

УДК 631.82

**РАЗРАБОТКА СОСТАВА СМЕСИ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В НИЗКИХ ДОЗАХ
С ВЫСОКОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ ДЛЯ РАСТЕНИЕВОДСТВА****DEVELOPMENT OF COMPOSITION OF MIX OF MINERALS IN LOW DOSES
WITH HIGH BIOLOGICAL ACTIVITY FOR CROP PRODUCTION**©**Касимова Л. В.***канд. хим. наук, Сибирский научно-исследовательский институт
сельского хозяйства и торфа — филиал СФНЦА РАН, г. Томск
Россия, casimova28@yandex.ru*©**Kasimova L.***Ph.D., Federal agency of scientific organizations Siberian Research
Institute of Agriculture and Peat — branch of federal state budgetary
institutions of science of the Siberian Federal Agri-Science Centre of
the Russian Academy of Sciences (sibNIIsHit-branch SFNTSA RAS)
Tomsk, Russia, casimova28@yandex.ru*©**Кравец А. В.***Сибирский научно-исследовательский институт сельского
хозяйства и торфа — филиал СФНЦА РАН, г. Томск, Россия
kravets@sibmail.com*©**Kravets A.***Federal agency of scientific organizations Siberian Research Institute
of Agriculture and Peat — branch of federal state budgetary
institutions of science of the Siberian Federal Agri-Science Centre of
the Russian Academy of Sciences (sibNIIsHit-branch SFNTSA RAS)
Tomsk, Russia, kravets@sibmail.com*

Аннотация. Для разработки состава смеси из 6-ти микроэлементов в дозе 10^{-4} – 10^{-7} % с высокой биологической активностью использован метод биотестирования водных растворов микроэлементов и смесей микроэлементов. Установлена высокая биологическая активность водных растворов солей микроэлементов в низкой области концентраций, эквивалентной содержанию их в почве: *Cu, B, Mn* — 0,13–0,20 мг/л; *Co, Mo* — 0,022 и 0,024 мг/л; *Zn* — 0,0011 мг/л. Для каждого элемента определена концентрация в %, обеспечивающая его максимальную биологическую активность: марганец — $2,0 \times 10^{-5}$, медь — $1,3 \times 10^{-5}$, кобальт — $2,1 \times 10^{-6}$; молибден — $2,4 \times 10^{-6}$; цинк — $1,1 \times 10^{-7}$; бор — $1,75 \times 10^{-5}$. Показатели биологической активности достигали по приросту вегетативной массы 2–40%, массы корней — 44–101% к контрольному варианту. Разработаны водные растворы смесей из 6-ти микроэлементов, взятых в концентрации с максимальной биологической активностью. Определены составы водных растворов из 6-ти микроэлементов, которые не оказывают токсичного действия при совместном применении. По приросту массы корней проростков пшеницы выбран состав, содержащий в %: цинк — 10×10^{-7} , молибден — $9,17 \times 10^{-6}$, бор — $1,86 \times 10^{-4}$, марганец — $8,75 \times 10^{-5}$, медь — $1,15 \times 10^{-5}$, кобальт — $0,55 \times 10^{-5}$. По приросту вегетативной массы проростков пшеницы выбран состав, содержащий в %: цинк — 10×10^{-7} , молибден — $9,17 \times 10^{-6}$, бор — $1,86 \times 10^{-4}$, марганец — $1,25 \times 10^{-5}$, медь — $1,15 \times 10^{-5}$, кобальт — $1,45 \times 10^{-5}$. В вегетационном опыте доказаны высокая биологическая активность разработанного состава смеси микроэлементов в низкой концентрации при выращивании пшеницы.

Abstract. To develop the composition of the mixture of 6 trace elements in a dose of 10^{-4} – 10^{-7} % with high biological activity used the method of biotesting of water solutions of minerals and mixtures of minerals. A high biological activity of aqueous solutions of salts of trace elements in low

concentrations equivalent to their content in the soil: Cu, B, Mn — 0.13–0.20 mg/l; Co, Mo — 0.022–0.024 mg/l; Zn — 0.0011 mg/l. For each element the concentration in % order to maximize biological activity: Mn — 2.0×10^{-5} , Cu — 1.3×10^{-5} ; Co — 2.1×10^{-6} ; Mo — 2.4×10^{-6} ; Zn 1.1×10^{-7} ; B — 1.75×10^{-5} . Indicators of biological activity were achieved in the growth of the vegetative mass 2–40%, the mass of roots — 44–101% to the control variant. Developed by aqueous solutions of mixtures of 6 trace elements, taken in a concentration of maximum biological activity. Determined the compositions of water solutions of the 6 trace elements that do not have a toxic effect when used together. The increase in weight of roots of wheat seedlings of the selected composition containing in %: Zn — 10×10^{-7} , Mo — 1.17×10^{-6} , B — 1.86×10^{-4} , Mn — 8.75×10^{-5} , Cu — 1.15×10^{-5} , Co — 0.55×10^{-5} . In the growth of the vegetative mass of wheat seedlings of the selected composition containing in %: Zn — 10×10^{-7} , Mo — 9.17×10^{-6} , B — $1,86 \times 10^{-4}$, Mn — 1.25×10^{-5} , Cu — 1.15×10^{-5} , Co — 1.45×10^{-5} . In vegetative experience proved high biological activity of the designed composition of the mixture of trace elements in low concentrations in the cultivation of wheat.

Ключевые слова: микроэлементы, биологическая активность, смеси микроэлементов в низких дозах.

Keywords: micronutrients, biological activity, mixtures of trace elements in low doses.

Исследованиями Пейве и др. [1, 2] показано, что микроэлементы следует применять в растениеводстве в дозах 0,05–0,2%. Л. В. Касимовой с соавторами [3] проведены исследования по влиянию дозы микроэлементов на биологическую активность смеси микроэлемента и гуминового препарата (оксидата торфа) и установлено, что максимальную эффективность смеси оксидата торфа и микроэлементов проявляют при смешивании гуминового препарата в концентрации 0,001% по ГК и микроэлементов в концентрации 0,05–0,2% (по соли). Совместное применение гуминового препарата с микроэлементами с одной стороны, эффективный прием повышения урожайности сельскохозяйственных культур, с другой стороны, смешивание компонентов приводит к выпадению осадка на основе гуминовых кислот, аминокислот и микроэлементов. Поэтому применять гуминовый препарат и микроэлементы следует либо отдельно, либо смешивать непосредственно перед применением. Разработчики гуминового препарата ГУМИ определили, что только три микроэлемента следует добавлять в гуминовый препарат [4]. Дудурчик с соавторами [5] показали, что водорастворимые комплексы можно получить при условии применения микроэлементов в дозах, значительно ниже, чем концентрация гуминового препарата. Разработка водорастворимых комплексов типа хелата на основе гуминового препарата и микроэлементов по-прежнему актуальна.

В СибНИИСХиТ разрабатываются способ получения и состав хелатов на основе гуминового удобрения из торфа Гумостим и смеси микроэлементов в дозах 10^{-4} – 10^{-7} %. Более высокие дозы микроэлементов вызывают выпадение осадка. Работа выполняется в двух направлениях: 1 — разработка состава водного раствора смеси из 6-ти микроэлементов с высокой биологической активностью, 2 — разработка способа получения и состава комплексного препарата типа хелата на основе гуминового препарата и смеси из 6-ти микроэлементов. В данной работе приведены результаты исследований по первому направлению.

Цель данной работы — разработать состав смеси из 6-ти микроэлементов в дозе 10^{-4} – 10^{-7} % с высокой биологической активностью.

Материал и методы

Объекты исследований — водные растворы 6-ти микроэлементов (сернокислых солей меди, цинка, кобальта, марганца, боной кислоты и молибдата аммония), модельные водные растворы смесей солей микроэлементов, взятых в концентрациях с максимальной

биологической активностью. Минимальные и максимальные дозы микроэлементов брались, исходя из данных по содержанию подвижных форм микроэлементов в почве (Таблица 1) мг/кг сухой почвы: марганец — 1,0–100; медь — 0,9–6,6; кобальт — 0,4–5,0; цинк — 0,2–4,0; молибден — 0,08–0,46; бор — 0,2–1,1 [6].

Теоретически рассчитанные интервалы доз варьирования микроэлементов в лабораторном опыте №1 по биотестированию, мг/100 мл водного раствора: марганец — 2×10^{-6} – 2×10^{-5} ; медь — 2×10^{-5} – $1,3 \times 10^{-4}$; кобальт — 8×10^{-6} – 1×10^{-4} ; цинк — 4×10^{-6} – 8×10^{-5} ; молибден — $1,6 \times 10^{-6}$ – 1×10^{-5} ; бор — 4×10^{-6} – 2×10^{-5} .

В работе использован метод «водных культур» — метод биотестирования водных растворов микроэлементов по стандартной методике [7, 8] по влиянию различных доз микроэлементов на рост и развитие проростков пшеницы. В эксперименте использованы микроудобрения в качестве корневой подкормки растений. В лабораторном опыте №1 схема опыта включала 32 варианта. Контрольный вариант — смесь Прянишникова. Повторность каждого варианта четырехкратная. Количество проростков пшеницы в повторности — 10 штук. Длительность опыта — 14 суток, освещение опыта — круглосуточное. Контролируемые параметры биологической активности: прирост вегетативной массы и массы корней проростков пшеницы сорта Новосибирская — 15. Вегетативную массу и массу корней определяли весовым методом: высушивали при 105 °С и взвешивали на аналитических весах с точностью 0,00001 г.

В лабораторном опыте №2 проведена оценка биологической активности водных растворов смеси из 6-ти микроэлементов, взятых в концентрациях с высокой биологической активностью из опыта №1. Условия проведения и контролируемые показатели опыта №2 аналогичны опыту №1. Уровни и интервалы варьирования факторов (концентраций микроэлементов), матрица планирования эксперимента аналогичны исследованиям в работах [9, 10].

В Таблице 1 показаны уровни и интервалы варьирования факторов. Независимыми переменными (X_j) являлись микроэлементы: X_1 — цинк (Zn); X_2 — молибден (Mo); X_3 — бор (B); X_4 — марганец (Mn); X_5 — медь (Cu); X_6 — кобальт (Co).

Таблица 1.

УРОВНИ И ИНТЕРВАЛЫ ВАРЬИРОВАНИЯ ФАКТОРОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ВЛИЯНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ СМЕСИ ИЗ 6-ТИ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ

Кодированные значения факторов	Микроэлементы					
	X_1 — цинк	X_2 — молибден	X_3 — бор	X_4 — марганец	X_5 — медь	X_6 — кобальт
Фактор	Концентрации, %					
Нулевой (основной) уровень 0	5×10^{-7}	5×10^{-6}	1×10^{-4}	5×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-5}
Интервал варьирования ± 1	$4,55 \times 10^{-7}$	$4,17 \times 10^{-7}$	$0,86 \times 10^{-4}$	$3,75 \times 10^{-5}$	$3,85 \times 10^{-5}$	$0,45 \times 10^{-5}$
Верхний уровень (+1)	10×10^{-7}	$9,17 \times 10^{-6}$	$1,86 \times 10^{-4}$	$8,75 \times 10^{-5}$	$8,85 \times 10^{-5}$	$1,45 \times 10^{-5}$
Нижний уровень (-1)	$0,45 \times 10^{-7}$	$0,83 \times 10^{-6}$	$0,14 \times 10^{-4}$	$1,25 \times 10^{-5}$	$1,15 \times 10^{-5}$	$0,55 \times 10^{-5}$

В Таблице 2 приведена матрица планирования эксперимента в лабораторном опыте №2 по биотестированию водных растворов смеси из 6-ти микроэлементов по фону смеси Прянишникова (X_0).

В вегетационном опыте проведена оценка эффективности полива двух почв выбранным составом водного раствора смеси из 6-ти микроэлементов, имеющего максимальную биологическую активность по приросту массы корней проростков пшеницы из опыта №2, взятого без смеси Прянишникова. Использован состав смеси микроэлементов варианта №15.

Таблица 2.

МАТРИЦА ПЛАНИРОВАНИЯ ОПЫТА

Вариант опыта	Кодированные значения факторов						
	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
1	+	+	-	-	-	-	+
2	+	-	-	-	-	-	+
3	+	+	+	-	-	-	-
4	+	-	+	-	-	-	-
5	+	+	-	+	-	-	-
6	+	-	-	+	-	-	-
7	+	+	+	+	-	-	+
8	+	-	+	+	-	-	+
9	+	+	-	-	+	-	-
10	+	-	-	-	+	-	-
11	+	+	+	-	+	-	+
12	+	-	+	-	+	-	+
13	+	+	-	+	+	-	+
14	+	-	-	+	+	-	+
15	+	+	+	+	+	-	-
16	+	-	+	+	+	-	-
17	+	+	-	-	-	+	-
18	+	-	-	-	-	+	-
19	+	+	+	-	-	+	+
20	+	-	+	-	-	+	+
21	+	+	-	+	-	+	+
22	+	-	-	+	-	+	+
23	+	+	+	+	-	+	-
24	+	-	+	+	-	+	-
25	+	+	-	-	+	+	+
26	+	-	-	-	+	+	+
27	+	+	+	-	+	+	-
28	+	-	+	-	+	+	-
29	+	+	-	+	+	+	-
30	+	-	-	+	+	+	-
31	+	+	+	+	+	+	+
32	+	-	+	+	+	+	+

Схема вегетационного опыта:

1. Контроль — полив почвы дистиллированной водой.
2. Полив почвы 250 мл водного раствора смеси из 6-ти микроэлементов.
3. Полив почвы 150 мл водного раствора смеси из 6-ти микроэлементов.
4. Полив почвы 50 мл водного раствора смеси из 6-ти микроэлементов.

Методика закладки вегетационного опыта описана в работе В. Д. Прянишникова [8]. Масса почвы — 3 кг, число растений пшеницы в каждой повторности — 10 шт., повторность — четырехкратная, освещение в течение 12 часов от ламп ДРЛ–250. Использовали почву стационара Поросино — серую лесную, оподзоленную, средне-суглинистую, гумус 3,5% и почву стационара Ново-Архангельское — серую лесную, оподзоленную, тяжело-суглинистую, гумус 4,3%.

Полученные экспериментальные данные обрабатывали при помощи пакетов прикладных программ *Snedecor v.5* [11].

Результаты и их обсуждение

Результаты биотестирования водных растворов микроэлементов в широком интервале концентраций приведены в Таблице 3.

Таблица 3.

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ ПО МЕТОДУ «ВОДНЫХ КУЛЬТУР»

№	Микро-элемент	Доза соли, %	Доза микроэлемента, %	Вегетативная масса 10-ти проростков пшеницы, %	Масса корней 10-ти проростков пшеницы, %
1.	Mn	1×10^{-2}	$2,0 \times 10^{-3}$	122	145
2.	Mn	5×10^{-3}	$1,0 \times 10^{-4}$	112	130
3.	Mn	1×10^{-3}	$2,0 \times 10^{-4}$	115	137
4.	Mn	5×10^{-4}	$1,0 \times 10^{-5}$	107	123
5.	Mn	1×10^{-4}	$2,0 \times 10^{-5}$	128	156*
6.	Mn	5×10^{-5}	$1, \times 10^{-6}$	137*	125
7.	Cu	5×10^{-4}	$1,3 \times 10^{-4}$	109	137
8.	Cu	1×10^{-4}	$2,5 \times 10^{-5}$	120	125
9.	Cu	5×10^{-5}	$1,3 \times 10^{-5}$	135	152*
10.	Cu	1×10^{-5}	$2,5 \times 10^{-6}$	98	116
11.	Cu	5×10^{-6}	$1,3 \times 10^{-6}$	94	94
12.	Co	5×10^{-4}	$1,1 \times 10^{-4}$	101	121
13.	Co	1×10^{-4}	$2,1 \times 10^{-5}$	94	90
14.	Co	5×10^{-5}	$1,1 \times 10^{-5}$	108	132
15.	Co	1×10^{-5}	$2,1 \times 10^{-6}$	102	144
16.	Co	5×10^{-6}	$1,1 \times 10^{-6}$	108	136
17.	Zn	5×10^{-4}	$1,1 \times 10^{-5}$	114*	175*
18.	Zn	1×10^{-4}	$2,3 \times 10^{-5}$	116*	138*
19.	Zn	5×10^{-5}	$1,1 \times 10^{-6}$	130*	174*
20.	Zn	1×10^{-5}	$2,3 \times 10^{-7}$	125*	162*
21.	Zn	5×10^{-6}	$1,1 \times 10^{-7}$	140*	180*
22.	Mo	5×10^{-5}	$2,4 \times 10^{-5}$	123*	162*
23.	Mo	1×10^{-5}	$4,8 \times 10^{-6}$	109*	134
24.	Mo	5×10^{-6}	$2,4 \times 10^{-6}$	140*	201*
25.	Mo	1×10^{-6}	$4,8 \times 10^{-7}$	114	134
26.	Mo	5×10^{-7}	$2,4 \times 10^{-7}$	129*	181*
27.	B	1×10^{-4}	$1,75 \times 10^{-5}$	130*	180*
28.	B	5×10^{-5}	$8,7 \times 10^{-5}$	124*	169*
29.	B	1×10^{-5}	$1,75 \times 10^{-6}$	104	135
30.	B	5×10^{-5}	$8,7 \times 10^{-6}$	124*	176*
Контроль смесь Прянишникова				100	100

Примечание. * — различия показателя с контролем достоверны при $P \leq 0,05$.

Водный раствор сернокислого марганца в концентрациях от 1×10^{-5} до 5×10^{-3} % по соли (1×10^{-5} — 2×10^{-3} % по элементу) оказал положительное влияние на рост и развитие проростков пшеницы во всем исследуемом интервале концентраций микроэлемента: прибавка массы корней проростков пшеницы составляла 23–56% к контролю, вегетативной массы — 7–37%.

Максимальная достоверная физиологическая активность достигнута для соли *Mn* в концентрации $1 \times 10^{-4}\%$ по элементу ($2 \times 10^{-5}\%$ по соли).

Положительное влияние на рост и развитие проростков пшеницы серноокислая медь обеспечила в концентрации микроэлемента от 5×10^{-4} до 1×10^{-5} : прирост массы корней составил 16–52%, зеленой массы — 9–35%. Максимальное и достоверное повышение показателей биологической активности получено при концентрации сульфата меди в водном растворе $5 \times 10^{-5}\%$ по соли или $1,3 \times 10^{-5}$ по элементу.

Серноокислый кобальт в концентрациях от 5×10^{-6} до $5 \times 10^{-4}\%$ обеспечил положительное влияние на рост и развитие проростков пшеницы: прирост массы корней составил 21–44%, вегетативной массы — до 8%. Максимальную достоверную физиологическую активность обеспечил кобальт в концентрации $1 \times 10^{-5}\%$ по соли или $2,1 \times 10^{-6}$ по микроэлементу: прирост массы корней достигал 44%, вегетативной массы — 2%.

Следует отметить высокую биологическую активность (особенно по приросту массы корней) водных растворов серноокислого цинка во всем исследуемом интервале концентраций. Максимальные достоверные показатели биологической активности раствора получены при концентрации соли микроэлемента 5×10^{-6} или $1,1 \times 10^{-7}$ микроэлемента: прирост массы корней 80%, вегетативной массы 40%.

Молибдат аммония в исследуемых концентрациях существенно повысил биологическую активность раствора: прирост вегетативной массы до 40%, массы корней до 101%. Максимальное достоверное повышение биологической активности определено при концентрации молибдата аммония 5×10^{-6} по соли и $2,4 \times 10^{-6}$ по микроэлементу.

Водные растворы борной кислоты обеспечили прирост массы корней 35–80%, вегетативной массы — 24–30% к контролю. Максимальные достоверные показатели биологической активности определены при концентрации бора $1 \times 10^{-4}\%$ по кислоте или $1,75 \times 10^{-5}$ по микроэлементу.

Таким образом, по результатам проведенного первого лабораторного опыта по биотестированию водных растворов микроэлементов выявлены концентрации микроэлемента с высокой биологической активностью, представленные в Таблице 4.

Таблица 4.

КОНЦЕНТРАЦИИ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ С МАКСИМАЛЬНОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Микроэлемент	Биологическая активность, % к контрольному варианту		Концентрация микроэлемента в водном растворе с максимальной биологической активностью, %	
	масса корней проростков пшеницы	вегетативная масса проростков пшеницы	по микроэлементу	по соли микроэлемента
Mn	156	137	$2,0 \times 10^{-5}$	1×10^{-4}
Cu	152*	135	$1,3 \times 10^{-5}$	5×10^{-5}
Co	144	102	$2,1 \times 10^{-6}$	1×10^{-5}
Mo	201*	140*	$2,4 \times 10^{-6}$	5×10^{-6}
Zn	180*	140*	$1,1 \times 10^{-7}$	5×10^{-6}
B	180*	130*	$1,75 \times 10^{-5}$	1×10^{-4}

Примечание. * — различия показателя с контролем достоверны при $P \leq 0,05$.

По результатам исследований лабораторного опыта №1 были выбраны интервалы концентраций 6-ти микроэлементов с максимальной активностью, которые использованы для оценки биологической активности водных растворов смеси из 6-ти микроэлементов.

В Таблице 5 приведены результаты оценки биологической активности водных растворов смеси из 6-ти микроэлементов из лабораторного опыта №2.

Таблица 5.

ВЛИЯНИЕ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ СМЕСИ ИЗ 6-ТИ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ
НА НАЧАЛЬНЫЙ РОСТ И РАЗВИТИЕ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ

Вариант лабораторного опыта №2	Показатели биологической активности водных растворов смеси из 6-ти микроэлементов, %	
	Сухая вегетативная масса проростков пшеницы	Сухая масса корней проростков пшеницы
1	116,7	107,7
2	92,7	95,2
3	125,5	103,2
4	121,6	109,6
5	129,2	110,0
6	114,6	113,1
7	129,1	118,2
8	115,0	103,5
9	124,2	114,0
10	115,7	105,4
11	107,6	106,4
12	109,4	98,1
13	108,9	96,7
14	113,7	112,7
15	112,6	133,0
16	116,1	115,7
17	117,3	117,8
18	110,8	98,5
19	119,1	112,0
20	113,6	100,8
21	122,3	110,8
22	127,2	108,6
23	118,3	113,3
24	126,0	94,7
25	101,6	90,0
26	124,6	108,5
27	118,2	103,5
28	125,6	101,1
29	125,0	108,9
30	112,6	107,1
31	90,8	92,0
32	92,9	96,5

Результаты исследований показали, что в варианте опыта №2 смесь из 6-ти микроэлементов проявляет токсичное действие на начальный рост и развитие пшеницы, как по приросту вегетативной массы проростков пшеницы (92,7% относительно контрольного варианта — смеси Прянишникова), так и по массе корней проростков (95,2%). В вариантах 12, 18, 24, 25 вегетативная масса проростков достигала 1,6–26,0% к контрольному варианту на фоне слабого развития массы проростков относительно контроля: 90,0–98,5%.

Проведенные исследования позволили определить составы смесей из 6-ти микроэлементов, у которых физиологическая активность водных растворов максимальна по приросту массы корней (Таблица 6).

Таблица 6.

СОСТАВЫ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ СМЕСЕЙ ИЗ 6-ТИ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ, ИМЕЮЩИХ МАКСИМАЛЬНУЮ БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ПО ПРИРОСТУ МАССЫ КОРНЕЙ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ

Вариант лабораторного опыта №2	Показатели биологической активности водных растворов из 6-ти микроэлементов, %	
	сухая вегетативная масса проростков пшеницы	сухая масса корней проростков пшеницы
7	129,1	118,2
15	112,6	133,0
16	116,1	115,7
17	117,3	117,8

Максимальная биологическая активность водного раствора из 6-ти смеси микроэлементов по приросту массы корней определена в варианте №15. Состав водного раствора из 6-ти микроэлементов, %: цинк — 10×10^{-7} , молибден — $9,17 \times 10^{-6}$, бор — $1,86 \times 10^{-4}$, марганец — $8,75 \times 10^{-5}$, медь — $1,15 \times 10^{-5}$, кобальт — $0,55 \times 10^{-5}$.

В Таблице 4 определены составы водных растворов смесей из 6-ти микроэлементов, биологическая активность которых максимальна по приросту вегетативной массы пшеницы.

Максимальная биологическая активность водного раствора смеси из 6-ти микроэлементов по приросту вегетативной массы проростков пшеницы определена в варианте №7. Состав водного раствора варианта №7 из 6-ти микроэлементов: цинк — 10×10^{-7} , молибден — $9,17 \times 10^{-6}$, бор — $1,86 \times 10^{-4}$, марганец — $1,25 \times 10^{-5}$, медь — $1,15 \times 10^{-5}$, кобальт — $1,45 \times 10^{-5}$.

Таблица 7.

СОСТАВЫ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ СМЕСЕЙ ИЗ 6-ТИ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ, ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ КОТОРЫХ МАКСИМАЛЬНА ПО ПРИРОСТУ ВЕГЕТАТИВНОЙ МАССЫ ПШЕНИЦЫ

Вариант лабораторного опыта №2	Показатели биологической активности водных растворов из 6-ти микроэлементов, %	
	сухая вегетативная масса проростков пшеницы	сухая масса корней проростков пшеницы
3	125,5	103,2
5	129,2	110,0
7	129,1	118,2
22	127,2	108,6
24	126,0	94,7
28	125,6	101,1
29	125,0	108,9

По результатам исследований определены составы водных растворов из 6-ти микроэлементов, которые не оказывают токсичного действия при совместном применении.

Два выбранных состава отличаются друг от друга по содержанию марганца и кобальта. При этом для лучшего нарастания вегетативной массы проростков пшеницы марганца следует брать на $7,5 \times 10^{-5}\%$ больше, кобальта — на $0,9 \times 10^{-5}\%$ меньше.

Результаты вегетационного опыта по влиянию корневой подкормки водным раствором смеси из 6-ти микроэлементов варианта №15 из опыта №2 на вегетативную массу яровой пшеницы на двух почвах представлены в Таблице 8.

Таблица 8.

ВЛИЯНИЕ ПОЛИВА ПОЧВЫ ВОДНЫМ РАСТВОРОМ СМЕСИ ИЗ 6-ТИ
МИКРОЭЛЕМЕНТОВ НА ВЕГЕТАТИВНУЮ МАССУ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ НА ДВУХ
ПОЧВАХ В УСЛОВИЯХ ВЕГЕТАЦИОННОГО ОПЫТА

Вариант опыта	Вегетативная масса пшеницы на почве стационара Поросино		Вегетативная масса пшеницы на почве стационара Новоархангельское	
	г	%	г	%
1. Контроль — полив почвы дистиллированной водой	20,036	100	18,299	100
2. Полив почвы 250 мл водного раствора смеси из 6-ти микроэлементов	23,478*	117*	25,014*	137*
3. Полив почвы 150 мл водного раствора смеси из 6-ти микроэлементов	25,105*	125*	25,578*	140*
4. Полив почвы 50 мл водного раствора смеси из 6-ти микроэлементов	25,584*	128*	26,166*	143*

Примечание. * — различия показателя с контролем достоверны при $P \leq 0,05$.

Корневая подкормка водным раствором смеси из 6-ти микроэлементов оказала достоверно положительное влияние на рост и развитие пшеницы во всех вариантах опыта. Прирост вегетативной массы составил от 17% до 43% (по сравнению с контролем). Такое повышение биомассы подтверждает правильность концентраций выбранного состава смеси микроэлементов. Кроме того, аналогичный состав смеси может быть использован для опрыскивания вегетирующих растений.

Выводы:

1. Установлена высокая физиологическая активность водных растворов солей микроэлементов в низкой области концентраций, эквивалентной содержанию их в почве: *Си*, *В*, *Mn* — 0,13–0,20 мг/л; *Со*, *Мо* — 0,022 и 0,024 мг/л; *Zn* — 0,0011 мг/л. Показатели физиологической активности исследованных микроэлементов колебались по приросту массы корней от 16 до 101%, по приросту вегетативной массы — от 1 до 40% к контрольному варианту.

2. Для каждого элемента определена концентрация (%), обеспечивающая его максимальную физиологическую активность: марганец — $2,0 \times 10^{-5}$, медь — $1,3 \times 10^{-5}$, кобальт — $2,1 \times 10^{-6}$; молибден — $2,4 \times 10^{-6}$; цинк — $1,1 \times 10^{-7}$; бор — $1,75 \times 10^{-5}$. Показатели физиологической активности достигали по приросту вегетативной массы 2–40%, массы корней — 44–101% к контрольному варианту.

3. Разработаны составы водных растворов смесей из 6-ти микроэлементов, в которых микроэлемент включен в концентрации с максимальной биологической активностью.

4. По результатам исследований определены составы водных растворов из 6-ти микроэлементов, которые не оказывают токсичного действия при совместном применении:

–по приросту массы корней проростков пшеницы выбран состав водного раствора из 6-ти микроэлементов, содержащий в %: цинк — 10×10^{-7} , молибден — $9,17 \times 10^{-6}$, бор — $1,86 \times 10^{-4}$, марганец — $8,75 \times 10^{-5}$, медь — $1,15 \times 10^{-5}$, кобальт — $0,55 \times 10^{-5}$.

–по приросту вегетативной массы проростков пшеницы выбран состав водного раствора из 6-ти микроэлементов, содержащий, %: цинк — 10×10^{-7} , молибден — $9,17 \times 10^{-6}$, бор — $1,86 \times 10^{-4}$, марганец — $1,25 \times 10^{-5}$, медь — $1,15 \times 10^{-5}$, кобальт — $1,45 \times 10^{-5}$.

5. Установлено, что два выбранных состава смесей микроэлементов отличаются друг от друга по содержанию марганца и кобальта. При этом для лучшего нарастания вегетативной массы проростков пшеницы марганца следует брать на $7,5 \times 10^{-5}\%$ больше, кобальта — на $0,9 \times 10^{-5}\%$ меньше.

6. В вегетационном опыте доказаны высокая биологическая активность водного раствора смеси микроэлементов в низкой концентрации при выращивании пшеницы.

Список литературы:

1. Пейве Я. В. Биохимия почв. М.: Сельхозиздат, 1961. 422 с.
2. Методические рекомендации по применению микроудобрений. М., 1977. 33 с.
3. Касимова Л. В., Кравец А. В. Комплексные составы гуминового препарата с микроэлементами для выращивания яровой пшеницы // Достижения науки и техники АПК. 2012. №5. С. 24–26.
4. Шаяхметов И. Т., Кузнецов В. И., Гилязетдинов Ш. Я. и др. Защитно–стимулирующие и адаптогенные свойства препарата ГУМИ — биоактивированной формы гуминовых кислот. Эффективность его использования в сельском хозяйстве. Уфа, 2000. 102 с.
5. Дударчик В. М., Коврик С. И., Смычник Т. П. Возможность использования торфощелочных суспензий для очистки металлсодержащих растворов // Научные сообщения. Вып. 20. С. 147–150.
6. Агрохимия / под ред. Б. А. Ягодина. М.: Агропромиздат, 1989. С. 323–347.
7. Батурич Ю. Н. К обоснованию методики определения агрономической эффективности естественного торфа // Проблемы использования торфа и торфяных месторождений. Минск: Наука и техника, 1976. С. 35–44.
8. Прянишников Д. Н. Избранные сочинения в трех томах. Т. 2. Частное земледелие. М: Колос, 1965. 708 с.
9. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Программированное введение в планирование эксперимента. М.: Наука. 1971. 176 с.
10. Налимов В. В. Теория эксперимента. М.: Наука. 1965. 412 с.
11. Сорокин О. Д. Прикладная статистика на компьютере. Новосибирск, 2004. 162 с.

References:

1. Peive Ya. V. Biokhimiya pochv. M.: Selkhozizdat, 1961, 422 p.
2. Metodicheskie rekomendatsii po primeneniyu mikroudobrenii. M., 1977, 33 p.
3. Kasimova L.V., Kravets A.V. Kompleksnye sostavy guminovogo preparata s mikroelementami dlya vyrashchivaniya yarovoi pshenitsy. Dostizheniya nauki i tekhniki APK, 2012, no. 5. pp. 24–26.
4. Shayakhmetov I. T., Kuznetsov V. I., Gilyazetdinov Sh. Ya. et al. Zashchitno–stimuliruyushchie i adaptogennye svoystva preparata GUMI — bioaktivirovannoi formy guminovykh kislot. Effektivnost ego ispolzovaniya v selskom khozyaistve. Ufa, 2000, 102 p.
5. Dudarchik V. M., Kovrik S. I., Smychnik T. P. Vozmozhnost ispolzovaniya torfoshchelochnykh suspenzii dlya ochistki metallsoederzhashchikh rastvorov. Nauchnye soobshcheniya, issue 20, pp. 147–150.
6. Agrokhiimiya. Ed. B. A. Yagodin. M.: Agropromizdat, 1989, pp. 323–347.
7. Baturin Yu. N. K obosnovaniyu metodiki opredeleniya agronomicheskoi effektivnosti estestvennogo torfa. Problemy ispolzovaniya torfa i torfyanykh mestorozhdenii. Minsk, Nauka i tekhnika, 1976, pp. 35–44.
8. Pryanishnikov D. N. Izbrannye sochineniya v trekh tomakh. V. 2. Chastnoe zemledelie, Moscow, Kolos, 1965, 708 p.
9. Adler Yu. P., Markova E. V., Granovskii Yu. V. Planirovanie eksperimenta pri poiske optimalnykh uslovii. Programmirovannoe vvedenie v planirovanie eksperimenta. Moscow, Nauka, 1971, 176 p.
10. Nalimov V. V. Teoriya eksperimenta. Moscow, Nauka, 1965, 412 p.
11. Sorokin O. D. Prikladnaya statistika na kompyutere. Novosibirsk, 2004, 162 p.

*Работа поступила
в редакцию 15.09.2016 г.*

*Принята к публикации
19.09.2016 г.*