

ВЛИЯНИЕ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ ОБМЕННЫМ МАГНИЕМ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОГО ТРИТИКАЛЕ

**И.М. Богдевич, Ю.В. Путятин, И.С. Станилевич, О.М. Таврыкина,
В.А. Довнар, П.С. Манько**

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Магний играет важную роль в минеральном питании растений [1, 2, 3]. Недостаток или избыток этого элемента снижает урожайность и качество продукции, поэтому важно определить оптимальное содержание обменного магния в почве.

В связи с многолетним известкованием кислых почв доломитовой мукой средневзвешенное содержание в почвах обменных форм магния многократно повысилось и в настоящее время достигло уровня в пахотных почвах 147 мг/кг почвы, в луговых – 163 мг/кг. Доля почв с низким содержанием элемента многократно снизилась и составляет 4,8%. Большинство почв в Беларуси – 63,8 % относится к группе с оптимальным содержанием магния, возросла доля почв с высоким его содержанием – 31,4 %. Оптимальная и высокая обеспеченность почв магнием наблюдается на 97,4 % площади почв луговых земель [4]. Поскольку содержание обменного магния сильно различается по отдельным полям и участкам, на значительной части площади пахотных земель нарушено требуемое соотношение катионов $Ca^{2+} : Mg^{2+}$ и $K^{+} : Mg^{2+}$, и возделываемые культуры испытывают недостаток или избыток магния для формирования урожайности [5].

Производство полноценного зернофуражного корма в настоящее время стало актуальной проблемой [6]. При недостатке растительных кормов высокого качества потенциальная продуктивность животных используется на 50–60 %, несбалансированность рационов по их энергетической и протеиновой питательности приводит к значительному (25–30 %) перерасходу кормов и, соответственно, увеличивает удельный вес зернофуража в рационе [7].

Тритикале – ценная зернофуражная культура, сочетающая в себе лучшие качества пшеницы и ржи. Культура характеризуется хорошей переносимостью засухи и заморозков. Благодаря высокой урожайности и меньшей требовательности к плодородию почв тритикале вызывает все больший интерес [8–13]. Тритикале имеет преимущество перед другими зерновыми культурами по содержанию белка и незаменимых аминокислот [14]. Это является важным критерием, так как растительные корма должны быть сбалансированы по питательности и содержанию белка [15]. Тритикале возделывается в республике на площади более 500 тыс. га, с валовым сбором около 2 млн т зерна.

Цель исследования – установить параметры количественной зависимости урожайности и качества зерна тритикале от внесения доз минеральных удобрений и эффективность некорневых подкормок сульфатом магния на разных уровнях содержания обменного магния.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в 2015–2016 гг. на базе стационарного полевого опыта в ОАО «Гастелловское» Минского района на дерново-подзолистой легко-суглинистой почве, развивающейся на мощном лессовидном суглинке. Опыт заложен в двух полях в звене севооборота: ячмень – яровое тритикале – горох. В 2015–2016 гг. возделывалось яровое тритикале сорт Дуплет.

Почва пахотного горизонта перед закладкой опыта характеризовалась следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса (по Тюрину) – 1,8–2,1%, pH_{KCl} – 5,8–6,0, P_2O_5 (0,2 М HCl) – 350–450 мг/кг почвы, K_2O (0,2 М HCl) – 264–300 мг/кг, Ca (1 М KCl) – 750–900 мг/кг, Mg (1М KCl) 87–145 мг/кг почвы. Характеристика почвы по содержанию микроэлементов: среднее содержание бора – 0,33–0,65 мг/кг, меди – 2,08–2,84 мг/кг, обменного марганца – 2,02–5,92 мг/кг, подвижных форм серы – 6,1–8,8 мг/кг, низкое содержание цинка – 1,84–2,60 мг/кг. Гидролитическая кислотность была в пределах 1,23–3,33 мг-экв/100 г почвы.

На опытном участке было создано четыре уровня обеспеченности почвы обменным Mg, которые отражают диапазон различий по содержанию магния в дерново-подзолистых суглинистых почвах Беларуси, от низкого до избыточного. Высокие уровни содержания обменного магния на блоках делянок созданы за счет внесения быстродействующего удобрения – сульфата магния ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) (табл. 1).

Таблица 1

Содержание и соотношение катионов (Ca, Mg, K) в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве опытных полей в ОАО «Гастелловское», 2015–2016 гг.

Поле	Уровень	Содержание в почве, мг·кг ⁻¹			Эквивалентное соотношение катионов	
		Ca	Mg	K	Ca:Mg	K:Mg
№ 1 Яровое тритикале 2015г.	1	1737	46	308	22,9	2,1
	2	1432	90	278	9,7	1,0
	3	1216	147	279	5,0	0,6
	4	1110	198	257	3,4	0,4
№ 2 Яровое тритикале 2016 г.	1	1530	50	267	18,6	1,7
	2	1338	92	250	8,8	0,9
	3	1152	138	254	5,1	0,6
	4	1077	183	239	3,6	0,4

Схема опытов состояла из 9 вариантов удобрений на каждом из четырех уровней содержания обменного магния в почве:

1. Контроль (без удобрений);
2. $N_{60+30}P_{60}$;
3. $N_{60+30}P_{60}K_{120}$ – фон;
4. $N_{60+30}P_{60}K_{180}$;
5. Фон + Mg_1 ;
6. Фон + $Mg_{1,5}$;
7. Фон + S_{60} (сульфат аммония);
8. Фон + S_{60} + Mg_1 ;
9. Фон + S_{60} + $Mg_{1,5}$.

На каждом блоке содержания обменного магния в почве исследуется действие базового варианта удобрений, варианта с повышенной дозой калия, серы в дозе S_{60} и некорневых подкормок сульфатом магния. Из минеральных удобрений использовали карбамид, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий, сульфат аммония. Агротехника возделывания культур – общепринятая для республики.

Опыт развернут в двух полях. Повторность опыта 4-кратная, размещение делянок рандомизированно. Общая площадь делянки – 15 м², учетная площадь – 8 м². Закладку опыта, наблюдения, учет урожайности, анализы почвы и растений проводили по соответствующим методическим указаниям. Статистическая обработка результатов исследований выполнена по Б.А. Доспехову (1985) с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные исследования позволили установить зависимость урожайности зерна ярового тритикале от обеспеченности почвы обменным магнием (табл. 2).

Урожайность зерна ярового тритикале увеличивалась в варианте без удобрений по мере повышения содержания обменного магния в почве в диапазоне (46–50)–(90–92)–(138–147) мг/кг и составила в среднем за 2015–2016 гг. – 32,8–36,8–44,4 ц/га соответственно. Дальнейшее повышение обеспеченности почвы обменным магнием до уровня 183–198 мг/кг оказалось избыточным и снижало урожайность зерна ярового тритикале. Прибавка урожайности за счет повышения в почве обменного магния с 46–50 до 138–147 мг/кг составила в контрольном варианте 11,6 ц/га, в варианте с оптимальной дозой удобрений $N_{90+30}P_{60}K_{120}$ – 10,4 ц/га. В удобренных вариантах наибольшая урожайность зерна получена на третьем уровне обеспеченности почвы магнием, а при некорневых подкормках сульфатом магния – на втором и третьем.

Таблица 2

Урожайность зерна ярового тритикале в зависимости от содержания обменного магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве и удобрений (в среднем за 2015–2016 гг.)

Вариант	Урожайность зерна, ц/га				Прибавка зерна, ц/га, за счет повышения содержания Mg		
	Уровни содержания Mg, мг/кг почвы				90–92	138–147	183–198
	46–50	90–92	138–147	183–198			
Контроль	32,8	36,8	44,4	40,3	4,0	11,6	7,5
$N_{90+30}P_{60}$	49,6	54,4	59,5	59,1	4,8	9,9	9,5
$N_{90+30}P_{60}K_{120}$ (фон)	52,4	59,1	63,1	60,5	6,7	10,4	8,1
$N_{90+30}P_{60}K_{180}$	59,2	62,4	64,6	61,4	3,2	5,4	2,2
Фон + Mg_1	60,3	64,3	64,3	58,5	4,0	4,0	-1,8
Фон + $Mg_{1,5}$	60,0	64,4	64,9	58,5	4,4	4,9	-1,5
Фон + S_{60}	57,7	60,3	63,8	58,6	2,6	6,1	0,9
Фон + S_{60} + Mg_1	60,3	63,0	63,6	58,5	2,7	3,3	-1,8
Фон + S_{60} + $Mg_{1,5}$	60,0	63,9	63,7	59,1	3,9	3,7	-0,9
НСР ₀₅ варианты	3,09						
уровни	2,61						

В варианте с внесением $N_{90+30}P_{60}K_{120}$ зависимость урожайности описывалась квадратичным уравнением с высоким значением аппроксимации ($R^2 = 0,99$). Согласно расчетам, максимальная урожайность в 2015 г. получена при обеспеченности почвы обменным магнием – 140 мг/кг, в 2016 – 145 мг/кг (рис. 1).

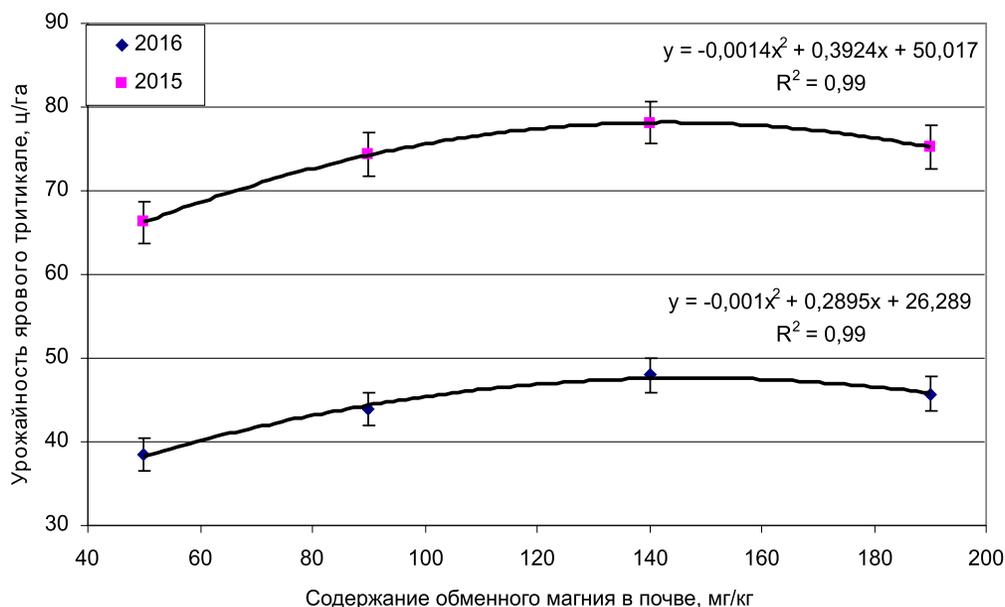


Рис. 1. Урожайность зерна ярового тритикале в зависимости от содержания обменного магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, вариант $N_{90+30}P_{60}K_{120}$

По мнению W. Bergmann, аналогичного типа снижение урожайности при избытке доступного растениям магния в почве связано с нарушением баланса катионов в почвенном растворе, относительным недостатком кальция и угнетением корневой системы растений [16]. Таким образом, ориентировочный расчетный диапазон оптимального содержания обменного магния в почве для получения высокой урожайности зерна ярового тритикале определен как Mg 130–150 (или MgO 220–250) мг/кг почвы. Этот диапазон оптимума находится в верхней части четвертой группы действующей в Беларуси градации обеспеченности почв магнием. При этом эквивалентное соотношение в почве катионов Ca : Mg должно быть в пределах около 5, а соотношение K : Mg – около 0,6.

Некорневые подкормки раствором сульфата магния в опытах подтвердили недостаток магния для растений на первых двух уровнях содержания обменного магния в почве (рис. 2). Прибавки урожайности зерна ярового тритикале от некорневых подкормок были значительными при содержании Mg в почве 46–92 мг/кг (низкий и средний уровень содержания Mg в почве). Некорневые подкормки сульфатом магния оказались неэффективными на повышенном и высоком уровнях обеспеченности почвы обменным магнием, так как прибавки были статистически недостоверны или наблюдалось снижение урожайности ярового тритикале.

При низкой обеспеченности почвы обменным магнием в диапазоне 46–50 мг/кг почвы эффективнее оказались подкормки сульфатом магния на фоне серосодержащего удобрения, прибавка урожайности зерна составила 8,6 ц/га. По мере по-

вышения содержания магния в почве более действенными оказались подкормки сульфатом магния непосредственно, чем на фоне серы.

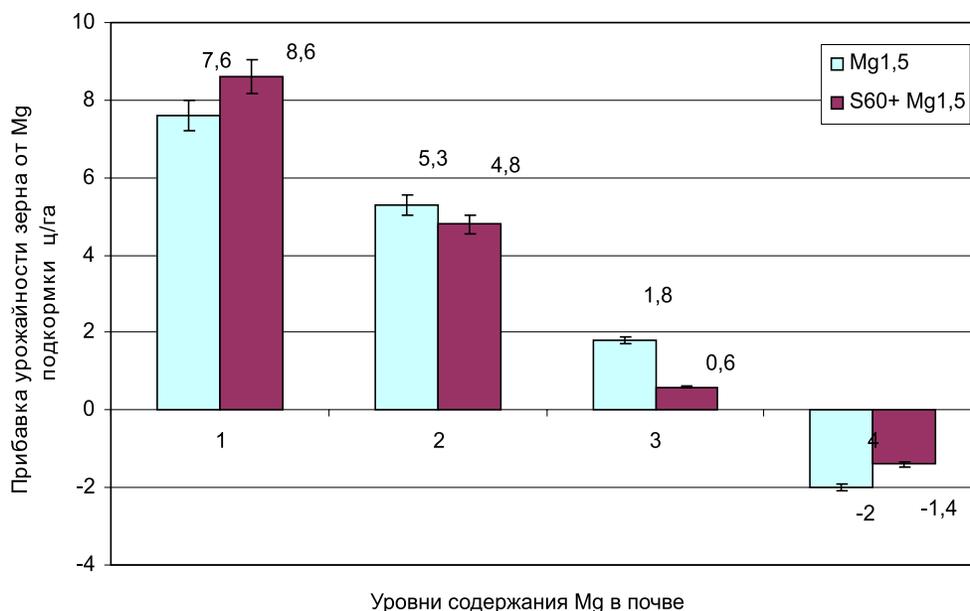


Рис. 2. Прибавки урожайности зерна ярового тритикале ц/га, к фону $N_{90+30}P_{60}K_{120}$ от некорневых подкормок сульфатом магния непосредственно и на фоне серы S_{60} на разных уровнях обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы обменным магнием (1 – Mg в почве 46–90 мг/кг, 2 – 90–92 мг/кг, 3 – 138–147 мг/кг, 4 – 183–198 мг/кг)

Таким образом, содержание обменных форм магния в почве является критерием как для определения диапазона оптимальной обеспеченности возделываемых культур магнием, так и для прогноза эффективности некорневых подкормок растений сульфатом магния. Некорневые подкормки 4 % раствором сульфата магния в дозе Mg 1,5 кг/га могут быть эффективными на посевах ярового тритикале в стадию образования 3–5 листьев на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах 1–3 групп обеспеченности обменным магнием. При этом, на фоне некорневой подкормки сульфата магния наибольшая урожайность зерна тритикале получена в более широком диапазоне содержания обменного магния 90–173 мг/кг почвы и в расширенном диапазоне соотношения $Ca^{2+}:Mg^{2+}$ в почве 5–10. Расширение этого соотношения до уровня 12–22 или сужение до уровня 2,9–3,4 сопровождалось недобором урожайности зерна.

Чтобы повысить надежность прогноза эффективности магниевых подкормок растений тритикале почвенную диагностику желательно дополнить растительной диагностикой.

Для объективной оценки состояния магниевое питания растений необходимо использовать как методы диагностики по химическому анализу почв, так и анализы растений. Установлено, что концентрации магния в растениях тритикале в фазу кущения наиболее тесно коррелируют с содержанием магния в почве. К началу колошения концентрация магния в листьях тритикале снижается, а различия меж-

ду уровнями обеспеченности почвы обменным магнием сглаживаются. Магниева диагностика растений тритикале в фазу кущения имеет преимущество и с точки зрения своевременного получения данных до оптимального срока проведения некорневой подкормки растений сульфатом магния в период выхода в трубку – появления флагового листа.

Известно, что доступность катиона Mg^{2+} растениям зависит от емкости катионного обмена почвы и влияния конкурирующих катионов Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , Fe^{2+} , Al^{3+} . Наиболее влияющими катионами являются Ca^{2+} и K^+ [16–18]. В свою очередь, повышение в почве содержания обменного магния сопровождается уменьшением поступления в растения кальция, и, в меньшей степени, калия.

В наших опытах по мере повышения содержания магния в почве наблюдалось повышение концентрация магния в 1,4–1,5 раза и одновременное снижение содержания кальция в растениях тритикале в 1,5 раза в 2015 г. и в 2,0 раза в 2016 г. (рис. 3). В оба года наблюдалась тесная корреляционная связь концентрации Mg в молодых растениях в фазу кущения с содержанием обменного магния в почве ($R^2 = 0,97–0,98$).

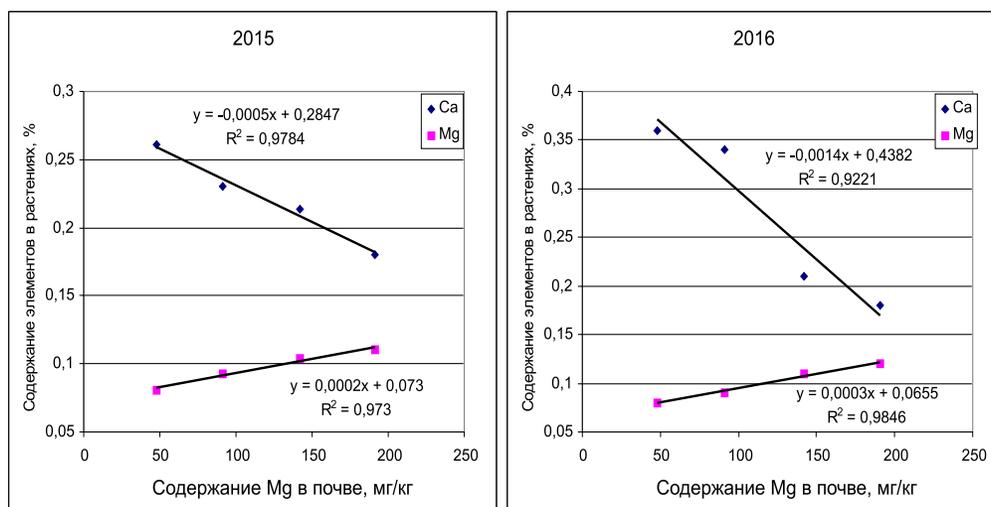


Рис. 3. Содержание Mg и Ca в растениях ярового тритикале в фазу кущения в зависимости от содержания обменного магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, 2015–2016 гг.

При оценке данных полевого опыта с яровым тритикале в фазу кущения отмечено, что при повышении обеспеченности почвы обменным магнием содержание калия в растениях тритикале также несколько снижается.

ВЫВОДЫ

1. В условиях модельных полевых экспериментов установлен диапазон оптимального содержания обменного магния для получения высокой урожайности зерна ярового тритикале на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах: 130–150 мг Mg на кг почвы. Этот диапазон оптимума соответствует четвертой группе действующей в Беларуси градации обеспеченности почв магнием. При этом экви-

валентное соотношение в почве катионов Са:Мg должно быть в пределах около 5, а соотношение К:Мg – около 0,6.

2. Получены существенные прибавки урожайности зерна ярового тритикале до 5,3–8,6 ц/га от некорневых подкормок растений раствором сульфатом магния, подтвердивших недостаток магния на низком и среднем уровнях содержания обменного магния, 46–92 мг Мg на кг почвы.

3. В эксперименте установлена тесная корреляционная связь концентрации Мg в растениях тритикале в фазу кущения с содержанием обменного магния в почве ($R^2 = 0,97-0,98$). Повышение в почве содержания обменного магния сопровождается уменьшением поступления в растения кальция и калия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Магницкий, К.П.* Магниевые удобрения / К.П. Магницкий. – М.: Колос, 1967. – 200 с.
2. *Мазаева, М.М.* Магниевое питание растений и магниевые удобрения: автореф. дис. ... д-ра с.-х наук / М.М. Мазаева. – М., 1967. – 42 с.
3. *Шкляев, Ю.Н.* Магний в жизни растений / Ю.Н. Шкляев. – М.: Наука, 1981. – 95 с.
4. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / И.М. Богдевич [и др.]; под общ. ред. И.М. Богдевича. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2012. – 276 с.
5. Методика почвенной и растительной диагностики магниевого питания кукурузы / И.М. Богдевич [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2014. – 28 с.
6. *Шор, В.Ч.* Возделывание гороха и яровой вики в чистых и смешанных посевах / В.Ч. Шор, Л.И. Белявская // Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси: сб. науч. тр. 2-е изд., доп. и перераб. / НПЦ НАН Беларуси по земледелию. – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – С. 179–190.
7. *Жданович, В.П.* Перспективы использования зернобобовых культур в условиях радиоактивного загрязнения / В.П. Жданович, С.А. Исаченко, Л.И. Козлова // Проблемы радиологии загрязненных территорий: юбилейн. темат. сборник / Комитет по проблемам последствий катастрофы на ЧАЭС, Ин-т радиологии. – Минск, 2001. – С. 64–74
8. Эффективность использования озимых форм в селекции ярового тритикале / С.И. Гриб [и др.] / Земледелие и селекция в Беларуси: сб. науч. тр./ НПЦ НАН Беларуси по земледелию; редкол.: Ф.И. Привалов [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2015. – Вып. 51. – С. 295–302.
9. *Гриб, С.И.* Генофонд, методы и результаты селекции тритикале в Беларуси / С.И. Гриб // Известия Национальной академии наук Беларуси. Сер. аграрных наук. – Минск: Беларус. навука, 2014. – № 3. – С. 40–45.
10. *Холодинский, В.В.* Формирование урожайности зерна яровой тритикале в зависимости от сорта и приемов возделывания: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.09./ В.В. Холодинский. – Жодино, 2011. – 18 с.
11. *Германович, Т.М.* Урожайность и качество зерна ярового тритикале в зависимости от степени кислотности и обеспеченности калием дерново-подзолистой

легкосуглинистой почвы / Т.М. Германович, В.А. Сатишур // Почвоведение и агрохимия. – 2009. – № 43. – С. 157–166.

12. *Ширко, П.А.* Удобрения, продуктивность и кормовые достоинства ярового тритикале / П.А. Ширко // Современное состояние, проблемы и перспективы развития кормопроизводства: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Горки: Белорусская государственная сельхоз. академия, 2007. – С. 197–203.

13. *Привалов, Ф.И.* Влияние уровня интенсификации технологии возделывания на урожайность и содержание белка в зерне ярового тритикале / Ф.И. Привалов [и др.] // Земледелие и селекция в Беларуси: сб. науч. тр./ НПЦ НАН Беларуси по земледелию; редкол.: Ф.И. Привалов [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2016. – Вып. 52. – С. 83–88.

14. *Гриб, С.И.* Яровое тритикале: основные преимущества и особенности технологии возделывания / С.И. Гриб, В.Н. Буштевич., Т.М. Булавина // Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси: сб. науч. материалов. – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – С. 139–142.

15. *Булавина, Т.М.* Оптимизация приемов возделывания тритикале в Беларуси / Т.М. Булавина.; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т земледелия и селекции НАН Беларуси; под. ред. С.И. Гриб. – Минск: ИВЦ Минфина, 2005. – 224 с.

16. *Bergmann, W.* Nutritional disorders of plants – development, visual and analytical diagnosis / W. Bergmann [et al.] // Stuttgart, New York. – 1992. – 234 p.

17. *McLean, E.O.* Basic cation saturation ratios as a basis for fertilizing and liming agronomic crops. II. Field studies / E.O. McLean [et al.]. – Agronomy Journal. – 1983. – P. 75: 635–639.

18. *Барбер, С.А.* Биологическая доступность питательных веществ в почве. Механистический подход / С.А. Барбер; под ред. Э.Е. Хавкина. – М.: Агропромиздат, 1988. – 376 с.

EFFECT OF EXCHANGEABLE MAGNESIUM SUPPLY OF PODZOLUVISOL LOAMY SOIL ON THE SPRING TRITICALE YIELD

I.M. Bogdevitch, Yu.V. Putyatin, I.S. Stanilevich, O.M. Tavrykina,
V.A. Dovnar, P.S. Manko

Summary

The range of optimal exchangeable Mg content (130–150 mg/kg) in Podzoluvisol loamy soil for the high yield or spring triticale grain had been found in the model field experiments. The equivalent ratio of Ca: Mg should be around 5 and ratio K: Mg – around 0.6. There were a close correlation ($R^2 = 0.97–0.98$) observed between the levels of soil Mg supply and Mg content in triticale plants at tillering stage. Sufficient grain yield response up to 0.53–0.86 t/ha to foliar application of magnesium sulphate solution verified the deficit of Mg nutrition for triticale plants on the low and medium content 46–92 mg of exchangeable Mg on kg of soil.

Поступила 17.04.17