

ВЛИЯНИЕ РАСТВОРОВ БОРНОЙ КИСЛОТЫ В ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЯХ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕЛЕННОЙ МАССЫ КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО

Н.А. Кодочилова¹, В.В. Семенов², Б.И. Петров²

¹ Нижегородский НИИСХ – филиал ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, Нижегородская обл., Кстовский р-н, с.п. Селекционной станции, Россия

² Институт металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева РАН, г. Нижний Новгород, Россия

Выполнено сравнительное изучение эффективности действия различных форм бора (водный раствор/хелатная форма) на урожайность и качественные показатели зеленой массы клевера лугового сорта «Мартум». Хелатные формы представляли собой растворы борной кислоты в органических жидкостях: моноэтанолаmine, диэтанолаmine, триэтанолаmine, глицерине, этиленгликоле. Установлено, что растения, удобренные растворами борной кислоты в органических растворителях, были более мощными и нарастание биомассы шло более интенсивно. Использование водного раствора борной кислоты (традиционная форма борных микроудобрений) повышало рост растений лишь на 6,2% по сравнению с вариантом без внесения удобрений. Применение органических растворителей привело к более значимому увеличению высоты клевера лугового: прибавки к контролю варьировали от 5,5 до 19,6 см. Наиболее высокие растения наблюдались на варианте с применением борной кислоты, растворенной в этиленгликоле, что превысило значение контроля в 1,3 раза. Некорневая подкормка борными микроудобрениями позволила увеличить зеленую массу опытной культуры на 7,4–78,5 % относительно контроля. Использование в качестве растворителей триэтаноламина, глицерина и этиленгликоля способствовало максимальному достоверному росту вегетативной массы клевера, которая была соответственно на 8,1; 7,7 и 9,5 т/га выше, чем на неудобренном варианте. Сбор сухого вещества в опытных вариантах увеличился на 0,1–1,1 т/га. Наибольшее значение данного показателя было отмечено при некорневой обработке клевера раствором борной кислоты на основе этиленгликоля, что превысило значение контрольного варианта на 73,3 и на 62,5 % варианта с водным раствором борной кислоты. Кроме учета общего содержания органических или минеральных соединений в фитомассе клевера, было определено содержание основных элементов питания – азота, фосфора и калия. Наибольшая концентрация азота наблюдается при внесении смеси борной кислоты и глицерина, что на 24,2 % превышает значение контрольного варианта и на 33,1 % варианта с водным раствором борной кислоты. Содержание фосфора в зеленой массе клевера в варианте с использованием раствора борной кислоты в глицерине было максимальным и превысило контроль на 15,4 %. Растворение борной кислоты в воде и этиленгликоле, напротив, достоверно снизило концентрацию этого элемента на 11,5 % относительно контрольного варианта. Содержание калия в зеленой массе клевера на контрольном варианте составляло 1,95 %, в то время как использование растворов борной кислоты в органических растворителях для некорневой подкормки привело к увеличению показателя в среднем в 1,04 раза. При этом максимальная прибавка по рассматриваемому показателю в варианте, где применялся раствор на основе диэтаноламина, – 7,7 % к соответствующему значению неудобренного варианта и 8,2 % – к варианту с использованием водного раствора борной кислоты. Применение борной кислоты способствовало незначительному снижению содержания нитратов, причем наибольшим эффектом в данном случае характеризовались варианты с использованием ди- и триэтаноламина.

Ключевые слова: борная кислота, моноэтаноламин, диэтаноламин, триэтаноламин, глицерин, этиленгликоль, клевер луговой, урожайность, питательная ценность, энергия прорастания, морфометрические параметры

Введение

В системе мероприятий, обеспечивающих получение стабильно высоких урожаев сельскохозяйственных культур и воспроизводство почвенного плодородия, первостепенное значение имеет научно обоснованное применение средств химизации. Многочисленные исследования, проведенные в различных почвенно-климатических зонах нашей страны, подтверждают, что продуктивность агробиогеоценоза на 50 % формируется за счет удобрений [1–8]. Особенно актуально их использование в Нечерноземной зоне, почвы которой в своем большинстве имеют отрицательный баланс элементов питания [9–11].

Вместе с тем следует заметить, что применение традиционных минеральных удобрений в настоящее время не всегда оправдано с экономических и экологических позиций. Выход из сложившейся ситуации предполагает поиск материалов, позволяющих повысить эффективность традиционных агрохимикатов или в определенных условиях выступить в качестве альтернативы таковым. По мнению ряда исследований, этим требованиям соответствуют хелатные микроудобрения, содержащие биологически значимые для растений микроэлементы в доступной форме [12–14].

Хелаты обладают рядом свойств, способствующих их широкому распространению: они растворимы в воде, но высвобождение элементов из них происходит постепенно, что повышает длительность и эффективность их действия. В соответствии с физическим состоянием, их можно добавлять в основное внесение (в почву) и в подкормку (прикорневую и некорневую) [15]. Кроме того, микроудобрения в хелатной форме практически не токсичны, обладают высокой устойчивостью в широком диапазоне кислотности, хорошо адсорбируются на поверхности листьев и в почве, длительное время не разрушаются микроорганизмами, хорошо сочетаются с различными пестицидами [16].

Одним из элементов, необходимых для нормального роста и развития сельскохозяйственных культур, является бор. Многочисленные исследования и практика сельскохозяйственного производства доказывают, что при недостатке бора снижаются ростовые характеристики культурных растений [17], их урожайность и качество производимой продукции [18].

Решить вопрос повышения продуктивности сельскохозяйственных культур могут борные удобрения, основной ассортимент которых на российском рынке производится с использованием борной кислоты и буры (тетраборат натрия). Изучению влияния борной кислоты на процессы жизнедеятельности растений посвящено достаточно много исследований [19–21]. Несмотря на высокую агрономическую эффективность таких удобрений, применение их сопряжено с рядом трудностей, связанных, главным образом, с низкой растворимостью соединений бора в воде.

Альтернативной существующим борсодержащим микроудобрениям могут служить жидкие быстрорастворимые формы соединений бора, с существенно большей концентрацией по сравнению с водным раствором борной кислоты. Соединения, получающиеся при растворении борной кислоты в функциональных органических жидкостях, имеют хелатное строение.

Исследованиями, проведенными нами ранее [22–24], установлена возможность использования в агрономических целях крепких растворов борной кислоты в органических жидкостях – моноэтанолаmine $\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$, диэтанолаmine $\text{HN}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_2$, триэтанолаmine $\text{N}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3$, глицерине $\text{HOCH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{OH}$, этиленгликоле $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ и морфолине $\text{O}(\text{CH}_2\text{CH}_2)_2\text{CH}_2$. Такие соединения представляют собой ценные микроудобрения, эффективность действия которых превышает действие водного раствора борной кислоты. Однако, включение их в современные агротехнологии возделывания сельскохозяйственных культур должно предваряться комплексными исследованиями, направленными, в первую очередь, на выявление потенциального положительного или токсического эффекта под каждую конкретную культуру с учетом почвенно-климатических региональных особенностей.

Экспериментальная часть

Объектами исследования явились растворы борной кислоты в органических жидкостях: раствор борной кислоты в моноэтанолаmine (МЭА) с содержанием H_3BO_3 25,6 % (4,98 моль/л); раствор борной кислоты в диэтанолаmine (ДЭА) с содержанием H_3BO_3 19,9 % (3,61 моль/л); раствор борной кислоты в триэтанолаmine (ТЭА) с содержанием H_3BO_3 22,9 % (4,46 моль/л); раствор борной кислоты в глицерине с содержанием H_3BO_3 20,4 % (4,21 моль/л); раствор борной кислоты

Неорганическая химия

в этиленгликоле с содержанием H_3BO_3 19,5 % (3,55 моль/л), а также раствор борной кислоты в воде (H_3BO_3), традиционно применяемый в сельскохозяйственном производстве в качестве источника данного микроэлемента.

Полевой опыт. Сравнительное изучение эффективности действия различных форм бора (водный раствор/хелатная форма) на урожайность и качественные показатели зеленой массы клевера лугового сорта «Мартум» проведены в полевом опыте на базе Нижегородского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Повторность опыта четырехкратная, общая площадь делянки – 60 м², учетная – 26,5 м². Расположение вариантов в опыте – систематическое.

Опыт заложен на светло-серой лесной легкосуглинистой почве, которая характеризовалась близкой к нейтральной реакцией среды ($\text{pH}_{\text{ккл}} - 5,6$), повышенным содержанием подвижных форм фосфора (138 мг/кг) и калия (122 мг/кг) и низким содержанием гумуса (1,45 %). Сумма поглощенных оснований составила 15,6 мг-экв/100 г почвы, степень насыщенности основаниями 75,2 %.

Доза борсодержащих препаратов, используемых в опыте, взята исходя из рекомендаций, принятых в агрохимической практике из расчёта на гектарную норму семян, которая для некорневой подкормки бобовых трав составляет 50 г действующего вещества/га. Минеральные удобрения вносились в почву общим фоном в дозе 200 кг/га весной в виде диаммофоски. Посев проведен 8 мая. Норма высева семян культуры составила 18 кг/га. Посев проводился семенами с высокими качественными характеристиками. Некорневая подкормка посевов растворами борной кислоты проведена 7 июля – в фазу бутонизации. В течение всей вегетации культуры проводились ручные прополки посевов, отмечались сроки наступления фенологических фаз. В первой декаде августа были отобраны пробы клевера для определения отдельных структурных элементов урожая и учета зеленой массы.

Лабораторный опыт по изучению влияния различных концентраций растворов борной кислоты на посевные качества семян и морфометрические показатели проростков клевера лугового был заложен по схеме, представленной в табл. 1.

Таблица 1

Схема лабораторных исследований влияния борсодержащих препаратов на посевные качества семян клевера лугового

Краткое обозначение варианта	Концентрация бора, %	Содержание варианта
Контроль (H_2O)	–	Растения проращивались при использовании дистиллированной воды
H_3BO_3 (водный раствор)	0,0100	Растворы соответствующих концентраций указанных веществ получали путем разбавления раствора с максимальной концентрацией. Затем в 5 мл раствора были замочены семена клевера (по 50 шт.) в течение 4 часов. Дальнейшее проращивание и подбор условий проводилось по ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести»
H_3BO_3 (органический растворитель)	0,0050	
	0,0010	
	0,0005	
	0,0001	

Хелатные соединения бора были использованы те же, что и для полевого опыта. Для приготовления 0,0100 % раствора использовали: 0,054–0,130 мл раствора H_3BO_3 в органическом растворителе + 99,95–99,87 мл H_2O (в зависимости от содержания действующего вещества). Затем проводилось дополнительное разведение растворов для получения желаемых концентраций. Повторность опыта четырехкратная.

Уход за опытом проводился путем ежедневного проветривания и полива семян определенным объемом дистиллированной воды в зависимости от потребности изучаемой культуры и степени её развития. Далее было проведено определение энергии прорастания (3 день экспозиции) и морфометрических показателей проростков (7 день экспозиции).

Аналитические работы проводились в аналитической лаборатории Нижегородского НИИСХ. В почвенных образцах были определены следующие показатели: обменная кислотность – потенциметрически (ГОСТ 26483-85), сумма поглощенных оснований по Каппену – Гильковицу (ГОСТ 27821-88) и степень насыщенности почвы основаниями – расчетным мето-

дом; содержание гумуса по методу Тюрина в модификации Никитина (ГОСТ 26213-91); содержание подвижных соединений фосфора и калия по Кирсанову в модификации ЦИНАО с последующим определением фосфора колориметрически на КФК-2, калия – на пламенном фотометре FLAPHO-4 (ГОСТ 26207-91).

При анализе растений использовали следующие методы: содержания азота, фосфора и калия определяли из одной навески после мокрого озоления (H_2O_2 и смесью H_2SO_4 с селеном) при последующем определении азота с помощью трилона Б, фосфора – по методу Мерфи – Райли колориметрически на КФК-2, а калия – на пламенном фотометре FLAPHO-4. Сухое вещество в растениях клевера определяли в соответствии с ГОСТ 31640-2012; сырую золу – ГОСТ 13496.14-87; жир – ГОСТ 13496.15-85; клетчатку – ГОСТ 13496.2-84; протеин – расчётным методом в соответствии с ГОСТ РИСО 16634-1-2011; нитраты – ионометрическим экспресс-методом, расчет обменной энергии и кормовых единиц – по ГОСТ 27978-88. Корма зеленые.

Математическую обработку результатов исследований проводили методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову с использованием компьютерной программы Microsoft Office Excel.

Результаты исследований

Полевой опыт

Оценку влияния изучаемых борсодержащих препаратов, оказывающих как непосредственное (улучшение условий питания растений), так и опосредованное (повышение устойчивости растений к неблагоприятным факторам окружающей среды) влияние на агрофитоценоз, следует начать с анализа урожайности и элементов структуры урожая кормовой опытной культуры (табл. 2).

Таблица 2

**Урожайность зеленой и сухой массы клевера лугового
в зависимости от экспериментальных растворов борной кислоты**

Варианты	Высота растений, см	Зеленая масса, т/га	Отклонение от контроля		Сухая масса, т/га	Отклонение от контроля	
			т/га	%		т/га	%
1. Контроль (фон)	61,2	12,1	–	–	1,5	–	–
2. Фон + H_3BO_3 (водный раствор)	65,0	13,0	0,9	7,4	1,6	0,1	6,7
3. Фон + H_3BO_3 (МЭА)	66,7	14,4	3,4	19,0	1,8	0,3	16,6
4. Фон + H_3BO_3 (ДЭА)	69,4	16,7	4,6	38,0	2,0	0,5	33,3
5. Фон + H_3BO_3 (ТЭА)	79,6	20,2	8,1	66,9	2,3	0,8	53,3
6. Фон + H_3BO_3 (глицерин)	75,5	19,8	7,7	63,6	2,3	0,8	53,3
7. Фон + H_3BO_3 (этиленгликоль)	80,8	21,6	9,5	78,5	2,6	1,1	73,3
НСР ₀₅			1,1			0,1	

Важным морфологическим признаком, который в определённой степени влияет на урожайность зелёной массы клевера лугового, является высота растений. Результаты проведенных нами исследований показали, что в целом растения удобренных вариантов были более мощными и нарастание биомассы шло более интенсивно. При этом использование водного раствора борной кислоты (традиционная форма борных микроудобрений) повышало рост растений лишь на 6,2 % по сравнению с вариантом без внесения удобрений. Применение органических растворителей борной кислоты привело к более значимому увеличению высоты клевера лугового: прибавки к контролю варьировали от 5,5 до 19,6 см. Наиболее высокие растения наблюдались в варианте с применением борной кислоты, растворенной в этиленгликоле, что превысило значение контроля в 1,3 раза.

Некорневая подкормка борными микроудобрениями позволила увеличить зеленую массу опытной культуры на 7,4–78,5 % относительно контроля. Очевидно, это явилось следствием рострегулирующей активности изучаемых растворов, обеспеченной способностью бора активизировать в растениях синтез разнообразных метаболитов, способствуя более активному развитию корней и побегов, а также повышению устойчивости растений к неблагоприятным погодным условиям. Последнее особенно важно, поскольку в год проведения опыта отмечались продолжительные засушливые периоды с высокой температурой и низкой влажностью воздуха.

Неорганическая химия

Следует отметить, что использование в качестве растворителей триэтаноламина, глицерина и этиленгликоля способствовало максимальному достоверному росту вегетативной массы клевера, которая была соответственно на 8,1, 7,7 и 9,5 т/га выше, чем на удобренном варианте. Применение моно- и диэтаноламина также было доказательно эффективным, причем как по отношению к контролю, так и в сравнении с водным раствором борной кислоты, традиционно применяемым в сельском хозяйстве в качестве борного микроудобрения. В то же время эффективность некорневой обработки растений самим водным раствором борной кислоты, несмотря на положительную динамику, достоверно не проявилась.

Сбор сухого вещества в опытных вариантах увеличился на 0,1–1,1 т/га. Наибольшее значение данного показателя было отмечено при некорневой обработке клевера раствором борной кислоты на основе этиленгликоля, что превысило значение контрольного варианта на 73,3 % и варианта с водным раствором борной кислоты на 62,5 %.

Продукция клевера – основа обеспечения животноводства кормами. Поэтому оптимизация питания данной культуры макро- и микроэлементами не только повышает ее продуктивность, но и способствует улучшению качественных показателей растительной продукции, что позволяет обеспечить животноводство сбалансированными по минеральному составу кормами.

В табл. 3 приведены данные по содержанию органических и минеральных соединений в фитомассе клевера при использовании для его удобрения борсодержащих препаратов.

Таблица 3

Содержание сухого вещества и сырой золы в зеленой массе клевера в зависимости от экспериментальных растворов борной кислоты

Варианты	Сухое вещество		Сырая зола	
	%	± к фону*	%	± к фону*
1. Контроль (фон)	20,1	–	9,8	–
2. Фон + H ₃ BO ₃ (водный раствор)	20,0	–0,1 / –0,5	10,6	0,8 / 8,2
3. Фон + H ₃ BO ₃ (МЭА)	20,6	0,5 / 2,5	10,0	0,2 / 2,0
4. Фон + H ₃ BO ₃ (ДЭА)	20,6	0,5 / 2,5	10,3	0,5 / 5,1
5. Фон + H ₃ BO ₃ (ТЭА)	22,4	2,3 / 11,4	10,1	0,3 / 3,1
6. Фон + H ₃ BO ₃ (глицерин)	21,9	1,8 / 8,9	10,7	0,9 / 9,2
7. Фон + H ₃ BO ₃ (этиленгликоль)	21,8	1,7 / 8,5	10,3	0,5 / 5,1
Норматив**	не < 20		не > 11	

* В числителе – разница в абсолютных единицах, в знаменателе – относительная разница.

** Методические указания по оценке качества и питательности кормов, 2002.

Полученные результаты свидетельствуют, что содержание сухого вещества в зеленой массе клевера на удобренных вариантах чаще всего было больше, чем на контроле. Учитывая нормативные требования к содержанию сухого вещества в зелёных кормах, которое не должно быть менее 20 %, можно отметить, что на вариантах с использованием растворов борной кислоты по данному показателю получен корм высокого качества. В среднем за годы наблюдений изменения в содержании сухого вещества незначительны.

Содержание сырой золы в фитомассе клевера при использовании борсодержащих препаратов в сравнении с контролем стабильно увеличивается и в целом соответствует нормативным требованиям к оценке качества и питательности зеленых кормов. Максимальная прибавка по рассматриваемому показателю составила 0,9 % и была отмечена на варианте с применением борной кислоты, растворенной в глицерине.

Кроме учета общего содержания органических или минеральных соединений в фитомассе клевера, также было определено содержание основных элементов питания – азота как основного показателя присутствия в продукции органических веществ, а также фосфора и калия, имеющих определяющее влияние на синтез большинства веществ, характеризующих химический состав растительной продукции. Результаты приведены в табл. 4.

Наибольшая концентрация азота наблюдается при внесении смеси борной кислоты и глицерина, что на 24,2 % превышает значение контрольного варианта и на 33,1 % – варианта с водным раствором борной кислоты. Следует отметить, что изучаемые препараты не относятся к категории азотфиксирующих, соответственно увеличение содержания азота в растениях в основном

обусловлено их косвенным влиянием (возрастание объема и всасывающей поверхности корневой системы, оптимизация состояния растения в целом).

Таблица 4

Содержание элементов питания в зеленой массе клевера в зависимости от экспериментальных растворов борной кислоты, % на сухое вещество

Варианты	N			P ₂ O ₅			K ₂ O		
	сред- нее	± к фону		сред- нее	± к фону		сред- нее	± к фону	
		%	%%*		%	%%*		%	%%*
1. Контроль (фон)	2,56	–	–	0,26	–	–	1,95	–	–
2. Фон + H ₃ BO ₃ (водный раствор)	2,39	–0,17	–6,6	0,23	–0,03	–11,5	1,94	–0,01	–0,5
3. Фон + H ₃ BO ₃ (МЭА)	2,85	0,29	11,3	0,26	0,00	0,0	1,92	–0,03	–1,5
4. Фон + H ₃ BO ₃ (ДЭА)	3,03	0,47	18,4	0,26	0,00	0,0	2,10	0,15	7,7
5. Фон + H ₃ BO ₃ (ТЭА)	3,10	0,54	21,1	0,28	0,02	7,7	2,07	0,12	6,2
6. Фон + H ₃ BO ₃ (глицерин)	3,18	0,62	24,2	0,30	0,04	15,4	2,02	0,07	3,6
7. Фон + H ₃ BO ₃ (этиленгликоль)	2,98	0,32	12,5	0,23	–0,03	–11,5	1,99	0,04	2,1
НСР ₀₅	0,12			0,02			0,07		

* Процент по отношению к контролю.

Содержание фосфора в зеленой массе клевера в варианте с использованием раствора борной кислоты в глицерине было максимальным и превысило контроль на 15,4 %. Растворение борной кислоты в воде и этиленгликоле, напротив, достоверно снизило концентрацию этого элемента на 11,5 % относительно контрольного варианта.

Содержание калия в зеленой массе клевера на контрольном варианте составляло 1,95 %, в то время как использование растворов борной кислоты в органических растворителях для некорневой подкормки привело к увеличению показателя в среднем в 1,04 раза. При этом максимальная прибавка по рассматриваемому показателю в варианте, где применялся раствор на основе диэтанолamina, – 7,7 % к соответствующему значению неудобренного варианта и 8,2 % – к варианту с использованием водного раствора борной кислоты.

Важнейшими показателями, определяющими качество кормов, является содержание сырого протеина, клетчатки, минеральных веществ, а также питательность корма (количество кормовых единиц (ЭКЕ) и обменной энергии (ОЭ) [25]. Показатели, характеризующие кормовую ценность зеленой массы клевера, представлены в табл. 5.

Таблица 5

Питательная ценность надземной фитомассы клевера в зависимости от экспериментальных растворов борной кислоты, сухое вещество

Варианты	Сырая клетчатка, %	Сырой протеин, %	Сырой жир, %	ОЭ, Мж/кг	ЭКЕ, кг/кг	Нитраты, мг/кг сырой массы
1. Контроль (фон)	21,74	16,00	3,73	11,09	1,00	166
2. Фон + H ₃ BO ₃ (водный раствор)	22,08	14,94	4,14	11,03	0,98	160
3. Фон + H ₃ BO ₃ (МЭА)	23,39	17,81	3,99	10,79	0,94	166
4. Фон + H ₃ BO ₃ (ДЭА)	23,25	18,94	4,48	10,82	0,95	152
5. Фон + H ₃ BO ₃ (ТЭА)	22,50	19,38	4,79	10,95	0,97	152
6. Фон + H ₃ BO ₃ (глицерин)	24,17	19,88	4,82	10,65	0,92	160
7. Фон + H ₃ BO ₃ (этиленгликоль)	23,65	18,63	4,82	10,74	0,93	166
Норматив	≤ 27*	≥ 17*		≥ 10**	≥ 0,85**	500**

* ГОСТ Р 56912-2016. Корма зеленые. Технические условия.

** Методические указания по оценке качества и питательности кормов, 2002.

Использование растворов борной кислоты оказывает незначительное влияние на содержание клетчатки в зеленой массе клевера, изменяя его в пределах не выше 3 % от содержания клетчатки в фитомассе клевера, выращенной на контрольном варианте. При этом во всех вариантах получен зеленый корм, удовлетворяющий разработанному стандарту (не более 27,0 %).

Сырой протеин представляет собой сумму всех азотистых соединений корма. Его содержание рассчитывают путем умножения количества азота в корме на коэффициент 6,25. В опыте оно варьирует в пределах от 16,00 % на контроле до 19,88 % при использовании для некорневой подкормки смеси борной кислоты и глицерина (в расчете на сухое вещество). Следует отметить, что количество протеина в полученной продукции на всех вариантах опыта с использованием органических растворителей достигает нормативного значения.

Обменная энергия и кормовые единицы во всех случаях характеризуют питательную ценность зеленой массы клевера как удовлетворительную. При этом вариабельность показателей по вариантам опыта незначительная, что свидетельствует об отсутствии значимого влияния изучаемого фактора (хелаты бора) на данные параметры.

Важнейшим показателем качества и безопасности корма является содержание нитратов. При высокой аккумуляции данного соединения в растительной массе происходит ухудшение состояния здоровья животных (вплоть до гибели при остром отравлении), снижение их продуктивности и качества продукции. Так, например, доказано, что повышенное содержание нитратов в рационе дойных коров снижает качество молока и приготовленных из него молочных продуктов за счет повышения относительной доли небелкового азота; растет содержание азота в крови животных и частота заболеваний коров родильным парезом [26, 27].

Применение борной кислоты способствовало незначительному снижению содержания нитратов, причем наибольшим эффектом в данном случае характеризовались варианты с использованием ди- и триэтанолamina. На фоне увеличения содержания общего азота здесь происходило уменьшение доли его нитратной формы, что свидетельствует об оптимизации биохимических процессов в растениях. Необходимо подчеркнуть, что значение показателя во всех случаях было существенно ниже норматива (500 мг/кг).

Таким образом, проведенные исследования позволяют констатировать, что среди всех изучаемых борсодержащих препаратов наиболее эффективно действовали растворы борной кислоты в глицерине и этиленгликоле, увеличивая урожайность опытной культуры, содержание элементов питания в растительной массе, а также способствуя повышению питательности полученного корма.

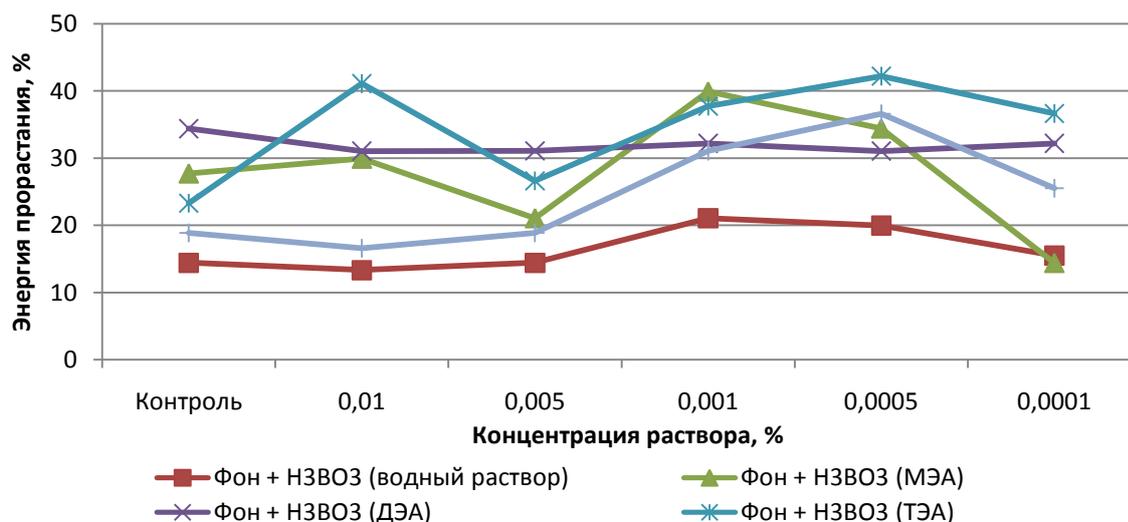
Лабораторный опыт

В рамках лабораторных исследований нами было изучено влияние различных концентраций исследуемых растворов борной кислоты на прорастание семян клевера лугового сорта «Мартум». Действие растворов борной кислоты в органических жидкостях сопоставлялось с влиянием, оказываемым на растения традиционной формой – водным раствором борной кислоты, используемой в практике сельскохозяйственного производства как источник данного микроэлемента. Также при постановке эксперимента был предусмотрен контрольный вариант с использованием дистиллированной воды. В ходе проведения лабораторных экспериментов были определены энергия прорастания семян опытной культуры, а также морфометрические показатели проростков.

Проведенные лабораторные исследования показали колебательный характер величины энергии прорастания семян клевера лугового в зависимости от концентраций изучаемых растворов (см. рисунок).

В целом, действенными концентрациями растворов борной кислоты при определении энергии прорастания в широком диапазоне концентраций стали 0,0100 % (первая волна активности) и 0,0010–0,0005 % (вторая волна активности).

Самые низкие значения энергии прорастания у проростков клевера наблюдались при их замачивании в водном растворе борной кислоты в самой высокой в опыте концентрации – 0,0100 %. При дальнейшем разбавлении раствора рассматриваемый показатель увеличился, достигнув максимального значения в варианте с использованием раствора в концентрации 0,0010 %. Данный факт говорит о снятии токсического эффекта со стороны изучаемого вещества и о возможном стимулирующем эффекте присутствия в среде бора.



Энергия прорастания семян клевера лугового в зависимости от концентрации экспериментальных растворов борной кислоты, %

При использовании органических растворителей на фоне применения высоких концентраций микроэлемента явного токсического воздействия на проростки не наблюдалось: энергия прорастания семян клевера при замачивании в растворах с концентрацией 0,0100 % варьировала в диапазоне от 16,6 % (вариант с этиленгликолем) до 41,1 % (вариант с триэтаноломином), что выше значений соответствующих вариантов, где применялся водный раствор. При этом присутствие органических растворителей создавало, по всей видимости, лучшие условия для ювенальных растений: в диапазоне концентраций 0,0010 % и 0,0005 % рассматриваемый показатель достигал максимальных значений.

После окончания времени экспозиции проращивания семян нами были определены морфометрические параметры проростков: длина корня и надземной части растения (табл. 6).

Таблица 6

Морфометрические показатели проростков клевера лугового в зависимости от экспериментальных растворов борной кислоты

Варианты	Концентрация раствора, %	Длина корня, см		Длина надземной части, см	
		lim	M±m*	lim	M±m*
Фон + Н ₃ ВО ₃ (водный раствор)	0,0000	0,70–1,12	0,92 ± 0,11	2,30–3,00	2,58 ± 0,27
	0,0100	0,94–1,32	1,09 ± 0,20	2,90–4,00	3,50 ± 0,43
	0,0050	0,88–1,19	1,06 ± 0,16	2,00–4,20	2,90 ± 0,66
	0,0010	0,40–1,13	0,70 ± 0,28	1,73–3,85	2,47 ± 0,59
	0,0005	0,52–0,75	0,63 ± 0,12	2,70–3,87	3,30 ± 0,48
	0,0001	0,36–0,90	0,59 ± 0,20	1,93–3,43	2,46 ± 0,44
Фон + Н ₃ ВО ₃ (МЭА)	0,0000	0,50–1,03	0,74 ± 0,17	1,90–2,50	2,10 ± 0,25
	0,0100	0,60–0,70	0,65 ± 0,05	2,32–3,10	2,61 ± 0,33
	0,0050	0,50–0,80	0,67 ± 0,13	1,90–2,30	2,13 ± 0,21
	0,0010	0,40–0,84	0,63 ± 0,20	2,20–3,30	2,69 ± 0,46
	0,0005	0,70–1,10	0,97 ± 0,21	2,30–3,30	2,97 ± 0,48
	0,0001	0,60–0,80	0,73 ± 0,12	1,70–2,80	2,40 ± 0,51
Фон + Н ₃ ВО ₃ (ДЭА)	0,0000	0,50–0,72	0,61 ± 0,10	2,25–3,00	2,52 ± 0,32
	0,0100	0,70–1,20	0,98 ± 0,18	2,23–4,00	3,14 ± 0,69
	0,0050	0,50–1,05	0,75 ± 0,20	2,40–3,10	2,80 ± 0,28
	0,0010	0,65–0,95	0,80 ± 0,12	2,20–3,10	2,53 ± 0,39
	0,0005	0,80–1,40	1,02 ± 0,26	2,10–3,10	2,67 ± 0,41
	0,0001	0,50–0,60	0,53 ± 0,06	1,50–2,80	2,03 ± 0,58
Фон + Н ₃ ВО ₃ (ТЭА)	0,0000	0,33–0,65	0,48 ± 0,11	1,71–2,43	1,99 ± 0,29
	0,0100	1,06–1,29	1,20 ± 0,08	2,86–3,91	3,44 ± 0,43
	0,0050	2,20–2,43	2,28 ± 0,10	1,80–2,82	2,17 ± 0,47
	0,0010	1,01–1,50	1,19 ± 0,17	2,60–3,25	3,02 ± 0,26
	0,0005	2,10–2,95	2,58 ± 0,34	3,00–3,31	3,12 ± 0,09
	0,0001	0,92–1,39	1,14 ± 0,16	2,86–3,38	3,16 ± 0,17

Варианты	Концентрация раствора, %	Длина корня, см		Длина надземной части, см	
		lim	M±m*	lim	M±m*
Фон + H ₃ BO ₃ (глицерин)	0,0000	0,43–0,65	0,52 ± 0,10	1,43–1,85	1,66 ± 0,15
	0,0100	0,60–1,00	0,75 ± 0,16	2,25–3,40	2,78 ± 0,38
	0,0050	0,64–1,18	0,86 ± 0,18	1,48–2,25	1,74 ± 0,34
	0,0010	0,77–1,20	0,93 ± 0,19	2,05–3,80	3,05 ± 0,70
	0,0005	1,20–1,39	1,32 ± 0,10	2,06–3,24	2,77 ± 0,52
	0,0001	0,86–1,83	1,23 ± 0,42	2,98–3,50	3,29 ± 0,18
Фон + H ₃ BO ₃ (этиленгликоль)	0,0000	0,50–1,20	0,92 ± 0,27	2,30–3,10	2,62 ± 0,33
	0,0100	0,70–0,85	0,78 ± 0,08	2,25–3,70	3,05 ± 0,59
	0,0050	0,70–1,30	0,92 ± 0,23	2,22–3,43	2,95 ± 0,48
	0,0010	0,70–1,10	0,90 ± 0,19	2,20–3,35	2,72 ± 0,46
	0,0005	0,70–0,95	0,82 ± 0,10	2,95–3,70	3,25 ± 0,30
	0,0001	0,45–0,70	0,55 ± 0,10	1,95–2,92	2,47 ± 0,37

*M ± m – среднее арифметическое плюс/минус стандартное отклонение.

Анализ длины корня опытной культуры на варианте с использованием водного раствора борной кислоты показал, что наибольшее значение показателя зафиксировано в интервале концентраций от 0,0100 до 0,0050 %, что выше контрольного значения на 0,17 и 0,14 см соответственно. Растворы с минимальными дозами микроэлемента (0,0010–0,0001 %) уступали выше обозначенным вариантам в 1,6–1,8 раза.

Присутствие органических растворителей в целом оказало положительное влияние на развитие корневой системы проростков клевера. Диапазон концентраций 0,0100–0,0005 % растворов борной кислоты с различными промоторами растворимости, за исключением этиленгликоля, обеспечил прирост длины подземной части растений по сравнению с контрольным вариантом, где растения замачивались в дистиллированной воде. При этом наибольшая длина корня была характерна для вариантов, где проращивали семена, предварительно замоченные в растворе борной кислоты с триэтаноламином в концентрациях 0,0050 и 0,0005 %, что превысило контрольное значение в 4,6 и 5,2 раза.

При полном отсутствии питательных элементов на контрольном варианте активного развития надземной части клевера не наблюдалось: значения среднего арифметического по рассматриваемому показателю практически во всех случаях были минимальными, а действие было сходно с развитием корневой системы растения.

Использование опытных растворов с максимальной концентрацией (0,0100 %) оказало положительный эффект на длину проростков опытной культуры: на всех вариантах зафиксировано увеличение данного морфометрического параметра, причем наибольшее расхождение значений относительно контроля наблюдалось на вариантах с обработкой семян растворами борной кислоты с триэтаноламином и глицерином.

По мере снижения концентрации изучаемых растворов до 0,0050 % во всех опытных вариантах длина ростка постепенно несколько уменьшается, по сравнению с концентрацией 0,0100 %. Следует отметить, что среди всех органических растворителей наименее эффективными при данной концентрации оказались моноэтаноламин и глицерин, где значения длины надземной части растений не отличались от контрольных.

Высокая биологическая активность изучаемых растворов вновь проявилась в интервале концентраций 0,0010–0,0005 %, при этом наиболее выраженный эффект стимуляции у проростков отмечался при использовании триэтаноламина и глицерина. Однако дальнейшее снижение концентрации растворов до 0,0001 % не демонстрировало позитивного влияния на рост проростков.

Таким образом, можно заключить, что максимальная концентрация (0,0100 %) растворов борной кислоты в органических жидкостях не только не оказывают ингибирующего воздействия на биохимические процессы, происходящие при росте и делении клеток на ранних стадиях развития проростков клевера, но напротив, была благоприятна для выше указанных процессов. Кроме того, диапазон концентраций изучаемых растворов 0,0010–0,0005 % также оказал стимулирующий эффект на проращивание семян опытной культуры.

Заключение

Впервые в условиях светло-серых лесных почв Нижегородской области проведено сравнительное изучение эффективности использования растворов борной кислоты в воде (традиционная форма) и органических жидкостях (хелатная форма) в качестве удобрительных средств при возделывании клевера лугового. Установлено, что использование экспериментальных растворов борной кислоты способствовало увеличению урожайности зеленой массы на 19,0–78,5 %, сухого вещества – на 16,6–73,3 % относительно неудобренного варианта при сохранении питательной ценности и безопасности полученного корма.

При изучении действия концентраций растворов борной кислоты в органических жидкостях в диапазоне 0,0100–0,0001 % отмечен колебательный характер величин энергии прорастания и морфометрических показателей проростков опытной культуры. Биологическая активность экспериментальных растворов заметно проявилась при концентрации 0,0100 %, а также в интервале 0,0010–0,0005 %, при этом более выраженный эффект стимуляции отмечен при использовании в качестве растворителей триэтаноламина и глицерина.

Полученные результаты важны для оценки агрономической эффективности опытных образцов удобрений, а также для разработки концепции использования борных микроудобрений в хелатной форме под клевер луговой, выращиваемый как на территории Нижегородской области, так и за ее пределами (в почвенно-климатических условиях, сходных с условиями района проведения исследований).

Исследования выполнены в рамках госзадания (Тема № FFSE-2023-0005 «Органические, элементоорганические и координационные соединения – компоненты материалов для современных наукоемких технологий», рег. № 123031000051-4) с использованием оборудования центра коллективного пользования “Аналитический центр ИМХ РАН” в Институте металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева РАН при поддержке гранта «Обеспечение развития материально-технической инфраструктуры центров коллективного пользования научным оборудованием» (Уникальный идентификатор RF-2296.61321X0017, номер соглашения 075-15-2021-670).

Список источников

1. Фенова О.А. Эффективность органических и минеральных удобрений в севообороте на серых лесных почвах Владимирского ополья: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04. Владимир: ГНУ «Владимирский НИИ сельского хозяйства Россельхозакадемии». М., 2010. 180 с.
2. Толмачев Н.И., Муржимова А.В., Иванов М.Н. // Фундаментальные исследования. 2014. № 78. С. 1626. EDN: SWOHZD
3. Замотаева Н.А., Ахметов Ш.И., Давыдов М.В. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015. № 8 (130). С. 34. EDN: UGVJTI.
4. Гамзиков Г.П. // В сборнике: Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири. М., 2018. С. 258. DOI: 10.25680/7732.2018.71.65.318.
5. Корнев В.Б., Воробьева Л.А. // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32, № 2. С. 55. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10214.
6. Понкратенкова И.В., Гаврилова А.Ю., Мерзлая Г.Е. // Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции. Сборник статей по материалам V Международной научно-практической конференции, посвященной 15-летию кафедры технологии хранения и переработки животноводческой продукции Кубанского ГАУ. 2019. С. 424. EDN: SPZPYZ.
7. Сычев В.Г., Налиухин А.Н., Шевцова Л.К. и др. // Почвоведение. 2020, № 12. С. 1521. DOI: 10.31857/S0032180X20120138.
8. Чеботарев Н.Т., Броварова О.В. // В книге: Мелиоранты и минеральные удобрения как факторы повышения продуктивности агроценозов Европейского Севера. Сыктывкар, 2021, С. 8. EDN: NKFIDN.
9. Налиухин А.Н. // Динамика показателей плодородия почв и комплекс мер по их регулированию при длительном применении систем удобрения в разных почвенно-климатических зонах. Материалы Международной научной конференции. 2018. С. 64. EDN: XZLSVN.

10. *Сычев В.Г.* Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. М.: Изд-во РАН, 2019. 349 с.
11. *Денисов А.А.* // В сборнике: Рациональное использование природных ресурсов: теория, практика и региональные проблемы. Материалы I Всероссийской (национальной) конференции. Омск, 2021. С. 132. EDN: SRHQYI.
12. *Максименко Е.П., Шейджен А.Х., Ковалев В.С.* // Научный журнал КубГАУ. 2014, № 102. С. 1.
13. *Лебедев С.В., Осипова Е.А., Сальникова Е.В.* // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015, № 6. С. 73.
14. *Гейгер, Е.Ю., Варламова Л.Д., Семенов В.В. и др.* // Агрохимический вестник. 2017, № 2. С. 29–32.
15. *Титова В.И.* Агрохимия. Н. Новгород: Нижегородская ГСХА, 2021. 208 с.
16. *Вильдфлуш И.Р., Мишура О.И.* // Вестник БГСХА. 2019, № 2. С. 118.
17. *Натирси М.* // Plant Soil Environ. 2019. Vol. 65, No. 5. P. 238. DOI: 10.17221/679/2018-PSE.
18. *Kot F.S.* // Boron Separation Processes. 2015. P. 1. DOI: 10.1016/B978-0-444-63454-2.00001-0.
19. *Булдыкова И.А., Шейджен А.Х., Бондарева Т.Н.* // Научный журнал КубГАУ. 2015. Т. 107, № 3. С. 1.
20. *Лазарев В.И., Башкатов А.Я., Минченко Ж.Н.* // Земледелие. 2018, № 6. С. 34. DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10609.
21. *Shireen F.* // Intern. J. Molecular Sci. 2018. V. 19, No. 7. 1856. DOI: 10.3390/ijms19071856.
22. *Кодочилова Н.А., Сюбаева А.О., Гейгер Е.Ю. и др.* // Международный сельскохозяйственный журнал. 2020. Т. 373, № 1. С. 72. DOI: 10.24411/2587-6740-2020-11017.
23. *Кодочилова Н.А., Иваненкова А.О., Бузынина Т.С. и др.* // Вестник ЮУрГУ. Серия Химия. 2021. Т. 13, № 2. С. 49. DOI: 10.14529/chem210205.
24. *Кодочилова Н.А., Бузынина Т.С., Семенов В.В., Петров Б.И.* // Агрохимический вестник. 2021, № 6. С. 78. DOI: 10.24412/1029-2551-2021-6-016.
25. *Рыжков В.А.* Эффективность использования комбикормов с сапропелем // Вестник Дальневосточного государственного аграрного университета. 2007, № 4. С. 27. EDN: REZYGX.
26. *Кузина К.И., Мочалова А.Д., Покровская С.Ф.* Влияние минеральных удобрений на качество продукции и окружающую среду. М.: ВНИИТЭИСХ, 1985. 90 с.
27. *Лешков А.П.* Нитраты и качество продукции растениеводства. Новосибирск: Наука, 1991. 168 с.

Кодочилова Наталья Александровна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Нижегородский НИИСХ – филиал ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (Нижегородская обл., Кстовский р-н, с. п. Селекционной станции). E-mail: nnov-niish@mail.ru

Семенов Владимир Викторович, доктор химических наук, ведущий научный сотрудник, Институт металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева Российской академии наук (Нижний Новгород). E-mail: vvsemenov@iomc.ras.ru

Петров Борис Иванович, доктор технических наук, заместитель директора, Институт металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева Российской академии наук (Нижний Новгород). E-mail: bip@iomc.ras.ru

Поступила в редакцию 20 февраля 2023 г.

EFFECT OF BORIC ACID SOLUTIONS IN ORGANIC SOLVENTS ON PRODUCTIVITY AND CHEMICAL COMPOSITION OF MEADOW CLOVER HERBAGE

N.A. Kodochilova¹, *nnov-niish@mail.ru*
V.V. Semenov², *vvsemenov@iomc.ras.ru*
B.I. Petrov², *bip.@iomc.ras.ru*

¹ Nizhny Novgorod Research Agricultural Institute – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitskogo, Nizhny Novgorod region, Kstovo district, s.p. Breeding station, Russian Federation

² G.A. Razuvaev Institute of Organometallic Chemistry of the RAS, Nizhny Novgorod, Russian Federation

A comparative study of the effectiveness of boron in various forms (aqueous solution / chelated form) on the yield and quality indicators of Martum variety meadow clover herbage was carried out. Chelated forms were solutions of boric acid in organic liquids: monoethanolamine, diethanolamine, triethanolamine, glycerol, ethylene glycol. The plants fertilized with solutions of boric acid in organic solvents were bulkier and their biomass grew more intensively. The use of an aqueous solution of boric acid (the traditional form of boron microfertilizers) increased the plant growth by only 6.2 % compared to the variant without fertilization. The use of organic solvents led to more significant increase in the height of red clover: its increase compared to control test varied from 5.5 to 19.6 cm. The tallest plants were observed in the variant with the use of boric acid dissolved in ethylene glycol, which exceeded the control value by 1.3 times. Foliar top dressing with boric micronutrient fertilizers allowed increasing the herbage of the experimental crop by 7.4–78.5 %, in relation to the control test. The use of triethanolamine, glycerol, and ethylene glycol as solvents contributed to the maximum significant growth of the vegetative mass of clover, which was 8.1, 7.7 and 9.5 t/ha higher, respectively, compared to the unfertilized variant. The collection of dry matter in the experimental variants increased by 0.1–1.1 t/ha. The highest value of this indicator was noted during foliar treatment of clover with the solution of boric acid based on ethylene glycol, which exceeded the value of the control test by 73.3 %, as well as the variant with an aqueous solution of boric acid by 62.5 %. In addition to taking into account the total content of organic or mineral compounds in the clover phytomass, the content of the main nutrients – nitrogen, phosphorus, and potassium – was determined. The highest concentration of nitrogen was observed after adding a mixture of boric acid and glycerol, which is 24.2 % higher than the value in the control test, as well as 33.1 % higher than the variant after the aqueous solution of boric acid. The content of phosphorus in the clover herbage was maximal in the variant using a solution of boric acid in glycerol; it exceeded the control test by 15.4 %. The dissolution of boric acid in water and ethylene glycol, on the contrary, significantly reduced the concentration of this element by 11.5 % compared to the control test. The content of potassium in the clover herbage in the control test was 1.95 %, while the use of solutions of boric acid in organic solvents for foliar feeding led to an increase in this indicator by an average of 1.04 times. At the same time, the maximal increase in the indicator under consideration in the variant where a solution based on diethanolamine was used equaled 7.7 % to the corresponding value of the unfertilized variant and 8.2 % to the variant using an aqueous solution of boric acid. The use of boric acid contributed to a slight decrease in the content of nitrates, and the options with the use of di- and triethanolamine were characterized by the greatest effect in this case.

Keywords: boric acid, monoethanolamine, diethanolamine, triethanolamine, glycerol, ethylene glycol, meadow clover, yield, nutritional value, germination energy, morphometric parameters

Received 20 February 2023

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Кодочилова Н.А., Семенов В.В., Петров Б.И. Влияние растворов борной кислоты в органических растворителях на продуктивность и химический состав зеленой массы клевера лугового // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2023. Т. 15, № 3. С. 106–117. DOI: 10.14529/chem230305

FOR CITATION

Kodochilova N.A., Semenov V.V., Petrov B.I. Effect of boric acid solutions in organic solvents on productivity and chemical composition of meadow clover herbage. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chemistry*. 2023;15(3):106–117. (In Russ.). DOI: 10.14529/chem230305