

УДК 631.559:632.112:546.47:631.811.1

РЕГУЛИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ (*Triticum aestivum* L.) ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ВЛАГИ В ПОЧВЕ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ МОЛИБДЕНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ

© 2021 г. И. И. Серегина^{1,*}, Н. Т. Ниловская²

¹ Российский государственный аграрный университет—МСХА им. К.А. Тимирязева
127550 Москва, ул. Тимирязевская, 49, Россия

² Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова
127550 Москва, ул. Прянишникова, 31, Россия

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

Поступила в редакцию 12.08.2020 г.

После доработки 11.11.2020 г.

Принята к публикации 11.01.2021 г.

В модельных экспериментах в почвенной культуре был изучен способ регулирования урожайности яровой пшеницы в условиях оптимального водообеспечения и засухи путем применения молибдена при варьировании азотного питания. Установлено, что применение предпосевной обработки семян молибденом способствовало улучшению условий формирования репродуктивной сферы растений, что определило увеличение урожайности пшеницы в условиях оптимального водообеспечения. В условиях краткосрочной почвенной засухи молибден стабилизировал процессы формирования зерен, что привело к увеличению доли реализации цветков в зерна и возрастанию озерненности колоса. Было установлено, что применение молибдена при выращивании растений в условиях краткосрочной почвенной засухи способствовало активизации процессов поступления азота в растения, а также более эффективному перераспределению азота между органами и его накоплению преимущественно в агрономически ценной части урожая пшеницы. Это способствовало улучшению поступления в растения азота в периоды до наступления засухи, сохранению жизнеспособности растений пшеницы во время воздействия дефицита влаги в почве, затем активизировало отток ассимилятов из вегетативной части в репродуктивные органы. Данные процессы увеличивали устойчивость растений пшеницы к водному стрессу в критический период их роста, что определило увеличение урожайности зерна яровой пшеницы.

Ключевые слова: предпосевная обработка семян молибденом, яровая пшеница, засуха в критический период роста растений.

DOI: 10.31857/S0002188121040141

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время известна физиолого-биохимическая роль молибдена, которая обусловлена его участием в азотном обмене растений. Недостаток молибдена нарушает обмен углеводов и органических кислот, что может быть результатом торможения процессов их синтеза и снижением эффективности процессов дыхания [1–3].

Было установлено, что молибден не только способствует увеличению содержания сырого протеина в зерне зернобобовых культур, но также улучшает его качество за счет возрастания водорастворимой фракции белка [1].

В научной литературе было показано, что молибден способствует снижению отрицательного

действия краткосрочного недостатка влаги на рост и урожайность растений [4]. В условиях недостатка влаги в почве отмечено положительное действие молибдена на активность нитратредуктазы и АТФ-азы. При этом повышается также активность глутаматдегидрогеназы и глутаматсинтеза [5, 6]. Было выявлено, что в результате воздействия водного дефицита на растения в клетках накапливается большое количество аммиака, что может быть проявлением одной из многочисленных стрессовых реакций, активизирующих повреждение мембран клеток. Защитная роль молибдена в этих условиях проявляется путем связывания аммиака, в результате чего возрастает содержание свободных аминокислот [7]. Это, ве-

роятно, способствует снижению повреждения мембран и возрастанию водоудерживающей способности тканей при применении молибденовых удобрений [8]. При этом было показано увеличение содержания азотсодержащих органических соединений в различных органах растений зерновых культур [4, 8], что свидетельствует, по мнению авторов, о повышении устойчивости растений к негативному воздействию засухи в критический период роста растений.

Содержание тех или иных элементов в растениях также зависит от многих факторов. Установлено, что наибольшей потребностью в молибдене обладают бобовые и капустные, а также некоторые овощные культуры [2, 3, 9, 10]. Обычно дефицит Мо в растениях проявляется при его концентрации в тканях листьев 0.1–0.3 мг/кг сухой массы. Нормальным содержанием в растениях считается 20–300 мг Мо/кг, >300 мг – токсичным [11]. В исследованиях с различными сортами сои содержание молибдена находилось в пределах 0.9–10.2 мг/кг. При этом применение молибденовых удобрений способствовало увеличению содержания элемента в растениях с 0.92 до 291 мг/кг [12].

Почвенно-климатические условия выращивания культур оказывают наибольшее влияние на содержание молибдена в растениеводческой продукции. Было отмечено существенное влияние в первую очередь элементного состава и свойств почвы в зоне выращивания культуры [13, 14]. Состояние водного режима почв также оказывает большое влияние на накопление молибдена в продукции растениеводства, но этот вопрос до настоящего времени мало изучен.

Известно, что на формирование и величину продуктивности растений, как правило, влияет комплекс факторов, которые действуют на растения одновременно, вызывая нежелательные реакции и ограничивая получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур. Таким образом, можно сделать вывод, что до настоящего времени проведено больше количество научных работ, посвященных изучению действия молибдена на урожайность и химический состав полученного урожая. Однако мало изученными остаются отдельные аспекты влияния молибдена на формирование зерновой продуктивности яровой пшеницы, выращиваемой в условиях неустойчивого водообеспечения в критический период ее роста при варьировании уровней азотного питания. При этом вопросы влияния молибдена на накопление элемента растениями пшеницы и распределения между различными органами в зависимости от условий азотного питания и водообеспечения остаются малоизученными и в связи с этим

приобретают большую актуальность и практическую значимость.

Цель работы – изучение влияния способов применения молибденовокислого аммония на формирование урожайности и химический состав яровой пшеницы при варьировании уровня азотного питания в условиях оптимального водообеспечения и дефицита влаги в почве в критический период роста растений.

В задачи исследований входило изучение следующих вопросов: влияние молибдена на урожайность яровой пшеницы сорта Иволга в зависимости от условий азотного питания и водообеспечения, влияние предпосевной обработки семян молибденом на формирование элементов продуктивности растений пшеницы в зависимости от условий выращивания, взаимное влияние молибдена и почвенного азота на поступление элементов в растения и накопление их в основной и побочной продукции в изученных условиях выращивания.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для решения поставленных задач было проведено 2 вегетационных опыта. Опыт 1 проведен в вегетационном домике кафедры агрономической и биологической химии и радиологии РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева. Опыт 2 проведен в фитотронной установке лаборатории физиологии питания и продуктивности растений ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова. В фитотронной установке растения выращивали в регулируемых условиях освещения и температуры. Поддерживали постоянные световые условия 16-часового светового дня. Источником света в установке служили лампы ЗН-8 мощностью 500 Вт, помещенные в водяной экран. Температурный режим при выращивании растений в световой период составлял 23–24°C и в темновой период – 18–20°C.

Закладку опытов в почвенной культуре осуществляли в соответствии с методикой [15]. Объектом исследования была яровая пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорта Иволга. Пшеница мягкая яровая сорт Иволга выведена в Московской сельскохозяйственной академии им. К.А. Тимирязева, является высокобелковым сортом и используется на фуражные цели. Этот сорт требователен к содержанию влаги в почве, особенно в критические периоды роста: выход в трубку–колошение, цветение–начало молочной спелости [16].

В опытах 1 и 2 растения выращивали в сосудах Вагнера емкостью 5 кг почвы. Для опытов использовали дерново-подзолистую среднесуглинистую почву. Агрохимические показатели поч-

вы определяли по общепринятым методикам [17]. Содержание гумуса составляло 1.8% (по Тюрину), pH_{KCl} 6.7 (потенциометрический метод в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26483-91), H_r – 0.5 мг-экв/100 г почвы (по Каппену), S – 13.5 мг-экв/100 г почвы (по Каппену–Гильковицу, ГОСТ 27821-88), V – 96%. Обеспеченность подвижными формами фосфора и калия составляла 278 и 280 мг/кг почвы соответственно (по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26207-91). Содержание подвижного молибдена было равно 0.28 мг/кг почвы (ГОСТ Р 50689-84, в вытяжке оксалатным буферным раствором).

В опытах создавали разные уровни азотного питания растений пшеницы. Перед набивкой сосудов в почву вносили химически чистые соли NH_4NO_3 , KH_2PO_4 и KCl . Уровни азотного питания: N_1 – 50, N_2 – 150, N_3 – 300 мг/кг почвы. Уровень фосфора и калия создавали из расчета 300 мг/кг почвы каждого из элементов.

В опытах моделировали оптимальные условия водообеспечения и дефицит влаги в почве (засуху). Оптимальное водообеспечение растений создавали путем полива сосудов по массе до 60% ПВ в течение всего вегетационного периода. Засуху “северного типа”, характерную для умеренных широт Нечерноземной зоны, создавали путем прекращения полива растений на VI этапе органогенеза до наступления в почве влажности устойчивого завядания растений (14% ПВ). Длительность засухи составляла 6–7 сут. После окончания засухи постепенно возобновляли полив растений [18].

Предпосевную обработку семян молибденом проводили путем намачивания семян в 4%-ном растворе молибденовокислого аммония $((NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O, 52\% Mo)$ из расчета 5% раствора от массы семян. В контрольных вариантах семена обрабатывали дистиллированной водой. Посев предварительно подготовленными семенами проводили по 30 шт. на сосуд с последующим прореживанием в фазе кушения до 20 шт.

Для изучения формирования элементов продуктивности в фазе выхода в трубку проводили учет числа заложившихся зачаточных цветков на конусе нарастания, используя микроскоп МБС-19. Для расчета доли (в %) реализации цветков в зерна учитывали число зерен в колоссе на XII этапе в фазе полной спелости зерна и число цветков, образовавшихся на VI этапе органогенеза в фазе выхода в трубку, принимая последний показатель за 100%.

Уборку урожая проводили при достижении растениями пшеницы фазы полной спелости.

После уборки урожая анализировали формирование элементов продуктивности – число зерен и колосков в колосе. Оценивали урожай растений в вариантах опыта (г/сосуд) и структуру урожая: долю зерна, соломы и половы (в % от массы надземной части растений, которая составляла 100%).

Для оценки химического состава зерна и соломы растений пшеницы определяли содержание общего азота методом Кьельдаля [17]. Для определения содержания молибдена в зерне и соломе растений пшеницы проводили анализ растительных образцов на масс-спектрометре с ионизацией в индуктивно-связной плазме “VG PLASMA QUAD PG 2 TURBO” (Англия) после мокрого озоления с помощью микроволновой системы “MDS-2000” (США) с использованием кислот HNO_3 (70%) и HCl (37%).

Все данные исследования подвергали статистической обработке путем использования показателя наименьшей существенной разности (НСР) с 5%-ным уровнем значимости [15].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучено влияние предпосевной обработки семян молибденом на величину урожайности и формирование элементов продуктивности яровой пшеницы сорта Иволга при варьировании уровня азотного питания в зависимости от условий водообеспечения (табл. 1). При оптимальном водообеспечении растений обработка семян молибденом способствовала достоверному увеличению урожая зерна при всех уровнях азотного питания. Выявлено возрастание массы зерна при низкой дозе (N_1) азота в 1.41 раза, при средней (N_2) – на 10%, при высокой (N_3) – в 1.48 раза в опыте в вегетационном домике и в 1.12 раза в опыте в фитотроне.

Известно, что уже в период закладки и развития цветков на конусе нарастания главного побега (V–VI этапы органогенеза) можно предположить уровень потенциальной продуктивности растений. Анализ полученных результатов показал, что обработка семян молибденом способствовала увеличению числа цветков при низком уровне азота (N_1) с 56 до 66 шт., при среднем (N_2) – изменения были недостоверными, при высоком (N_3) – с 59 до 70 шт. в опыте в вегетационном домике и с 70 до 75 шт. в опыте в фитотроне. Отмечено, что число зачаточных цветков, заложившихся на конусе нарастания, зависело от уровня азотного питания и было наибольшим на фоне высокой дозы азота (N_3). Выявлено, что при использовании предпосевной обработки семян мо-

Таблица 1. Влияние молибдена на урожайность яровой пшеницы в условиях оптимального водообеспечения и засухи

Вариант		Оптимальное водообеспечение				Краткосрочная почвенная засуха				
		Масса зерна, г/сосуд	Число, шт./растение		Доля реализации зачаточных цветков в зерна, %	Масса 1000 зерен, г	Масса зерна, г/сосуд	Число зерен, шт./растение	Доля реализации зачаточных цветков в зерна, %	Масса 1000 зерен, г
доза азота, мг/кг почвы	предпосевная обработка семян		зачаточных цветков	зерен						
Опыт 1 в вегетационном домике										
150	Без обработки	3.3	56	18	32.1	21.0	1.8	8	14.3	19.4
	Мо	4.7	66	25	37.9	21.0	1.8	8	12.1	19.4
300	Без обработки	3.3	59	20	33.9	20.5	0.8	2	3.4	20.0
	Мо	4.9	70	29	41.4	20.9	2.1	8	11.4	21.4
<i>HCP</i> ₀₅		0.7	2	2		2.4	0.2	2		2.4
Опыт 2 в фитотронной установке										
150	Без обработки	12.0	68	29	42.6	28.2	3.0	6	8.8	27.8
	Мо	13.2	70	31	44.3	28.4	3.6	8	11.4	33.1
300	Без обработки	12.9	70	32	45.7	26.8	1.8	7	10.0	20.0
	Мо	14.4	75	34	45.3	28.5	8.0	15	20.0	44.3
<i>HCP</i> ₀₅		1.0	4	2		2.3	0.5	2		3.2

Примечание. Без обработки – контроль. То же в табл. 2–4.

либденом возрастала доля реализации цветков в зерна, что оказало влияние на озерненность колоса и способствовало возрастанию урожая зерна пшеницы. Следует отметить, что при оптимальном водообеспечении применение молибдена способствовало увеличению количества зерновок в главном колосе в 1.38 и 1.45 раза при применении доз N_1 и N_3 в условиях вегетационного домика и на 6% в условиях фитотронной установки. При этом масса 1000 зерен не изменилась в обоих опытах. Показано, что увеличение урожая пшеницы при применении предпосевной обработки семян молибденом в оптимальных условиях водообеспечения произошло в основном за счет роста озерненности колоса, т.е. его действие было направлено на формирование большего количества зачаточных цветков и активизацию процессов реализации цветков в зерна.

Оценка величины урожая пшеницы, выращенной в условиях краткосрочной почвенной засухи, показала резкое снижение массы зерна во всех вариантах опыта. Урожайность пшеницы в контроле при низкой дозе азота (N_1) уменьшилась в 1.8 раза, при средней (N_2) – в 6 раз, при высокой дозе азота (N_3) – более чем в 4 раза в вегетационном домике и более чем в 7 раз в фитотро-

не. Следует отметить, что наибольшее снижение массы зерна было получено при высокой дозе азота, что определялось резким уменьшением количества зерен – более чем в 2 раза. Применение молибдена для предпосевной обработки семян в этих условиях способствовало снижению негативного действия стрессовых реакций, возникавших при дефиците влаги в почве. Показано, что эффективность молибдена зависела от дозы азота. Наибольший положительный эффект был получен на фоне высокого уровня азотного питания. Отмечено возрастание массы зерна в 2.8 раза в опыте в вегетационном домике и в 4.4 раза в опыте в фитотроне.

Изучение вопроса формирования элементов продуктивности показало, что в условиях водного стресса в критический период роста растений резко снижалась доля реализации зачаточных цветков в зерна в результате их недоразвития и большого сброса. Это и обусловило резкое уменьшение количества зерновок в колосе. В исследовании [19] было показано, что засуха сокращает продолжительность вегетационного периода. При этом уменьшается число вегетационных ме-тамеров главного побега (в среднем на один ярус)

Таблица 2. Влияние молибдена на структуру урожая растений пшеницы в зависимости от уровня азотного питания и условий водообеспечения

Вариант		Оптимальное водообеспечение		Краткосрочная почвенная засуха	
доза азота, мг/кг почвы	предпосевная обработка семян	доля соломы	доля зерна	доля соломы	доля зерна
		% от надземной массы растений			
Опыт в вегетационном домике					
150	Без обработки	70	30	74	26
	Mo	62	38	77	23
300	Без обработки	75	25	89	11
	Mo	67	33	77	23
Опыт в фитотронной установке					
150	Без обработки	58	42	76	24
	Mo	52	48	78	22
300	Без обработки	57	43	86	14
	Mo	51	49	64	36

и ухудшается рост боковых побегов, быстрее отмирают вегетативные органы в конце вегетации.

Применение молибдена в вариантах с краткосрочной почвенной засухой на фоне низкой дозы азота (N_1) не оказало положительного влияния на уровень реализации цветочных зачатков в зерновки. По-видимому, редукция цветков в данных условиях была обусловлена не только воздействием стрессовых реакций, вызванных засухой, но и недостатком азота, а также торможением процессов его поступления в растения.

На фоне средней (N_2) и высокой (N_3) доз азота молибден способствовал увеличению доли реализации цветков до 11–20%, что привело к увеличению количества зерен в колосе. Это способствовало получению возможного уровня урожая яровой пшеницы в данных условиях выращивания. Авторами [20] было показано, что молибден способствует улучшению условий для закладки и развития цветочных зачатков в условиях высокого обеспечения растений азотом. Результаты, полученные в наших экспериментах, позволили сделать вывод, что на фоне средней и высокой доз азота в результате удлинения продолжительности периода развития конуса нарастания и закладки цветочных зачатков молибден способствовал нормальному развитию более поздним цветкам, которые формировались на конусе нарастания уже после окончания засушливого периода. По-видимому, одним из механизмов действия молибдена при выращивании растений в условиях дефицита влаги в почве в критический период их роста является способность улучшать условия закладки и развития цветочных зачатков на конусе нарастания главного побега. В результате этого

происходит увеличение доли реализации зачаточных цветков в зерна, что способствует увеличению озерненности колоса и соответственно урожайности пшеницы. При использовании обработки семян пшеницы сорта Иволга молибденом на фоне N_2 количество зерен увеличилось с 6 до 8 шт. на главном колосе, на фоне N_3 увеличение числа зерен составило от 2 до 8 шт. в условиях вегетационного домика и с 7 до 15 шт. в условиях фитотрона. Отмечено, что в опыте, проведенном в фитотронной установке, формирование урожая пшеницы при применении молибдена было обусловлено не только количеством зерновок, но также и массой 1000 зерен, которая возросла в 1.19 раза при N_2 и более чем в 2 раза при N_3 . Это свидетельствовало о влиянии молибдена в условиях засухи не только на репродуктивную функцию колоса, но также и на аттрагирующую способность колоса, в результате чего активизировались процессы оттока ассимилятов из вегетативных органов в генеративные.

В проведенных опытах изучено влияние молибдена на структуру урожая яровой пшеницы в изученных условиях (табл. 2). При выращивании растений пшеницы в условиях оптимального водообеспечения в течение всего вегетационного периода отмечено перераспределение структуры урожая в сторону роста доли зерна и уменьшения доли соломы при всех уровнях азотного питания. Показано увеличение доли зерна в структуре урожая пшеницы при низкой дозе азота N_1 с 30 до 38%, при средней дозе азота N_2 – с 42 до 48%, при высокой дозе – с 25 до 33% при выращивании растений в условиях вегетационного опыта и с 43 до 49% при выращивании растений в фитотроне.

Во всех вариантах применения молибдена выявлено уменьшение доли соломы.

Показано, что в условиях засухи с увеличением уровня азотного питания происходило возрастание доли соломы в структуре надземной массы растений. При этом доля зерна существенно снижалась до 11–14%. При использовании обработки семян молибденом в условиях высокого обеспечения растений азотом наблюдали снижение негативного действия дефицита влаги в почве на структуру урожая пшеницы. Показано возрастание доли зерна до 23–36% в структуре надземной массы растений пшеницы за счет снижения доли соломы до 77–64%.

Таким образом, можно сделать вывод, что применение предпосевной обработки семян молибденом повышало устойчивость растений пшеницы к водному стрессу, снижая негативное действие дефицита влаги в почве в критический период роста растений, и положительно влияло на формирование элементов продуктивности и величину урожая. Установлено, что важным условием получения максимального эффекта при применении молибдена было высокое обеспечение растений азотом. В этих условиях применение молибдена существенно удлиняло период развития конуса нарастания и улучшило условия формирования зачаточных цветков, что и определило получение более высокого урожая зерна в этих вариантах по сравнению с контролем.

На процессы поступления и размеры накопления элементов питания влияют в первую очередь условия минерального питания и погодно-климатические условия. Результаты исследования, проведенного в фитотронной установке, по изучению влияния молибдена на вынос азота урожаем яровой пшеницы при варьировании уровня азотного питания и условий водообеспечения представлены в табл. 3. Показано, что при увеличении уровня азотного питания в оптимальных условиях увлажнения почвы происходило возрастание общего выноса азота урожаем яровой пшеницы с 754 до 857 мг/сосуд. При этом вынос азота урожаем зерна в варианте N₃ возрос до 595 против 482 мг/сосуд в варианте N₂, что было обусловлено ростом урожая.

Применение молибдена в данных условиях водообеспечения на фоне дозы N₂ способствовало снижению выноса общего азота урожаем пшеницы на 15%: с 754 до 654 мг/сосуд. Вынос азота урожаем зерна снизился на 4, урожаем соломы – на 41%. Снижение выноса азота урожаем зерна, по видимому, было обусловлено эффектом разбавления, а резкое уменьшение выноса азота урожа-

Таблица 3. Влияние молибдена на вынос азота растениями яровой пшеницы, мг/сосуд

Вариант		Зерно	Солома	Надземная часть растения
доза азота, мг/кг почвы	обработка семян			
Оптимальные условия водообеспечения				
150	Без обработки	482	272	754
	Mo	462	192	654
300	Без обработки	595	263	857
	Mo	603	263	866
Краткосрочная почвенная засуха				
150	Без обработки	123.6	146	269
	Mo	129.6	277	406
300	Без обработки	79.9	238	318
	Mo	316.4	254	571

ем соломы связано в основном с уменьшением доли соломы в структуре надземной массы пшеницы. На фоне дозы N₃ применение молибдена привело к незначительному увеличению выноса общего азота хозяйственным урожаем пшеницы и урожаем зерна.

В условиях воздействия на растения краткосрочной почвенной засухи отмечено резкое снижение процессов поступления азота в растения. Общий вынос азота снизился до 269 мг/сосуд при дозе N₂ и до 318 мг/сосуд при дозе N₃ по сравнению с оптимальным водообеспечением. При этом резко уменьшились размеры выноса азота урожаем зерна на фоне дозы N₂ в 3.9 раза и на фоне дозы N₃ – в 7.4 раза, что определялось существенным уменьшением урожая. Вынос азота урожаем соломы также снизился, но в меньшей степени: в 1.9 и в 1.1 раза соответственно. Вероятно, таким образом влияли нарушения процессов оттока ассимилятов из вегетативных органов в генеративные. Можно сделать вывод, что результатом воздействия дефицита влаги в почве в критический период роста растений было снижение размеров поступления азота в растения и процессов перераспределения азота между органами растения пшеницы, что было также показано в исследованиях с различными культурами [21, 22] и нами в предыдущих исследованиях [23].

Предпосевная обработка семян молибденом в условиях почвенной засухи способствовала возрастанию выноса азота урожаем надземной массы яровой пшеницы на фоне обеих доз азота в 1.5–1.6 раза. В то же время при применении мо-

Таблица 4. Содержание молибдена в растениях пшеницы в зависимости от условий выращивания, мкг/кг сухой массы

Вариант		Оптимальное водообеспечение		Краткосрочная почвенная засуха	
доза азота, мг/кг почвы	предпосевная обработка семян	зерно	солома	зерно	солома
Опыт в вегетационном домике					
150	Без обработки	335	217	496	756
	Mo	386	1450	1530	1990
300	Без обработки	612	1590	700	1480
	Mo	1360	3490	1840	2250
<i>HCP₀₅</i>		50	85	110	140
Опыт в фитотронной установке					
150	Без обработки	396	1170	616	1920
	Mo	759	1750	822	2040
300	Без обработки	759	1700	896	1990
	Mo	1900	3500	1940	2450
<i>HCP₀₅</i>		50	90	110	140

либдена изменился вынос общего азота урожаем зерна и соломы пшеницы. На фоне дозы N_2 в варианте с молибденом вынос азота урожаем зерна увеличился на 5%, в то же время как вынос азота урожаем соломы возрос в 1.9 раза. На фоне дозы N_3 в варианте с использованием молибдена увеличение выноса общего азота урожаем зерна произошло почти в 4 раза, урожаем соломы – в 1.7 раза. Резкое возрастание выноса азота урожаем зерна было обусловлено ростом урожая в этом варианте, а также, по-видимому, увеличением поступления азота в растения после прекращения засухи в репарационный период. Таким образом, можно сделать вывод, что применение молибдена при выращивании растений в условиях краткосрочной почвенной засухи способствовало активизации процессов поступления азота в растения, а также более эффективному перераспределению азота между органами и его накоплению преимущественно в агрономически ценной части урожая пшеницы. В предыдущих наших исследованиях показано [24], что применение молибдена путем предпосевной обработки семян стимулировало процесс развития корневой системы. Это способствовало улучшению поступления в растения азота в периоды до наступления засухи, сохранению жизнеспособности растений пшеницы во время воздействия дефицита влаги в почве, затем активизировало отток ассимилятов из вегетативной части в репродуктивные органы, что определило возрастание озерненности колоса и зерновой продуктивности. Наибольшая эффективность молибдена в условиях засухи проявилась при высоком обеспечении растений пшеницы азотным питанием.

Вопросы взаимного влияния азота и молибдена на их поступление в растения при оптимальном водообеспечении и в условиях дефицита влаги в почве являются актуальными и мало изученными. Поэтому в задачи наших исследований входила оценка накопления молибдена в зависимости от уровня азотного питания и условий водообеспечения (табл. 4). Показано, что с увеличением уровня азотного питания возрастало содержание молибдена в зерне в 1.8 раза в опыте в вегетационном домике и в 1.9 раза в опыте в фитотроне, также и в соломе в 7.3 и в 1.5 раза соответственно. В вариантах, где применяли предпосевную обработку молибденом, существенно возрастало его количество в зерне и соломе растений пшеницы. Отмечено, что содержание молибдена в зерне пшеницы в значительной степени зависело от уровня азотного питания. Например, при использовании предпосевной обработки семян молибденом на фоне дозы N_1 содержание этого элемента в зерне пшеницы возросло только на 15% по сравнению с вариантом без применения молибдена. На фоне дозы N_2 содержание молибдена возросло в 1.9 раза, на фоне дозы N_3 – в 2.2–2.5 раза по сравнению с вариантами без применения молибдена. Содержание молибдена в соломе пшеницы возрастало от 1.5 до 6.7 раза по сравнению с контрольными вариантами.

Установлено, что применение молибдена путем предпосевной обработки семян способствовало существенному возрастанию его содержания в зерне и соломе при высоком обеспечении растений азотным питанием. Это, вероятно, происходило в результате стимулирования поступления

микроэлемента из почвы. В данном случае проявлялись синергические процессы взаимодействия между молибденом и азотом, поскольку интенсивность процессов обмена азота в растениях тесно связана с присутствием молибдена, в доступном для них состоянии.

В условиях засухи во всех вариантах отмечено увеличение его содержания в зерне и соломе пшеницы по сравнению с вариантами при оптимальном водообеспечении. Применение молибдена для предпосевной обработки семян при дефиците влаги в почве стимулировало поступление микроэлемента в растения пшеницы сорта Иволга. Установлено возрастание содержания молибдена при всех уровнях азотного питания как в зерне, так и в соломе. Например, на фоне низкой дозы азота содержание молибдена увеличилось в зерне в 3 раза, в соломе — в 2.6 раза, на фоне средней дозы азота — в 1.3 и 1.06 раза, на фоне высокой дозы азота — в 2.2–2.6 и 1.2–1.5 раза соответственно.

Следует отметить, что наибольшие абсолютные размеры накопления молибдена наблюдали в соломе при всех уровнях азотного питания, однако максимальное относительное возрастание содержания элемента показано в зерне как при оптимальном водообеспечении, так и в условиях краткосрочного дефицита влаги в почве.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, были изучены особенности влияния молибдена на урожай и формирование элементов продуктивности яровой пшеницы сорта Иволга в зависимости от уровня азотного питания и условий водообеспечения. Изучены закономерности взаимного влияния молибдена и азота при поступлении их в растения и накоплении в агрономически ценных частях растений в оптимальных условиях водообеспечения и при дефиците влаги в почве в критический период роста растений.

Выявлено, что в оптимальных условиях водообеспечения молибден оказывал существенное влияние на формирование репродуктивной сферы растений пшеницы, увеличивая число зачаточных цветков, заложившихся на конусе нарастания на VI этапе органогенеза, а также доли реализации цветков в зерно. Это определило большую озерненность колоса и привело к увеличению урожайности пшеницы с наиболее оптимальной структурой урожая.

Показано, что применение предпосевной обработки семян молибденом повышало устойчивость пшеницы к водному дефициту в критический период роста растений, снижая негативное действие дефицита влаги в почве на формирова-

ние элементов продуктивности и величину урожая растений. Важным условием получения максимального эффекта при применении молибдена было высокое обеспечение растений азотом. В этих условиях применение молибдена существенно удлиняло период развития конуса нарастания и улучшало условия формирования зачаточных цветков, что и определило получение более высокого урожая зерна в этих вариантах по сравнению с контролем.

Результаты исследования позволили установить существенное защитное действие молибдена, которое проявлялось в активизации поступления азота и молибдена в растения и способствовало активизации физиолого-биохимических процессов, также определило увеличение зерновой продуктивности пшеницы сорта Иволга при оптимальном водообеспечении и условиях засухи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Школьник М.Я.* Микроэлементы в жизни растений. Л.: Наука, 1974. 324 с.
2. *Жизневская Г.Я.* Медь, молибден и железо в азотном обмене бобовых растений. М.: Наука, 1972. 335 с.
3. *Ягодин Б.А.* Влияние микроэлементов (Mo, Co, Zn) на физиологические процессы и продуктивность овощных растений: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: МОПИ им. Н.К. Крупской, 1964. 26 с.
4. *Боженко В.П.* Микроэлементы и проблемы устойчивости растений к неблагоприятным условиям среды // Физиологическая роль и практическое применение микроэлементов. Рига: Зинатне, 1976. С. 110–123.
5. *Тома С.И.* Микроэлементы как фактор оптимизации питания растений // Микроэлементы в обмене веществ и продуктивности растений. Киев: Наукова думка. 1984. С. 5–7.
6. *Штефурц А.А., Чернат В.И., Салчева Г.С., Зафиров И.С.* Влияние молибдена на дыхание растений в условиях переменной влажности почвы // Изв. АН Респ. Молдова. Биол. и хим. науки. 1991. № 5. С. 6–12.
7. *Бредихин В.Н.* Влияние почвенной засухи и молибдена на содержание белковых фракций в листьях гороха // Актуальные вопросы современной ботаники. Киев, 1977. С. 18–21.
8. *Ислам Мб.З.* Влияние молибдена и цинка на засухоустойчивость и продуктивность яровой пшеницы: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М.: МСХА, 1998. 20 с.
9. *Катальмов М.В.* Микроэлементы и удобрения. М.: Мир, 1965. 330 с.
10. *Муравин Э.А.* Вопросы азотного питания растений и повышения эффективности азотных удобрений: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М.: ТСХА, 1991. 58 с.

11. *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
12. *Казачков Ю.Н., Щелевой Г.К.* Агрохимические факторы эффективности использования молибденового удобрения под сорго // Приемы регулирования продуктивности сои. Новосибирск: СО ВАСХНИЛ, 1987. С. 139–154.
13. *Токовой Н.А., Майборода Н.М.* Микроэлементный состав растений в зависимости от почв и применения удобрений // Тр. АлтайСХИ. 1966. Вып. 9. С. 39–41.
14. *Goldenberg S., Forster H.* Factors affecting Mo adsorption by soils and minerals // Soil Sci. 1998. V. 163. № 2. P. 109–114.
15. *Кобзаренко В.И., Волобуева В.Ф., Серегина И.И., Ромодина Л.В.* Агрохимические методы исследований: Учебник. М.: Изд-во РГАУ–МСХА, 2015. 309 с.
16. *Коновалов Ю.Б., Хуцапария Т.И., Зайцева Н.В.* Технологические особенности селекционного процесса яровой пшеницы в МСХА // Докл. МСХА. 2001. Вып. 276. Ч. 2. С. 226–231.
17. *Кидин В.В., Дерюгин И.П., Кобзаренко В.И.* Практикум по агрохимии / Под ред. Кидина В.В. М.: КолосС, 2008. 599 с.
18. *Альтергот В.Ф., Мордкович С.С., Игнатъев Л.А.* Принципы оценки засухо- и жароустойчивости растений // Методы оценки устойчивости к неблагоприятным условиям среды. Л.: Колос, 1976. С. 16–17.
19. *Кумаков В.А.* Соотношение продуктивности и засухоустойчивости генотипов пшеницы // Тез. докл. IV съезда Всерос. общ-ва физиологов растений. М.: ИФР, 1999. С. 400.
20. *Кирнос С.В., Чернова Е.Н.* Влияние молибдена на азотный обмен яровой пшеницы при повышенном азотном питании // Физиологические основы действия удобрений на урожай зерна и его качество // Тр. ВИУА. М., 1990. С. 28–31.
21. *Григорюк И.А., Петренко Н.И., Шведова О.Е., Ярошенко Е.А.* Водный и азотный обмены зерновых культур в условиях разной водообеспеченности // Физиол. и биохим. культ. раст. 2000. Вып. 35. № 5. С. 401–409.
22. *Adjetei J.A., Searle P.G.E., Campbell L.C.* Rate and timing of nitrogen fertilizer applications on wheat grown under dry land and supplementary irrigation // S. Afric. J. Plant Soil. 2001. V. 18. № 1. P. 15–20.
23. *Серегина И.И., Ниловская Н.Т.* Роль селена в формировании продуктивности в условиях окислительного стресса. Монография. М.: ВНИИ им. Д.Н. Прянишникова, 2015. 152 с.
24. *Серегина И.И., Ниловская Н.Т.* Фотосинтетическая активность и донорно-акцепторные отношения растений яровой пшеницы при применении молибденовокислого аммония в условиях засухи // Агрохимия. 2020. № 7. С. 26–35.

Regulation of Yield of Spring Wheat (*Triticum aestivum* L.) when Growing in Conditions of Moisture Deficiency in the Soil by Using Molybdenum, Depending on the Level of Nitrogen Nutrition

I. I. Seregina^{a, #} and N. T. Nilovskaya^b

^a Russian State Agrarian University—Moscow Timiryazev Agricultural Academy
ul. Timiryazevskaya 49, Moscow 127550, Russia

^b D.N. Pryanishnikov Research Institute of Agricultural Chemistry
ul. Pryanishnikova 31, Moscow 127550, Russia

[#]E-mail: seregina.i@inbox.ru

In model experiments in soil culture, a method was studied for regulating the yield of spring wheat under conditions of optimal water supply and drought by using molybdenum with varying nitrogen nutrition. It was found that the use of pre-sowing treatment of seeds with molybdenum helped to improve the conditions for the formation of the reproductive sphere of plants, which determined an increase in wheat yield under conditions of optimal water supply. Under the conditions of a short-term soil drought, molybdenum stabilized the processes of grain formation, which led to an increase in the share of flowers in grains and an increase in the grain content of the colossus. It was found that the use of molybdenum for growing plants under conditions of short-term soil drought promoted the activation of the processes of nitrogen supply to plants, as well as more efficient redistribution of nitrogen between organs and accumulation mainly in the agronomically valuable part of the wheat crop. This contributed to the improvement of nitrogen supply to plants during periods before the onset of drought, the preservation of the viability of wheat plants during exposure to moisture deficiency in the soil, and then activated the outflow of assimilates from the vegetative part to the reproductive organs. This contributed to an increase in the resistance of wheat plants to water stress during the critical period of their growth and led to an increase in the yield of spring wheat.

Key word: treatment of seeds with molybdenum before sowing, spring wheat, drought during the critical period of plant growth.