

## ВЛИЯНИЕ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ ОБМЕННЫМ МАГНИЕМ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА КУКУРУЗЫ

О.М. Таврыкина, И.М. Богдевич, Ю.В. Путятин,  
Е.С. Третьяков, В.А. Довнар, Д.В. Маркевич  
*Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь*

### ВВЕДЕНИЕ

Переход к интенсивной системе земледелия с введением наиболее продуктивных сортов и культур, наряду с увеличением доз минеральных удобрений, приводит к повышению продуктивности пашни и, как следствие, к необходимости широкого использования магниевых удобрений на полях с низким его содержанием. Отмечается высокая эффективность магниевых удобрений при низкой обеспеченности почв магнием не только для сельскохозяйственных культур с высокой потребностью в нем (картофель, овощные), но и для зерновых, технических культур, многолетних трав [1–3].

В Беларуси с 1965 г. было проведено семь циклов известкования кислых почв, где в качестве мелиоранта использовалась доломитовая мука с содержанием магния около 20 % [4]. Это привело к закономерному повышению содержания в почвах обменных форм магния.

В работе 1980–х гг. приведено оптимальное содержание обменного магния, равное 55–70 мг·кг<sup>-1</sup> почвы, в том числе для кукурузы рекомендуемое содержание Mg на песчаных и супесчаных почвах составляло 85–95 мг·кг<sup>-1</sup>, на суглинистых и тяжелосуглинистых почвах – 110–120 мг·кг<sup>-1</sup> [5]. В настоящее время средневзвешенное содержание обменного магния в пахотных почвах республики достигло уровня 147 мг Mg на кг почвы, а доля почв с низким содержанием элемента многократно снизилась и составляет 4,8 % [6].

Магний играет важную роль в поддержании баланса элементов питания, необходимого растениям, и его нельзя рассматривать без учета содержания других катионов. Изменение его содержания в почве влечет за собой изменение содержания катионов-антагонистов, в первую очередь калия и кальция, что оказывает влияние на поглощение их растениями. Оптимальное эквивалентное соотношение Ca:Mg и K:Mg в почвах приводится в литературе в достаточно широком диапазоне, однако параметры избыточного содержания магния в почве не установлены, мнения различных авторов противоречивы [7–11]. Соотношение Ca:Mg в почвах, рассчитанное по средневзвешенным показателям содержания элементов в областях республики, изменяется в пределах (3,0–5,7):1, а K:Mg – (0,3–0,4):1. Наличие более существенных различий в содержании элементов питания и их соотношений выявляется по отдельным полям и участкам.

Для объективной оценки состояния магниевых элементов питания растений и оптимизации применения магниевых удобрений необходимо использовать методы диагностики по химическому анализу почв и растений. Определение степени обе-

спеленности почв доступным магнием вместе с данными по содержанию его в индикаторных органах растений позволяет надежно оптимизировать магниевое питание растений и применение удобрений под ту или иную культуру.

По сравнению с другими культурами кукуруза усваивает больше питательных веществ из почвы. Наиболее интенсивное их поглощение наблюдается в период быстрого роста – от выметывания метелок до цветения. По данным А.Н. Аристархова, А.Г. Трещова [12], величина потребления магния кукурузой (кг на 10 ц урожая основной и побочной продукции) была достаточно высокой и составила 4,5 кг, в то время как для других зерновых она не превышала 2,1–3,2 кг. Несбалансированное содержание элементов питания в почве в конечном итоге ухудшает катионный состав зеленой массы кукурузы, что сказывается на качестве кормов. Так, пониженное содержание магния в кормах вызывает заболевание животных пастбищной тетанией, так как задерживаются процессы метаболизма минерального азота в органические формы. Повышенное содержание калия в почве усугубляет этот процесс, препятствуя поступлению Mg в растения вследствие антагонизма ионов.

Если биологические особенности кукурузы в отношении потребности в азоте, фосфоре и калии сравнительно хорошо изучены, то сведения о поступлении магния в растения кукурузы ограничены. До сих пор исследования по влиянию содержания в почве магния и соотношения катионов Ca:Mg и K:Mg на урожайность кукурузы и поглощение других катионов в Беларуси не проводились.

Цель исследования – установить влияние обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы обменным магнием на урожайность зерна кукурузы, показатель качества силоса – соотношение  $K/(Ca+Mg)$ , содержание и соотношения катионов кальция, калия и магния в почве и в растениях кукурузы.

## **МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Исследования проводили в 2010–2011 гг. в модельном стационарном полевом опыте, заложенном в СПК «Щемяслица» Минского района, на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на мощных лессовидных суглинках.

Опыт смоделирован таким образом, что делянки в его пределах значительно различались по содержанию обменного магния (1M KCl), от 50 до 265 мг/кг почвы, для создания различий, отражающих агрохимическую пестроту в условиях производства (табл. 1). Высокие уровни содержания обменного Mg на делянке создавались путем внесения быстродействующего удобрения – сульфата магния ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ). Агрохимические параметры почвы были определены дважды: весной перед насыщением опытных делянок и после уборки урожая осенью ( $pH_{KCl}$ , гумус,  $P_2O_5$ , K, Ca, Mg). Опыт заложен в двух полях и, согласно севообороту, в 2010 г. на поле №1, в 2011 г. на поле №2 возделывалась кукуруза гибрид Дельфин на делянках с разными уровнями обеспеченности почвы Mg (всего 64 делянки).

Содержание подвижных форм калия по Кирсанову по делянкам варьировало от 90 до 320 мг K/kg почвы, обменного кальция в 1 M растворе KCl – от 850 до 1580 мг Ca/kg почвы. Содержание катионов и их соотношения не выходят за рамки существующих в республике почв и отражают их наличие в производственных условиях.

Реакция почвы  $pH_{KCl}$  различалась незначительно, в пределах 6,11–6,42. Опытные делянки находились в одной группе по содержанию подвижных фос-

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

фатов, содержание  $P_2O_5$  (0,2 М НСl) составило 211–295 мг/кг почвы. Содержание гумуса (по Тюрину) было в пределах 1,72–2,02 %.

Таблица 1

### Содержание основных катионов (Mg, K, Ca) в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (опытные поля 1 и 2)

Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва (n=64)	Содержание в почве, мг·кг <sup>-1</sup>		
	Mg	K	Ca
Среднее	75	250	1320
Варьирование	50–87	130–320	1200–1440
Среднее	115	215	1300
Варьирование	90–150	120–305	1130–1490
Среднее	180	195	1200
Варьирование	157–215	100–270	850–1470
Среднее	240	165	1210
Варьирование	220–265	90–250	950–1580

Корреляционные связи катионов  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  и их соотношений рассчитывали с учетом их содержания по делянкам. Урожайность зерна кукурузы, показатель качества кормов, содержание катионов приведены на фоне внесения минеральных удобрений в дозе  $N_{110+30}P_{60}K_{120}$ . Минеральные удобрения внесены в виде карбамида, аммофоса, калия хлористого весной под предпосевную культивацию.

Отбор растительных образцов проводился в стадию раннего развития растений (6–8 листьев) и в стадию восковой спелости листостебельной массы. Учет урожая зерна кукурузы был проведен методом учетных площадок в стадию физиологической спелости зерна. Агротехника возделывания кукурузы на опытных полях – общепринятая для данной зоны. Повторность опыта 4-кратная, размещение делянок рендомизированное. Общая площадь делянки – 12 м<sup>2</sup>, учетная – 8 м<sup>2</sup>.

В образцах растений определяли: калий, кальций, магний из одной навески после мокрого озоления серной кислотой; калий – на пламенном фотометре; кальций и магний – на атомно-абсорбционном спектрофотометре. Статистическая обработка результатов исследований выполнена по Б.А. Доспехову (1985) с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа на компьютере.

Гидротермические условия вегетационных периодов в годы исследования оказались благоприятными для роста и развития кукурузы, что отразилось на соответствующих показателях урожайности и качества культуры. Среднемесячная температура воздуха за вегетационные периоды в 2010 и 2011 гг. оказалась выше нормы на 3,5°С и 2,3°С соответственно, количество осадков в отдельные месяцы превышало многолетние показатели в 2 и более раза. Результаты расчета ГТК показали, что май и июнь 2010–2011 гг. характеризовались как избыточно увлажненные (ГТК 1,9–2,6), а июль и август – как благоприятные месяцы с хорошим увлажнением (ГТК 1,3–1,5). ГТК за вегетационный период в 2011 г. составил 2,0, в 2010 г. – 1,7.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследований значительное (в 5,3 раза) повышение содержания обменного магния в почве от низкого до высокого уровня приводило к изменению соотношения катионов Ca:Mg в 7,8 раза, между величинами получена тесная

зависимость (рис. 1–А). Содержание Mg в опытных делянках различалось от 50 до 265 мг·кг<sup>-1</sup>, при этом соотношение Ca:Mg в ППК также изменялось в широких пределах – от 16,9:1 до 2,2:1. Содержание обменного кальция сравнительно мало различалось по делянкам опыта (1000–1500 мг Ca на кг почвы).

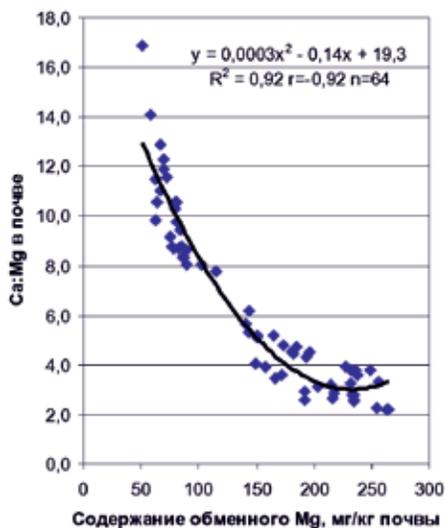


Рис. 1–А. Влияние содержания обменного магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве на соотношение катионов Ca:Mg

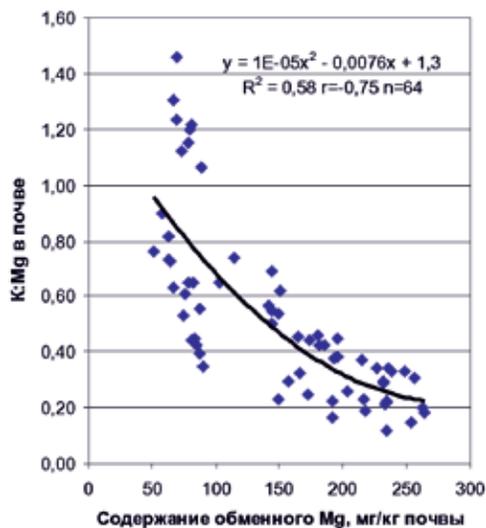


Рис. 1–Б. Влияние содержания обменного магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве на соотношение катионов K:Mg

Изменение содержания обменного магния приводило и к изменению соотношения K:Mg в почве, зависимость между показателями описывается полиномиальной кривой второго порядка (рис. 1–Б). Соотношение K:Mg изменялось в пределах опыта от 0,12:1 при высоком содержании магния в почве до 1,46:1 на уровнях с низким его содержанием. В опыте отмечается постепенное снижение содержания подвижного калия при повышении концентрации обменного магния в почве.

Известно, что калий является первоочередным конкурентом магния при адсорбции поглощающим комплексом почвы. Следует отметить, что в условиях легкосуглинистой почвы содержание подвижных форм калия варьировало очень широко – от низкого (90–100 мг(K) кг<sup>-1</sup>) при высоком содержании обменного магния до высокого (300–320 мг(K) кг<sup>-1</sup>) на вариантах с низким содержанием обменного магния. Видимо, высокие концентрации Mg<sup>2+</sup> способствовали вытеснению катионов K<sup>+</sup> из почвенного поглощающего комплекса, которые затем вымывались из почвы. Подобный антагонизм, существующий между Mg<sup>2+</sup> и K<sup>+</sup>, был описан в работах зарубежных авторов [13, 14]. Особенно неблагоприятно это сказывается на бедных калием почвах, где высокие концентрации обменного магния могут существенно препятствовать поглощению растениями калия. По литературным данным, соотношение K:Mg в почве выше 1,5:1 приводит к дисбалансу элементов питания и может вызвать ухудшение качества фуражных культур. В частности, для кукурузы критическим является соотношение K:Mg 1:1, которое может привести к получению некачественного зеленого корма, особенно на фоне влияния других негативных факторов [15].

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

Установлено, что урожайность зерна кукурузы существенно зависела от обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы обменным магнием и, соответственно, от соотношения Ca:Mg (рис. 2–А).

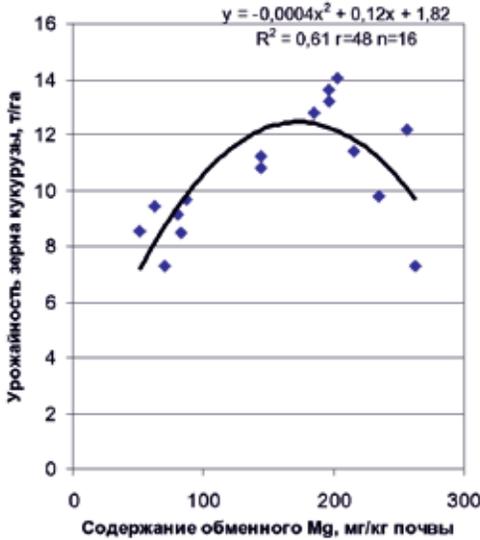


Рис. 2–А. Влияние содержания обменного магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве на урожайность зерна кукурузы

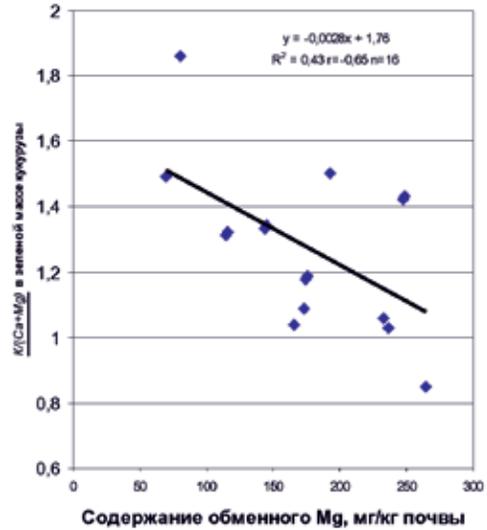


Рис. 2–Б. Влияние содержания обменного магния в почве на показатель качества кормов  $K/(Ca+Mg)$

Урожайность зерна кукурузы повышалась при повышении содержания обменного магния от 50 до 220 мг·кг<sup>-1</sup>. Наибольшая урожайность зерна кукурузы 10,8–14,1 т/га получена при содержании обменного магния 145–160 мг·кг<sup>-1</sup>, при этом соотношение катионов Ca:Mg изменялось в диапазоне 5,1–5,7. Наиболее низкие показатели урожайности зерна кукурузы, не превышающие 9,8 т/га на фоне внесения минеральных удобрений в дозе  $N_{110+30}P_{60}K_{120}$ , отмечены при самом низком и самом высоком содержании обменного Mg и соотношениях катионов Ca:Mg в почве. Зависимости влияния соотношения катионов K:Mg в почве на урожайность зерна кукурузы выявлено не было. В научной литературе приводятся данные о снижении урожайности различных культур на участках с повышенной концентрацией в почве подвижных форм магния вследствие антагонизма катионов Mg–K и недостатка калия для растений на бедных калием почвах [10, 16, 17]. Антагонизм между этими двумя катионами происходит уже при корневом поглощении, высокие концентрации калия также могут препятствовать передвижению магния внутри растения и наоборот.

Для оценки качества силоса при разном уровне обеспеченности почвы магнием был использован показатель соотношения катионов  $K/(Ca+Mg)$  (рис. 2–Б). Так, была выявлена линейная корреляция между величинами, при повышении содержания Mg в почве значения показателя  $K/(Ca+Mg)$  снижались. Необходимо отметить, что значения данного соотношения находились в допустимых пределах (не превышали 2,2) и изменялись в зависимости от содержания магния в почве от 0,9 до 1,9. Оптимальные значения показателя, составляющие по данным ве-

теринарной службы 1,0–1,3, были выявлены при содержании обменного магния в почве в пределах 165–270 мг·кг<sup>-1</sup>.

Наряду с выявлением обменных форм магния в почве, необходимых для определения обеспеченности почв и соответственно растений этим элементом, химический анализ растений может также диагностировать нехватку или избыток этого элемента.

В опыте был произведен отбор растений кукурузы на стадии развития 6–8 листа для определения в них элементов минерального питания, также проанализировано их содержание в зерне кукурузы. Результаты анализа показали, что с увеличением содержания обменного магния в почве содержание его в листьях кукурузы повышалось в 1,7 раза (с 0,18 до 0,30 %) (рис. 3–А). Повышение концентрации обменного магния в почве сопровождалось снижением содержания кальция и калия в листьях кукурузы с 0,65 до 0,30 % (в 2,1 раза) и с 5,8 до 4,3 % (в 1,3 раза) сухого вещества соответственно (рис. 3–Б).

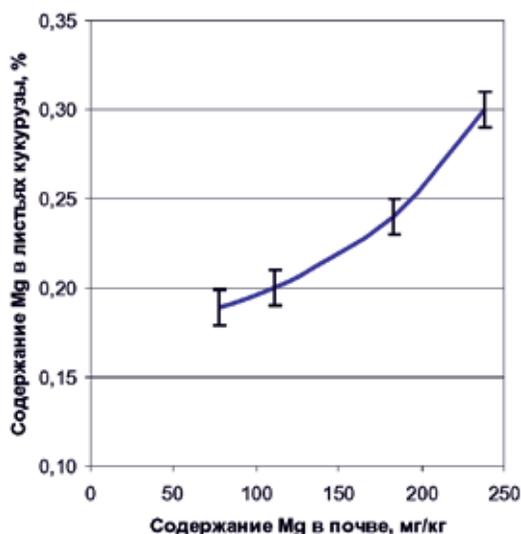


Рис. 3–А. Содержание Mg в листьях кукурузы при различной обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы обменным магнием

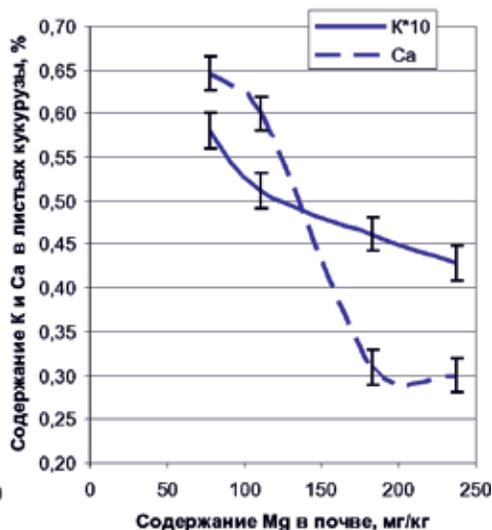


Рис. 3–Б. Содержание K и Ca в листьях кукурузы при различной обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы обменным магнием

Подобная закономерность в содержании элементов (Mg, Ca и K) наблюдалась и в зерне кукурузы. При повышении содержания обменного магния в почве содержание его в зерне кукурузы повышалось в 1,6 раза (с 0,07 до 0,11 %), при этом одновременно происходило снижение содержания кальция и калия – с 0,015 до 0,010 % (в 1,5 раза) и с 0,43 до 0,39 % (в 1,1 раза) соответственно.

При повышении содержания обменного магния в почве соотношение Ca:Mg в листьях и зерне кукурузы также снижалось (рис. 4–А, 4–Б). Однако снижение данного соотношения происходило до определенных пределов содержания магния в почве – до 170 мг·кг<sup>-1</sup>, дальнейшее увеличение содержания обменного магния в почве не изменяло соотношение Ca:Mg в листьях и зерне кукурузы. Соотношение Ca:Mg в листьях было на порядок выше, чем в зерне и в то же время на порядок ниже, чем в почве.

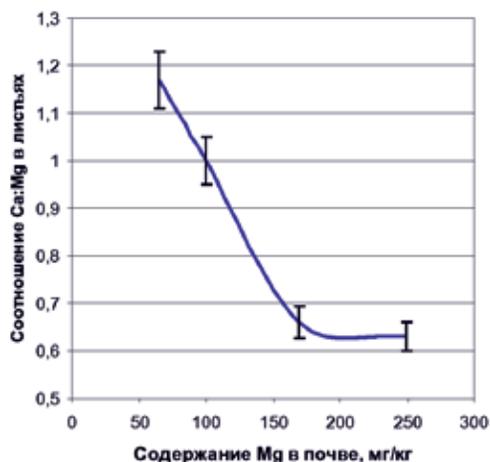


Рис. 4-А. Влияние содержания обменного магния в почве на соотношение катионов Ca:Mg в листьях кукурузы

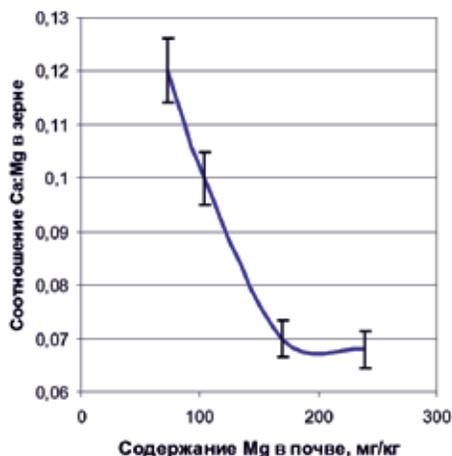


Рис. 4-Б. Влияние содержания обменного магния в почве на соотношение катионов Ca:Mg в зерне кукурузы

Изучение влияния содержания магния в почве на соотношение K:Mg в листьях и зерне кукурузы показало, что при повышении содержания Mg в почве соотношение K:Mg в листьях и в зерне снижается, существенное снижение соотношения в 3 раза происходит в листьях, в меньшей степени в зерне – в 1,3 раза (рис. 5-А, 5-Б). Соотношение K:Mg в листьях кукурузы достигало значений (5,1–11,1):1, в то время как в почве и в зерне оно было значительно меньше – (0,12–1,46):1 и (1,4–1,8):1 соответственно.

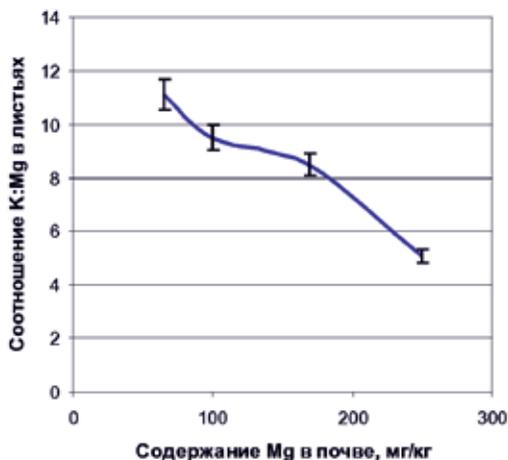


Рис. 5-А. Влияние содержания обменного магния в почве на соотношение катионов K:Mg в листьях кукурузы

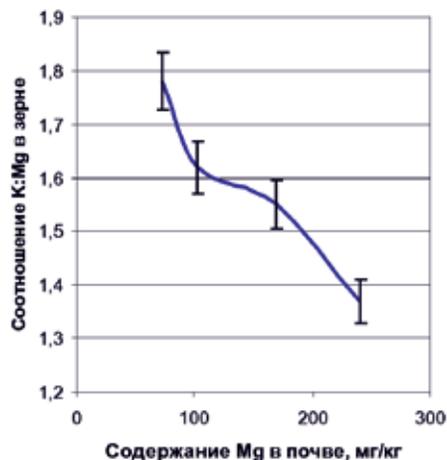


Рис. 5-Б. Влияние содержания обменного магния в почве на соотношение катионов K:Mg в зерне кукурузы

## ВЫВОДЫ

1. Повышение содержания обменного магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с 50 до 265 мг/кг почвы сопровождалось изменением эквивалентного соотношения катионов Ca:Mg в почве в широких пределах – от 16,9 до 2,2. При этом эк-

вивалентное соотношение К:Мг в почве изменялось в пределах 1,46 до 0,12. Диапазон изменения соотношений катионов в опыте соответствует диапазону варьирования этих величин в дерново-подзолистых суглинистых почвах пахотных земель республики.

2. Установлено повышение урожайности зерна кукурузы в среднем на 4,5 т/га за счет повышения содержания обменного магния в дерново-подзолистой легко-суглинистой почве в диапазоне 50–210 мг Mg/kg почвы на фоне внесения минеральных удобрений в дозе  $N_{110+30}P_{60}K_{120}$ . Дальнейшее повышение содержания Mg до 265 мг/kg почвы приводило к снижению урожайности кукурузы.

3. Повышение содержания обменного магния в почве в диапазоне 50–265 мг Mg/kg почвы способствовало увеличению его содержания в листьях кукурузы в 1,7 раза на ранней стадии развития, в фазе 6–8 листьев. Установлено также снижение содержания конкурирующих катионов кальция и калия в растениях кукурузы по мере повышения содержания обменного магния в почве. Установленные закономерности говорят о перспективе разработки растительной диагностики магниевого питания кукурузы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Магницкий, К.П. Магниевые удобрения / К.П. Магницкий. – М.: Колос, 1967. – 200 с.

2. Мазаева, М.М. Магниевые и магниесодержащие удобрения сельскому хозяйству / М.М. Мазаева. – М.: Знание, 1962. – 36 с.

3. Мишук, О.Л. Влияние магния и серы на урожайность и качество семян ярового рапса на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / О.Л. Мишук; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2008. – 22 с.

4. Клебанович, Н.В. Известкование почв Беларуси / Н.В. Клебанович, Г.В. Васильюк. – Минск: БГУ, 2003. – 322 с.

5. Рекомендации по применению магниесодержащих удобрений в Московской области в условиях интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур. – М., 1988. – 23 с.

6. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / под общ. ред. И.М. Богдевича. – Минск: Институт почвоведения и агрохимии, 2012. – 276 с.

7. Глазкова, Л.Н. Магний в почвах Белорусского Полесья: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 06.01.03 / Л.Н. Глазкова; Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. – М., 1981. – 22 с.

8. Содержание магния и оптимальные параметры плодородия почв / И.А. Кожуро [и др.]. – М.: Колос, 1984. – С. 162–172.

9. John, E.S. Soil calcium: magnesium ratios. Department of Agronomy [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/DC6437.html>. – Date of access: 14.02.2012.

10. Loide, V. The content of available magnesium of Estonian soils, its ratio to potassium and calcium and effect on the field crops. Thesis for the degree of D. Agr.Sc / V. Loide. – Tartu, 2002. – 118 p.

11. Simson, CR. Effect of varying Ca:Mg ratios on yield and composition of corn (zea mays) and alfalfa (medicago sativa) / CR. Simson, R. Corey, M. Sumner // Commun. in soil science and plant analysis, 1979. – № 10(1&2). – P. 153–162.

12. Аристархов, А.Н. Методические указания по применению магнийсодержащих удобрений / А.Н. Аристархов, А.Г. Трещов. – Москва, 1983. – 28 с.
13. Interaction of potassium and other ions / R. Rd. Munson [et al.] // Madison, Wisconsin USA. – 1968. – P. 321–353.
14. Welte, E. Potassium-magnesium antagonism in soils and crops / E. Welte, W. Werner // J. Sci. Food Agric. – 1963. – P. 186–187.
15. Magnesium Basics: Agronomic Library [Electronic resource]. – Mode of access: [http://www.spectrumanalytic.com/support/Library/ff/Mg\\_Basics](http://www.spectrumanalytic.com/support/Library/ff/Mg_Basics). – Date of access: 14.02.2012.
16. Bergmann, W. Nutritional disorders of plants – development, visual and analytical diagnosis / W. Bergmann [et al.] // Stuttgart, New York. – 1992. – 234 p.
17. Karnataka, J. Interaction of micronutrients with major nutrients with special reference to potassium / J. Karnataka // Agric. Sci. – 2011. – №24(1). – P. 106–109.

## EFFECT EXCHANGEABLE MAGNESIUM IN THE PODZOLUVISOL LOAM SOIL ON THE YIELD AND QUALITY OF CORN GRAIN

O.M. Tavrykina, I.M. Bogdevich, Yu.V. Putyatin,  
E.S. Tret'yakov, V.A. Dovnar, D.V. Markevich

### Summary

The two years studies of grain corn yield responses in model field experiment with exchangeable magnesium content in soil from low – 50 mg·kg<sup>-1</sup> to high – 265 mg·kg<sup>-1</sup> and varying K:Mg and Ca:Mg ratios 2,2–16,9:1 and 0,12–1,46:1 correspondingly has been presented. It was found the highest grain yield – 10,8–14,1 t·ha<sup>-1</sup> at N<sub>110+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>120</sub> application was obtained at Ca:Mg ratios 5,1–5,7 and exchangeable magnesium content 145–160 mg·kg<sup>-1</sup>.

It was found that increasing exchangeable magnesium content in soil from 50 up to 265 mg Mg/kg raised magnesium concentration in leaves of corn plants on growth stage of 6–8 leaves up to 1,7 times. At the same time concentration of nutrients – calcium and potassium in corn plants leaves decreased with increasing exchangeable magnesium content in soil.

*Поступила 19 ноября 2012 г.*

УДК 633.491:631.8.022.3:631.559:631.445.24

## ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО УДОБРЕНИЯ, РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

Т.Ф. Перскова, А.В. Терешонкова

*Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, г. Горки, Беларусь*

### ВВЕДЕНИЕ

В Республике Беларусь картофель занимает среди полевых культур второе место после зерновых. Он с успехом используется на пищевые, технические и