухой, и активизация ростовых процессов в период репарации [16–20].

Следует отметить, что вопросы влияния селенсодержащих соединений на содержание аминокислот в зерне яровых зерновых изучены слабо. В связи с этим цель работы — изучение влияния селенита натрия на формирование урожая и содержание аминокислот в зерне яровой пшеницы в зависимости от условий водообеспечения растений.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для решения поставленных вопросов был проведен вегетационный опыт в вегетационном домике кафедры агрономической, биологической химии и радиологии РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева. Закладку и проведение опыта проводили по общепринятым методикам [28].

Объектом исследования была яровая пшеница (*Triticum aestivum* L.) сортов Злата и Эстер. Растения яровой пшеницы выращивали в сосудах Митчерлиха вместимостью 6 кг сухой почвы. Почва — урбанозем типичный среднесуглинистый со следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса (по Тюрину) — 1.5%, рН_{KCl} 5.7 (ГОСТ 26483-25), Н_г (по Каппену) — 1.2 мг-экв/100 г почвы

(ГОСТ 26212-91), S (по Каппену–Гильковицу) – 24.3 мг-экв/100 г почвы (ГОСТ 27821-88), V – 95.3%, N_{щелочегидр} – 82 мг/кг почвы (ГОСТ 26107-84). Обеспеченность почвы подвижными формами фосфора и калия (по Кирсанову) составляла 180 (V класс) и 145 (IV класс) мг/кг почвы (ГОСТ 54650–2011) соответственно.

В исследовании использовали 0.01%-ный раствор селенита натрия (Na₂SeO₃) путем предпосевной обработки семян и листовой обработки вегетирующих растений на V этапе органогенеза. В контрольных вариантах селенит натрия не вносили.

Уровень минерального питания создавали путем внесения аммиачной селитры (NH₄NO₃), хлористого калия (KCl) и аммофоса (NH₄H₂PO₄) из расчета N₁₀₀P₁₅₀K₁₅₀.

Создавали 2 уровня водообеспечения: оптимальное (60% ПВ) и дефицит влаги в критический период роста растений путем прекращения полива до наступления VI этапа органогенеза – выхода в трубку.

Посев семян проводили по 30 шт./сосуд с последующим прореживанием до 15 шт. в фазе кущения. Повторность опыта четырехкратная.

После уборки урожая определяли массу зерна (г/сосуд), число зерен и колосков в колосе, массу

1000 зерен, биометрические показатели растений: длину стебля (см), длину колоса (см). Определяли структуру урожая.

Аналитические исследования проводили по общепринятым методикам. Содержание незаменимых аминокислот в белке зерна яровой пшеницы определяли методом ионообменной хроматографии с использованием автоматического анализатора аминокислот ААА Т 339 (Чехия).

Статистическую обработку всех полученных данных проводили по общепринятой методике с помощью однофакторного метода дисперсионного анализа [28].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние селена на урожай сортов яровой пшеницы представлено в табл. 1.

В условиях оптимального водообеспечения применение селенита натрия привело к достоверному росту массы зерна изученных сортов пшеницы. Эффективность действия микроэлемента зависела от способа его использования и сортовой специфики пшеницы, обусловленной генетическими особенностями. При предпосевной обработке семян пшеницы сорта Злата прибавка составила 37, при

Таблица 1. Влияние селена на урожайность и структуру растений яровой пшеницы разных сортов в различных условиях водообеспечения

Вариант	Сорт яровой пшеницы											
	Злата							Эстер				
	масса зерна, г/сосуд	длина, см		число, шт./ растение		масса 1000 зерен, г	масса зерна, г/сосуд	длина, см		число, шт./ растение		Масса 1000 зерен, г
		колоса	стебля	колосков	зерен			колоса	стебля	колосков	зерен	
Оптимальное водообеспечение												
Без обработки (контроль)	10.5	7.0	86.2	20.4	26.5	26.4	16.2	7.3	79.2	19.2	34.7	31.1
ПОС	14.4	7.1	97.3	20.3	30.1	31.9	21.3	7.4	83.3	19.5	35.7	39.8
ОВР	14.9	7.1	90.5	25.9	38.7	25.6	22.8	8.4	83.3	24.9	40.5	37.5
НСР ₀₅	0.7	0.2	2.7	1.1	1.4	1.4	1.0	0.4	4.1	1.1	1.2	1.8
Засуха												
Без обработки (контроль)	8.1	6.6	84.6	17.0	19.6	27.6	9.9	6.5	73.2	16.1	25.2	26.2
ПОС	9.9	6.8	86.0	17.4	23.8	28.6	10.7	6.9	73.7	17.0	27.2	26.1
ОВР	10.8	6.8	86.8	17.3	23.2	32.3	11.9	7.1	73.6	19.8	29.0	27.2
НСР ₀₅	0.5	0.2	3.3	0.8	1.6	1.5	0.5	0.3	3.6	0.9	1.5	1.3

Примечание. ПОС – предпосевная обработка семян, ОВР – опрыскивание вегетирующих растений (листовая обработка вегетирующих растений). То же в табл. 2.

опрыскивании растений — 42%. Прибавка зерновой продуктивности пшеницы сорта Эстер составила 31 и 41% соответственно. Выявлено, что формирование урожайности растений пшеницы было обусловлено влиянием селена на разные стороны продукционного процесса. Использование предпосевной обработки семян пшеницы сорта Злата определило увеличение озерненности колоса и выполненности зерна. Прибавка количества зерен в колосе пшеницы сорта Злата составила в данном варианте 14, массы 1000 зерен — 21%. У пшеницы сорта Эстер увеличение массы зерна определялось в первую очередь выполненностью зерна, которая возросла на 28%. Число зерен в колосе этого сорта увеличилось только на 3%. Применение листовой обработки вегетирующих растений пшеницы сорта Злата способствовало увеличению озерненности колоса в 1,48 раза, в то время как масса 1000 зерен возросла только на 3%. У пшеницы сорта Эстер применение листовой обработки растений привело к росту количества зерен на 17, массы 1000 зерен — на 21%. Отмечено, что при использовании листовой обработки растений выявлено увеличение количества колосков на 27% у пшеницы сорта Злата и на 30% у пшеницы сорта Эстер. При этом длина колоса увеличилась только у пшеницы сорта Эстер на 15%. Длина растений пшеницы сорта Эстер увеличилась достоверно на 5% при обоих способах применения селена. У растений пшеницы сорта Злата нарастание стебля отмечено при предпосевной обработке семян на 13, при листовой обработке растений — на 5%.

При выращивании пшеницы в условиях краткосрочной почвенной засухи было выявлено снижение урожайности растений пшеницы сорта Злата в 1.30 раза, пшеницы сорта Эстер — в 1.64 раза в контрольном варианте по сравнению с вариантом, где растения выращивали при оптимальном водообеспечении. Депрессия урожайности пшеницы при засухе в критический период роста была обусловлена снижением всех ростовых функций растений, что вызвало уменьшение биометрических показателей и озерненности колоса на 35 и 37% у сортов Злата и Эстер соответственно. При этом масса 1000 зерен уменьшилась на 19% только у сорта Эстер, что и послужило причиной резкого уменьшения зерновой продуктивности по сравнению с пшеницей сорта Злата.

В стрессовых условиях выращивания пшеницы при использовании селена было установлено его положительное действие на формирование урожая и его структуры обоих сортов. Было выявлено увеличение массы зерна у пшеницы сорта Злата на 22% при обработке семян селеном за счет нарастания озерненности колоса на 21 и на 33% при листовой обработке растений в результате увеличения количества зерен в колосе на 18% и массы 1000 зерен

на 17% по сравнению с контрольным вариантом без применения селена. У пшеницы сорта Эстер прибавка зерновой продуктивности составила 8 и 20% в основном за счет нарастания количества зерен в колосе на 7 и 15% соответственно. Применение селенита натрия оказало слабое влияние на биометрические показатели растений пшеницы сорта Злата. У растений сорта Эстер выявлено удлинение стебля на 6% при обработке семян селеном, на 9% — при обработке вегетирующих растений селеном. Также при обработке растений сорта Эстер селеном выявлено удлинение колоса на 23%.

Таким образом, результаты исследования показали положительное действие селенита натрия на формирование продуктивности и биометрические показатели растений пшеницы обоих сортов. Следует отметить, что продукционный процесс растений пшеницы как при оптимальном водообеспечении, так и в условиях засухи, зависел от способа применения селена и сортовых особенностей яровой пшеницы. В оптимальных условиях водообеспечения показано, что при использовании предпосевной обработки селеном семян пшеницы сорта Злата увеличение продуктивности происходило в результате стимулирования процессов формирования количества зерен, что, по-видимому, было обусловлено влиянием на развитие конуса нарастания. Это было установлено в наших предыдущих исследованиях [29]. В то же время при обработке семян селеном также отмечено сохранение количества колосков в колосе при одновременном увеличении выполненности зерновок обоих сортов. Можно сделать предположение, что селен активизировал аттрагирующую способность колоса за счет усиления его акцепторных свойств. Это обуславливало лучшее обеспечение зерновок ассимилятами и позволяло сформировать максимально возможный в данных условиях урожай зерна пшеницы. Данные закономерности также были показаны в опытах с пшеницей и ячменем [30–33].

При использовании листовой обработки селеном выявлено изменение биометрических показателей растений обоих сортов пшеницы. Наблюдали увеличение длины колоса и количества продуктивных колосков, что вызвало увеличение количества зерновок на 27–30% и урожая зерна пшеницы сортов Злата и Эстер в данных условиях выращивания.

Изменение интенсивности продукционного процесса пшеницы под действием окислительного стресса, вызванного засухой в критический период роста, было обусловлено нарушением ростовых и репродуктивных процессов. Вероятно, что повреждение конуса нарастания пшеницы вследствие дефицита влаги в почве определяло ухудшение биометрических показателей колоса пшеницы и нарушение оттока ассимилятов в формирующиеся зерновки, что послужило причиной снижения урожая

пшеницы. Применение селена в данных условиях, вероятно, способствовало сохранению деятельности корневой системы, что позволило растениям пшеницы адаптироваться к стрессовым условиям [11, 13, 34–36]. В результате этого улучшались условия формирования репродуктивных органов пшеницы, что стимулировало восстановление процессов оттока ассимилятов из вегетативной массы в формирующиеся зерновки и обеспечивало увеличение урожая зерна пшеницы. У растений сорта Злата формирование урожая при обработке семян селеном происходило в основном за счет количества зерен (23.8 шт./растение против 19.6 шт. в контроле), при обработке вегетирующих растений – за счет количества зерен (23.3 шт./растение против 19.6 шт./растение в контроле) и их размера, или массы 1000 зерен (32.3 г против 27.6 г в контроле). В тех же условиях,

у растений пшеницы сорта Эстер при применении селена урожай возрастал в основном в результате прироста количества продуктивных колосков и зерновок в колосе.

Известно, что селен активизирует процессы поступления и ассимиляции азота из удобрений и почвы [18, 29, 37], что оказывает влияние на синтез аминокислот и накопление белковых соединений, определяя качество зерна зерновых и биологическую ценность основной продукции овощных культур [38].

В связи с этим в задачи нашего исследования входило изучение влияния различных способов применения селенита натрия на аминокислотный состав зерна яровой пшеницы сортов Злата и Эстер при выращивании в оптимальных условиях водообеспечения и при засухе в критический период роста растений. Результаты исследования приведены в табл. 2.

Таблица 2. Содержание аминокислот в белке зерна различных сортов яровой пшеницы в зависимости от условий водообеспечения, мг/100 г сухого вещества

Аминокислоты												
Вариант	лизин	метионин	триптофан	треонин	аргинин	цистин	изолейцин	лейцин	валин	гистидин	фенилаланин	Сумма
Оптимальное водообеспечение												
Яровая пшеница сорта Злата												
Контроль	370	210	160	380	640	290	450	890	560	310	620	4880
ПОС	380	220	170	400	670	310	470	930	590	330	660	5130
ОВР	370	210	160	380	640	290	450	900	560	310	630	4900
Яровая пшеница сорта Эстер												
Контроль	330	180	150	340	570	270	400	780	500	280	540	4340
ПОС	400	230	180	420	720	330	510	1000	630	350	710	5480
ОВР	380	210	160	390	660	300	460	920	580	320	640	5020
Засуха												
Вариант	лизин	метионин	триптофан	треонин	аргинин	цистин	изолейцин	лейцин	валин	гистидин	фенилаланин	Сумма
Яровая пшеница сорта Злата												
Контроль	320	170	140	320	540	250	370	740	470	260	510	4090
ПОС	350	190	160	360	600	280	420	830	530	300	580	4600
ОВР	380	220	170	400	680	310	480	950	590	330	670	5180
Яровая пшеница сорта Эстер												
Контроль	380	210	160	390	660	300	460	920	580	320	650	5030
ПОС	380	220	170	400	670	310	470	940	590	330	660	5140
ОВР	410	240	180	430	730	330	520	1020	640	360	730	5590

Было выявлено, что селен оказывал положительное влияние на содержание аминокислот в белке зерна пшеницы. Эффективность действия селена зависела от способа его применения и условий водообеспечения. Например, обработка семян пшеницы селенитом натрия перед посевом в условиях оптимального водообеспечения способствовала увеличению содержания суммы аминокислот на 5% и всех аминокислот в среднем на 3–6% в белке зерна яровой пшеницы сорта Злата и на 26 и 20–31% соответственно в белке зерна пшеницы сорта Эстер. Применение листовой обработки растений способствовало увеличению содержания аминокислот только у сорта Эстер. Содержание суммы аминокислот увеличилось на 16% и содержание аминокислот возросло в среднем от 7 до 19%. Наибольшее увеличение содержания аминокислот метионина, изолейцина и лейцина (на 28% против контроля) и фенилаланина (на 31% против контроля) отмечено у сорта Эстер при обработке семян селеном. При листовой обработке вегетирующих растений показано наибольшее увеличение содержания фенилаланина (на 19% по сравнению с контролем) и лейцина (на 18% по сравнению с контролем). Фенилаланин, являясь незаменимой аминокислотой, представляет собой источник для синтеза флавоноидов, природных антиоксидантов. Существенную роль в этом играет особое строение фенилаланина — наличие одновременно 2-х противоположных по свойствам функциональных групп: кислотной — COOH и основной — NH_2 [39, 40]. Значение аминокислот лейцина и изолейцина определяется их ролью в прорастании пыльца, что оказывает существенное влияние на закладку репродуктивных органов и конечную урожайность растений. Метионин — это серосодержащая аминокислота, оказывающая влияние на рост и формирование урожая. Эти незаменимые для человека аминокислоты принимают участие в синтезе белковых соединений [40, 41].

При выращивании растений в условиях засухи были получены сходные закономерности изменения содержания аминокислот в белке зерна обоих сортов. При использовании обработки семян селенитом натрия содержание суммы аминокислот увеличилось на 12% в белке зерна пшеницы сорта Злата, содержание аминокислот в данном варианте возросло в среднем на 9–15%. Использование селена для обработки семян способствовало наибольшему увеличению содержания аминокислот гистидина (на 15%), триптофана, изолейцина и фенилаланина (на 14% по сравнению с контролем без селена). В белке зерна пшеницы сорта Эстер содержание аминокислот увеличилось менее значительно. Выявлена тенденция к увеличению суммы аминокислот. Их суммарное количество увеличилось только на 2%. Среднее содержание аминокислот

увеличилось на 2–6%. Наибольшее увеличение отмечено для аминокислоты триптофана (на 6% по сравнению с контролем).

Использование листовой обработки вегетирующих растений оказало более эффективное действие на содержание аминокислот в зерне пшеницы изученных сортов по сравнению с обработкой семян. У пшеницы сорта Злата сумма аминокислот возросла на 27%, среднее содержание аминокислот в зерне увеличилось на 19–31%. Наибольшие прибавки количества аминокислот в белке зерна пшеницы сорта Злата получены для фенилаланина (31%), изолейцина (30%), метионина (29%). При обработке вегетирующих растений пшеницы сорта Эстер сумма аминокислот увеличилась только на 11%, среднее содержание аминокислот возросло на 8–14%. Содержание серосодержащей аминокислоты метионина, отвечающего за рост растений, возросло на 14%. Содержание аминокислот триптофана, изолейцина и гистидина увеличилось на 13%. Количество остальных аминокислот увеличилось меньше, но достоверно. Аминокислота триптофан является одним из источников для синтеза ауксинов, оказывающих влияние на формирование и рост корневой системы растений [42]. Аминокислота гистидин, являясь протеиногенной и условно незаменимой, оказывает влияние на поступление элементов питания в растения, регулирует работу устьиц, что играет важную роль в стрессовых условиях [40].

Таким образом, можно сделать вывод, что увеличение содержания аминокислот в зерне объясняется возможным прямым или опосредованным участием селена в ряде важнейших физиолого-биохимических процессов, среди которых можно отметить эффективное использование ассимилятов из вегетативной части растений для формирования репродуктивных органов, что позволяет растениям сформировать максимально возможный в данных условиях урожай зерна. При этом положительное действие селена также заключается в регулировании аминокислотного состава белка в зерне пшеницы. При применении селена выявлено увеличение совокупного содержания ключевых аминокислот, которые оказывают существенное влияние на антиоксидантный статус растений и способствуют реализации их адаптивного потенциала.

Возможно, что существенное влияние селена на накопление метионина обусловлено синтезом селенометионина, поскольку пути их образования похожи и разделить их не представляется возможным [20].

Наибольшее действие селена отмечено при выращивании пшеницы сорта Злата по сравнению с пшеницей сорта Эстер, что обусловлено сортовыми различиями, заложенными генетически и различным содержанием белка в зерне.

ВЫВОДЫ

Результаты проведенного исследования позволили сделать вывод о том, что эффективность применения селенита натрия зависела от сортовой специфики пшеницы, связанной с генетическими характеристиками изученных сортов. Наибольший урожай изученных сортов пшеницы при оптимальных условиях водообеспечения был получен при листовом опрыскивании селеном вегетирующих растений.

Установлено, что формирование урожая зерна растений пшеницы обусловлено влиянием селена на разные стороны продукционного процесса как при оптимальном водообеспечении растений, так и при засухе в критический период роста растений.

Выявлено, что депрессия урожая пшеницы при засухе в критический период роста обусловлена снижением всех ростовых функций растений, что вызвало уменьшение биометрических показателей и озерненности колоса на 35 и 37% у сортов Злата и Эстер соответственно. При этом масса 1000 зерен уменьшилась на 19% только у сорта Эстер, что и послужило причиной резкого уменьшения величины зерновой продуктивности по сравнению с пшеницей сорта Злата.

Применение селена при засухе способствовало улучшению условий формирования репродуктивных органов пшеницы и стимулировало восстановление процессов оттока ассимилятов из вегетативной массы в формирующуюся зерновку, что и обеспечило увеличение урожая зерна пшеницы.

Показано положительное действие селена на содержание аминокислот в зерне пшеницы в зависимости от способов его применения и условий водообеспечения. При применении селенита натрия отмечено наибольшее увеличение содержания таких аминокислот как лейцин, изолейцин, метионин, фенилаланин, триптофан, гистидин. Эти аминокислоты играют ключевую роль в регулировании ростовых процессов, устойчивой активности, ассимиляции азота, что позволяет растениям в оптимальных условиях выращивания сформировать высокий урожай зерна. При дефиците влаги в почве активизация синтеза аминокислот под действием селена позволила растениям активно реализовать адаптивный потенциал и снизить депрессию урожая.

Совместное действие селена и окислительного стресса в основном снижало содержание аминокислот в растениях пшеницы. Можно предположить, что селен участвовал в преодолении последствий окислительного стресса. В то же время отмечено повышение содержания аминокислот в зерне сорта Злата при опрыскивании вегетирующих растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко Л.В., Маслова О.В., Белкина А.В., Сухарева К.В. Глобальное изменение климата и его последствия // Вестн. РЭУ им. Г.В. Плеханова. 2018. № 2(98). С. 84–93.
2. Шеламова Н.А. Влияние изменения климата на сельское хозяйство. М., 2013. 83 с.
3. Папцов А., Шеламова Н. Мировая агропродовольственная система и глобальные климатические изменения // АПК: эконом., управл.-е. 2017. № 11. С. 81–94.
4. Владимирский В.К. Засуха — возможный источник чрезвычайной ситуации // Стратегия гражд. защиты: пробл. и исслед.-я. 2013. Т. 3. № 1(4). С. 147–157.
5. Сказкин Ф.Д. Критический период у растений к недостаточному водоснабжению. XXI Тимирязевское чтение. М.: Наука, 1961. 51 с.
6. Воробейков Г.А., Бредихин В.Н., Лебедев В.Н., Юргина В.С. Биология критического периода растений в условиях нарушения влажности почвы // Изв. Рос. гос. пед. ун-та им. А.И. Герцена. 2015. № 173. С. 109–173.
7. Kong L., Wang M., Bi D. Selenium modulates the activities of antioxidant enzymes, osmotic homeostasis and promotes the growth of sorrel seedling under salt stress // Plant Growth Regul. 2005. V. 45. P. 155–163.
8. Ibrahim H.M. Selenium pretreatment regulates the antioxidant defense system and reduces oxidative stress on drought-stressed wheat (*Triticum aestivum* L.) plants // Asian J. Plant Sci. 2014. V. 13. P. 120–128.
9. Серегина И.И., Ниловская Н.Т. Роль селена в реализации адаптивной способности пшеницы в условиях окислительного стресса // К 150-летию со дня рожд. Акад. Д.Н. Прянишникова. М., 2015. 152 с.
10. Серегина И.И., Верниченко И.В., Ниловская Н.Т., Шумилин А.О. Продуктивность и устойчивость яровой пшеницы в условиях окислительного стресса при применении селена // Агрохимия. 2015. № 3. С. 56–63.
11. Кузнецов В.В. Защитное действие селена при адаптации растений пшеницы к условиям засухи: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2004. 24 с.
12. Foster L.H., Sumar S. Selenium in health and disease: a review // Crit. Rev. Food. Sci. Nutr. 1997. № 3. P. 218–228.
13. Вихрева В.А., Блиновхатов А.А., Клейменова Т.В. Селен в жизни растений: моногр. Пенза: РИО ПГСХА, 2012. 222 с.
14. Телевка М.С. Роль селена в формировании продуктивности яровой пшеницы в стрессовых условиях: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М: РГАУ—МСХА, 2013. 23 с.

15. *Серегина И.И., Белопухов С.Л.* Защитно-стимулирующая роль микроэлементов и регуляторов роста в растениеводстве. М., 2021. 184 с.
16. *Серегина И.И.* Влияние условий азотного питания, водообеспеченности и применения селена на фотосинтетическую активность растений яровой пшеницы разных сортов // *Агрохимия*. 2011. № 7. С. 17–26.
17. *Лановая М.С., Чернышева Ю.А.* Влияние селена на продуктивность яровой пшеницы в разных условиях водообеспечения // *Энтузиасты аграрной науки: Тр. Кубан. ГАУ. Краснодар*, 2010. Вып. 12. С. 118–120.
18. *Телевка М.С.* Продуктивность и содержание разных форм азота в зерне яровой пшеницы в зависимости от условий водообеспечения при применении селена // *Агрохим. вестн.* 2013. № 3. С. 41–44.
19. *Верниченко И.В., Яковлев П.А.* Изучение протекторного действия Se, Si и Zn на устойчивость зерновых культур к почвенной засухе // *Агрохим. вестн.* 2014. № 4. С. 14–17.
20. *Кирюшина А.П.* Влияние листовой обработки селенитом натрия на продуктивность и качество зерновых культур в условиях разного минерального питания: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: Изд-во МГУ, 2017. 24 с.
21. *Кудрявцев А.А.* Химия и технология селена и теллура. М.: Высш. шк., 1961. 288 с.
22. *Шеуджен А.Х., Лебедевский И.А., Бондарева Т.Н.* Биогеохимия и агрохимия селена // *Научн. журн. КубГАУ*. 2013. № 92(08). С. 1–11.
23. *Fairweather-Tait S.J., Bao Y., Broadley M.R., Collings R.* Selenium in human health and disease // *Antioxid. Redox Signal.* 2011. V. 14. № 7. P. 1337–1383.
24. *Голубкина Н.А., Полубояринов П.А., Синдирева А.В.* Селен в продуктах растительного происхождения // *Вопр. питания*. 2017. Т. 86. № 2. С. 63–69.
25. *Торшин С.П., Ягодин Б.А., Удельнова Т.М., Голубкина Н.А., Дудецкий А.А.* Влияние микроэлементов Se, Zn, Mo при разной обеспеченности почвы макроэлементами и серой на содержание Se в растениях яровых пшеницы и рапса // *Агрохимия*. 1996. № 5. С. 54–64.
26. *Вихрева В.А., Хрянин В.Н., Стаценко А.П., Блинохватов А.Ф.* О причинах антистрессовой активности селена // *Бюл. ВИУА им. Д.И. Прянишникова*. М., 2001. № 115. С. 20–21.
27. *Block E., Birringer M., Jiang W., Nakahodo T., Thompson H.J., Toscano P.J., Uzar H., Zhang X., Zhu Z.* Allium chemistry: synthesis, natural occurrence, biological activity, and chemistry of Se-alk(en)yl selenocysteines and their γ -glutamyl derivatives and oxidation products // *J. Agricult. Food Chem.* 2001. V. 49. P. 458–470.
28. *Кобзаренко В.И., Волобуева В.Ф., Серегина И.И., Ромодина Л.В.* Агрохимические методы исследований: Учеб.-к. М.: РГАУ–МСХА, 2015. 309 с.
29. *Серегина И.И.* Цинк, селен и регуляторы роста в агробиоценозе. М.: Проспект, 2018. 208 с.
30. *Кумаков В.А.* Физиологическое обоснование моделей сортов пшеницы. М.: Агропромиздат, 1985. 270 с.
31. *Сидоренко В.С., Наумкин Д.В., Наумкина Л.А.* Изменчивость основных морфобиологических признаков ярового ячменя // *Зернобоб. и круп. культуры*. 2012. № 3. С. 35–38.
32. *Сластя И.В.* Влияние обработки соединениями кремния семян и вегетирующих растений на продуктивность сортов ярового ячменя // *Агрохимия*. 2012. № 10. С. 51–59.
33. *Серегина И.И., Верниченко И.В., Ниловская Н.Т., Шумилин А.О.* Продуктивность и устойчивость яровой пшеницы в условиях окислительного стресса при применении селена // *Агрохимия*. 2015. № 3. С. 56–63.
34. *Серегина И.И., Ниловская Н.Т., Остапенко Н.В.* Роль селена в формировании урожая зерна яровой пшеницы // *Агрохимия*. 2001. № 1. С. 44–50.
35. *Блинохватов А.Ф., Вихрева В.А., Стаценко А.П., Хрянин В.Н.* О причинах антистрессовой активности селена // *Бюл. ВИУА*. 2001. № 115. С. 20. 27.
36. *Вихрева В.А., Хрянин В.Н., Гинс В.К., Блинохватов А.Ф.* Адаптогенная роль селена в высших растениях // *Вестн. Башкир. ун-та*, 2001. № 2(11). С. 65–66.
37. *Яковлев П.А.* Влияние микроэлементов на азотный обмен и устойчивость тритикале и пшеницы к стрессовым факторам внешней среды: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2014. 26 с.
38. *Демина Л.Ю., Корнышев В.Н.* Влияние марганца, хрома и селена на аминокислотный состав белка мангольда // *Гавриш*. 2006. № 2. С. 13–16.
39. *Ленинджер А.* Основы биохимии. В 3-х т. Т. 2. Пер. с англ. М.: Мир, 1985. 368 с.
40. *Сыровая А.О., Шаповал Л.Г., Макаров В.А., Петюнина В.Н., Грабовецкая Е.Р., Андреева С.В., Наконечная С.А., Бачинский Р.О., Лукьянова Л.В., Козуб С.Н., Левашова О.Л.* Аминокислоты глазами химиков, фармацевтов, биологов. В 2-х т. Т. 2 Харьков: Щедра садиба плюс, 2015. 268 с.
41. *Браунштейн А.Е.* Биохимия аминокислотного обмена. М.: Изд-во АН СССР, 1949. 426 с.
42. *Котляров В.В., Федюлов Ю.П., Доценко К.А., Котляров Д.В., Яблонская Е.К.* Применение физиологически активных веществ в агротехнологиях. Краснодар: КубГАУ, 2014. 169 с.

Influence of Selenium on the Yield and Content of the Amino Acid Composition of Spring Wheat Grain under Optimal Conditions of Water Supply and during Drought

I. I. Seregina*

*Russian State Agrarian University—MSHA named after K.A. Timiryazev,
ul. Timiryazevskaya 49, Moscow 127550, Russia*

**E-mail: seregina.i@inbox.ru*

In model experiments in soil culture, the effect of various methods of applying sodium selenite on the formation of yield and amino acid composition of grain varieties of spring wheat Zlata and Ester, depending on water supply conditions, was studied. Sodium selenite was introduced by pre-sowing seed treatment and leaf treatment of vegetative plants. The study simulated optimal water supply conditions and soil moisture deficiency during the critical period of plant growth. The role of selenium in the regulation of the production process and the formation of the amino acid composition of spring wheat grain was studied. It was found that the production process of wheat plants, both under optimal water supply and in drought conditions, depended on the method of application of selenium and the varietal characteristics of spring wheat. The results allowed us to assume that selenium activated the attenuating ability of the ear by enhancing its acceptor properties. Under these conditions, the grains were better provided with assimilates. this made it possible to form the maximum possible yield of wheat grain. In conditions of drought, during leaf treatment of plants with sodium selenite, favorable conditions were created for the formation of reproductive organs of wheat, which stimulated the restoration of the processes of assimilate outflow from the vegetative mass into the forming grains. This made it possible to influence production processes and reduce the depression of wheat crop formation. The use of selenium revealed an increase in the total content of key amino acids, which had a significant effect on the antioxidant status of plants and contributed to the realization of their adaptive potential. The positive effect of selenium on the content of a number of amino acids, including on the assimilation of methionine, was revealed, which was probably due to the synthesis of selenomethionine, since the ways of their formation are similar and it is not possible to separate them. The greatest effect of selenium was observed in the cultivation of wheat of the Zlata variety compared with wheat of the Ester variety, which was determined by varietal differences inherent genetically and the unequal protein content in the grain.

Keywords: spring wheat varieties, selenium, yield of grain, amino acid composition of grain, water supply conditions.