

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТВОРОВ БОРНОЙ КИСЛОТЫ В ОРГАНИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЯХ В КАЧЕСТВЕ БОРСОДЕРЖАЩИХ МИКРОУДОБРЕНИЙ. ВЛИЯНИЕ НА УРОЖАЙНОСТЬ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕРНА ОЗИМОЙ И ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

**Н.А. Кодочилова¹, А.О. Иваненкова¹, Т.С. Бузынина¹,
В.В. Семенов², Б.И. Петров², Н.М. Лазарев²**

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

Подобраны условия растворения борной кислоты в моноэтанолаmine, диэтанолamine, триэтанолamine, глицерине, этиленгликоле и морфолине, позволяющие получать маловязкие растворы с концентрацией, многократно превышающей максимально достижимую концентрацию в воде, и не выделяющие осадков при хранении. Полученные растворы использованы в качестве микроудобрений для внекорневой подкормки и обработки семян озимой (сорт Московская 56) и яровой (сорт Злата) пшеницы. Использование микроэлемента бора способствует сохранению большего количества живых растений озимой пшеницы в период перезимовки, а, следовательно, и лучшей зимостойкости культуры. Максимальное значение урожайности озимой пшеницы получено при обработке семян боратом моноэтаноламина. Самыми высокими значениями показателей структуры урожая отличалось зерно озимой пшеницы на фоне обработки семян хелатной формой бора: по количеству и массе зерен с использованием бората моноэтаноламина, по длине колоса – с применением бората глицерина. Обработка семян пшеницы Московская 56 микроэлементом привела к увеличению количества азота в зерне относительно контроля на 7–11 %. Самыми высокими значениями отличаются варианты с обработкой семян традиционной формой элемента (водный раствор борной кислоты), а также с обработкой боратом моноэтаноламина. Максимальная прибавка урожая зерна яровой пшеницы Злата наблюдается при подкормке раствором борной кислоты в глицерине – 3,26 т/га (что выше в 2,1 раза по сравнению с подкормкой традиционной формой микроэлемента). Микроэлемент бор способствовал увеличению структурных показателей растения яровой пшеницы на всех формах. Наибольший положительный эффект отмечен от действия бората глицерина, где разница к контрольному варианту составила по количеству зерен в колосе в 2,4 раза к контролю, а их массы в 2,7 раза. При использовании бора клейковина яровой пшеницы характеризуется как хорошая (I группа качества).

Ключевые слова: борная кислота, моноэтаноламин, диэтаноламин, триэтаноламин, глицерин, этиленгликоль, морфоллин, пшеница, урожайность, зимостойкость, структура урожая.

Введение

Из пяти основных микроэлементов (бор, марганец, цинк, медь, кобальт), необходимых для питания растений, наибольшие трудности при разработке и производстве микроудобрений представляет бор. Товарная форма их обычно представляет собой близкий к насыщенному водный раствор солей. Растворимость сульфатов марганца, цинка, меди и кобальта составляет соответственно 64,0; 53,8; 20,7; 36,2 г в 100 мл [1] при 20 °С. Из двух выпускаемых промышленными предприятиями в больших количествах соединений бора – борной кислоты и буры (тетрабората натрия) – наибольшей растворимостью (4,87 г в 100 мл при 20 °С) [1] обладает борная кислота. Однако она в несколько раз меньше по сравнению с сульфатами металлов. Соизмеримые с перечисленными металлами количества бора невозможно внести в водный раствор. Перед использованием в полевых условиях крепкие растворы многократно разбавляют водой. Добавление в него недостающего количества бора посредством высыпания порошкообразной борной кислоты представляется неудобным из-за пыления, медленного растворения и необходимости интенсивного

перемешивания. Альтернативными препаратами могли бы служить жидкие быстрорастворимые формы соединений бора [2, 3] с существенно большей концентрацией по сравнению с водным раствором. В настоящей работе в качестве таковых предлагается использовать бораты моноэтаноламина, диэтаноламина, триэтаноламина [4–8], глицерина [9–16], этиленгликоля [17–21] и морфолина. Борная кислота растворяется в них намного лучше, чем в воде. Получающиеся соединения имеют хелатное строение. Производное триэтаноламина представляет собой широко известный боратран [22]. Их можно получить в виде маловязких жидкостей, устойчивых на воздухе и быстро смешивающихся с большим количеством воды с образованием прозрачных растворов. Растворы в диэтанолаmine и триэтанолаmine имеют повышенную вязкость, в связи с чем в них на стадии синтеза добавлялась вода. Цель работы с точки зрения химии состояла в нахождении оптимальных концентраций борной кислоты в органических жидкостях, обеспечивающих устойчивость при хранении (отсутствие выпадения осадка) и вязкость, позволяющую быстрое выливание препарата в водный раствор. Агрехимическое направление заключалось в выяснении влияния используемых органических жидкостей на рост и развитие растений.

Моноэтаноламин $\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$, диэтаноламин $\text{HN}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_2$, триэтаноламин $\text{N}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3$, глицерин $\text{CH}_2\text{OHCH}_2\text{OHCH}_2\text{OH}$ и этиленгликоль $\text{CH}_2\text{OHCH}_2\text{OH}$ представляют собой крупнотоннажные продукты химической промышленности. В последние годы стоимость глицерина существенно снизилась из-за крупномасштабного производства [23] биодизеля.

Бораты 2-аминоэтанола, глицерина и этиленгликоля предложено использовать в медицине и ветеринарии [9, 10], в качестве ионных [11] и гидравлических [19] жидкостей, электролитов в электролитических конденсаторах [12, 17], антипиренов [16], смягчающих композиций для изделий из текстиля [18], в производстве композиционных полимерных материалов [6] и порошков карбида [8, 13, 14] и нитрида [8, 15] бора. Физико-химические свойства боратов исследованы в работах [11, 20, 21].

Экспериментальная часть

Определение плотности растворов производили с помощью набора ареометров общего назначения ИСП.А1, ТУ 25-11-1363-77 завода «Химлабприбор» ПО «Термоприбор». Показатели преломления измеряли на рефрактометре УРЛ. Использовали борную кислоту ГОСТ 9656-75 (АО «Химреактив», Н. Новгород), моноэтаноламин ТУ 2632-094-44493179-04 (АО «ЭКОС-1»), глицерин ГОСТ 6259-75, этиленгликоль ГОСТ 10164-75 (АО «ЭКОС-1»).

Раствор борной кислоты в моноэтанолаmine (Бор-МЭА). Борную кислоту 185,0 г (2,99 моль) присыпали порциями к 511,0 г (500 мл, 8,36 моль) моноэтаноламина при перемешивании и нагревании в круглодонной колбе. При достижении температуры 75 °С наступило полное растворение суспензии борной кислоты. Объем прозрачного бесцветного раствора составил 600 мл, С 25,6 % (4,98 моль/л), d_4^{20} 1,161 г·мл⁻¹, n_D^{20} 1,4660. Смешивание с 3,2 л воды привело к быстрому образованию прозрачного водно-моноэтаноламинного раствора с концентрацией борной кислоты 48,7 г·л⁻¹.

Раствор борной кислоты в диэтанолаmine (Бор-ДЭА). Борную кислоту 76,4 г (1,236 моль) присыпали порциями к 222,6 г (203 мл, 2,12 моль) диэтаноламина и 84 мл H_2O при перемешивании и нагревании в круглодонной колбе. Через 30 мин наступило полное растворение суспензии борной кислоты. Объем прозрачного светлого, желто-зеленого раствора составил 342 мл, С 19,9 % (3,61 моль/л), d_4^{21} 1,192 г·мл⁻¹, n_D^{21} 1,4542.

Раствор борной кислоты в триэтанолаmine (боратран) (Бор-ТЭА). Борную кислоту 89,7 г (1,45 моль) присыпали порциями к 216,3 г (192 мл, 1,45 моль) триэтаноламина и 85 мл H_2O при перемешивании. Объем прозрачного бесцветного раствора составил 325 мл, С 22,9 % (4,46 моль/л), d_4^{20} 1,202 г·мл⁻¹, n_D^{20} 1,4431.

Раствор борной кислоты в глицерине (Бор-ГЛ). Аналогично из 169,2 г (2,74 моль) борной кислоты и 752,0 г (597 мл, 8,17 моль) глицерина в химическом стакане получено 650 мл раствора, С 20,4 % (4,21 моль/л), d_4^{20} 1,276 г·мл⁻¹, n_D^{20} 1,4626. Потери массы за счет удаления воды 91,8 г.

Раствор борной кислоты в этиленгликоле (Бор-ЭГ). Аналогично из 140,6 г (2,27 моль) борной кислоты и 577,8 г (518 мл, 9,31 моль) этиленгликоля получено 640 мл раствора, С 19,5 % (3,55 моль/л), d_4^{20} 1,122 г·мл⁻¹, n_D^{20} 1,4274.

Раствор борной кислоты в морфолине (Бор-МФ). Аналогично из 95,0 г (1,54 моль) борной кислоты и 400,2 г (400 мл, 4,59 моль) морфолина получено 445 мл раствора, С 19,2 % (3,46 моль/л), d_4^{20} 1,105 г·мл⁻¹, n_D^{20} 1,4620.

Обсуждение результатов

Соединения борной кислоты с 1,2-гликолями $[B(OCH_2CH_2O)_2]H^+$ имеют хелатное строение и легко образуются [2] при внесении борной кислоты в водные растворы гидроксильных органических соединений. Кислотность такого рода системы возрастает относительно слабой борной кислоты. Индивидуальные чистые соединения получают, удаляя образующуюся воду из реакционной смеси гликоля с борной кислотой. Обычно они представляют собой твердые кристаллические или вязкие смолообразные продукты. Система борная кислота – моноэтаноламин по данным [4, 5] представляет собой кристаллический триортоборатмоноэтаноламин $3H_3BO_3 \cdot NH_2CH_2CH_2OH$. Для использования в качестве жидких микроудобрений следовало подобрать условия растворения борной кислоты в МЭА, ДЭА, ТЭА, глицерине, этиленгликоле и морфолине, позволяющие получать устойчивые маловязкие растворы, не выделяющие при хранении осадков. В лабораторных условиях растворы получали присыпанием тонкоразмолотой борной кислоты при перемешивании и нагревании (50–75 °С) к органическим жидкостям в колбе или химическом стакане. В последнем случае некоторая часть выделяющейся в реакции воды удалялась, что было установлено взвешиванием стакана с исходными и конечным продуктами. Повышение температуры и длительное нагревание приводили к увеличению вязкости, особенно заметной в случае глицерина. Подробности приготовления растворов изложены в разделе «Экспериментальная часть».

Агрономические исследования проводились в рамках полевого опыта на базе Нижегородского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в 2018–2020 гг. Почва опытного участка светло-серая лесная среднесуглинистая со следующей агрохимической характеристикой пахотного слоя: обменная кислотность – 5,8 ед. рН (близкая к нейтральной); гидролитическая кислотность – 1,10 мг-экв./100 г почвы; сумма обменных оснований – 15,40 мг-экв./100 г почвы; содержание подвижного фосфора – 162 мг/кг (высокое); подвижного калия – 123 мг/кг (повышенное); гумуса – 1,43 % (очень низкое). Закладка полевого опыта проводилась по следующей схеме:

1. Контроль (NPK – азот, фосфор, калий) – фон.
2. Фон + внекорневая подкормка (водный раствор борной кислоты) – П.
3. Фон + внекорневая подкормка (хелатная форма бора) – П.
4. Фон + обработка семян (водный раствор борной кислоты) – ОС.
5. Фон + обработка семян (хелатная форма бора) – ОС.

Фактор А – вид обработки культур (обработка семян/внекорневая подкормка).

Фактор В – форма микроэлемента (водный раствор/хелатная форма).

Повторность опыта четырехкратная, общая площадь делянки – 60 м², учетная – 26,5 м². Размещение делянок в опыте систематическое. В 2019 году борсодержащие растворы использовались для обработки семян и внекорневой подкормки растений, в 2020 году – только для внекорневой подкормки.

Под озимую пшеницу минеральные удобрения вносились в почву осенью 2018 года в виде диаммофоски (в дозе $N_{20}P_{60}K_{60}$ кг/га действующего вещества (д. в.)), весной 2019 года – в виде аммиачной селитры в дозе 30 кг/га д. в. Под яровую пшеницу (2020 год) минеральные удобрения вносились в почву общим фоном в дозе 200 кг/га весной в виде диаммофоски.

Семена опытных культур обрабатывали бором из расчета 50 г/гектарную норму семян.

Полученные результаты математически обработаны методом дисперсионного анализа с использованием программного обеспечения Microsoft Excel.

Озимая пшеница, сорт Московская 56

Зимостойкость озимой пшеницы

Зимостойкость – это способность озимых культур переносить неблагоприятные погодные условия в зимний, осенний и ранневесенний период. Очень часто в эти периоды растения подвергаются неблагоприятному влиянию, в результате этого происходит изреживание посевов или их гибель. В связи с этим важное значение в системе регуляции роста и жизнедеятельности рас-

Неорганическая химия

тений на современном этапе развития сельского хозяйства отводится применению микроудобрений в форме комплексонов и комплексонатов металлов (хелатов), под влиянием которых повышается адаптация и устойчивость растений к неблагоприятным факторам внешней среды, в том числе к пониженным температурам.

Одной из задач исследований, решаемых нами в данной работе, было определение влияния различных форм и способов применения растворов борной кислоты на зимостойкость озимой пшеницы. Оценка влияния внекорневой подкормки и обработки семян опытной культуры микроэлементами проводилась по количеству живых и погибших растений на каждой делянке (табл. 1).

Оценка зимостойкости озимой пшеницы

Таблица 1

Вариант опыта	Количество живых растений, шт./м ²	Количество погибших растений, шт./м ²
Внекорневая подкормка		
1. Контроль (фон)	512	88
2. Фон + Бор-Н ₂ O	538	62
3. Фон + Бор-ГЛ	538	62
4. Фон + Бор-МЭА	548	52
Обработка семян		
5. Фон + Бор-Н ₂ O	532	68
6. Фон + Бор-ГЛ	536	64
7. Фон + Бор-МЭА	542	58

Использование бора при внекорневой подкормке (водный раствор и борат глицерина) способствовали сохранению растений в количестве 538–548 шт./м² (число погибших не превышало 52–62 шт./м²). Инкрустация семян пшеницы бором также показала положительный результат. Так, при использовании бора число живых растений варьируется от 532 (водный раствор борной кислоты) до 542 шт./м² (борат моноэтаноламина). Стоит отметить, что в целом использование микроэлемента как для предпосевной обработки семян, так и для внекорневой подкормки способствует сохранению большего количества живых растений пшеницы в период перезимовки (на 4–9 % относительно контроля), а, следовательно, и лучшей зимостойкости культуры.

Урожайность озимой пшеницы

Величина урожая сельскохозяйственных культур во многом определяется как складывающимися за вегетационный период метеоусловиями, так и уровнем минерального питания растений. В рамках данного полевого опыта учет урожая озимой пшеницы проводили в фазу полной спелости зерна.

Влияние борсодержащих растворов на урожайность зерна озимой пшеницы представлено в табл. 2.

Урожайность озимой пшеницы на фоне использования бора

Таблица 2

Варианты опыта	Урожайность, т/га	Отклонение от контроля, т/га	А (фактор вида обработки культур)	В (фактор формы микроэлемента)
1. Контроль (фон)	3,13	–	–	–
2. Фон + Бор-Н ₂ O – П	3,38	+0,25	–	–
3. Фон + Бор-ГЛ – П	3,30	+0,17	–	–0,08
4. Фон + Бор-МЭА – П	3,38	+0,25	–	0,00
5. Фон + Бор-Н ₂ O – ОС	2,63	–0,50	–0,75	–
6. Фон + Бор-ГЛ – ОС	2,51	–0,62	–0,79	–0,12
7. Фон + Бор-МЭА – ОС	3,51	+0,38	+0,13	+0,88
НСР ₀₅		0,49	0,24	0,34

На основе полученных результатов можно констатировать, что внекорневая подкормка борсодержащими растворами оказала положительное влияние на продуктивность опытной культуры: все опытные варианты обеспечили получение прибавок урожая на 5–8 % к контрольному варианту. Однако следует отметить, что данная тенденция математического подтверждения не получила: все опытные варианты сопоставимы с контролем.

Инкрустация семян экспериментальными растворами бора оказала неоднозначное влияние на рассматриваемый показатель. Так, в вариантах с обработкой семян водным раствором борной

кислоты и раствором бората глицерина (варианты 5, 6 опыта) урожайность культуры минимальна и составляет 2,63 и 2,51 т/га соответственно, что на 0,50–0,62 т/га ниже в сравнении с контролем. Максимальное значение урожайности озимой пшеницы отмечается при обработке семян боратом моноэтаноламина и составляет 3,51 т/га, что на 0,88 т/га выше в сравнении с обработкой традиционной формой элемента (2,63 т/га).

Структура урожая озимой пшеницы

Структура урожая пшеницы характеризуется элементами продуктивности культуры, основными из которых являются количество и масса зерен в колосе, масса 1000 зерен. На фоне использования бора для внекорневой подкормки растений озимой пшеницы (табл. 3) количество и масса зерен в колосе достигают 35,0 шт. и 1,82 г соответственно (в варианте с применением водного раствора борной кислоты), однако данные значения сопоставимы со значениями на контроле (33,3 шт. и 1,71 г соответственно). Максимальной массой 1000 зерен (59,75 г) отличаются растения, выращенные с использованием бората глицерина.

Таблица 3

Структура урожая озимой пшеницы на фоне использования бора

Варианты опыта	Кол-во зерен в колосе, шт.			Масса зерен в колосе, г			Масса 1000 зерен, г		
	сред.	А	В	сред.	А	В	сред.	А	В
1. Контроль (фон)	33,3	–	–	1,71	–	–	54,56	–	–
2. Фон + Бор-Н ₂ O – П	35,0	–	–	1,82	–	–	55,43	–	–
3. Фон + Бор-ГЛ – П	34,3	–	–0,7	1,68	–	–0,14	59,75	–	+4,32
4. Фон + Бор-МЭА – П	30,8	–	–4,2	1,41	–	–0,41	54,20	–	–1,23
5. Фон + Бор-Н ₂ O – ОС	31,7	–3,3	–	1,46	–0,36	–	51,36	–4,07	–
6. Фон + Бор-ГЛ – ОС	32,9	–1,4	+1,2	1,72	+0,04	+0,26	54,12	–5,63	+2,76
7. Фон + Бор-МЭА – ОС	36,5	+5,7	+4,8	1,86	+0,45	+0,40	57,06	+2,86	+5,70
НСР ₀₅	4,1	2,0	2,9	0,17	0,09	0,12	1,38	0,69	0,97

Обработка семян пшеницы бором оказалась более результативной, в частности при использовании бората моноэтаноламина (вариант 7). Именно в этом варианте опыта растения пшеницы имели самое высокое количество зерен в колосе (36,5 шт.) и их массу (1,86 г). Кроме того, масса 1000 зерен составила 57,06 г.

Таким образом, самыми высокими значениями показателей структуры урожая отличалось зерно озимой пшеницы на фоне обработки семян хелатной формой бора: по количеству и массе зерен выделяется вариант с использованием бората моноэтаноламина (36,5 шт. и 1,86 г соответственно).

Химический состав зерна озимой пшеницы

На фоне использования бора для внекорневой подкормки озимой пшеницы (табл. 4), количество азота в зерне составляет 1,77–1,97 %. Однако обработка семян микроэлементом привела к увеличению его количества относительно контроля на 7–11 % (до 2,11–2,18 %). Самыми высокими значениями отличаются варианты с обработкой семян традиционной формой элемента (водный раствор борной кислоты), а также с обработкой боратом моноэтаноламина.

Таблица 4

Содержание макроэлементов в зерне пшеницы на фоне использования бора

Варианты опыта	Азот общий, %	+/- к контролю	Фосфор, %	+/- к контролю	Калий, %	+/- к контролю
1. Контроль (фон)	1,97	–	0,38	–	0,35	–
2. Фон + Бор-Н ₂ O – П	1,97	0,00	0,42	+0,04	0,40	+0,05
3. Фон + Бор-ГЛ – П	1,91	–0,06	0,39	+0,01	0,36	+0,01
4. Фон + Бор-МЭА – П	1,77	–0,20	0,34	–0,04	0,34	–0,01
5. Фон + Бор-Н ₂ O – ОС	2,18	+0,21	0,37	–0,01	0,35	0,00
6. Фон + Бор-ГЛ – ОС	1,94	–0,03	0,40	+0,02	0,37	+0,02
7. Фон + Бор-МЭА – ОС	2,11	+0,14	0,38	0,00	0,36	+0,01
НСР ₀₅		0,08		0,03		0,04

Неорганическая химия

Стоит отметить, что в варианте с использованием хелатной формы элемента (борная кислота, растворенная в моноэтанолаmine) в качестве внекорневой подкормки наиболее низкое содержание азота – 1,77 % (на 0,20 % ниже контрольного варианта). Количество фосфора и калия в зерне озимой пшеницы колеблется на уровне 0,34 % (в варианте 4 опыта) – 0,40–0,42 % (во втором варианте). В данном случае лучше себя проявила внекорневая подкормка растений водным раствором борной кислоты (прибавка относительно контроля составляет 0,04–0,05 %). По остальным вариантам опыта различия незначительны.

Питательная ценность зерна озимой пшеницы

На фоне использования бора (табл. 5) содержание сырого протеина в зерне озимой пшеницы не превышает 12,44 %, а переваримого – 9,95 %. При этом проведение внекорневой подкормки не сказалось на увеличении количества протеина, а в вариантах 3, 4 опыта (где использовалась хелатная форма элемента) значения показателей существенно ниже контроля.

Таблица 5

Содержание сырого (СП) и переваримого (ПП) протеина в зерне озимой пшеницы на фоне использования бора

Варианты опыта	СП, %	Отклонение от контроля, %	ПП, %	Отклонение от контроля, %
1. Контроль (фон)	11,21	–	8,97	–
2. Фон + Бор-Н ₂ O – П	11,20	–0,01	8,96	–0,01
3. Фон + Бор-ГЛ – П	10,87	–0,34	8,70	–0,27
4. Фон + Бор-МЭА – П	10,10	–1,11	8,08	–0,89
5. Фон + Бор-Н ₂ O – ОС	12,44	+1,23	9,95	+0,98
6. Фон + Бор-ГЛ – ОС	11,04	–0,17	8,83	–0,14
7. Фон + Бор-МЭА – ОС	12,00	+0,79	9,60	+0,63

Обработка семян бором оказалась более результативной как при использовании водного раствора борной кислоты (12,44 % и 9,95 % сырого и переваримого протеина в зерне соответственно), так и при применении борной кислоты в моноэтанолаmine (12,00 % и 9,60 % сырого и переваримого протеина). Содержание сырого протеина в зерне озимой пшеницы на фоне использования бора колеблется на уровне 10,10–12,44 %, а, следовательно, не соответствует нормативному требованию [24] к оценке качества и питательности концентрированных кормов (не менее 13 %). Наиболее близким значением данного показателя к нормативу отличается вариант с обработкой семян пшеницы традиционной формой бора.

Качественные показатели зерна озимой пшеницы

Для озимой пшеницы важна не только оценка химического состава и питательной ценности зерна, но и анализ качественных показателей, таких как клейковина и индекс ее деформации. На фоне использования бора (табл. 6) содержание клейковины в зерне озимой пшеницы увеличивается до 21,8–22,1 % (в 1,2 раза выше относительно контроля). Наиболее высокими значениями показателя отличаются варианты опыта с обработкой семян водным раствором борной кислоты и бором моноэтаноламина.

Таблица 6

Качество зерна озимой пшеницы на фоне использования бора

Варианты опыта	Клейковина, %			ИДК*, ед.		
	среднее	А	В	среднее	А	В
1. Контроль (фон)	17,8	–	–	76,0	–	–
2. Фон + Бор-Н ₂ O – П	19,2	–	–	84,0	–	–
3. Фон + Бор-ГЛ – П	18,0	–	–1,2	77,0	–	–7,0
4. Фон + Бор-МЭА – П	18,6	–	–0,6	81,0	–	–3,0
5. Фон + Бор-Н ₂ O – ОС	22,1	+2,9	–	77,0	–7,0	–
6. Фон + Бор-ГЛ – ОС	19,4	+1,4	–2,7	79,0	+2,0	+2,0
7. Фон + Бор-МЭА – ОС	21,8	+3,2	–0,3	79,0	–2,0	+2,0
НСР ₀₅	1,2	0,6	0,8	4,2	2,1	3,0

Примечание. ИДК* – индекс деформации клейковины (показывает способность пшеницы сопротивляться деформирующей нагрузке определенной величины при нажатии пшеницы между ее полостями в течение конкретного времени).

Внекорневая подкормка культуры хелатной формой микроэлемента оказалась менее эффективной – изменения в содержании клейковины в зерне пшеницы не выходят за пределы ошибки опыта (18,0–18,6 %). Также стоит отметить, что использование водного раствора борной кислоты (для внекорневой подкормки) и бората глицерина (для обработки семян) привело к увеличению количества клейковины в зерне на 1,4–1,6 % относительно контроля. Анализ зерна мягкой пшеницы на соответствие требованиям ГОСТа 5254-2006 по содержанию сырой клейковины показал, что во всех вариантах опыта на фоне использования бора значения показателя колеблются на уровне 18,0–22,1 %, следовательно, зерно пшеницы по количеству сырой клейковины относится к 4-му классу качества (не менее 18 %).

Яровая пшеница, сорт Злата

Полевой опыт был заложен в 2020 году по схеме, представленной в предыдущем разделе.

Урожайность яровой пшеницы

Оценка сравнительного влияния растворов борной кислоты на урожайность зерна яровой пшеницы показала, что применение всех испытываемых форм микроудобрений было эффективным (табл. 7).

Таблица 7

Урожайность яровой пшеницы на фоне использования бора

Варианты опыта	Урожайность, т/га	Прибавка			
		к фону		к варианту с традиционной формой микроэлемента	
		т/га	%	т/га	%
1. Контроль (фон)	1,12	–	–	–	–
2. Фон + Бор-Н ₂ O	1,55	0,43	38,4	–	–
3. Фон + Бор-МЭА	1,99	0,87	77,7	0,44	28,4
4. Фон + Бор-ДЭА	2,20	1,08	96,4	0,65	41,9
5. Фон + Бор-ТЭА	2,08	0,96	85,7	0,53	34,2
6. Фон + Бор-МФ	2,11	0,99	88,4	0,56	36,1
7. Фон + Бор-ГЛ	3,26	2,14	191,1	1,71	110,3
8. Фон + Бор-ЭГ	2,37	1,25	111,6	0,82	52,9
НСР ₀₅		0,42		0,35	

Использование растворов борной кислоты для внекорневой подкормки способствовало увеличению продуктивности яровой пшеницы: прибавки к фону в среднем находились на уровне 38,4–191,1 %. При этом наибольший эффект наблюдался в варианте с использованием борной кислоты, растворенной в глицерине. Именно в варианте с применением данного микроудобрения получена максимальная урожайность культуры в опыте – 3,26 т/га, что в 2,1 раза выше по сравнению с подкормкой традиционной формой микроэлемента и в 2,9 раз выше фонового варианта.

Структура урожая яровой пшеницы

Результаты структурной оценки урожая яровой пшеницы при использовании различных форм микроудобрений приведены в табл. 8.

Полученные данные позволяют констатировать, что использование борсодержащих препаратов для внекорневой подкормки в период вегетации опытной культуры привело к существенному положительному изменению структурных элементов урожая относительно фонового варианта. Исключением является лишь вариант опыта, где проводилась подкормка водным раствором борной кислоты: по большинству оцениваемых параметров прибавка к фону лежит в пределах ошибки опыта.

Использование растворов борной кислоты в органических растворителях, напротив, стимулировало нарастание основных структурных элементов урожая яровой пшеницы. При этом максимальная эффективность отмечена на фоне внекорневой подкормки раствором борной кислоты в глицерине, использование которого привело к увеличению количества (до 31,05 шт.) и массы зерен (до 1,31 г) в колосе.

Структура урожая яровой пшеницы на фоне использования соединений бора

Вариант опыта	Кол-во зерен в колосе, шт.		Масса зерен в колосе, г		Масса 1000 семян, г	
	сред.	± к фону	сред.	± к фону	сред.	± к фону
1. Контроль (фон)	12,95	–	0,49	–	39,13	–
2. Фон + Бор-Н ₂ O	14,85	1,90	0,60	0,11	43,00	3,87
3. Фон + Бор-МЭА	22,40	9,45	0,92	0,43	45,64	6,51
4. Фон + Бор-ДЭА	22,45	9,50	1,00	0,51	47,97	8,84
5. Фон + Бор-ТЭА	23,40	10,45	0,98	0,49	46,40	7,27
6. Фон + Бор-МФ	18,55	5,60	0,78	0,29	43,97	4,84
7. Фон + Бор-ГЛ	31,05	18,1	1,31	0,82	46,84	7,71
8. Фон + Бор-ЭГ	23,15	10,2	1,05	0,56	46,27	7,14
НСР ₀₅	3,94		0,22		1,75	

Химический состав зерна яровой пшеницы

Оценивая химический состав зерна яровой пшеницы (табл. 9) видно, что при использовании борных микроудобрений содержание азота колеблется на уровне 1,71–1,95 %. Максимум отмечается в варианте с использованием традиционной формы бора: прибавка по отношению к фону составляет 0,13 %. Среди хелатных форм микроэлемента выделился вариант с применением раствора борной кислоты в моноэтанолаmine, где отмечена наибольшая прибавка азота в зерне опытной культуры по отношению к фону.

Таблица 9

Содержание макроэлементов в зерне яровой пшеницы на фоне использования растворов борной кислоты

Варианты опыта	Азот, %		Фосфор, %		Калий, %	
	Среднее	Отклонение от контроля	Среднее	Отклонение от контроля	Среднее	Отклонение от контроля
1. Контроль (фон)	1,83	–	0,40	–	0,29	–
2. Фон + Бор-Н ₂ O	1,95	0,13	0,40	0,00	0,29	0,00
3. Фон + Бор-МЭА	1,92	0,09	0,41	0,01	0,29	0,00
4. Фон + Бор-ДЭА	1,71	–0,12	0,42	0,02	0,30	0,01
5. Фон + Бор-ТЭА	1,86	0,03	0,41	0,01	0,27	–0,02
6. Фон + Бор-МФ	1,63	–0,20	0,38	–0,02	0,27	–0,02
7. Фон + Бор-ГЛ	1,83	0,00	0,40	0,00	0,30	0,01
8. Фон + Бор-ЭГ	1,76	–0,07	0,39	–0,01	0,30	0,01
НСР ₀₅	0,03		0,01		0,01	

Количество фосфора в опытных вариантах варьируется от 0,38 до 0,42 %, а калия от 0,27 до 0,30 %. При этом наибольшие значения изучаемых показателей отмечены на фоне внекорневой подкормки растений раствором борной кислоты в диэтанолаmine. В отношении содержания калия в зерне яровой пшеницы прибавки в пределах ошибки опыта отмечается при подкормке растений боратами глицерина и этиленгликоля.

Качественные показатели зерна яровой пшеницы

Анализ качественных характеристик ценности зерна яровой пшеницы показал, что на фоне использования растворов борной кислоты (табл. 10) количество сырого протеина колеблется на уровне 9,25–11,10 %, переваримого – 7,40–8,88 %. Самыми низкими значениями показателей отличался вариант опыта, где использовался раствор борной кислоты в морфолине. Максимум наблюдался при применении традиционной формы бора – 11,10 %, что на 6,94 % выше фонового варианта.

Оценивая данные по содержанию сырого протеина в зерне яровой пшеницы на соответствие нормативным требованиям [24], можно видеть, что во всех вариантах опыта показатель ниже 13 %. Однако наиболее близким к требуемому содержанию сырого протеина в зерне злаковых культур является вариант с подкормкой растений водным раствором борной кислоты (11,10 %).

Таблица 10

Содержание сырого (СП) и переваримого (ПП) протеина в зерне яровой пшеницы

Вариант опыта	СП, %		ПП, %	
	сред.	± к контролю	сред.	± к контролю
1. Контроль (фон)	10,38	–	8,31	–
2. Фон + Бор-Н ₂ O	11,10	0,72	8,88	0,57
3. Фон + Бор-МЭА	10,92	0,54	8,74	0,43
4. Фон + Бор-ДЭА	9,73	–0,65	7,78	–0,52
5. Фон + Бор-ТЭА	10,58	0,20	8,47	0,16
6. Фон + Бор-МФ	9,25	–1,13	7,40	–0,91
7. Фон + Бор-ГЛ	10,38	0,00	8,31	0,00
8. Фон + Бор-ЭГ	9,99	–0,39	7,99	–0,32
НСР ₀₅	0,53		0,34	

Сравнительная оценка влияния различных форм микроудобрений на качественные характеристики зерна опытной культуры представлена в табл. 11.

Таблица 11

Качество зерна яровой пшеницы на фоне использования растворов борной кислоты

Вариант опыта	Клейковина, %		ИДК, ед
	сред.	± к контролю	сред.
1. Контроль (фон)	21,2	–	46,0
2. Фон + Бор-Н ₂ O	24,1	2,9	44,0
3. Фон + Бор-МЭА	25,2	4,0	44,0
4. Фон + Бор-ДЭА	26,6	5,4	49,0
5. Фон + Бор-ТЭА	24,5	3,3	51,0
6. Фон + Бор-МФ	23,6	2,4	55,0
7. Фон + Бор-ГЛ	24,0	2,8	51,0
8. Фон + Бор-ЭГ	24,2	3,0	52,0
НСР ₀₅	1,0		5,0

Установлено, что содержание клейковины в зерне яровой пшеницы при использовании борсодержащих препаратов варьируется от 23,6 до 26,6 %, что на 2,4–5,4 % выше в сравнении с фоном. При этом максимум отмечается при внекорневой подкормке культуры боратом диэтаноламина, где полученные значения оказались в 1,26 раза выше фонового варианта. Самое низкое значение отмечено в варианте с подкормкой раствором борной кислоты в моноэтанолаmine.

Анализируя содержание сырой клейковины в зерне мягкой пшеницы на соответствие требованиям ГОСТ Р 9353-2016, необходимо отметить, что в вариантах с использованием борсодержащих препаратов зерно по данному показателю относится к 3-му классу качества (не менее 23 %).

Оценивая значение индекса деформации клейковины, можно видеть, что на фоновом варианте значение показателя составляет 46 ед. – I группа качества клейковины (хорошая) в соответствии с требованиями ГОСТ 54478-2011. На вариантах с использованием борной кислоты клейковина зерна яровой пшеницы характеризуется как хорошая (I группа качества), ИДК при этом варьирует от 44 (варианты с водным раствором борной кислоты и раствором борной кислоты в моноэтанолаmine) до 55 ед. (вариант с раствором борной кислоты в морфолине). Стоит отметить тенденцию к увеличению показателя ИДК при использовании хелатной формы микроэлемента (как в сравнении с традиционной формой, так и относительно фона).

Заключение

Таким образом, оптимизируя питание растений путем использования растворов борной кислоты в органических растворителях, можно не только существенно повысить урожайность зерновых культур, но и существенно улучшить качественные показатели растениеводческой продукции.

Исследования выполнены в рамках госзадания (Тема № 45.8 «Химия функциональных материалов», рег. № 0094-2016-0012) с использованием оборудования центра коллективного пользования «Аналитический центр ИМХ РАН» в Институте металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева Российской академии наук при поддержке федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса

России на 2014–2020 годы» (уникальный идентификатор проекта RFMEFI62120X0040). Работа под-держана Российской академией наук, Программа № 35 Президиума РАН «Научные основы создания новых функциональных материалов».

Литература

1. Рабинович, В.А. Краткий химический справочник / В.А. Рабинович, З.Я. Хавин. – Л.: Химия, 1991. – 432 с.
2. Несмеянов, А.Н. Методы элементоорганической химии / А.Н. Несмеянов, Р.А. Соколик // Бор, алюминий, галлий, индий, таллий. – М.: Наука, 1964. – 499 с.
3. Кешан, А.Д. Синтез боратов в водном растворе и их исследование / А.Д. Кешан. – Рига: Изд-во АН Латв. ССР, 1955. – 240 с.
4. Исследование механизма реакции между борной кислотой и моноэтаноламином в водной среде / В.Г. Скворцов, А.К. Молодкин, О.В. Петрова и др. // Журн. неорган. химии. – 1980. – Т. 25, № 7. – С. 1964–1969.
5. Исследование комплексообразования между борной кислотой и диэтанололамином / В.Г. Скворцов, А.К. Молодкин, Н.С. Родионов, Н.Р. Цеханская // Журн. неорган. химии – 1981. – Т. 26, № 5. – С. 1389 – 1393.
6. Zhou, L. Borate coupling agent and its preparation method / L. Zhou, H. Ruan, W. Zhu et al. // Faming Zhuanli Shenqing (2012), CN 102532602A20120704.
7. Synthesis and Tribological Properties of s- and p-Free Borate Esters with Different Chain Lengths / G. Yang, Z. Zhang, G. Li et al. // J. Tribology. – 2011. – V. 133, № 2. – P. 021801/1–021801/7. DOI: 10.1115/1.4003304.
8. Formation of Boron Nitride and Boron Carbide by Pyrolysis of Condensation Products of Boric Acid and Ethanolamines / H. Wada, K. Nojima, K. Kuroda, C. Kato // Yogyo Kyokaishi. – 1987. – V. 95, № 1. – P. 130–134.
9. Кремнийборсодержащий глицерогидрогель с ранозаживляющей, регенерирующей и антимикробной активностью / О.Н. Чупахин, Т.Г. Хонина, Н.В. Кунгуров и др. // Изв. АН. Сер. хим. – 2017, № 3. – С. 558–563.
10. Структурные особенности полимерных кремнийглицеролатных гелей / Е.Ю. Ларченко, В.В. Пермикин, А.П. Сафронов, Т.Г. Хонина // Изв. АН. Сер. хим. – 2017, № 8. – С. 1478–1482.
11. Novel (Glycerol)borate – Based Ionic Liquids: an Experimental and Theoretical Study / C. Chiappe, F. Signori, G. Valentini et al. // J. Phys. Chem. B. – 2010. – V. 114, № 15. – P. 5082–5088. DOI: 10.1021/jp100809x
12. Zhou, P. Application Study of Boric Acid Glycerin Polyester in Electrolytic Capacitors / P. Zhou, R. Liu, L. Long // Huaxue Gongchengshi. – 2013. – V. 27, № 1. – P. 49–51.
13. Tahara, N. Effect of Addition of Tartaric Acid on Synthesis of Boron Carbide Powder from Condensed Boric Acid Glycerin Product / N. Tahara, M. Kakiage, I. Yanase, H. Kobayashi // J. Alloys and Compounds. – 2013. – V. 573. – P. 58–64. DOI: 10.1016/j.jallcom,2013.03.255
14. Kakiage, M. Low-temperature Synthesis of Boron Carbide Powder from Condensed Boric Acid Glycerin Product / M. Kakiage, N. Tahara, I. Yanase, H. Kobayashi // Mater. Lett. – 2011. – V. 65, № 12. – P. 1839–1841. DOI: 10/1016j.matlet.2011.03.046.
15. Wada, H. Preparation of Boron Nitride Boron Carbide Ceramics by Pyrolysis of Boric Acid Glycerin Condensation Product / H. Wada, K. Kuroda, C. Kato // Mat. Sci. Res. – 1986. – V. 20. – P. 179–185.
16. Treatment of Plywood to Reduce Smoke / Y. Ogawa, H. Hisada, N. Shiina, H. Okutani // Jpn. Kokai Tokkyo Koho. 1975. JP 50089511 A 19750718.
17. Yonezawa, T. Electrolytes for Electrolytic Capacitors / T. Yonezawa // Jpn. Kokai Tokkyo Koho. 2002. JP 2002175945 A 20020621.
18. Richmond, J.M. Textile Softening Composition / J.M. Richmond // U.S. 1983. US 4399044 A 19830816.
19. Ellis, J.M.H. Hydraulic Fluids / J.M.H. Ellis // Ger. Offen. 1975. DE 2525403 A1 19751218.
20. Physicochemical Study of the Boric Acid – Ethylene Glycol System / V.G. Kalacheva, E. Svarcs, V.G. Ben'kovskii, I.D. Leonov // Latvijas PSR Zinatnu Akad. Vestis. Kim. Ser. – 1970, № 6. – P. 679–683.
21. Kalacheva, V.G. Reaction of Boric Acid with Ethylene Glycol / V.G. Kalacheva, V.G. Ben'kovskii, E. Svarcs // Latvijas PSR Zinatnu Akad. Vestis. Kim. Ser. – 1969, № 2. – P. 149–151.

22. Convenient and Fast Synthesis of Boratrane in Water Medium / Yu.I. Bolgoval, G.A. Kuznetsova, O.M. Trofimova, M.G. Voronkov // Chem. Heterocycl. Comp. – 2013. – V. 49, № 8. – P. 1246–1248. DOI: 10.1007/s10593-013-1370-6.

23. Лядов, А.С. Биоглицерин – альтернативное сырье для основного органического синтеза / А.С. Лядов, С.Н. Хаджиев // Журн. прикл. химии. – 2017. – Т. 90, № 11. – С. 1417–1428. DOI: 10.1134/S1070427217110015.

24. Титова, В.И. Справочное пособие по агрохимии и экологии / В.И. Титова, В.Г. Бусоргин, О.Д. Шафронов и др. – Н. Новгород: НГСХА, 2005. – 70 с.

Кодочилова Наталья Александровна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Нижегородский НИИСХ – филиал ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, 607686, Нижегородская обл., Кстовский р-н, с.п. Селекционной станции, ул. Центральная, д. 38. E-mail: nnovniish@rambler.ru

Иваненкова Анастасия Олеговна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Нижегородский НИИСХ – филиал ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, 607686, Нижегородская обл., Кстовский р-н, с.п. Селекционной станции, ул. Центральная, д. 38. E-mail: anstsub@mail.ru

Бузынина Татьяна Сергеевна – младший научный сотрудник, Нижегородский НИИСХ – филиал ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, 607686, Нижегородская обл., Кстовский р-н, с.п. Селекционной станции, ул. Центральная, д. 38. E-mail: Tattiana121@yandex.ru

Семенов Владимир Викторович – доктор химических наук, ведущий научный сотрудник, Институт металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева Российской академии наук, 603950, г. Нижний Новгород, бокс 445, ул. Тропинина, 49. E-mail: vvsemenov@iomc.ras.ru

Петров Борис Иванович – доктор технических наук, заместитель директора, Институт металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева Российской академии наук, 603950, г. Нижний Новгород, бокс 445, ул. Тропинина, 49. E-mail: bip@iomc.ras.ru

Лазарев Николай Михайлович – кандидат химических наук, научный сотрудник, Институт металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева Российской академии наук, 603950, г. Нижний Новгород, бокс 445, ул. Тропинина, 49. E-mail: nikolai-lazarev@mail.ru

Поступила в редакцию 22 января 2021 г.

DOI: 10.14529/chem210205

USE OF BORIC ACID SOLUTIONS IN ORGANIC LIQUIDS AS BORON-CONTAINING FERTILIZERS. INFLUENCE OF ROOT TREATMENT ON YIELD AND CHEMICAL COMPOSITION OF WINTER AND SPRING WHEAT

N.A. Kodochilova¹, nnovniish@rambler.ru

A.O. Ivanenkova¹, anstsub@mail.ru

T.S. Buzynina¹, Tattiana121@yandex.ru

V.V. Semenov², vvsemenov@iomc.ras.ru

B.I. Petrov², bip.@iomc.ras.ru

N.M. Lazarev², nikolai-lazarev@mail.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

The conditions for dissolution of boric acid in monoethanolamine, diethanolamine, triethanolamine, glycerol, ethylene glycol and morpholine were selected, which made it possible to ob-

tain low-viscosity solutions with a concentration that was many times higher than the maximum attainable concentration in water and did not produce precipitates during storage. The resulting solutions were used as microfertilizers for foliar feeding and seed treatment of winter (Moskovskaya 56) and spring (Zlata) wheat. The use of boron as a microelement contributed to the preservation of a larger number of living plants of winter wheat during the wintering period, and, consequently, the better winter hardiness of the crop. The maximum value of the winter wheat yield was obtained when the seeds were treated with monoethanolamine borate. The highest values of the indicators of the yield structure belonged to the grain of winter wheat against the background of the seed treatment with a chelated form of boron: for the number and weight of grains when monoethanolamine borate was used; for the length of the ear when glycerol borate was used. The treatment of the Moskovskaya 56 wheat seeds with the microelement led to an increase in the amount of nitrogen in the grain relative to the control by 7–11 %. The highest values belonged to the variants including the treatment of seeds with the traditional form of the element (aqueous solution of boric acid), as well as the treatment with monoethanolamine borate. The maximum increase in the yield of the Zlata spring wheat was observed on feeding with a solution of boric acid in glycerol: 3.26 t / ha (2.1 times higher than on feeding with the traditional form of the microelement). Boron as a microelement contributed to an increase in the structural parameters of spring wheat plants in all forms. The greatest positive effect was noted from the action of glycerol borate, where the difference to the control variant was 2.4 times for the number of grains in an ear to the control, and their weight was 2.7 times. After the use of boron the spring wheat gluten was characterized as good (quality group I).

Keywords: boric acid, monoethanolamine, diethanolamine, triethanolamine, glycerol, ethylene glycol, morpholine, wheat, yield, winter hardiness, crop structure.

References

1. Rabinovich V.A., Khavin Z.Ya. *Kratkiy khimicheskii spravochnik*. [Brief Chemical Handbook]. Leningrad, Khimiya, 1991, 432 c.
2. Nesmeyanov A.N., Sokolik R.A. *Methody elementoorganicheskoy khimii. Bor, aluminiy, galliy, talliy*. [Organoelemental Chemistry Methods. Boron, Aluminum, Gallium, Thallium]. Moscow, Nauka Publ., 1964, 499 p.
3. Keshan A.D. *Sintes boratov v vodnom rastvore i ikh issledovanie*. [Synthesis of Borates in Aqueous Solution and their Study]. Riga, Publishing House of the Academy of Sciences of the Latvian SSR, 1955, 240 p.
4. Skvortsov V.G., Molodkin A.K., Petrova O.V., Tsekhanskaya N.R., Rodionov N.S. Study of the Reaction Mechanism Between Boric Acid and Monoethanolamine in an Aqueous Medium. *Rus. J. Inorg. Chem.*, 1980, vol. 25, no. 7, pp. 1964–1969.
5. Skvortsov V.G., Molodkin A.K., Rodionov N.S., Tsekhanskaya N.R. Study of Complexation between Boric Acid and Diethanolamine. *Rus. J. Inorg. Chem.*, 1981, vol. 26, no. 5, pp. 1389–1393.
6. Zhou L., Ruan H., Zhu W., Nie C., Fan R. Borate Coupling Agent and its Preparation Method. *Faming Zhuanli Shenqing*. 2012, CN 102532602A20120704.
7. Yang G., Zhang Z., Li G., Zhang J., Yu L., Zhang P. Synthesis and Tribological Properties of s- and p-Free Borate Esters with Different Chain Lengths. *J. Tribology*, 2011, vol. 133, no. 2, pp. 021801/1–021801/7. DOI: 10.1115/1.4003304.
8. Wada H., Nojima K., Kuroda K., Kato C. Formation of Boron Nitride and Boron Carbide by Pyrolysis of Condensation Products of Boric Acid and Ethanolamines. *Yogyo Kyokaiishi*, 1987, vol. 95, no. 1, pp. 130–134.
9. Chupakhin O.N., Khonina T.G., Kungurov N.V., Zilberberg N.V., Evstigneeva N.P., Kokhan M.M., Polishchuk A.I., Shadrina E.V., Larchenko E. Yu., Larionov L.P., Karabanalov M.S. Siliconboron-Containing Glycerohydrogel with Wound Healing, Regenerating and Antimicrobial Activity. *Rus. Chem. Bul.*, 2017, no. 3, pp. 558–563. doi.org/10.1007/s11172-017-1771-2.
10. Larchenko E.Yu., Permikin V.V., Safronov A.P., Khonina T.G. Structural Features of Polymer Silicon Glycerolate gels. *Rus. Chem. Bul.* 2017, no. 8, pp. 1478–1482. doi.org/10.1007/s11172-017-1911-8.
11. Chiappe C., Signori F., Valentini G., Marchetti L., Pomelli C.S., Bellina F. Novel (Glycerol)borate – Based Ionic Liquids: an Experimental and Theoretical Study. *J. Phys. Chem. B.*, 2010, vol. 114, no. 15, pp. 5082–5088. DOI: 10.1021/jp100809x.

12. Zhou P., Liu R., Long L. Application Study of Boric Acid Glycerin Polyester in Electrolytic Capacitors. *Huaxue Gongchengshi*, 2013, vol. 27, no. 1, pp. 49–51.
13. Tahara N., Kakiage M., Yanase I., Kobayashi H. Effect of Addition of Tartaric Acid on Synthesis of Boron Carbide Powder from Condensed Boric Acid Glycerin Product. *J. Alloys and Compounds*, 2013, vol. 573, pp. 58–64. DOI: 10.1016/j.jallcom.2013.03.255.
14. Kakiage M., Tahara N., Yanase I., Kobayashi H. Low-temperature Synthesis of Boron Carbide Powder from Condensed Boric Acid Glycerin product. *Mater. Lett.*, 2011, vol. 65, no. 12, pp. 1839–1841. DOI: 10/1016j.matlet.2011.03.046.
15. Wada H., Kuroda K., Kato C. Preparation of Boron Nitride – Boron Carbide Ceramics by Pyrolysis of Boric Acid Glycerin Condensation Product. *Mat. Sci. Res.*, 1986, vol. 20, pp. 179–185.
16. Ogawa Y., Hisada H., Shiina N., Okutani H. Treatment of Plywood to Reduce Smoke. *Jpn. Kokai Tokkyo Koho*. 1975. JP 50089511 A 19750718.
17. Yonezawa T. Electrolytes for Electrolytic Capacitors. *Jpn. Kokai Tokkyo Koho*. 2002. JP 2002175945 A 20020621.
18. Richmond J.M. Textile Softening Composition. U.S. 1983. US 4399044 A 19830816.
19. Ellis J.M.H. Hydraulic fluids. Ger. Offen. 1975. DE 2525403 A1 19751218.
20. Kalacheva V.G., Svarcs E., Ben'kovskii V.G., Leonov I.D. Physicochemical Study of the Boric Acid – Ethylene Glycol System. *Latvijas PSR Zinatnu Akad. Vestis. Kim. Ser.*, 1970, no. 6, pp. 679–683.
21. Kalacheva V. G., Ben'kovskii V.G., Svarcs E. Reaction of Boric Acid with Ethylene Glycol. *Latvijas PSR Zinatnu Akad. Vestis. Kim. Ser.*, 1969, no. 2, pp. 149–151.
22. Bolgova Yu.I., Kuznetsova G.A., Trofimova O.M., Voronkov M.G. Convenient and fast synthesis of boratrane in water medium. *Chem. Heterocycl. Comp.*, 2013, vol. 49, no. 8, pp. 1246–1248. DOI: 10.1007/s10593-013-1370-6.
23. Lyadov A.S., Khadzhiev S.N. Bioglycerin is an Alternative Raw Material for Basic Organic Synthesis. *Rus. J. Appl. Chem.*, 2017, vol. 90, no. 11, pp. 1417–1428. DOI: 10.1134/S1070427217110015
24. Titova V.I., Busorgin V.G., Shafronov O.D. *Agrochemistry and Ecology Reference Manual*. N. Novgorod, NNSAA, 2005, 70 p.

Received 22 January 2021

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Использование растворов борной кислоты в органических жидкостях в качестве борсодержащих микроудобрений. Влияние на урожайность и химический состав зерна озимой и яровой пшеницы / Н.А. Кодочилова, А.О. Иваненкова, Т.С. Бузынина и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». – 2021. – Т. 13, № 2. – С. 49–61. DOI: 10.14529/chem210205

FOR CITATION

Kodochilova N.A., Ivanenkova A.O., Buzynina T.S., Semenov V.V., Petrov B.I., Lazarev N.M. Use of Boric Acid Solutions in Organic Liquids as Boron-Containing Fertilizers. Influence of Root Treatment on Yield and Chemical Composition of Winter and Spring Wheat. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chemistry*. 2021, vol. 13, no. 2, pp. 49–61. (in Russ.). DOI: 10.14529/chem210205