

631,811

К: 332 в.п.

523393

АКАДЕМИЯ НАУК БССР

О. К. КЕДРОВ-ЗИХМАН
и О. Э. КЕДРОВА-ЗИХМАН

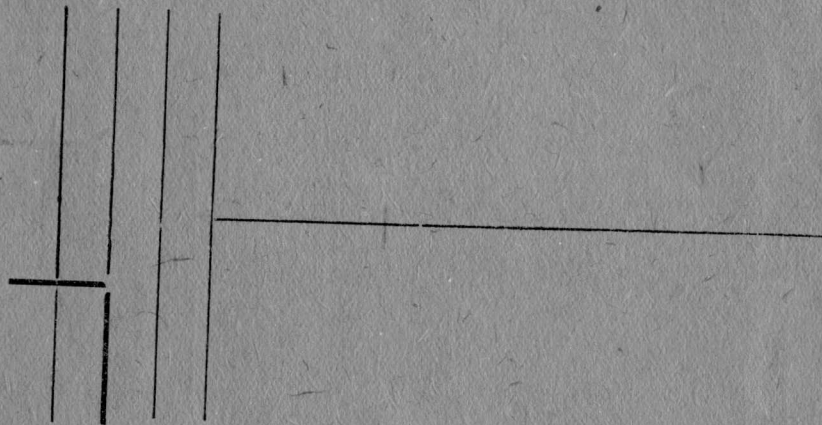
**ВЛИЯНИЕ ПОГЛОЩЕННЫХ КАТИОНОВ
И УГЛЕКИСЛЫХ СОЛЕЙ
НА УРОЖАЙ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ
РАСТЕНИЙ
И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ
ПОЧВЕННОГО РАСТВОРА**

БИБЛИОТЕКА
КАФЕДРЫ АГРОХИМИИ

№ ~~228~~
1329

~~351~~ 132.9
~~A-N~~ Кедров-Зихман

Влияние поглощенных катионов
и углекислых солей
на урожай



Исследования по удобрению
Минск (Белорусская Республика) Белорусская Академия Наук
и Кедровой-Зихман

АКАДЕМИЯ НАУК БССР
ИНСТИТУТ АГРОПОЧВЕДЕНИЯ И УДОБРЕНИЙ

~~351~~
~~A-N~~

О. К. КЕДРОВ-ЗИХМАН
и О. Э. КЕДРОВА-ЗИХМАН

**ВЛИЯНИЕ ПОГЛОЩЕННЫХ КАТИОНОВ
И УГЛЕКИСЛЫХ СОЛЕЙ
НА УРОЖАЙ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ
РАСТЕНИЙ
И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ
ПОЧВЕННОГО РАСТВОРА**



К 16.03.12

НАПЕЧАТАНО
ПО РАСПОРЯЖЕНИЮ ПРЕЗИДИУМА
БЕЛОРУССКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ВВОДНАЯ ЧАСТЬ

Важнейшая задача сельского хозяйства СССР—решительное повышение урожайности колхозных и совхозных полей—может быть успешно разрешена лишь на фоне возрастающего плодородия почвы. Поэтому при разрешении проблемы химизации социалистического земледелия применение методов химической мелиорации, обеспечивающих коренное улучшение агрономических свойств почвы, должно сыграть особенно важную роль.

Большинство известных в настоящее время методов химической мелиорации почв базируется на изменении состава поглощенных катионов почв путем искусственного введения в почвенный поглощающий комплекс различных катионов.

Однако требования сельскохозяйственных растений к составу поглощенных катионов в различных конкретных условиях еще очень мало изучены. Поэтому одной из важнейших задач, стоящих перед научно-исследовательскими учреждениями СССР, работающими в области агрохимии и агропочвоведения, является изучение вопроса о влиянии состава поглощенных катионов в различных почвах на развитие сельскохозяйственных растений с целью подведения научной базы под практические мероприятия по химической мелиорации.

Изучению этого вопроса К. К. Гедройц придавал исключительное значение и посвятил ему ряд своих классических работ (1, 2, 3, 4, 5).

К. К. Гедройцем было выяснено влияние различных катионов на развитие ряда сельскохозяйственных растений, главным образом в условиях насыщения полностью емкости поглощения черноземной почвы Каменной степи одним каким-либо катионом. При этом различные катионы вводились в почву разработанным К. К. Гедройцем способом, состоящим в вытеснении поглощенных катионов природной почвы слабой кислотой, введением в образованную таким

образом почву того или другого катиона путем воздействия на почву растворов нейтральной соли и отмывания избытка соли дистиллированной водой.

Этими исследованиями К. К. Гедройц выяснил различные стороны вопроса о влиянии поглощенных катионов на развитие растений, в частности, установил исключительно важную роль поглощенного кальция в жизни почвы и при питании растений.

При изучении вопроса о влиянии состава поглощенных катионов на развитие сельскохозяйственных растений К. К. Гедройц уделил также большое внимание поглощенному магнию. При этом он пришел к заключению, что при известковании сильно ненасыщенных основаниями почв отрицательное действие известки обуславливается слишком широким отношением Ca и Mg, которое при этом создается в поглощающем комплексе почвы.

В результате этих исследований было установлено, что развитие сельскохозяйственных растений в сильной степени зависит от состава поглощенных катионов и что состав последних в природных почвах в большинстве случаев далеко не является оптимальным.

Установив эти положения, К. К. Гедройц выдвинул перед социалистическим земледелием СССР и земледелием всего земного шара в полном объеме грандиозную проблему коренного улучшения агрономических свойств природных почв путем искусственного изменения состава поглощенных катионов последних.

Кроме К. К. Гедройца, работы которого имеют для выяснения вопроса о влиянии состава поглощенных катионов на развитие растений особенно важное значение, этим вопросом занимался ряд других исследователей как в СССР, так и за границей.

В этих работах больше всего внимания было уделено выяснению влияния соотношений кальция и магния в почве на растения. Однако необходимо отметить, что в работах, вышедших до исследований К. К. Гедройца по этому вопросу, и в части работ, вышедших после этих исследований, изучалось, главным образом, влияние на развитие растений отношений кальция и магния (преимущественно углекислых) в почве вообще в связи с известкованием, а вопрос о соотношениях кальция и магния в поглощенном комплексе почвы затрагивался при этом лишь попутно. Тем не менее, в результате этих работ накопился значительный материал, дающий возможность судить о влиянии соотношений поглощенных кальция и магния на развитие сельско-

хозяйственных растений, на рассмотрении которого целесообразно остановиться.

Не касаясь работ чисто физиологического характера, где влияние соотношений кальция и магния на развитие растений изучалось независимо от внесения соответствующих соединений в почву, главными из таких работ являются следующие.

П. С. Коссович и Л. Альтгаузен (6, 7, 8) путем постановки вегетационных опытов с кислой подзолистой почвой изучали действие природного магнезита и смесей мела с магнезитом и доломитом на развитие растений. При этом выяснилось, что при внесении в почву этих веществ в количествах, не превышающих известный предел, испытанные авторами комбинации с различными соотношениями кальция и магния проявили в общем одинаковое действие на развитие растений. При внесении же высоких доз этих углесолей при различных комбинациях последних наблюдалось отрицательное действие. При этом отрицательное действие мела ослаблялось прибавлением определенных количеств магнезита и, наоборот, отрицательное действие магнезита ослаблялось прибавлением мела.

А. Voelcker (9, 10) в результате проведенных им вегетационных опытов с пшеницей приходит к следующему заключению:

1. При содержании в почве окиси кальция в большем количестве, чем окиси магния, целесообразно вносить магнезиальное удобрение.

2. Чем ближе в почве отношение между CaO и MgO к 1:1, тем выше получаемые урожаи.

3. При содержании в почве MgO в больших количествах, чем CaO, наблюдается отрицательное действие.

4. Известкование почв, в которых содержание MgO превышает содержание CaO, дает положительный эффект.

5. При содержании в почве CaO в больших количествах, чем MgO, не проявляется такое вредное действие, как в случае более высокого содержания в почве MgO, чем CaO.

При полевых опытах Voelcker наблюдал положительное действие известково-магнезиальных удобрений.

Е. Marre (11) также наблюдал положительное действие известково-магнезиальных удобрений при полевых опытах с картофелем, люцерной, злаками, поставленных на различных почвах. При внесении в почву этих удобрений имело место повышение урожая, растения имели более здоровый вид и были более устойчивы против заболеваний.

Р. Gelle и С. Ageton (12), на основании данных о содержании CaO и MgO в природных почвах Порто-Рико, прихо-

дят к заключению, что соотношения между кальцием и магнием в почве не имеют значения для плодородия почвы.

Газельгоф (13), на основании проведенных им вегетационных и полевых опытов по изучению действия известково-магнезиальных смесей на развитие ячменя, полевых бобов и горчицы, пришел к выводу, что отношение кальция к магнию в почвах не имеет существенного значения для развития сельскохозяйственных растений.

W. White and Gardner (14) при вегетационных опытах наблюдали лучшее действие обожженного доломита, чем CaO .

Благоприятное действие углекислого магния на развитие сельскохозяйственных растений имело также место при опытах Геринга (15).

Среди исследований, выполненных при различных научно-исследовательских учреждениях Советского Союза в течение последнего десятилетия, кроме указанных выше работ К. К. Гедройца, также имеется ряд работ, посвященных изучению влияния различных соотношений кальция и магния в почве на развитие сельскохозяйственных растений.

О. К. Кедровым-Зихман и И. Х. Ризовым при агрохимической лаборатории Белорусской государственной сельскохозяйственной академии были проведены вегетационные опыты с целью изучения влияния различных соотношений магния и кальция на развитие овса. В подзолистую почву вносились соответствующие углекислые соли и гидраты окисей, а также применялась в некоторых опытах гашеная известь, содержащая значительное количество MgO . На основании данных этих вегетационных опытов и данных опытов, проведенных в полевых условиях как при агрохимической лаборатории Белорусской сельскохозяйственной академии, так и при других научно-исследовательских учреждениях БССР, было установлено, что в ненасыщенные основаниями подзолистые почвы при их известковании могут быть внесены без вреда для развития сельскохозяйственных растений весьма значительные количества магния в виде указанных выше соединений и что примеси магния в количествах, обычно встречающихся в доломитизированных известняках БССР, надо расценивать не как отрицательное, а как положительное явление. При этом было найдено, что при внесении в почву из расчета однократной гидролитической кислотности углекислых солей и гидратов окисей кальция и магния, между соответствующими соединениями этих элементов в отношении нейтрализующей способности и влиянием их на содержание в почве нитратов и воднорастворимой фосфорной кислоты, резкой разницы не наблюдалось (16, 17, 18).

Исследования о влиянии различных соотношений кальция и магния в почве на развитие сельскохозяйственных растений при той же лаборатории кафедры агрономической и органической химии Белорусской государственной сельскохозяйственной академии, руководимой в это время О. К. Кедровым-Зихманом, были продолжены И. Х. Ризовым и Р. Т. Вильдфлушем (19, 20). При этих исследованиях путем постановки вегетационных опытов и анализа пасоки было выяснено влияние на развитие ряда растений (ячменя, гречихи, проса, горчицы, вики, льна и конопли) соотношения CaO и MgO в почве в связи с известкованием последней при внесении в почву CaCO_3 и MgCO_3 из такого расчета, чтобы сумма их соответствовала однократной гидролитической кислотности. Авторами было также найдено, что соотношение между CaO и MgO в почве оказывает заметное влияние на питательный режим почвы и на химический состав пасоки ячменя. При этих опытах, кроме подзолистых почв, которые применялись для всех растений, была взята также торфяная почва для льна и конопли.

Вопрос о влиянии соотношения CaO и MgO на развитие сельскохозяйственных растений изучали также Г. И. Протасеня (21) при Центральной агрохимической лаборатории в Минске и В. И. Шемпель и З. П. Гончарова (22) при Центральной агрохимической лаборатории в Минске.

Г. И. Протасеня при вегетационных опытах с подзолистой почвой нашел, что примесь MgCO_3 к CaCO_3 , не свыше определенного предела, оказывает благоприятное действие на развитие овса и гороха. Наиболее благоприятные соотношения CaCO_3 к MgCO_3 (в эквиваленте CaCO_3) для овса соответствовали интервалу от 3:1 до 1:1; наиболее высокий урожай гороха получился при отношении CaCO_3 и MgCO_3 —3:1. При содержании MgCO_3 выше определенного предела имело место вредное действие магния. Это вредное действие излишка магния Г. И. Протасеня объясняет тем, что при таких условиях магний поступает в растение в слишком большом количестве, в результате чего фосфорная кислота в самом растении переходит в легкорастворимые фосфаты магния, в виде которых она может переходить из надземных частей растений в корни и даже в почву. Г. И. Протасеней было также при этом найдено, что MgCO_3 оказывает более сильное действие на процесс нитрификации, чем CaCO_3 .

В. И. Шемпель и З. П. Гончарова также изучали влияние соотношений CaCO_3 и MgCO_3 на двух подзолистых почвах по отношению к овсу и гороху путем постановки соответствующих вегетационных опытов, причем CaCO_3 и MgCO_3 вноси-

лись в почву в различных соотношениях из расчета однократной и двойной гидролитической кислотности. При этом изучалась динамика почвенных процессов по отношению к азоту и фосфору почвы путем анализа водной и лимоннокислой вытяжки, а также динамика поступления питательных веществ в растения путем анализа растений, убранных в различные стадии вегетации.

В результате проведенных опытов авторы приходят к выводу, что на сильно кислых почвах, слабо насыщенных основаниями, с незначительным содержанием поглощенного магния, для получения высоких урожаев выявляется необходимость применения известково-магнезиальных смесей, а на почвах менее кислых и с повышенной насыщенностью основаниями, а главное—с большей обеспеченностью их поглощенным магнием, чем кальцием, применение известково-магнезиальных смесей имеет меньшее значение или даже в применении их не встречается надобности. При этих же опытах выявилось, что разные сельскохозяйственные растения не одинаково относятся к соотношениям CaCO_3 и MgCO_3 в почве. Авторы также отмечают благоприятное действие MgCO_3 на процессы нитрификации и накопления фосфорной кислоты в почве.

Кроме того, при этих исследованиях было найдено, что поступление питательных элементов в растение зависит от соотношений MgCO_3 и CaCO_3 в почве.

Отрицательное влияние на величину урожая как одного MgCO_3 , так и известково-магнезиальных смесей с большим содержанием магния, авторы объясняют общим расстройством процесса питания растений, каковое наступает в результате неуравновешенности поступающих в растение питательных элементов, причем в частности магний оказывает антагонистическое действие на поступление кальция и калия.

В 1923 и в 1924 гг. Научным институтом удобрений (НИУ) был поставлен ряд полевых опытов с сильно доломитизированными известняками и почти чистым мелом. При этих опытах доломитизированные известняки и мел оказывали, в общем, одинаковое положительное действие на развитие различных сельскохозяйственных растений (23).

Д. В. Дружининым и В. Г. Швынденковым вопрос о значении соотношений между кальцием и магнием для сельскохозяйственных растений изучался путем постановки нескольких вегетационных опытов по отношению к овсу, ячменю, просу и вико-овсяной смеси (24, 25). В части этих опытов торф, обработанный 5% соляной кислотой, для удаления поглощенных оснований насыщался CaO и MgO в различных

соотношениях и затем вносился в песчаную, ненасыщенную основаниями почву.

При другой части опытов (проведенных вместе с В. Г. Швынденковым) в мало насыщенных основаниями почвах устранялась кислотность путем внесения CaO и MgO , взятых в различных соотношениях.

Опыты эти сопровождалось исследованиями аналитического характера почвы и растительных продуктов.

На основании полученных при своих исследованиях результатов и литературных данных авторы приходят к следующим основным выводам.

Значения определенного соотношения CaO и MgO в почвах отрицать нельзя, но при решении этого вопроса необходимо учитывать ряд обстоятельств.

В принятых в практике дозах извести при известковании подзолистых почв создающееся преобладание в почве подвижного кальция над подвижным магнием не может вызвать отрицательного влияния на урожай многих растений. При внесении в почву CaCO_3 или CaO без MgCO_3 или MgO в практически принятых дозах на торфяных и сильно заболоченных почвах могут быть получены лишь меньшие положительные эффекты, чем при внесении доломитизированных известняков или доломитов. Кроме того авторы приходят к выводу, что при установлении оптимального соотношения между кальцием и магнием необходимо принимать во внимание реакцию среды.

В связи с настоящим кратким обзором работ по вопросу о влиянии соотношений кальция и магния в почве на развитие сельскохозяйственных растений необходимо также остановиться на известной теории Оскара Лева.

В начале текущего столетия Лев вместе с несколькими своими сотрудниками и учениками (Азо, Кономата, Имасеки и др.) разработал теорию, согласно которой величина урожая растений зависит от соотношений между кальцием и магнием в питательной среде, причем каждому растению соответствует свой оптимум соотношений между этими элементами (27, 28, 29, 30).

При дальнейших работах по вопросу о значении соотношений между кальцием и магнием для развития растений выяснилось, что с физиологической стороны необходимость для наилучшего развития растений определенного соотношения между кальцием и магнием в питательной среде вполне подтверждается. Но в опытах с почвенными культурами эта теория в той форме, в какой ее рекомендовал О. Лев, в подавляющем большинстве случаев не имела подтверждения (31).

Данные указанных выше исследований также вполне определенно говорят за то, что теория Лева в том виде, в каком она разработана автором, для почвенных условий неприменима. Однако эти же данные, особенно данные исследований К. К. Гедройца, говорят за то, что при проведении теории Лева через почвенный поглощающий комплекс, т. е. если принимать во внимание не соотношения между кальцием и магнием в 10% соляной вытяжке, как это предлагает Лев, а базироваться на соотношениях между этими элементами в поглощающем комплексе почвы, то эта теория в измененном виде применима и к почвенным условиям.

На основании данных приведенных выше исследований можно в общем считать установленным, что соотношение между поглощенным кальцием и магнием в почве может оказать заметное влияние на развитие сельскохозяйственных растений.

Можно считать также установленным, что сельскохозяйственные растения заметно отличаются друг от друга по своим требованиям к соотношениям кальция и магния в почвенном поглощающем комплексе.

Но в целом важнейший вопрос о влиянии соотношений между кальцием и магнием в почвенном поглощающем комплексе на развитие отдельных сельскохозяйственных растений и физические, физико-химические, химические и биологические свойства почвы при различных конкретных условиях остаются неразрешенными, несмотря на то, что при указанных выше исследованиях по этому вопросу получено довольно много весьма интересных данных. Накопленных к настоящему времени сведений о соотношениях кальция и магния в поглощающем комплексе почвы далеко недостаточно для того, чтобы, базируясь на них, осуществлять в сельско-хозяйственном производстве в полном объеме соответствующие практические мероприятия по химической мелиорации различных почвенных типов и растений.

Между тем вопрос, выдвинутый академиком К. К. Гедройцем, о соотношении кальция и магния в поглощающем комплексе большинства почв является одной из основных частей важнейшей проблемы коренного улучшения агрономических свойств почвы путем искусственного изменения состава поглощенных катионов—проблемы, имеющей огромное значение для социалистического земледелия СССР.

Необходимо также подчеркнуть, что этот вопрос стоит в теснейшей связи с весьма важными для народного хозяйства Советского Союза проблемами использования для

социалистического сельского хозяйства доломитизированных известняков и доломитов и содержащих магний соликамских солей.

Поэтому научно-исследовательские учреждения Советского Союза, работающие в области агрономической химии и почвоведения, должны уделить самое серьезное внимание дальнейшему выяснению различных сторон вопроса о соотношении кальция и магния в поглощающем комплексе почвы.

Изучению вопроса о влиянии на развитие растений соотношений между другими катионами почвенного поглощающего комплекса уделялось гораздо меньше внимания, чем изучению соотношения между поглощенными кальцием и магнием.

При Ленинградском отделении Всесоюзного института удобрений и агропочвоведения в 1930 г. А. И. Кирсановым, Э. Е. Кирсановой и Г. А. Люцерновой (32) был проведен вегетационный опыт, сопровождаемый соответствующими исследованиями аналитического характера с целью выяснения влияния на развитие растений частичной замены кальция в поглощающем комплексе почвы различными другими катионами: Н, Mg, NH_4 и Na. Опыт этот был проведен с двумя почвами: слабо оподзоленным суглинком и черноземом и с двумя растениями—овсом и горчицей.

Этот вегетационный опыт был поставлен в малых сосудах, размером в 2,5 литра. Каждый сосуд набивался 2 кг смеси почвы и песка. Почва в сосудах доводилась до полной влагоемкости, а затем с целью вытеснения поглощенного кальция соответствующими катионами обрабатывалась различными растворами: HCl , MgCl_2 , NH_4Cl , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ и NaCl .

В результате проведенной авторами работы выяснилось, что в условиях опыта частичное замещение кальция в поглощающем комплексе почвы всеми указанными катионами понизило общий урожай как овса, так и высеянной после овса горчицы, причем такое отрицательное действие этих катионов резче проявилось на подзолистой почве, чем на черноземе.

Из изучаемых катионов наименее вредное влияние на развитие растений проявил Н и наиболее вредное— NH_4 .

Отрицательное действие различных изучаемых катионов парализовалось путем введения в почвенный поглощающий комплекс ионов Са и Н. Наиболее энергичным вытеснителем кальция из поглощающего комплекса почвы из изучаемых четырех катионов оказался Н, наименее энергичным Na.

Г. Иенни и Е. Кован (33) при Институте почвоведения Университета Колумбии в течение 1927—1931 гг. изучали вопрос о значении поглощенных почвой катионов для роста растений.

При проведенных этими исследователями опытах стерилизованные и пророщенные бобы сои высаживались в помещенный в стеклянную чашку кварцевый песок, куда были внесены различные вещества, содержащие кальций в поглощенном состоянии или в форме растворимых соединений (300 г). Через 6—10 недель производилась уборка урожая развившихся растений сои и после высушивания учитывался урожай.

В результате этих исследований авторы, выяснив различные стороны изучаемого вопроса, приходят, в частности, к выводу, что влияние обменного водорода на развитие растений зависит не только от абсолютного содержания этого поглощенного катиона, но и от соотношения между поглощенным водородом и поглощенным кальцием. При повышении содержания поглощенного кальция устраняется вредное действие высокого содержания обменного водорода.

Из приведенных выше данных видно, что относительно влияния на развитие растений соотношений между другими поглощенными катионами (кроме кальция и магния) в литературе имеются самые скудные данные, касающиеся лишь некоторых отдельных сторон вопроса.

Между тем, для полного разрешения важнейшей для социалистического земледелия СССР и земледелия всего земного шара проблемы химической мелиорации почв путем искусственного исправления состава их поглощенных катионов необходимо считаться также с содержанием в почвенном поглощающем комплексе и других катионов, кроме кальция и магния. К. К. Гедройц говорит по этому поводу следующее: „Но кроме магния, как обменного катиона, имеющиеся уже экспериментальные исследования указывают на ряд других катионов, присутствие которых в обменном состоянии в почвенном поглощающем комплексе может заметно повышать производительность почвы“.

В заключение настоящего краткого обзора необходимо подчеркнуть, во-первых, что полученные при ряде рассмотренных работ данные говорят за то, что влияние поглощенных катионов на развитие растений зависит в весьма сильной степени от различных конкретных условий, при которых произрастают растения и, во-вторых, что в то же время вопрос о влиянии поглощенных катионов на развитие растений при прежних работах обычно изучался без достаточной увязки с этими конкретными условиями.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В виду такой неясности вопроса о влиянии состава поглощенных катионов на развитие растений, в 1933 году при Институте агропочвоведения и удобрений Академии наук БССР была проведена работа, состоящая из вегетационного опыта и исследований лабораторного характера с целью дальнейшего выяснения этого вопроса.

При этой работе изучалось влияние на развитие сельскохозяйственных растений следующих поглощенных катионов: Са, Mg, Na, K, Mn и H как при внесении в почву каждого из этих катионов отдельно, так и при различных соотношениях того или другого катиона с ионом кальция. При этом как отдельные катионы, так и различные комбинации их вносились в почву в различных количествах, чтобы создать различную степень насыщенности почвы основаниями или, другими словами, чтобы создать различные соотношения между этими катионами и ионом водорода.

Начиная эту работу, мы поставили себе также цель изучить данный вопрос в условиях более близких к производственным, чем это имело место при работах К. К. Гедройца.

Будучи далеки от мысли недооценивать методику, разработанную К. К. Гедройцем (вытеснение из поглощающего комплекса почвы всех оснований слабой кислотой с последующей обработкой почвы раствором нейтральной соли и отмывания избытка последней дистиллированной водой), считая, что эта методика была применена автором очень удачно и очень много дала для изучения вопроса о влиянии состава поглощенных катионов на развитие растений, мы тем не менее полагаем, что в настоящее время, после установления основных положений проблемы, при дальнейшей разработке этого вопроса, наряду с применением методики К. К. Гедройца, целесообразно изучать данный вопрос также и в других условиях, менее искусственных, более близких к производственным, при меньшем изменении природных свойств почвы. Соответственно этому, не ставя

себе целью изучать данный вопрос обязательно в таких условиях, когда вся емкость поглощения почвы насыщена только одним каким-либо катионом, мы при наших опытах, вместо почвы с искусственно-удаленными поглощенными основаниями, путем обработки почвы кислотой, применили природную подзолистую почву, очень мало насыщенную основаниями (степень насыщенности 20,6%).

А. ПОСТАНОВКА ВЕГЕТАЦИОННОГО ОПЫТА И НАБЛЮДЕНИЕ ЗА РАЗВИТИЕМ РАСТЕНИЙ

Для постановки нашего вегетационного опыта была взята целинная почва из-под суходольного сенокоса совхоза „Борковичи“ в БССР, которую доцент А. И. Медведев обследовавший эту почву в связи с постановкой настоящей работы, характеризует следующим образом.

Название почвы—злостный подзол на лессовидной легкой супеси.

Строение почвы:

A_0 от 0 до 2—3 см. Дернина из белоуса и гипновых мхов.

A_1 от 2—3 до 7—8 см. Гумозный, темного цвета, лессовидная супесь легкая; дает хорошую реакцию на закисное железо (проба красной кровяной солью); бесструктурный, влажный.

A_2 от 7—8 до 24—25 см. Подзолистый, белесого цвета, с затеками гумуса. Закисное железо не обнаружено ни в этом, ни в глубже лежащих горизонтах.

B_1 24—32 см. Иллювиальный ортштейновый горизонт, ржаво-коричневого цвета с крупными железистыми конкрециями; лессовидная легкая супесь.

B_2 32—70 см. Ржаво-бурого цвета с обильной пунктицией окислами марганца лессовидная легкая супесь; с контактного слоя (65—70 см) сочится вода (верховодка). Через сутки вода в яме поднялась до 50 см.

B_3 70—80 см. Буровато-оранжевый плотный ортзанд (ложе для верховодки).

G 80—110 см. Песок-пльвун светложелтоватого цвета; по механическому составу песок лессовидный, оползает в яму.

110—130 см. Буро-шоколадная с голубыми затеками тяжелая карбонатная глина, с известковыми журавчиками, очень вязкая и плотная. Голубые затеки реакции на закисное железо не дают (глина озерно-ледникового происхождения).

При аналитическом исследовании этой почвы были получены следующие результаты, приведенные ниже в таблице 1.

Таблица 1
АГРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВЫ

pH в водн. суспензии	5,15
pH в KCl вытяжке	4,36
Гидролит. кислотность (метод Каппена)	50,47 см ³ 1/10п NaOH на 100 г абс. сухой почвы.
Гидролит. кислотность (метод широких отношений)	78,85 см ³ 1/10п NaOH на 100 г абс. сухой почвы.
Степень насыщенности	20,61%
Емкость поглощения (пересчет в м/экв.) на 100 г почвы	4,9
Поглощенный Ca	0,0333%
Поглощенный Mg	0,0082%

При введении в поглощающий комплекс почвы указанных выше катионов мы воспользовались свойством ненасыщенных основаниями почв легко насыщаться основаниями при взаимодействии с соответствующими углекислыми солями. Вместо обработки почвы раствором нейтральной соли с последующим отмыванием излишка последней водой (по К. К. Гедройцу), мы насыщали почву основаниями путем перемешивания ее с определенными, заранее вычисленными количествами углекислых солей этих оснований: $CaCO_3$, $MgCO_3$, $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$, K_2CO_3 и $MnCO_3$. Водородный ион искусственно в почву не вводился. О влиянии этого катиона на развитие растений судили на основании учета содержащегося в природной почве водородного иона. $CaCO_3$, $MgCO_3$ и $MnCO_3$ вносились в почву в виде твердой соли, а $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$ и K_2CO_3 в виде соответствующих растворов. Влияние этих катионов на развитие растений изучалось в условиях достаточного обеспечения последних питательными веществами: N, P, K, Ca, Mg, S, которые были внесены в виде соответствующих растворов химически чистых препаратов: $(NH_4)_2SO_4$, $Ca(H_2PO_4)_2$, H_2O , KCl, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, причем N, P, K и Mg вносились из расчета 0,5 г действующего вещества, а Ca и S соответственно содержанию этих элементов в указанных препаратах при внесении последних в почву в указанных выше количествах.

Дозы углекислых солей, вносимых в почву с целью введения в поглощающий комплекс почвы указанных выше катионов, были установлены не из расчета емкости поглощения, соответствующей условиям взаимодействия с почвой нейтральной соли, а по полной гидролитической кислотности, определенной по методу широких отношений Csiky в модификации Кедрова-Зихмана и Синой.

Таким образом, считая, что подвижная форма оснований в почве при различных комбинациях катионов в нашем опыте в основном состоит из поглощенных оснований природной почвы и оснований, внесенных с углекислыми солями, мы должны для получения общего содержания подвижной формы того или другого основания суммировать содержание этого катиона поглощающего комплекса исходной почвы и содержание его во внесенной углекислой соли.

Содержание подвижных оснований в почве различных сосудов нашего опыта при дозах углесолей, не превышающих количеств, необходимых для насыщения полной емкости поглощения (или устранения, в основном, всех форм почвенной кислотности), представлено поглощенными основаниями, а при более высоких дозах—поглощенными основаниями и основаниями невступившей в реакцию с почвой части внесенных углекислых солей.

Следовательно, для определения общего содержания того или другого поглощенного основания при различных комбинациях нашей схемы необходимо суммировать содержание этого элемента в поглощающем комплексе исходной почвы с теми количествами данного основания, которые вошли в поглощающий комплекс почвы при взаимодействии последней с внесенной углекислой солью. При этом поглощенные Na, K и Mn исходной почвы можно не принимать во внимание, так как в сильно ненасыщенных основаниями подзолистых почвах содержание этих элементов в поглощающем комплексе ничтожно мало по сравнению с количеством этих элементов, внесенных в виде углекислых солей.

В качестве опытных растений в нашем опыте были взяты следующие: ячмень скороспелый двухрядный 10—30, клевер красный, озимая пшеница—Московский сорт, и горчица.

Опыт был поставлен в сосудах системы Митчерлиха обычного размера 20×20 см.

Набивка сосудов была произведена почвой, просушенной до такого состояния, при котором ее можно было просеять через грохот, причем в каждый сосуд набивалось такое количество почвы, которое соответствовало 5 кг воздушно-сухой почвы.

Посев клевера был произведен 6.VII, а ячменя—7.VII. При этом семена ячменя протравливались и прорастивались. Для протравливания применялся 0,5% раствор формалина, в котором семена держались 3 минуты. После этого семена тотчас же промывались водопроводной водой до исчезновения запаха формалина и ставились на прорастивание.

Как тех, так и других семян было высеяно по 50 штук на сосуд.

Всходы клевера появились 8.VII, а всходы ячменя—9.VII, кущение ячменя началось 15.VII—17.VII. Прореживание ячменя было произведено 17.VII, а клевера—20.VII, причем как ячменя, так и клевера было оставлено по 25 растений на сосуд.

К этому времени уже наметилась отчетливая разница в развитии растений между различными комбинациями схемы.

Растения в серии сосудов с ячменем на исходной почве без внесения каких бы то ни было удобрений имели бледно-зеленую окраску листьев и не кустились. В сосудах с NPK Mg растения имели более зеленую окраску, которая под влиянием извести усиливалась. При этом, по мере увеличения доз извести, вплоть до дозы, соответствующей 80% гидролитической кислотности включительно, наблюдалось усиление кущения и нарастания зеленой массы. При дальнейшем повышении доз извести, начиная от дозы, соответствующей 100% Ca, вплоть до самой высокой дозы, соответствующей 400% Ca, наблюдалось постепенное ухудшение растений.

По магнию при низших дозах, вплоть до 50% Mg включительно, наблюдалась такая же картина, как по кальцию, с той лишь разницей, что растения здесь развились заметно лучше, чем по соответствующим дозам кальция; начиная с дозы 75% Mg наблюдаются некоторые признаки отравления, выражающиеся сначала в едва заметном побелении кончиков листьев; при дальнейшем повышении доз магния эти признаки отравления усиливаются, причем листочки растений скручиваются и тургор ослабевает.

При совместном внесении в почву кальция и магния наблюдалась различная картина в зависимости от того, в каких дозах углекислых солей эти элементы были внесены в почву.

При дозах, соответствующих 50% гидролитической кислотности по всем комбинациям, содержащим магний, также как по одному магнию, растения развились лучше, чем по одному кальцию.

При более высоких дозах углекислых солей в большинстве случаев замена части кальция магнием до определенного предела оказывала положительное действие на развитие растений, а сверх этого предела—отрицательное. При этом выявилось, что чем выше доза углекислых солей, тем меньшую часть кальция можно без вреда для развития растений заменить на магний. При самой высокой дозе угле-

кислых солей, соответствующей 400% гидrolитической кислотности, лучшее развитие растений, чем по одному кальцию, наблюдалось лишь при комбинации 300 Ca+100 Mg и то при некотором побелении кончиков листьев, а во всех остальных случаях—при большем содержании магния в смеси внесенных в почву углекислых солей магния—наблюдалось резко выраженное ухудшение в развитии растений.

Растения сосудов с исходной почвой и сосудов с NPK Mg выколосились на несколько дней раньше, чем растения большинства прочих сосудов, но колосья этих растений были укороченные и, кроме того, созревание растений по NPK Mg затянулось.

По низшим дозам кальция, вплоть до 80% Ca включительно, растения выколосились нормально и дали нормально развитое зерно.

По более высоким дозам кальция, начиная от 100% Ca, колосья получились не плотно сжатые, а распушенные, с белыми кончиками усиков и без тычинок, в результате чего зерно совершенно или почти совершенно не развилось.

По низшим дозам магния наблюдалась в общем такая же картина вполне нормального развития растений, как по соответствующим дозам кальция. По дозе в 100% Mg колосья сильно запоздало, а растения впоследствии развивались значительно хуже, чем по низшим дозам магния, при почти полном отсутствии зерна. По дозам в 200% Mg и в 400% Mg развитие растений после появления третьего листочка приостановилось, а впоследствии они совершенно погибли.

При различных комбинациях, образованных путем смешения углекислых солей кальция и магния в развитии растений, в общем, можно было наблюдать постепенный переход от той картины, которая имела место при внесении в почву одного кальция, к тому, что наблюдалось при одном магнии.

В сосудах с одним натрием и одним калием также, уже к стадии кущения, наметилось положительное действие углекислых солей этих элементов на развитие растений ячменя, которое усиливалось по мере увеличения доз натрия и калия. Дополнительное внесение натрия и калия на фоне кальция и магния в большинстве случаев не отразилось на развитии растений. Такая картина сохранилась и при дальнейшем развитии растений.

Исключение составляет лишь комбинация 30% Na+56% Ca+14% Mg, которая дала вполне нормально развитое зерно, в то время как по соответствующей комбинации без натрия зерно совершенно не развилось. Необходимо также отме-

тить, что по калию имело место значительно более раннее созревание растений.

При внесении в почву одного марганца уже вскоре после всходов наметилось улучшение в развитии растений ячменя по сравнению с NPK Mn, которое по мере увеличения доз марганца усиливалось вплоть до 125% Mn включительно. При наиболее высокой дозе в 500% Mn положительное действие марганца проявилось значительно слабее. На фоне же кальция и магния такого положительного действия марганца не наблюдалось. Относительно действия марганца необходимо также отметить, что по высоким дозам марганца—12,5% Mn и особенно 50% Mn, на листьях ячменя вскоре после всходов появились белые крапинки, которые впоследствии перешли в белые полосы, а затем листья совершенно отмерли.

Как характерную особенность в развитии ячменя в течение вегетационного периода необходимо, кроме того, отметить, что во всех тех случаях, где имела место пустозерность, наблюдалось усиленное кущение.

Клевер в течение первых 20 дней после посева развивался слабо по всем комбинациям, причем наиболее слабое развитие растений наблюдалось в сосудах с исходной почвой без удобрений и с почвой, удобренной NPK Mg. В дальнейшем растения стали развиваться лучше, причем в общем сохранилась такая же картина в отношении развития растений, по различным комбинациям, с той лишь разницей, что растения по дозам в 100% Ca и 100% Mg несколько отстали от растений по другим дозам кальция и магния. По различным соотношениям между кальцием и магнием растения развивались так же, как и при соответствующих дозах кальция и магния, внесенных в почву порознь.

В серии сосудов с марганцем в начальный период развития клевера существенных различий между растениями большинства сосудов не наблюдалось. Исключение представляют собой растения сосудов с дозами 12,5% Mn, 50% Mn и 50% Mn + 40% Ca + 10% Mg, которые погибли вскоре после появления всходов. В дальнейшем растения сосудов с одним марганцем на фоне NPK Mg обогнали в своем развитии растения сосудов с NPK Mg и с неудобренной почвой. При этом, по мере повышения доз марганца, развитие растений ухудшалось, но к концу вегетации это различие между разными дозами марганца несколько сгладилось.

На фоне кальция и магния, за исключением комбинации с наивысшей дозой марганца, где растения погибли в самом начале вегетационного периода, марганец не оказал существенного влияния на развитие клевера. Однако в связи

с этим необходимо отметить, что на фоне кальция и марганца вредное действие дозы марганца 12,5% Мп не проявилось, так как растения по этой комбинации развивались вполне нормально.

После уборки ячменя в освобожденные сосуды была посеяна 29. IX горчица. Всходы появились 2. X дружно, молодые растения развивались медленно вследствие наступления холодной погоды. Растения были убраны 11. XI в ранней стадии развития, еще задолго до цветения. О наметившихся за этот короткий период развития горчицы закономерностях дают представление приведенные ниже урожайные данные.

После уборки клевера в те же сосуды была посеяна озимая пшеница. 12. X появились дружные всходы. В течение месяца сосуды с растениями стояли под сеткой. В этот период времени растения развивались в общем нормально на растениях удобренных сосудов и сосудов с NPK М развивались хуже, чем растения большинства сосудов с кальцием и магнием.

По низким дозам углекислых солей, соответствующим 20 и 50% гидролитической кислотности, растения развивались несколько лучше по магнию, чем по кальцию, а по высшим дозам—80 и 100% гидролитической кислотности—наоборот.

Растения сосудов с различными соотношениями между кальцием и магнием в этот период своего развития занимали промежуточное положение между растениями сосудов с одним кальцием и одним магнием.

По прошествии месяца сосуды с растениями были перенесены в неотапливаемую теплицу, где они перезимовали 5 апреля 1934 г. сосуды были выставлены в вегетационный домик. 25 апреля было произведено прореживание растений, после чего сосуды были перенесены под сетку, где находились до конца вегетации. Наметившаяся осенью картина в течение всего дальнейшего периода их развития в общем мало изменилась. О тех же изменениях, которые все это в нескольких отдельных случаях имели место в более поздний период развития растений, можно судить по урожайным данным. Необходимо также отметить, что пшеница кустилась значительно меньше, чем ячмень, и что в отношении кущения у пшеницы наблюдалась гораздо меньшая разница между различными комбинациями, чем у ячменя. Кроме того у пшеницы, в отличие от ячменя, не наблюдалось явления пустозерности.

При этом опыте с пшеницей растения были убраны 27 июля 1934 г. в стадии полной спелости.

Полученные в наших опытах урожайные данные приводятся ниже на соответствующих таблицах, на которых дозы внесенных в почву в виде углекислых солей катионов выражены в процентах от дозы, соответствующей полной гидролитической кислотности.

Б. УРОЖАЙНЫЕ ДАННЫЕ

Кальций и магний

Урожайные данные, полученные нами при изучении вопроса о влиянии кальция и магния, внесенных в почву в различных дозах и в различных соотношениях между собой на ячмень, приведены ниже на таблице 2.

На этой таблице мы видим следующую картину. По мере увеличения содержания кальция в почве, общий урожай ячменя повышается вплоть до дозы, по однократной гидролитической кислотности соответствующей рН в водной суспензии 6,8, а при дальнейшем повышении содержания кальция в почве как общий урожай, так и урожай соломы ячменя мало изменился. Поскольку при дозах кальция, превышающих дозу по однократной гидролитической кислотности, часть углекислого кальция не прореагировала с почвой, постольку полученные нами данные говорят за то, что на развитие зеленой массы ячменя непоглощенный углекислый кальций и слабощелочная реакция среды не оказывают вредного действия. Урожай же зерна по мере увеличения доз извести повышался лишь до дозы, соответствующей 50% от полной гидролитической кислотности, при дозе, соответствующей 80% от гидролитической кислотности,—немного понизился, а при более высоких дозах, начиная с дозы, соответствующей полной гидролитической кислотности (при рН—6,8), урожай зерна получились ненормально низкие.

При внесении в почву одного магния в дозах, не превышающих дозы, соответствующей 80% гидролитической кислотности при рН—6,7, имело место повышение урожая зерна и урожая соломы, которые по абсолютной величине лишь немного уступали урожаям по соответствующим дозам углекислого кальция. При более же высоких дозах углекислого магния, начиная с дозы, соответствующей полной гидролитической кислотности при рН—6,9, имело место резкое падение как урожая зерна, так и урожая соломы. Это явление приходится объяснить вредным действием непрореагировавшего с почвой углекислого магния при высоких дозах, а не повышением реакции среды, так как при не менее высоком рН, чем 6,9, при внесении в почву угле-

кислого кальция урожай зеленой массы ячменя получился значительно более высокий. (При дозе углекислого магния, соответствующей полной однократной гидролитической кислотности, некоторая часть соли также могла не прореагировать с почвой.)

Таким образом непрореагировавший углекислый магний оказывает вредное влияние на развитие ячменя, что согласно данным, полученным при наших аналитических исследованиях, может быть объяснено тем обстоятельством, что при наличии в почве непрореагировавшего углекислого магния в почвенном растворе может создаваться слишком высокая концентрация иона Mg по сравнению с другими катионами, особенно по сравнению с Ca. Что же касается поглощенного магния, то приведенные на этой таблице данные говорят за то, что вопреки ходячим представлениям ячмень может вполне нормально развиваться даже при очень высоком содержании в почве поглощенного магния. Так, например, при дозе углекислого магния, соответствующей 80% гидролитической кислотности, отношение поглощенного магния к поглощенному кальцию (принимая во внимание и поглощенные катионы Ca и Mg, бывшие в почве до внесения углекислого магния) составляло величину не менее 5:1.

Что касается различных соотношений между поглощенными кальцием и магнием при совместном внесении их в почву в виде углекислых солей, то полученные нами данные говорят за то, что при низших дозах внесенных углекислых солей и при низшей реакции среды отношение Ca и Mg может быть более широким, чем при более высоких дозах углекислых солей и более высокой реакции среды. При совместном внесении углекислых солей кальция и магния из такого расчета, чтобы сумма их соответствовала 50 и 100% гидролитической кислотности, почти во всех случаях общие урожаи ячменя получались не менее высокие, чем при внесении в почву одного углекислого кальция, и более высокие, чем при внесении углекислого магния. При внесении в почву углекислых солей из расчета 200 и 400% гидролитической кислотности урожаи, равные урожаю, полученным при внесении одного кальция, получились лишь тогда, когда доза кальция в три раза превосходила дозу магния.

При комбинации 100% Ca+100% Mg урожай получился заметно меньший, чем при 200% Ca, а в остальных случаях получились ничтожные урожаи с ненормально развитыми растениями.

Из приведенных на этой таблице данных вполне ясно видно, что вредное действие высоких доз углекислого магния парализуется при внесении достаточно больших количеств углекислого кальция. Так, например, при внесении одного углекислого магния в дозе, соответствующей 100% гидролитической кислотности, урожай ячменя получился значительно меньший, чем при 100% Ca, хотя большая часть Ca без сомнения вошла в поглощающий комплекс, при комбинации же 100% Ca+100% Mg и при 300% Ca+100% Mg урожаи получились гораздо более высокие, несмотря на то, что в этих случаях непрореагировавшего углекислого магния в почве было значительно больше.

Таким образом влияние различных соотношений кальция и магния (в виде поглощенных оснований и углекислых солей) на развитие растений зависит как от широты отношения Ca к Mg, так и от абсолютных количеств, внесенных в почву углекислых солей этих элементов.

Прилагаемые ниже фотографии 1, 2, 3, 4 нашего опыта дают наглядное представление о влиянии поглощенных кальция и магния на развитие ячменя.

Как уже было выше указано, после уборки ячменя в освободившиеся сосуды была высеяна горчица, которая из-за наступления холодной погоды была убрана еще до цветения. Соответствующие урожайные данные в отношении общей массы растений приводятся на таблице 3.

Несмотря на то, что горчица была убрана в таком раннем возрасте, как показывают данные настоящей таблицы, разница между различными комбинациями схемы выявилась вполне отчетливо. Кроме того, то обстоятельство, что разница между различными комбинациями схемы по отношению к ячменю, наметившаяся еще у проростков (по данным измерения высоты растения), осталась в основном такой же и у созревших растений в период уборки, дает нам право, сравнивая между собой урожайные данные обоих растений, судить о некоторых специфических особенностях этих растений в отношении реагирования их на изменение состава поглощенных катионов.

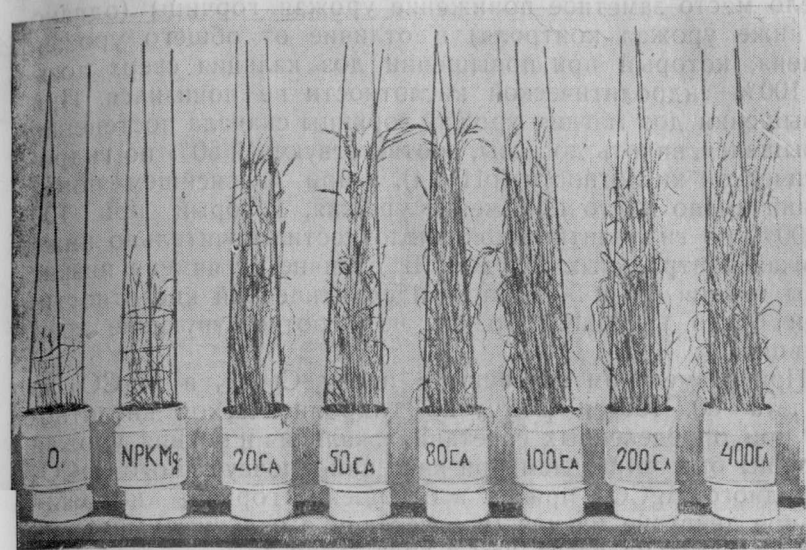
В общем мы здесь видим картину, аналогичную той, которую наблюдали в отношении общего урожая ячменя на таблице 2, при некоторой, однако, разнице, обусловленной специфическими биологическими особенностями обоих растений.

При постепенном увеличении доз кальция урожай горчицы также постепенно повышался, но лишь до дозы, соответствующей 80% гидролитической кислотности включительно (рН 6,6). При дальнейшем повышении доз кальция

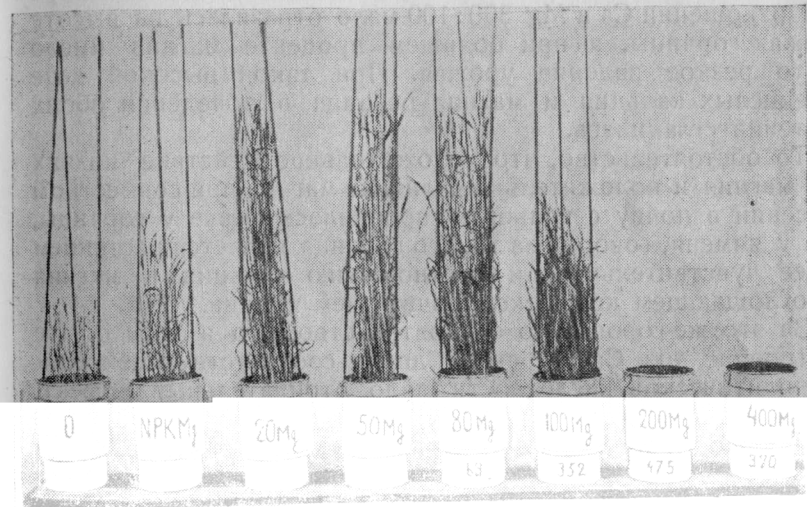
Таблица 3

ГОРЧИЦА Ca, Mg

Внесено в почву	Урожай в граммах	Отнош. к 100	pH в H ₂ O
0	1,94	143	5,1
NPKMg	1,36	100	4,6
+ 20% Ca	1,60	118	5,4
+ 50% Ca	1,72	126	6,3
+ 80% Ca	3,16	232	6,6
+ 100% Ca	2,46	181	6,8
+ 200% Ca	2,20	162	7,3
+ 400% Ca	2,18	160	7,4
+ 20% Mg	2,35	173	5,4
+ 50% Mg	2,25	165	6,4
+ 80% Mg	2,06	151	6,7
+ 100% Mg	1,96	144	6,9
+ 200% Mg	0,66	49	8,2
+ 400% Mg	0,30	22	8,2
+ 50% Ca+ 0% Mg	1,72	126	6,9
+ 40% Ca+10% Mg	2,56	188	6,1
+ 25% Ca+25% Mg	2,64	194	6,2
+ 10% Ca+40% Mg	2,16	159	6,2
+ 0% Ca+50% Mg	2,26	166	6,4
+ 100% Ca+ 0% Mg	2,46	181	6,7
+ 80% Ca+ 20% Mg	2,84	209	6,9
+ 50% Ca+ 50% Mg	2,40	176	6,8
+ 0% Ca+100% Mg	1,96	144	6,8
+ 200% Ca+ 0% Mg	2,20	162	7,3
+ 150% Ca+ 50% Mg	2,26	166	7,3
+ 100% Ca+100% Mg	1,96	144	7,6
+ 0% Ca+200% Mg	0,66	49	8,2
+ 400% Ca+ 0% Mg	2,18	160	7,4
+ 300% Ca+100% Mg	2,08	153	7,7
+ 200% Ca+200% Mg	0,15	11	8,1
+ 100% Ca+300% Mg	0,15	11	8,1
+ 0% Ca+400% Mg	0,15	11	8,2



Фотоснимок 1



Фотоснимок 2

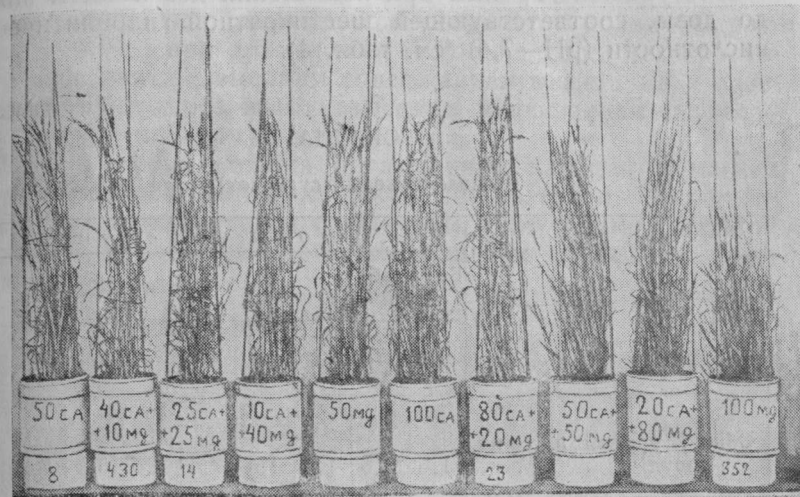
имело место заметное понижение урожая горчицы (однако не ниже урожая контроля) в отличие от общего урожая ячменя, который при повышении доз кальция сверх дозы по 100% гидролитической кислотности не понизился. При повышении доз магния урожай горчицы сначала постепенно повышался, вплоть до дозы, соответствующей 50% по гидролитической кислотности (рН 6,4), а при дальнейшем повышении имело место понижение урожая, который при 100 и 200% по гидролитической кислотности значительно ниже урожая контрольных сосудов. В отличие от ячменя низкие дозы магния (20 и 50% по гидролитической кислотности) дали более высокий урожай, чем соответствующие дозы кальция.

При совместном внесении в почву CaCO_3 и MgCO_3 из расчета 50, 100 и 200% по гидролитической кислотности при определенных сочетаниях кальция и магния урожай горчицы был выше, чем при внесении в почву одного CaCO_3 или одного MgCO_3 ; причем в отношении горчицы положительное действие магния (в сочетании с кальцием) проявилось значительно резче, чем в отношении ячменя — особенно при комбинациях $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$, соответствующих дозе в 50% от гидролитической кислотности.

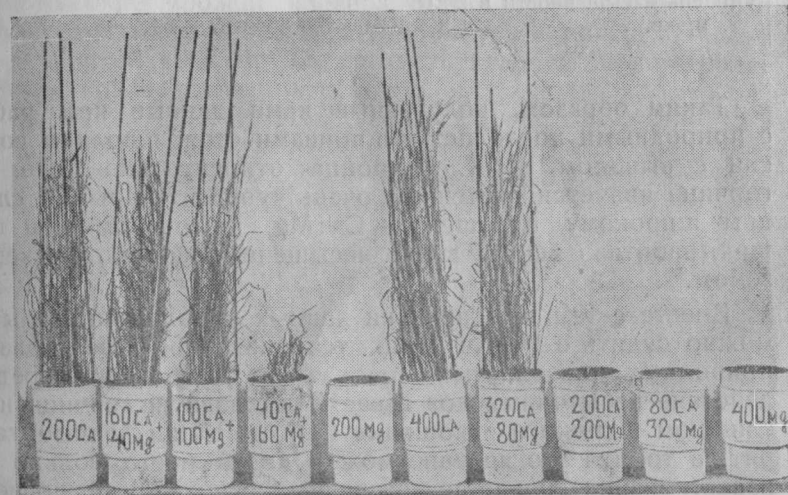
При комбинациях, соответствующих дозе 400% от гидролитической кислотности, замена части кальция магнием при отношении Ca и Mg 300:100 мало отразилась на высоте урожая горчицы, а при большем проценте магния имело место резкое падение урожая. При такой высокой дозе углекислых кальция и магния разница в поведении обоих растений сгладилась.

То обстоятельство, что положительное действие низких доз магния и положительное влияние магния при совместном внесении в почву с кальцием проявилось резче у горчицы, чем у ячменя, говорит за то, что горчица является растением более чувствительным к соотношению кальция и магния в поглощающем комплексе почвы, чем ячмень.

За это же говорит то обстоятельство, что в этом опыте повышение доз CaCO_3 сверх дозы, соответствующей 80% гидролитической кислотности, дало отрицательный эффект. Это обстоятельство нельзя объяснить отношением горчицы к кислотности почвы, так как при другом опыте, проведенном одним из нас (О. К. Кедровым-Зихманом) вместе с В. Л. Корчагиной, с применением такой же методики, но на значительно более насыщенном основаниями с большим содержанием поглощенного магния тяжелом суглинке совхоза „Отрадное“ и с применением не химически чистого препарата CaCO_3 , а известковой муки, имело место постепенное повы-



Фотоснимок 3



Фотоснимок 4

шение урожая горчицы при повышении доз извести вплоть до дозы, соответствующей шестикратной гидролитической кислотности (рН—7,4) (см. табл. 4).

Таблица 4

ГОРЧИЦА
(Почва—тяжелый суглинок)

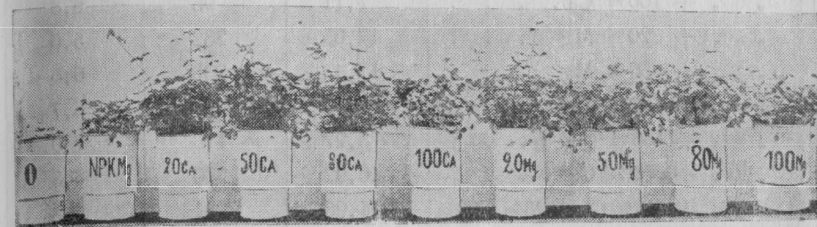
	Дозы извести									
	Без удоб- рений		Ф о н Р К							
	0	1/1	0	1/3	2/3	1/1	2/1	4/1	6/1	
Общий урожай в г на сосуд	1,6	3,6	1,0	1,4	2,6	4,0	5,9	7,3	7,70	
Общий урожай в % на сосуд	100	229	79	90	166	256	381	471	497	
рН в водной суспензии .	5,6	6,7	5,0	5,5	5,8	6,3	6,6	7,1	7,1	
рН в фильтрате	6,0	6,9	5,7	5,9	6,1	6,6	7,0	7,4	7,4	
Гидролит. кислотность в м/эquiv.	3,9	0,8	5,5	3,4	1,8	1,1	0,6	0,6	0,6	
Степень насыщенности в м/эquiv.	49,9	93,0	47,0	65,0	82,2	89,7	95,7	97,3	98,2	

Таким образом, полученные нами данные при работе с природными подзолистыми почвами стоят в полном согласии с выводом К. К. Гедройца относительно того, что горчица является растением очень чувствительным к слишком широкому отношению Са:Mg, к которому он пришел, работая с искусственно насыщенным водородом черноземом.

Вместе с тем, на основании данных обоих наших опытов, можно судить о том, в каких условиях при известковании природных подзолистых почв может проявиться вредное действие избыточных доз извести на развитие горчицы из-за слишком широкого отношения Са:Mg. Наши данные говорят за то, что это явление может иметь место только при известковании сильно ненасыщенных основаниями подзолистых почв (подобных взятой в нашем опыте) путем внесения несодержащих или содержащих в очень небольшом количестве магниевых известковых удобрений—мела, известковых туфов. При известковании же наиболее распространен-

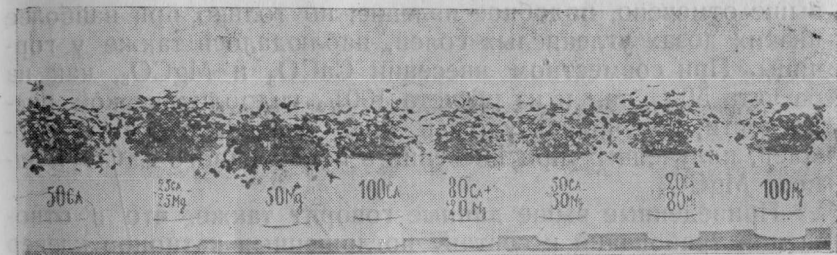
ных подзолистых почв—даже с не очень высокой степенью насыщенности основаниями (как например в почве „Отрадного“—47,9%) при применении не только доломитизированного известняка с высоким содержанием магния, но и известковой муки с обычным, невысоким содержанием магния,—это явление не должно иметь места.

При изучении влияния поглощенных кальция и магния на развитие растений была также поставлена по сокращенной схеме серия сосудов с клевером. Полученные при этой части наших опытов урожайные данные приведены ниже на таблице 5.



Фотоснимок 5

Рассматривая данные этой таблицы, мы видим, что наиболее высокие урожаи клевера были получены при дозе СаСО₃, соответствующей 20% гидролитической кислотности при рН—6,1 и дозе MgСО₃, соответствующей 50% гидролитической кислотности при рН—6,5.



Фотоснимок 6

При дальнейшем повышении доз СаСО₃ и MgСО₃ и соответствующем повышении реакции среды урожай клевера начинает понижаться. При этом в противоположность тому, что наблюдалось в части опыта с ячменем по MgСО₃, урожай был несколько выше, чем по СаСО₃; как уже было

Таблица 5

КЛЕВЕР Ca и Mg

Внесено в почву	Урожай в граммах	Отношение к 100	pH в H ₂ O
Без удобрения	0,80	11	5,1
NPK Mg	7,34	100	4,9
" " + 20% Ca	18,50	252	5,6
" " + 50% Ca	16,92	230	6,3
" " + 80% Ca	11,24	153	6,8
" " + 100% Ca	7,11	96	6,8
" " + 20% Mg	17,05	232	5,6
" " + 50% Mg	17,44	238	6,5
" " + 80% Mg	13,71	183	6,7
" " + 100% Mg	8,27	113	7,0
" " + 50% Ca	16,92	230	6,3
" " + 25% Ca + 25% Mg	16,98	231	6,3
" " + 50% Mg	17,44	238	6,5
" " + 100% Ca	7,11	96	6,9
" " + 80% Ca + 20% Mg	8,82	120	6,9
" " + 50% Ca + 50% Mg	8,94	122	6,9
" " + 20% Ca + 80% Mg	10,17	138	7,0
" " + 100% Mg	8,27	113	7,0

выше отмечено, подобное явление, но только при наиболее низких дозах углекислых солей, наблюдалось также у горчицы. При совместном внесении CaCO₃ и MgCO₃, как из расчета 50%, так и из расчета 100% гидролитической кислотности, получились урожаи, мало отличающиеся от урожаев, полученных при внесении в почву одного CaCO₃ и одного MgCO₃.

Приведенные выше данные говорят также, что в отношении требований к составу поглощенных катионов клевер резко отличается как от ячменя, так и от горчицы по своему отношению к поглощенному водороду.

Для создания благоприятных условий нормального развития последних двух растений необходимо устранить главную массу поглощенного водорода и установить определенные соотношения между кальцием и магнием в поглощающем комплексе почвы (которые могут колебаться в довольно

широких пределах). Для клевера же наиболее благоприятными являются такие условия, когда в поглощающем комплексе почвы, кроме оснований, присутствует в некотором количестве водородный ион.

В освободившийся после уборки клевера сосуд была посеяна озимая пшеница, которая, как это уже выше отмечено, была убрана в состоянии полной спелости. Урожайные данные этой части нашего опыта приводятся ниже на таблице 6.

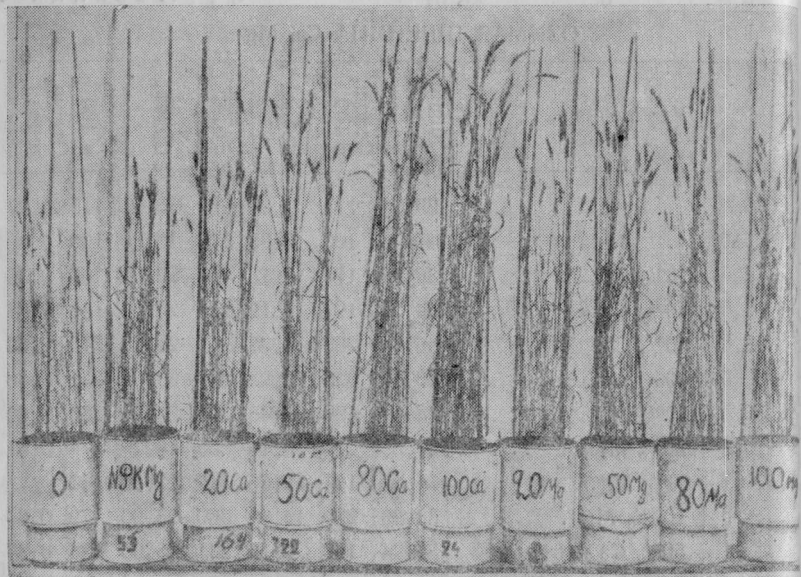
Таблица 6

ОЗИМАЯ ПШЕНИЦА Ca, Mg

Удобрения	Общий урожай в грам. Отнош. к 100	Зерно Отнош. к 100	Солома Отнош. к 100	Отнош. зерна к соломе			
О	20,25	117	4,33	92	15,91	119	0,27
NPK Mg	17,34	100	3,98	100	13,36	100	0,30
" + 20% Ca	30,47	175	8,13	204	22,34	167	0,36
" + 50% Ca	34,24	197	9,19	256	25,05	188	0,37
" + 80% Ca	46,68	269	18,37	469	28,30	212	0,65
" + 100% Ca	56,57	326	20,25	509	36,32	277	0,56
" + 20% Mg	38,57	199	14,46	363	24,11	180	0,60
" + 50% Mg	37,39	216	14,10	355	23,29	174	0,61
" + 80% Mg	34,57	199	12,56	316	22,00	163	—
" + 100% Mg	38,23	220	14,32	360	23,90	179	0,60
" + 50% Ca + 0% Mg	34,24	197	9,19	231	25,05	188	0,37
" + 25% Ca + 25% Mg	35,13	203	10,89	274	24,24	181	0,45
" + 0% Ca + 50% Mg	37,39	216	14,10	354	23,29	146	0,61
" + 100% Ca + 0% Mg	56,57	326	20,25	509	36,32	272	0,56
" + 50% Ca + 50% Mg	60,90	351	22,17	557	38,73	281	0,58
" + 20% Ca + 80% Mg	47,36	273	19,06	479	28,29	212	0,67
" + 0% Ca + 100% Mg	38,23	220	14,32	360	23,90	180	0,60

Данные этой таблицы показывают, что при всех дозах CaCO₃ и MgCO₃, которые применялись в этой части наших опытов, имело место очень значительное повышение урожая зерна и соломы пшеницы. При этом по кальцию урожаи постепенно повышались по мере увеличения доз этого элемента, вплоть до самой высокой дозы включительно. По магнию же разница между величиной урожая по различным

дозам значительно меньше, чем по кальцию, и полученные данные не дают возможности говорить о какой-либо четко выраженной закономерности в этом отношении. Сравнительное действие CaCO_3 и MgCO_3 на развитие пшеницы в наших опытах, необходимо также отметить, что при низких дозах углекислых солей (20 и 50% по гидролитической кислотности) урожай зерна пшеницы по магнию был заметно выше, чем по кальцию, а при высоких дозах (8 и 100% по гидролитической кислотности) наоборот.



Фотоснимок 7

При совместном внесении в почву CaCO_3 и MgCO_3 влияние соотношений между кальцием и магнием проявилось различно в зависимости от степени насыщения почвы основаниями. При внесении углекислых солей кальция и магния из расчета 50% гидролитической кислотности соотношения между кальцием и магнием на урожай соломы заметным образом не повлияли, но урожай зерна получился тем выше, чем больше было внесено магния по сравнению с кальцием, причем при внесении в почву одного MgCO_3 получился самый высокий урожай. При внесении в почву CaCO_3 и MgCO_3 из расчета 100% гидролитической кислотности на более высокие урожаи зерна и соломы получились при

50% $\text{CaCO}_3 + 50\%$ MgCO_3 по гидролитической кислотности, при дальнейшем повышении количеств внесенного в почву магния по сравнению с кальцием имело место понижение как урожая зерна, так и урожая соломы, причем при внесении одного MgCO_3 получился самый низкий урожай. При этом необходимо подчеркнуть, что положительное действие магния на развитие озимой пшеницы в большинстве случаев проявилось резче в отношении зерна, чем в отношении соломы.

Заключительный обзор урожайных данных той части нашего вегетационного опыта, которую мы провели с целью выяснения вопроса о влиянии соотношений между поглощенными кальцием и магнием на развитие сельскохозяйственных растений, необходимо отметить следующее.

Академик К. К. Гедройц, работая главным образом с искусственно насыщенным водородным ионом черноземом, пришел к выводу, что соотношения между кальцием и магнием в почвенном поглощающем комплексе имеют огромное значение для развития растений. Этот вывод в нашем опыте с сильно ненасыщенной основаниями подзолистой почвой подтвердился. Подтвердилось также в условиях нашего опыта с природной подзолистой почвой то положение академика К. К. Гедройца, что растения предъявляют неодинаковое требование к составу поглощенных катионов вообще и соотношениям кальция и магния в почвенном поглощающем комплексе в частности.

Что же касается вопроса о вредном действии высоких доз извести из-за слишком широкого отношения кальция к магнию в поглощающем комплексе почвы, то имевшее место в двух случаях при нашем опыте отрицательное действие углекислого кальция на развитие зерна ячменя при замене части кальция различными количествами магния не было устранено, несмотря на то, что для этого опыта была взята сильно ненасыщенная основаниями почва (степень насыщенности основаниями 20,6%, с ничтожным содержанием поглощенного магния (0,008%). Но положительное действие углекислого кальция при замене части кальция на магний во многих случаях усилилось при всех опытных растениях.

При других наших опытах, данные которых еще полностью не обработаны, имевшее место отрицательное действие высоких доз углекислого кальция на развитие зерна ячменя при положительном действии на общий урожай при замене части кальция на магний — устранялось.

Но в общем, на основании урожайных данных настоящего опыта и других наших опытов с сильно ненасыщенными основаниями почвами, а также на основании данных

некоторых других опытов можно полагать, что такие случаи,—о которых говорил К. К. Гедройц, когда при известковании подзолистых почв имеет место отрицательное действие извести из-за слишком широкого отношения кальция к магнию,—в почвенном поглощающем комплексе встречаются довольно редко. Но зато такие случаи, когда положительное действие извести проявляется неполно из-за слишком широкого отношения кальция к магнию в поглощающем комплексе почвы, должны иметь место очень часто. Такое положение в отношении подзолистых почв мы считаем возможным высказать теперь после проведения опытов с наиболее ненасыщенными основаниями из встречающихся в природе подзолистых почв с ничтожным содержанием поглощенного магния, каковые в прежде проведенных опытах почти не применялись.

Обобщая данные нашего опыта, полученные с различными опытными растениями, мы можем вполне определенно заявить, что путем внесения в малонасыщенные основания подзолистые почвы углекислого магния в таких количествах, при которых весь магний поглощается почвой, содержание поглощенного магния в почве может быть доведено до весьма значительной величины—в 4,5 раза превосходящей содержание поглощенного кальция—без вреда для нормального развития взятых для нашего опыта сельскохозяйственных растений. Таким образом, согласно данным наших опытов, растения могут нормально развиваться при содержании магния в почвенном поглощающем комплексе не только в больших количествах (по сравнению с кальцием чем это следует из теории Лева (31), разработанной в отношении водных и песчаных культур, но и значительно больших, чем это обычно принято считать на основании данных прежних исследований других авторов.

Наконец, в развитие общего положения академика К. К. Гедройца о значении соотношений между кальцием и магнием для развития растений в нашем опыте выявилось, что влияние соотношения между кальцием и магнием в почвенном поглощающем комплексе на развитие растений проявляется неодинаково при различных степенях насыщенности почвы основаниями.

Натрий, калий и марганец

Как это уже было выше указано, кроме поглощенного кальция и магния, при нашей работе изучалось также влияние других катионов на развитие растений: натрия, калия и марганца. Действие этих катионов изучалось как при

внесении в почву углекислых солей этих катионов порознь, так и в сочетании с углекислыми кальцием и магнием. При этом CaCO_3 и MgCO_3 вносились в соотношении 4 частей Са к 1 части Mg.

При изучении влияния поглощенного натрия на развитие растений в качестве опытных растений были взяты ячмень и высеянная после уборки ячменя горчица. Урожайные данные части опыта с натрием приводятся ниже на таблице 7.

Из приведенных на этой таблице данных видно, что при внесении в почву одного углекислого натрия по мере повышения его доз повышается также урожай ячменя, как в отношении зерна, так и в отношении соломы, вплоть до самой высокой дозы, соответствующей 30% гидролитической кислотности при pH—6,6. При внесении в почву углекислого натрия вместе с углекислыми солями кальция и магния из такого расчета, чтобы сумма внесенных солей соответствовала 100% гидролитической кислотности, замена части кальция и магния натрием на общий урожай ячменя заметного влияния не оказала. Урожай же зерна ячменя при дозе натрия, соответствующей 30% гидролитической кислотности, получился при этом вполне нормальный, в противоположность ничтожным урожаям зерна, получившимся при всех других комбинациях, с внесением всех трех солей при меньших дозах натрия. При внесении в почву указанных выше углекислых солей, из расчета 200% гидролитической кислотности, замена части кальция и магния натрием дала заметное повышение общего урожая ячменя, причем более высоким дозам натрия соответствовало большее повышение урожая.

Положительное действие натрия на урожай зерна ячменя может быть объяснено установлением более благоприятных соотношений между катионами в почвенном растворе при введении в поглощающий комплекс почвы натрия.

Высеянная после уборки ячменя горчица была убрана еще до цветения. Однако, несмотря на невысокий урожай зеленой массы, влияние натрия на развитие этого растения выявилось вполне отчетливо. Урожайные данные этой части опытов приводятся ниже на таблице 8.

Из данных этой таблицы мы видим, что при внесении в почву одного углекислого натрия по мере увеличения доз повышается также постепенно урожай горчицы, вплоть до дозы, соответствующей 6% гидролитической кислотности. При наиболее высокой дозе натрия, соответствующей 30% гидролитической кислотности, урожай получился несколько ниже максимального. При внесении в почву раз-

Таблица 7

ЯЧМЕНЬ Na

Внесено в почву	Общий урожай в граммах	Отнош. к 100	Зерно	Отнош. к 100	Солома	Отнош. к 100	Отнош. зерна к соломе	pH в H ₂ O
0	9,17	100	1,34	52	2,82	38	0,47	5,1
NPK Mg.	9,84	100	2,55	100	7,39	100	0,34	4,6
" +0,5% Na	12,20	123	2,80	110	9,40	127	0,30	4,6
" +1,5% Na	15,46	155	5,96	234	9,50	129	0,63	4,8
" +6,0% Na	26,32	265	10,95	429	15,40	208	0,71	5,9
" +30,0% Na	33,95	341	14,62	573	19,33	261	0,76	6,6
" +80% Ca+20% Mg	36,55	372	0,47	18	36,37	492	0,01	6,9
" +0,5% Na+80% Ca+20% Mg	37,04	373	0,32	12	36,72	497	0,00	7,0
" +1,5% Na+80% Ca+20% Mg	37,11	373	3,27	128	33,84	458	0,10	6,8
" +6,0% Na+75% Ca+18% Mg	36,22	364	2,49	98	33,73	456	0,07	7,0
" +30% Na+56% Ca+14% Mg	37,98	382	13,05	511	24,92	337	0,52	6,7
" +160% Ca+40% Mg	31,52	317	1,15	45	30,36	411	0,04	7,3
" +1,5% Na+158% Ca+40% Mg	37,74	380	0,74	29	37,00	501	0,02	7,2
" +6,0% Na+152% Ca+40% Mg	38,23	385	0,02	0,8	38,21	520	0,00	7,3

Таблица 8

ГОРЧИЦА Na

Внесено в почву	Урожай в граммах	Отношение к 100
NPK Mg	1,36	100
" +0,5% Na	1,42	104
" +1,5% Na	1,62	119
" +6% Na	1,66	122
" +30% Na	1,50	110
" +0,5% Na+80% Ca+20% Mg	2,80	206
" +1,5% Na+80% Ca+20% Mg	3,12	229
" +6,0% Na+75% Ca+18% Mg	3,38	248
" +30% Na+56% Ca+14% Mg	3,54	260
" +160% Ca+40% Mg	2,32	171
" +1,5% Na+158% Ca+40% Mg	2,58	190
" +6% Na+152% Ca+40% Mg	2,66	196

личных доз натрия на фоне кальция и магния также имело место во всех случаях повышение урожая горчицы, причем более высоким дозам натрия соответствовало большее повышение урожая.

В общем, полученные при наших вегетационных опытах с ячменем и горчицей данные говорят за то, что в поглощающем комплексе ненасыщенных основаниями подзолистых почв могут быть введены значительные количества натрия, причем может иметь место повышение урожая зерна и урожая соломы ячменя такого же порядка, как при введении в поглощающий комплекс почвы кальция.

Из этого следует, что при применении удобрений, содержащих в виде составной части основного соединения или в виде примеси значительные количества натрия, нет основания опасаться отрицательного влияния этого элемента на ячмень и горчицу при поступлении его в поглощающий комплекс почвы.

Напротив, полученные нами данные говорят за целесообразность применения при известковании ненасыщенных основаниями подзолистых почв натрий-содержащих удобрений, с целью повысить положительное или устранить отрицательное действие извести.

Конечно, прежде чем начать применять натрий-содержащие удобрения в сельскохозяйственном производстве,

в целях химической мелиорации почв, необходимо, путем постановки полевых опытов и путем проведения соответствующих исследований лабораторного характера, выяснить ряд конкретных вопросов, связанных с разрешением этой задачи.

В частности, в связи с этим, в высшей степени актуальное значение представляет собой вопрос о дозах натрий-содержащих удобрений. Во-первых, крайне важно установить те минимальные дозы натрий-содержащих удобрений, которые оказывали бы достаточно высокий положительный эффект при химической мелиорации почв и в то же время оправдывали бы себя в сельскохозяйственном производстве с экономической стороны. Во-вторых, необходимо также выяснить, в каких количествах можно вводить в поглощающий комплекс натрий без существенного вреда в отношении физических свойств почвы. Однако, независимо от результатов детального выяснения этого вопроса в дальнейшем, уже сейчас, на основании данных наших еще не вполне законченных исследований в этом направлении, можно определенно утверждать, что при внесении в почву натрий-содержащих удобрений вместе с известью заметно ухудшение физических свойств почвы наступает лишь при значительно более высоких дозах углекислого натрия, чем те, которые необходимо вносить в почву вместе с известью в целях химической мелиорации почвы.

Влияние поглощенного калия на развитие растений также выяснялось по отношению к ячменю и высеянной после уборки ячменя горчице. Урожайные данные этой части опыта приведены ниже на таблице 9.

Из приведенной выше таблицы видно, что по мере увеличения доз калия, вплоть до самой высокой дозы, соответствующей 50% гидролитической кислотности при pH=7,0 имело место постепенное повышение общего урожая и урожая соломы ячменя. Урожай зерна при этом повышался лишь до дозы, соответствующей 10% гидролитической кислотности, а при следующей—более высокой дозе—урожай зерна почти отсутствовал.

При внесении углекислого калия в почву вместе с углекислым кальцием и углекислым магнием замена части магния и кальция на калий в ряде случаев дала некоторое повышение урожая соломы и в одном случае (10% K+32% Ca+8% Mg) небольшое повышение урожая зерна. В большинстве же случаев внесение углекислого калия вместе с углекислым кальцием и магнием дало такие же урожаи, как при внесении кальция и магния без калия. Урожай зерна во всех случаях, где углекислые соли были внесены из расчета 100%

Таблица 9

Внесено в почву	Общий урожай в граммах	Ош. к 100	Зерно	Ош. к 100	Солома	Ош. к 100	Ош. зерна к соломе	pH Н ₂ O
O	4,76	29	1,34	22	2,82	34	0,48	5,1
NPK Mg	14,42	100	6,10	100	8,31	100	0,73	4,6
"	16,54	115	6,53	107	10,01	120	0,65	4,7
"	24,00	166	9,07	149	14,95	180	0,67	5,2
"	27,01	187	12,36	203	15,15	182	0,82	6,5
"	36,39	252	0,97	16	35,46	427	0,03	7,0
"	34,33	238	14,96	245	19,36	233	0,73	6,2
"	34,91	242	13,39	219	21,42	258	0,63	6,2
"	36,91	256	15,89	260	21,02	253	0,76	6,4
"	36,95	256	0,47	8	36,37	438	0,01	7,0
"	40,80	283	0,30	5	40,51	487	0,01	7,1
"	35,39	245	0,71	12	33,83	402	0,02	7,1
"	31,79	220	0	0	31,79	382	0,00	7,3
"	38,22	256	0,04	0,7	38,14	459	0,00	7,1
"	35,33	245	0,34	6	35,30	428	0,01	7,3
"	34,48	239	0,04	0,7	34,46	415	0,00	7,0
"	35,57	247	1,42	23	34,15	411	0,04	7,4
"	39,03	271	0	0	39,03	470	0,00	7,4
"	37,46	260	0	0	37,46	451	0,00	7,5

гидролитической кислотности и выше как с калием, так и без калия, получился ничтожно малый или совершенно отсутствовал.

Урожайные данные горчицы приводятся ниже на таблице 10.

ГОРЧИЦА К

Таблица 10

Внесено в почву	Урожай в граммах на сосуд	НРК Mg в отношении к 100
НРК Mg	1,36	100
„ + 1% K	1,38	102
„ + 2,5% K	1,42	104
„ + 10% K	1,72	127
„ + 50% K	2,36	174
„ + 40% Ca + 10% Mg	2,33	171
„ + 2,5% K + 37,5% Ca + 10% Mg	2,40	183
„ + 10% K + 72% Ca + 18% Mg	2,81	207
„ + 50% K + 40% Ca + 10% Mg	2,01	148
„ + 160% Ca + 40% Mg	1,70	125
„ + 2,5% K + 157,5% Ca + 40% Mg	1,95	143
„ + 10% K + 152% Ca + 38% Mg	0,94	69
„ + 320% Ca + 80% Mg	2,24	165
„ + 2,5% K + 317% Ca + 80% Mg	1,90	140
„ + 10% K + 310% Ca + 80% Mg	1,92	141

Данные этой таблицы показывают, что урожай горчицы, подобно общему урожаю ячменя при внесении в почву одного углекислого калия, постепенно повышался, вплоть до самой высокой дозы, соответствующей 50% гидролитической кислотности.

При совместном внесении в почву углекислых солей кальция, магния и калия замена части кальция и магния на калий дает различные результаты в зависимости от дозы углекислых солей.

В общем, чем ниже доза углекислых солей и чем меньшая часть кальция и магния заменена на калий, тем чаще наблюдается положительный эффект от введения калия в поглощающий комплекс, и, наоборот, чем выше доза углекислых солей и чем больше кальция и магния заменено на

калий, тем чаще введение калия в поглощающий комплекс дает отрицательный эффект.

В общем, из полученных при наших опытах данных следует, что, вводя в почвенный поглощающий комплекс ненасыщенных основаниями подзолистых почв калий путем внесения в почву его углекислой соли, можно улучшить значительно условия для нормального развития ячменя и горчицы. В частности, путем введения в почвенный поглощающий комплекс калия можно усилить положительное действие извести.

При этом вопрос о дозах калийных удобрений при химической мелиорации ненасыщенных основаниями подзолистых почв, в общем, стоит также, как о дозах натрий-содержащих удобрений.

Но полученные нами при этой работе данные вполне ясно говорят о том, что даже наиболее высокие применяемые в настоящее время дозы калийных удобрений при совместном внесении с известью не могут создать неблагоприятных соотношений между кальцием и калием в поглощающем комплексе почвы и заметно ухудшить физические свойства почвы даже при систематическом применении калийных удобрений.

В той части нашего вегетационного опыта, где выяснилось влияние марганца на развитие сельскохозяйственных растений, в качестве опытных растений были взяты ячмень, горчица и клевер.

Урожайные данные в отношении ячменя приведены ниже на таблице 11.

Из приведенных на этой таблице данных видно, что при внесении в почву одного марганца в виде углекислой соли урожай зерна и урожай соломы ячменя повышался по мере увеличения доз марганца до дозы, соответствующей 12,5% гидролитической кислотности. При следующей, более высокой дозе марганца, соответствующей 50% гидролитической кислотности, как урожай зерна, так и урожай соломы получился значительно ниже, чем по этой оптимальной дозе, но все же значительно более высокий, чем по контролю, и с вполне нормально развитыми растениями.

При внесении в почву углекислого марганца вместе с углекислыми солями кальция и магния введение в поглощающий комплекс марганца, вместо части кальция и магния, в подавляющем большинстве случаев ни на урожай зерна, ни на урожай соломы какого-либо заметного действия, дающего возможность установить какую-либо определенную закономерность, не оказало. Исключение составляет комбинация 50% Mn + 40% Ca + 10% Mg, при которой, наряду с пони-

Таблица 11

ЯЧМЕНЬ Mn

Внесено в почву	Общий урожай в грам. на сосуд	Отнош. к 100	Зерно	Отнош. к 100	Солома	Отнош. к 100
О	3,76	49	1,34	52	2,82	38
NPK Mg	9,84	100	2,55	100	7,39	100
" + 0,5% Mn	8,92	94	2,28	89	6,70	91
" + 2,5% Mn	13,51	137	4,93	193	8,83	120
" + 12,5% Mn	20,13	203	6,99	274	13,01	176
" + 50% Mn	13,29	134	3,09	121	10,20	138
" + 40% Ca + 10% Mg	34,33	345	14,96	587	19,37	262
" + 0,5% Mn + 40% Ca + 10% Mg	34,77	370	15,70	616	19,07	258
" + 2,5% Mn + 37,5% Ca + 10% Mg	25,59	257	10,48	411	16,11	218
" + 80% Ca + 20% Mg	36,95	318	0,47	18	36,48	494
" + 0,5% Mn + 80% Ca + 20% Mg	34,32	345	4,12	142	30,20	409
" + 12,5% Mn + 70,5% Ca + 18% Mg	36,34	366	1,44	57	34,90	472
" + 50% Mn + 40% Ca + 10% Mg	26,28	264	10,30	404	15,98	356
" + 160% Ca + 40% Mg	33,56	338	0,96	38	32,60	441
" + 2,5% Mn + 147,5% Ca + 40% Mg	36,02	362	0,09	35	35,93	486
" + 320% Ca + 80% Mg	34,17	344	2,89	113	31,28	423
" + 0,5% Mn + 320% Ca + 80% Mg	34,50	347	0	0	34,50	467
" + 2,5% Mn + 317,5% Ca + 80% Mg	38,22	385	0,5	20	37,72	510

жением общего урожая ячменя, имело место заметное повышение урожая зерна по сравнению с соответствующей комбинацией без марганца. Урожайные данные относительно высеянной после уборки ячменя горчицы приведены ниже на таблице 12.

Из приведенных здесь данных видно, что заметное повышение урожая горчицы имело место при замене части кальция и магния внесенных в почву углекислых солей на марганец в дозах, соответствующих 2,5 и 12,5% гидролитической кислотности. При дозе марганца, соответствующей 50% гидролитической кислотности, как при внесении в почву одного углекислого марганца, так и при совместном внесении в почву этой соли с углекислыми кальцием и магнием из расчета 100% гидролитической кислотности, имело место

Таблица 12

ГОРЧИЦА Mn

Внесено в почву	Урожай в граммах	Отнош. к 100
NPK Mg	1,36	100
" + 0,125% Mn	1,20	88
" + 0,5% Mn	1,37	101
" + 2,5% Mn	1,29	95
" + 12,5% Mn	1,44	106
" + 50% Mn	0,37	27
" + 40% Ca + 10% Mg	2,57	189
" + 0,5% Mn + 40% Ca + 1% Mg	2,39	176
" + 2,5% Mn + 37,5% Ca + 10% Mg	2,26	166
" + 80% Ca + 20% Mg	2,43	179
" + 0,5% Mn + 80% Ca + 20% Mg	2,50	184
" + 2,5% Mn + 77,5% Ca + 18% Mg	3,08	227
" + 12,5% Mn + 70,5% Ca + 17,5% Mg	3,14	231
" + 50% Mn + 40% Ca + 10% Mg	1,50	110
" + 160% Ca + 40% Mg	3,30	243
" + 0,5% Mn + 160% Ca + 40% Mg	3,09	207
" + 2,5% Mn + 147,5% Ca + 40% Mg	2,51	185
" + 320% Ca + 80% Mg	2,74	202
" + 0,5% Mn + 320% Ca + 80% Mg	2,42	178
" + 2,5% Mn + 317,5% Ca + 80% Mg	1,89	139

заметное понижение урожая горчицы. В остальных случаях внесение в почву углекислого марганца заметного действия на развитие горчицы не оказало или оказало лишь незначительное положительное или отрицательное влияние.

Урожайные данные относительно влияния марганца на развитие клевера приведены на таблице 13.

Из данных этой таблицы видно, что наиболее высокий урожай клевера в серии сосудов с марганцем был получен при внесении в почву одного марганца в дозах, соответствующих 0,125 и 0,5% гидролитической кислотности. При повышении дозы марганца до дозы, соответствующей 2,5% гидролитической кислотности, имело место заметное понижение урожая, а при еще более высоких дозах марганца урожай клевера получился ничтожно малый.

КЛЕВЕР Мп

Таблица 13

Внесено в почву	Урожай в граммах	Отношение к 100
Без удобрения	0,80	11
NPK Mg	7,34	100
" + 0,125 Мп	12,02	164
" + 0,5 Мп	11,68	159
" + 2,5 Мп	8,07	110
" + 12,5% Мп	0,5	7
" + 50% Мп	0	0
" + 80% Са + 20% Mg	8,82	120
" + 0,125% Мп + 80% Са + 20% Mg	9,20	125
" + 0,50% Мп + 80% Са + 20% Mg	6,71	90
" + 2,5% Мп + 80% Са + 20% Mg	8,50	115
" + 12,5% Мп + 70% Са + 17,5% Mg	8,26	112

При замене части кальция и магния на марганец, при внесении в почву углекислых солей в большинстве случаев положительного влияния марганца на урожай клевера не наблюдалось.



Фотоснимок 8

В большинстве случаев под влиянием марганца урожай клевера понизился, а при самой большой дозе марганца, соответствующей 50% гидролитической кислотности, клевер почти не развивался. Однако, при совместном внесении в почву марганца с кальцием и магнием, из расчета 100% гидролитической кислотности, клевер все же развивался вполне нормально при довольно большой дозе марганца,

соответствующей 12,5% гидролитической кислотности, которая значительно превышает обычно применяемые в сельскохозяйственном производстве дозы основных питательных элементов: азота, фосфора и калия.

Взятые для этого опыта растения относились к внесению в почву углекислого марганца различно. Но в общем результаты наших опытов показывают, что все три растения (ячмень, горчица и клевер) могут нормально развиваться при довольно высоких дозах марганца. Ячмень, кроме того, при таких дозах в ряде случаев дал повышение общего урожая, а в одном случае весьма значительное повышение урожая зерна. Повышение урожая под влиянием значительных доз марганца наблюдалось также в отношении горчицы, но гораздо реже, чем в отношении ячменя.

Таким образом, данные наших опытов очень отчетливо говорят за то, что при введении марганца в поглощающий комплекс ненасыщенных оснований подзолистых почв сельскохозяйственные растения могут не только безболезненно переносить дозы марганца, во много раз превышающие те дозы этого элемента, которые обычно проявляют вредное действие, когда марганец вносят в почву в качестве микроэлемента (стимулянта), но и положительно отзываться на такие высокие дозы марганца.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В связи с настоящей работой был выполнен ряд исследований аналитического характера, при которых подверглись анализу образцы почв из сосудов после уборки урожая.

Прежде всего в образцах почв всех сосудов, после уборки ячменя и клевера, было определено рН в водной суспензии электрометрическим способом (в сосудах с Ca, Mg, Na и K) и в водной вытяжке калориметрическим методом (в сосудах с Mn).

При этом выяснилось, как и можно было ожидать, что значения рН, установившиеся в различных сосудах под влиянием внесенных в почву углекислых солей, колебались в очень широких пределах—от 4,6 до 8,2, в зависимости от химической природы катионов внесенных в почву солей и от доз этих солей.

Меньше всего повлияло на реакцию среды в почве внесение углекислого марганца, но все же и при высших дозах марганца (12,5% Mn и 50% Mn) имело место некоторое небольшое понижение кислотности (около 0,5 рН).

Под влиянием постепенно увеличивающихся доз углекислого кальция значения рН также постепенно повышались от рН 4,6 в почве без углекислого кальция до рН 7,4 при дозе углекислого кальция, соответствующей 400% гидролитической кислотности.

При внесении в почву углекислого магния в различных дозах значения рН колебались в более широких пределах между рН 4,6 и рН 8,2, причем при низших дозах углекислых солей, вплоть до дозы, соответствующей 100% гидролитической кислотности включительно при одинаковых дозах кальция и магния, значения рН колебались лишь в пределах ошибки опыта. Таким образом, более сильное влияние углекислого магния, чем углекислого кальция, на реакцию среды в почве в направлении нейтрализации почвенной кислотности и подщелачивания почвенного раствора

произошло лишь после полного насыщения поглощающего комплекса почвы основаниями, когда при высоких дозах углекислых солей все внесенные с этими солями катионы—кальций и магний—не могли войти в поглощающий комплекс почвы.

Поскольку углекислые соли щелочных металлов натрия и калия были внесены в почву лишь в сравнительно низких дозах—не свыше 30% натрия и 50% калия по гидролитической кислотности, постольку влияние их на почвенную кислотность можно было проследить лишь в пределах значительно меньшего интервала рН, чем в отношении кальция и магния. Но все же полученные при этом данные показывают, что влияние их в отношении нейтрализации почвенной кислотности и подщелачивания почвенного раствора проявилось значительно сильнее, чем у углекислых солей других рассмотренных выше катионов—Mn, Ca и Mg. При этом резкой разницы между натрием и калием в этом отношении не наблюдалось, но в общем влияние углекислого калия на реакцию среды в почве все же проявилось несколько сильнее, чем влияние углекислого натрия.

Таким образом, все примененные при наших опытах катионы в отношении способности нейтрализовать почвенную кислотность и подщелачивать почвенный раствор могут быть расположены в следующий ряд в порядке возрастания этой способности: марганец, кальций, магний, натрий и калий.

Значения рН, полученные при этих исследованиях, приведены в таблицах вместе с урожайными данными.

В ряде образцов почв было определено содержание поглощенного кальция по методу Геринга. Этот метод Геринга не отмечается большой точностью, но все же полученные при этом цифры дают достаточно ясное представление об общей картине, наблюдаемой в отношении содержания кальция в поглощающем комплексе при внесении в почву соответствующих углекислых солей.

Данные, полученные при определении поглощенного кальция в ряде образцов почвы этой части нашего опыта, приведены ниже на таблице 14.

Из приведенных на этой таблице цифр видно, что, как и следовало ожидать, содержание поглощенного кальция по мере повышения доз углекислой соли сначала постепенно повышается вплоть до дозы, соответствующей 100% гидролитической кислотности, а затем при дальнейшем повышении дозы углекислого кальция мало изменяется. Таким образом, полученные при этих анализах данные в общем

Таблица 14

СОДЕРЖАНИЕ ПОГЛОЩЕННОГО Са в м/экв. НА 100 г АБСОЛЮТНО СУХОЙ ПОЧВЫ

Дозы Са в % % от полной гидро- литической кис- лотности на фоне NPK Mg	Количество Ba SO ₄	Поглощенный Са в м/экв.	
		Отдельные сосуды	Среднее
0	15,6	2,67	2,9
"	18,31	3,14	
20 Са	38,56	6,61	6,46
"	36,85	6,32	
50 Са	56,21	9,63	9,2
"	51,20	8,77	
80 Са	63,41	10,87	10,92
"	64,10	10,98	
100 Са	82,10	14,07	13,8
"	78,90	13,52	
200 Са	85,35	14,63	14,6
"	85,00	14,57	
400 Са	85,70	14,69	14,76
"	86,60	14,84	

подтвердили правильность предположений, из которых мы исходили при постановке наших вегетационных опытов, т. е., что при внесении в ненасыщенную основаниями почву углекислых солей основания, входящие в состав этих солей, поглощаются почвой, если содержание их во внесенной в почву дозе соли не превышает того количества катиона, которое необходимо для насыщения поглощающего комплекса почвы при данных условиях. Если же в почву внесено больше углекислой соли, чем это необходимо для насыщения почвы соответствующим катионом, то часть внесенной в почву соли не вступает в реакцию с поглощающим комплексом почвы.

Приведенные выше урожайные данные и данные о содержании поглощенного кальция в почве в общем подтверждают на конкретном примере ненасыщенной основаниями подзолистой почвы выставленное акад. К. К. Гедройцем положение, согласно которому состав поглощенных катионов оказывает влияние на развитие растений.

Относительно того, каким образом поглощенные катионы влияют на растение, в литературе имеются различные мнения. Автор учения о почвенном поглощающем комплексе, К. К. Гедройц, считал, что поглощенные катионы влияют на растение не непосредственно, а через почвенный раствор, состав которого зависит от состава поглощенных катионов. „Состав почвенного раствора, в котором живут корни растений и из которого они черпают почти все необходимые для жизни элементы, представляет отображение почвенного поглощающего комплекса и состава его обменных катионов, поэтому совершенно понятна самая тесная, взаимная связь между растением и почвенным поглощающим комплексом вообще и, в частности, особенно его обменными катионами“,—говорит К. К. Гедройц в тезисах доклада, предназначенного для VI Менделеевского съезда.

Чириков (34), Бобко (35) и Смирнов (36) в результате проведенных ими исследований приходят к выводу, что растения берут необходимые им питательные вещества только из почвенного раствора, а поглощенные катионы для них непосредственно недоступны. Таким образом данные этих авторов также говорят за то, что поглощенные катионы оказывают влияние на растение только через почвенный раствор.

Iepу и Kowap (33), напротив, на основании проведенных им исследований утверждает, что растения могут вполне нормально развиваться, питаясь исключительно поглощенными катионами.

Однако необходимо отметить, что те условия опыта, в которых Iepу проводил свои исследования, не исключали возможности перехода поглощенных катионов в раствор, а следовательно не исключали возможности поглощения растениями питательных веществ из почвенного раствора, а не только находящихся в поглощенном состоянии.

В общем на основании имеющихся литературных данных можно допустить возможность питания растений непосредственно поглощенными катионами, но все же нет оснований отказываться от положения, что при нормальных условиях произрастания растений последние берут необходимое им питательное вещество главным образом из почвенного раствора. Следовательно, поглощенные катионы оказывают влияние на развитие растений в основном не непосредственно, а через почвенный раствор. По отношению к последнему поглощенные катионы играют роль не только источника питательных веществ, необходимых для растений. Они, кроме того, оказывают определенное влияние на соотношение между ионами в почвенном растворе. Соотношение его между почвами в почвенном растворе имеет значение для развития растений само по себе, а не только с точки зрения обеспечения их определенным количеством питательных веществ.

В виду такой тесной связи между поглощенными катионами и катионами почвенного раствора для получения полного представления о влиянии состава поглощенных катионов на возделываемое растение, необходимо выяснить влияние состава поглощенных катионов на состав катионов почвенного раствора. С этой целью в почвенных образцах, взятых из части серии сосудов с кальцием и магнием, было определено содержание воднорастворимого кальция и магния. Конечно, состав водной вытяжки значительно отличается от состава почвенного раствора, но, согласно данным ряда исследований, соотношение ионов в водной вытяжке в общем мало отличается от соотношений их в почвенном растворе.

При этих исследованиях, при приготовлении водной вытяжки, отношение дистиллированной воды к почве соответствовало 5:1. Кальций определялся объемным методом, а магний весовым. Полученные при этом результаты приводятся ниже на таблице 15.

Из данных, приведенных на этой таблице, видно, что по мере повышения доз внесенного в почву кальция содержание воднорастворимого кальция также повышалось, но не пропорционально этим дозам, а несколько слабее. На содержание же воднорастворимого магния внесение в почву

Таблица 15

СОДЕРЖАНИЕ Ca и Mg В ВОДНОЙ ВЫТЯЖКЕ

Внесено в почву	Процент Ca	Процент Mg
O	0,0043	0,0007
NPK Mg	0,0054	0,0015
" + 20% Ca	0,0125	0,0016
" + 50% Ca	0,0153	0,0014
" + 80% Ca	0,0201	0,0015
" + 100% Ca	0,0241	0,0012
" + 200% Ca	0,0262	0,0012
" + 400% Ca	0,0276	0,0010
" + 20% Mg	0,0055	0,0062
" + 50% Mg	0,0051	0,0090
" + 80% Mg	0,0047	0,0109
" + 100% Mg	0,0059	0,0194
" + 200% Mg	0,0057	0,0259
" + 400% Mg	0,0066	0,0955
" + 25% Ca + 25% Mg	0,0108	0,0072
" + 50% Ca + 50% Mg	0,0137	0,0107

углекислого кальция даже в очень высоких дозах мало отразилось.

По мере увеличения доз углекислого магния повышалось также содержание воднорастворимого магния, причем при дозах углекислого магния более высоких, чем доза, соответствующая 100% по гидролитической кислотности, это явление проявилось гораздо более резко, чем при менее высоких дозах. На содержании же воднорастворимого кальция внесение в почву углекислого магния мало отразилось. Такое резкое повышение концентрации магния в водной вытяжке, а следовательно и в почвенном растворе, при внесении в почву углекислого магния в дозах более высоких, чем это необходимо для насыщения магнием поглощающего комплекса, является основной причиной вредного действия высоких доз магния.

При совместном внесении в почву углекислых солей кальция и магния в большинстве случаев содержание воднорастворимого кальция несколько ниже, а содержание воднорастворимого магния несколько выше, чем при внесении в почву одного углекислого кальция или одного углекислого

ГУМУС ВОДНОРАСТВОРИМЫЙ

магния. Следовательно, отмеченное выше устранение вредного действия высоких доз углекислого магния при одновременном внесении в почву достаточно высоких доз углекислого кальция обуславливается не понижением концентрации ионов магния в почвенном растворе в указанных условиях, а противопоставлением высокой концентрации ионов магния повышенной концентрации ионов кальция.

Кроме того, из этого следует, что введение в поглощающий комплекс почвы магния оказывает отрицательное влияние на подвижность поглощенного кальция и, наоборот, введение в поглощающий комплекс кальция оказывает на подвижность поглощенного магния положительное влияние.

При наших исследованиях уделялось также внимание вопросу о влиянии соотношений кальция и магния в почвенном поглощающем комплексе на подвижность органического вещества почвы. Для этой цели определялось содержание воднорастворимого гумуса в соответствующих почвенных образцах. Эти определения были произведены по методу Kubel-Tiemann.

Полученные нами результаты при определении воднорастворимого гумуса приведены ниже на таблице 16.

Как видно из приведенных на этой таблице данных, по мере увеличения доз кальция повышается также (хотя и незначительно) содержание воднорастворимого гумуса вплоть до доз углекислой извести, соответствующей 80% гидролитической кислотности, а при дальнейшем повышении доз кальция содержание воднорастворимого гумуса начинает постепенно падать.

При внесении в почву углекислого магния наблюдается другая картина. Здесь повышение содержания воднорастворимого гумуса идет параллельно повышению доз магния вплоть до самой высокой дозы магния, соответствующей 400% гидролитической кислотности.

При совместном внесении в почву углекислого кальция и углекислого магния в отношении цифр, выражающих содержание воднорастворимого гумуса, наблюдаются постепенные переходы от величин, соответствующих одному кальцию, к величинам, соответствующим одному магнию.

Внесение в почву углекислого натрия при наших опытах с сравнительно низкими дозами этой соли не проявило заметного влияния на подвижность почвенного гумуса как в тех случаях, когда другие углекислые соли в почву не вносились, так и в тех случаях, когда в почву были внесены углекислые соли кальция и магния.

Внесено в почву	В см ³ 1/20 норм. КМпО ₄ на 100 грамм абс. сух. почвы
NPK Mg	90,6
„ + 20% Ca	98,8
„ + 50% Ca	103,3
„ + 80% Ca	101,1
„ +100% Ca	95,8
„ +200% Ca	93,8
„ +400% Ca	91,8
„ + 20% Mg	108,6
„ + 50% Mg	110,2
„ + 80% Mg	151,0
„ +100% Mg	186,1
„ +200% Mg	231,9
„ +400% Mg	243,6
„ + 50% Ca+ 0% Mg	103,9
„ + 40% Ca+10% Mg	105,2
„ + 25% Ca+25% Mg	105,1
„ + 10% Ca+40% Mg	106,3
„ + 0% Ca+50% Mg	110,2
„ +100% Ca+ 0% Mg	96,8
„ + 80% Ca+ 20% Mg	95,4
„ + 50% Ca+ 50% Mg	103,0
„ + 20% Ca+ 80% Mg	110,2
„ + 0% Ca+100% Mg	186,1
„ +200% Ca+ 0% Mg	93,8
„ +150% Ca+ 50% Mg	110,1
„ +100% Ca+100% Mg	152,2
„ + 50% Ca+150% Mg	160,3
„ + 0% Ca+200% Mg	231,9
„ +400% Ca+ 0% Mg	97,6
„ +300% Ca+100% Mg	125,6
„ +200% Ca+200% Mg	223,0
„ +100% Ca+300% Mg	246,2
„ + 0% Ca+400% Mg	249,4

Внесено в почву	В см ³ ^{1/20} норм. KMnO ₄ на 100 грамм абс. сух. почвы
NPKMg	90,6
" +0,5% Na	90,4
" +6,0% Na	90,8
" +30% Na	92,0
" +6% Na+72% Ca+18% Mg	96,4
" +6% Na+152% Ca+40% Mg	100,8
" +1% K	77,0
" +2,5% K	78,0
" +10% K	78,0
" +50% K	166,8
" +40% Ca+10% Mg	105,2
" +10% K+32% Ca+8% Mg	106,9
" +80% Ca+20% Mg	95,4
" +2,5%K+77,5% Ca+20% Mg	95,4
" +10% K+72% Ca+18% Mg	99,6
" +50%K+40% Ca+10% Mg	137,2
" +150%Ca+50% Mg	110,1
" +2,5%K+157,5% Ca+40% Mg	103,2
" +10% K+152,5% Ca+37,5% Mg	112,4
" +300% Ca+100% Mg	125,6
" +2,5%K+317% Ca+80% Mg	129,2
" +10% K+310% Ca+80% Mg	143,8

При низких дозах углекислого калия без внесения в почву других углекислых солей наблюдалась такая же картина, как в случае внесения в почву углекислого натрия, но при самой высокой дозе, соответствующей 50% гидролитической кислотности, имело место ясно выраженное повышение содержания воднорастворимого гумуса. На фоне углекислых солей кальция и магния наблюдалось некоторое повышение содержания воднорастворимого гумуса не только при самой высокой дозе углекислого калия, но в некоторых случаях и при других меньших дозах этой соли.

Наблюдаемая на этой таблице картина в отношении содержания воднорастворимого гумуса может быть объяснена следующим образом. Содержание воднорастворимого гумуса в условиях нашего опыта зависит от трех факторов: реак-

ции среды, коагулирующей способности внесенных в почву катионов и концентрации этих катионов в почвенном растворе. При этом понижение реакции среды, которое имело место при повышении доз кальция и доз магния, и повышение концентрации ионов кальция и магния, которое также имело место при повышении доз этих элементов, влияли в противоположных друг другу направлениях. Понижение реакции среды способствовало повышению содержания воднорастворимого гумуса, а повышение концентрации кальция и магния в почвенном растворе способствовало понижению содержания воднорастворимого гумуса. Как видно из приведенных здесь цифр, равнодействующая этих двух сил получила различное направление в результате того, что в случае внесения в почву углекислого кальция имело место более слабое повышение реакции среды и действие более энергичного коагулятора, чем в случае внесения в почву углекислого магния. При этом в случае внесения в почву углекислого кальция, при более низких дозах последнего, понижение кислотности играло большую роль, чем коагуляция гумуса под влиянием катиона кальция. В результате этого имело место постепенное повышение содержания воднорастворимого гумуса по мере повышения доз кальция. При более высоких дозах углекислого кальция, наоборот, коагуляция гумуса при повышенной концентрации иона кальция оказала более сильное действие, чем повышение концентрации гидроксильных ионов, в результате чего дальнейшее увеличение доз углекислого кальция сопровождалось постепенным понижением содержания воднорастворимого гумуса.

В случае внесения в почву углекислого магния не только при низких, но и при высоких дозах последнего, повышение концентрации гидроксильных ионов оказало более сильное влияние, чем повышение концентрации ионов магния, так как ион магния является менее энергичным коагулятором, чем ион кальция.

При нашей работе выяснялось также влияние поглощенных кальция, магния, натрия и калия на питательный режим почвы в отношении легкорастворимой фосфорной кислоты. Эта часть наших исследований состояла из определения лимоннорастворимой фосфорной кислоты в почвенных образцах, взятых из ряда сосудов этой серии нашего опыта. Содержание фосфорной кислоты определялось методом Дениже в модификации Л. Ю. Левицкого в 1% лимоннокислых вытяжках с некоторыми изменениями, которые в основном заключались в том, что окисление вытяжек производилось по Немецу—раствором марганцево-кислого калия.

Полученные при этих исследованиях результаты приводятся ниже на таблицах 17, 18, 19 и 20.

Как видно из приведенных на этих таблицах данных, в отношении легкорастворимой фосфорной кислоты мы наблюдаем в отношении кальция и магния в общем картину, сходную с той, которая имела место в отношении воднорастворимого гумуса.

По мере повышения доз углекислого кальция (табл. 17) повышается также содержание лимоннорастворимой фосфорной кислоты вплоть до дозы, соответствующей 100% гидролитической кислотности, а при дальнейшем повышении доз углекислого кальция содержание фосфорной кислоты начинает постепенно падать, но при этом все же и при самой высокой дозе кальция—400% гидролитической кислотности—остается более высоким, чем в почве контрольных сосудов.

При внесении в почву углекислого магния (табл. 18) содержание лимоннорастворимого фосфора постепенно по-

Таблица 17

P ₂ O ₅	
Внесено в почву	В миллиграммах на 100 грамм почвы
NPK Mg	5,84
„ + 20% Ca	8,14
„ + 50% Ca	9,27
„ + 80% Ca	9,14
„ + 100% Ca	8,84
„ + 200% Ca	8,71
„ + 400% Ca	8,75

Таблица 18

P ₂ O ₅	
Внесено в почву	В миллиграммах на 100 грамм почвы
NPK Mg	5,84
+ 20% Mg	7,02
+ 50% Mg	9,14
+ 80% Mg	11,46
+ 100% Mg	11,72
+ 200% Mg	15,42
+ 400% Mg	15,53

Таблица 19

P ₂ O ₅	
Внесено в почву	В миллиграммах на 100 грамм абс. сух. почвы
NPKMg	5,84
NPKMg + 1,5% Na	7,69
„ + 6,0% Na	8,04
„ + 30% Na	8,84
„ + 160% Ca + 40% Mg	8,60
„ + 6% Na + 157% Ca + 38% Mg	9,40

Таблица 20

P ₂ O ₅	
Внесено в почву	В миллиграммах на 100 грамм почвы
NPKMg	5,84
NPKMg + 1% K ₂ CO ₃	5,98
„ + 2,5% K	6,54
„ + 10% K	6,81
„ + 50% K	9,84
„ + 40% Ca + 10% Mg	10,74
„ + 50% K + 40% Ca + 10% Mg	11,31
„ + 80% Ca + 20% Mg	10,06

вышается по мере увеличения доз углекислого магния вплоть до самой высокой дозы, соответствующей 400% гидролитической кислотности.

При совместном внесении в почву углекислого кальция и углекислого магния в различных соотношениях цифровые данные, выражающие содержание в почве лимоннорастворимой фосфорной кислоты, колеблются в пределах величин, соответствующих одному углекислому кальцию и одному углекислому магнию, причем большим количеством магния соответствует более высокое содержание фосфорной кислоты.

При внесении в почву углекислых солей натрия и калия (таблицы 19 и 20) мы наблюдаем картину, в общем сходную с той, которая имела место при внесении в почву углекис-

лого магния, с той лишь разницей, что эти соли не вносились в таких высоких дозах, как углекислый магний.

При совместном внесении в почву углекислых солей натрия и калия с углекислым кальцием и углекислым магнием содержание лимоннорастворимой фосфорной кислоты в почве колеблется в пределах величин, соответствующих содержанию лимоннорастворимой фосфорной кислоты в почве, при внесении каждой из этих солей в отдельности.

Таким образом, приведенные на рассмотренных выше таблицах данные очень ясно показывают, что даже при внесении в почву значительного количества фосфорнокислой соли (из расчета 0,5 г P_2O_5 на сосуд) состав катионов в поглощающем комплексе почвы и в почвенном растворе может оказывать весьма заметное влияние на содержание подвижных соединений фосфора в почве, а следовательно и на условия фосфорного питания для сельскохозяйственных растений.

Такая зависимость подвижности соединений фосфора в почве от состава катионов в почвенном поглощающем комплексе и в почвенном растворе может быть объяснена как различной растворимостью фосфорнокислых солей различных катионов, так и различной коагулирующей способностью различных катионов по отношению к фосфорсодержащим органическим соединениям почвы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сопоставление между собой всех урожайных данных и данных аналитических исследований, полученных при нашей работе, позволяет нам сделать ряд выводов более общего характера, чем те, которые можно сделать, рассматривая лишь данные, относящиеся к отдельным частям работы.

При изучении всех катионов в тех случаях, когда опыт был поставлен более чем с одним растением, на конкретном примере с ненасыщенной основаниями подзолистой почвой подтвердилось положение, что отношение растений к составу поглощенных катионов зависит от их биологических особенностей¹⁾.

В частности, наши опытные растения в отношении максимального содержания магния в поглощающем комплексе почвы, при котором они могут давать нормальные урожаи, можно расположить в следующий ряд в порядке уменьшения чувствительности к вредному действию магния: горчица, ячмень, озимая пшеница, клевер.

Основной вывод, который можно сделать на основании данных, полученных при нашей работе, заключается в том, что исправление состава поглощенных катионов ненасыщенных оснований подзолистых почв можно осуществить не только путем введения в поглощающий комплекс этих почв вместо водородного иона—кальция как это обычно имеет место при известковании почвы, но и других катионов—магния, натрия, калия и марганца. При этом данные нашего опыта показали, что эти катионы могут быть введены в поглощающий комплекс почвы в гораздо больших количествах, чем это до сих пор считалось возможным, на основании данных прежних исследований.

Академик К. К. Гедройц, установив, что при благоприятном для развития растений составе поглощенных катионов главную роль среди поглощенных катионов играет кальций,

¹⁾ Опыт проводился методом введения катионов в поглощающий комплекс в виде углекислых солей, выставленным академиком К. К. Гедройцем на основании данных, полученных при работе с черноземом Каменной степи.

а остальные катионы занимают подчиненное положение, говорит о других катионах следующее: „Но в то время, когда для максимального эффекта содержание обменного магния должно быть в почве довольно высокое (можно для первого приближения таковым считать среднее содержание обменного магния в черноземах, т. е. примерно 20—40 единиц его на 100 единиц обменного кальция), содержание остальных обменных катионов, полезных для растительности, должно быть, как правило, очень малым, а иногда и совершенно ничтожным“.

Таким образом, согласно мнения К. К. Гедройца, при благоприятных для развития условиях, содержание поглощенного кальция в почве должно не менее чем в два раза превышать содержание поглощенного магния, а содержание других подчиненных катионов должно быть еще меньше — значительно меньше, чем содержание поглощенного магния.

Между тем в условиях нашего опыта все растения дали вполне нормальные, а в некоторых случаях и максимальные урожаи, при значительном преобладании содержания магния над содержанием кальция в поглощающем комплексе почвы и довольно высоком содержании в поглощающем комплексе других катионов.

В отношении максимального содержания поглощенных катионов, при котором создаются благоприятные для развития ячменя условия, внесенные в почву при нашем опыте катионы могут быть расположены в следующий ряд в убывающем порядке: кальций, магний, натрий, калий, марганец.

Однако, несмотря на то, что различные катионы довольно значительно отличаются друг от друга по своему влиянию на развитие сельскохозяйственных растений, полученные при нашем опыте данные говорят за то, что одни катионы могут частично заменять другие катионы в поглощающем комплексе почвы без того, чтобы это заметным образом отразилось на ненормальном развитии и величине урожая растений.

С целью выяснения этого явления, не отмеченного при прежних работах, в настоящее время нами ведутся дальнейшие исследования.

Из полученных при нашем опыте данных также следует, что optimum соотношений между какими-либо двумя катионами в поглощающем комплексе почвы зависит от степени насыщенности почвы основаниями, т. е. от содержания поглощенного водорода.

На эту сторону вопроса должно быть также обращено серьезное внимание при дальнейших исследованиях. В связи с различным отношением отдельных сельскохозяйственных

растений к почвенной кислотности и степени насыщенности почвы основаниями, с этим явлением нельзя не считаться при разработке теоретических основ химической мелиорации почв.

Сопоставляя между собой данные о влиянии на развитие растений различных катионов, необходимо также отметить, что при совместном внесении в почву углекислого магния (или углекислого натрия) с углекислым кальцием положительное действие последнего усиливается, а отрицательное действие, наблюдавшееся, в частности, в отношении зерна ячменя при высоких дозах углекислого кальция, ослабилось или даже полностью устранилось.

При работе 1934 года ослабление и устранение вредного действия высоких доз углекислого кальция на развитие зерна ячменя достигалось не только внесением в почву углекислого магния или углекислого натрия, но и набора микроэлементов В, Мп, Сu, Zn, J, F. Так, по комбинации 400% Са по гидролитической кислотности урожай зерна ячменя при этом опыте составлял 2,48 г, а урожай соломы 50,0 г, а по комбинации 400% Са + микроэлементы урожай зерна составлял 22,70 г, а урожай соломы 26,87 г.

Таким образом, из изложенного выше мы видим, что углекислый магний, углекислый натрий и набор микроэлементов могут оказывать одинаковое действие в отношении устранения вредного действия высоких доз углекислого кальция на развитие зерна ячменя.

В целях детального изучения указанного выше явления одним из нас — О. Э. Кедровой-Зихман также ведутся дальнейшие исследования, результаты которых будут изложены в отдельной статье. Здесь же мы ограничимся лишь указанием на возможность осложнения влияния внесенных в почву катионов на развитие растений в результате того, что эти катионы могут оказать также влияние на доступность для растений микроэлементов.

Из данных наших аналитических исследований видно, что при внесении в почву взятых для нашего опыта углекислых солей, по мере повышения доз этих солей, повышалась также концентрация соответствующих катионов в водной вытяжке, но далеко не в одинаковой степени для всех катионов. При этом, как уже было выше указано, сопоставление урожайных данных и данных аналитических исследований говорит за то, что в случае углекислого магния вредное действие высоких доз этой соли в основном обусловлено образованием в почвенном растворе слишком высоких концентраций катиона магния. За это говорит также то обстоятельство, что

отрицательное действие углекислого магния наблюдается при такой реакции среды, при которой в других случаях данное растение развивается вполне нормально, и при таких условиях, когда не могли иметь место такие ухудшения физических свойств почвы, которые заметным образом отразились бы на развитии растений.

Вредное действие высоких доз других углекислых солей также может быть объяснено в основном высокой концентрацией соответствующих катионов в почвенном растворе.

Сопоставляя данные, полученные при определении воднорастворимых кальция и магния с приведенными выше урожайными данными, мы видим, что сельскохозяйственные растения могут нормально развиваться при очень широком интервале отношений воднорастворимого кальция к воднорастворимому магнию. Так, например, нормальные урожаи ячменя с хорошо развитым зерном были при нашем опыте получены в пределах отношений воднорастворимого кальция к воднорастворимому магнию—от 13,4 Ca : 1 Mg до 1Ca : 23 Mg.

В результате разбора приведенных выше в различных таблицах данных, полученных при изучении вопроса о влиянии соотношений между поглощенными кальцием и магнием на развитие сельскохозяйственных растений, необходимо также отметить следующее. Те соотношения между кальцием и магнием, которые считал наиболее благоприятными для развития различных растений О. Лев, на основании своих опытов с водными культурами, не являются таковыми не только в отношении поглощенных кальция и магния, но и в отношении воднорастворимых. Большой заслугой О. Лева является то, что он указал на значение для развития растений соотношения между кальцием и магнием и заострил внимание на этом вопросе. Это подтверждается как нашими опытами, так и целым рядом прежних опытов. Но полученные нами данные говорят вполне ясно также о том, что соотношения между кальцием и магнием могут колебаться не только в почвенном поглощающем комплексе, но и в почвенном растворе в гораздо больших пределах, чем те, которые были установлены О. Левом на основании работ в условиях водной культуры.

В большинстве прежних работ, посвященных вопросу о влиянии состава поглощенных катионов на развитие растений, чаще всего подходили с точки зрения изучения доступности для растений поглощенных катионов как необходимых для растений питательных элементов, или с точки зрения изучения влияния поглощенных катионов на подвижность питательных веществ почвы, в особенности в отно-

шении почвенного азота, или, наконец, с точки зрения влияния поглощенных катионов на физические свойства почвы.

Без сомнения, во всех указанных выше отношениях состав катионов в поглощающем комплексе почвы имеет чрезвычайно большое значение. В частности, наши исследования показали, что подвижность соединений почвенного фосфора в весьма сильной степени зависит от состава поглощенных катионов.

Но данные наших исследований в отношении кальция и магния говорят также за то, что влияние состава почвенных поглощенных катионов на развитие растений обусловлено в весьма сильной степени влиянием этих катионов на соотношение между ионами почвенного раствора, независимо от того, насколько они нужны растению в качестве питательных элементов, и независимо от того, насколько они влияют на доступность для растений других питательных элементов и на физические свойства почвы.

Относительно других катионов, которые вводились в почву при нашем опыте, соответствующих экспериментальных данных нами получено гораздо меньше, чем относительно кальция и магния. Но в общем эти данные говорят за то, что влияние других катионов на развитие растений также обусловлено в значительной степени влиянием их на соотношение ионов в почвенном растворе.

Таким образом, при наших исследованиях выяснилось, что влияние состава поглощенных катионов в весьма сильной степени, а при достаточной обеспеченности растений питательными веществами и достаточно хороших физических свойствах почвы в основном, зависит от соотношений между всеми ионами почвенного раствора.

В связи с этим возникает вопрос о применении при известковании почвы растворимых нейтральных солей в сравнительно невысоких дозах с целью установления благоприятного для развития растений состава катионов в почвенном растворе хотя бы на короткий срок.

Таким путем, конечно, нельзя ввести в поглощающий комплекс почвы значительные количества катиона нейтральной соли вместо катиона кальция, внесенного с известью, но тем не менее можно ожидать, что при помощи такого приема можно на некоторое время установить более благоприятный для развития растений состав катионов в почвенном растворе и тем самым усилить положительное действие извести.

Этому вопросу, составляющему важную часть весьма актуального для социалистического земледелия более круп-

ного вопроса о коренном улучшении агрономических свойств почвы, путем исправления состава поглощенных катионов. при дальнейших исследованиях также должно быть уделено самое серьезное внимание.

Заканчивая обсуждение данных, полученных при нашей работе, мы считаем необходимым подчеркнуть следующее: из данных этой работы следует, что полное разрешение проблемы химической мелиорации ненасыщенных оснований подзолистых почв предвидит не только замену части водородного иона на кальций, как это имеет место при обычно применяемом способе известкования почв, но и введение в поглощающий комплекс этих почв, наряду с ионом кальция, и других катионов,—в частности, магния, натрия, калия. В особенности это относится к БССР, значительная часть территории которой занята наиболее ненасыщенными из встречающихся в Союзе разностями подзолистых почв.

В связи с этим возникает вопрос о том, чтобы при известковании наиболее ненасыщенных основаниями подзолистых почв БССР, которые нередко встречаются среди вновь освоенных почв, в частности, среди почв с признаками заболоченности и среди почв первой степени заболоченности, отдавать предпочтение доломитизированным известнякам и другим магниевым-содержащим известковым удобрениям перед известковыми удобрениями, содержащими главным образом лишь один кальций, каковыми в Белоруссии являются типичные известняки, мел, известковые туфы.

В БССР имеются весьма значительные запасы магниевых-содержащих известковых удобрений в виде доломитизированных известняков. Основная масса этих доломитизированных известняков вполне пригодна для применения при известковании ненасыщенных основаниями подзолистых почв БССР, так как содержание магния в них не превышает того предела, при котором, согласно данным наших и ряда других исследований, может возникнуть опасение относительно возможности проявления вредного действия магния на сельскохозяйственные растения.

При известковании сильно ненасыщенных основаниями подзолистых почв в таких местностях, где магниевых-содержащих известковых удобрений нет, в некоторых случаях может все же возникнуть вопрос о целесообразности внесения вместе с несодержащим магнием известковым удобрением (или содержащим незначительное количество магния) некоторого количества (иногда небольшого) какого-либо магниевых-содержащего удобрения, даже при условии доставки его из более отдаленных местностей.

На основании имеющихся данных можно полагать, что в таких случаях для внесения в почву вместе с несодержащим магнием известковым удобрением целесообразно применять не только доломитизированные известняки, но и настоящие доломиты, доломитовую муку, а также удобрения, содержащие магний в виде растворимых нейтральных солей, представителем которых у нас в Союзе может служить соликамский карналлит.

В связи с полученными при настоящей работе данными возникает также вопрос о целесообразности применения при известковании ненасыщенных основаниями подзолистых почв различных натрий- и калий-содержащих материалов. С этой точки зрения необходимо обратить внимание на следующие вещества.

Соликамский сильвинит содержит, кроме хлористого калия, весьма значительные количества хлористого натрия. Хлористый натрий до сих пор обычно расценивался как нежелательная примесь к калийному удобрению. На основании наших данных возникает вопрос о новом подходе к сильвиниту, т. е. не только как к источнику калия с точки зрения снабжения сельскохозяйственных растений этим питательным элементом, но и как к материалу, содержащему, наряду с калием, натрий, пригодному для использования в целях химической мелиорации при известковании подзолистых почв.

В этой связи возникает также вопрос об использовании при известковании почвы золы, содержащей, кроме калия также и другие катионы, в частности, торфяную и каменноугольную золу, которые до сих пор очень мало применялись в целях удобрения почв, главным образом из-за малого содержания калия.

Кроме того, особенно на севере СССР, возникает вопрос о применении в целях исправления состава поглощенных катионов ненасыщенных основаниями подзолистых почв, нефелина, содержащего кроме кальция также значительные количества натрия и калия, путем внесения его в почву отдельно и совместно с известью.

В качестве средства для усиления действия извести на ненасыщенных основаниями подзолистых почвах могут быть использованы также все калийные удобрения, особенно при систематическом применении их в высоких дозах, независимо от того, содержат ли они какие-либо другие катионы, кроме калия, или не содержат.

Вопрос о введении в почвенный поглощающий комплекс различных других катионов, кроме кальция, приобретает весьма актуальное значение в связи с проблемой создания

культурных разностей подзолистых почв, имеющей для БССР исключительно важное значение. Имеющиеся у нас данные говорят за то, что ряд специфических особенностей культурных почв, обуславливающих их прекрасные агрономические свойства, в частности большую подвижность питательных веществ этих почв, в весьма значительной степени зависит от более высокого содержания в их поглощающем комплексе, чем в некультуренных почвах, различных других катионов, кроме кальция и водорода,—в особенности одновалентных катионов.

Такой благоприятный для развития сельскохозяйственных растений состав поглощенных катионов большинства известных в настоящее время окультуренных почв образовался в результате систематического долготелетнего применения высоких норм навоза, с которыми вносились в почву, кроме кальция, значительные количества различных других оснований. Эти основания, после минерализации органического вещества навоза, входят в поглощающий комплекс почвы, вытесняя оттуда водородный ион, в связи с чем повышается степень насыщенности почвы. Таким образом, среди наиболее существенных признаков, отличающих окультуренные почвы от некультуренных, следует отметить более высокую степень насыщенности основаниями и более высокое содержание в поглощающем комплексе других катионов, кроме кальция и водорода, особенно одновалентных.

При изучении проблемы окультуривания почв необходимо считаться с обоими этими признаками. Поэтому нельзя не отметить в качестве весьма серьезного недостатка большинства работ, посвященных вопросу окультуривания почв, обстоятельство, что при этих работах обычно принималась во внимание лишь степень насыщенности почв основаниями, но совершенно не учитывался состав тех катионов, которые входили в поглощающий комплекс при насыщении этих почв основаниями.

Способ создания окультуренных разностей подзолистых почв путем применения одного лишь навоза совершенно неприменим в широких масштабах, поскольку он требует затраты слишком больших количеств навоза и может быть осуществим лишь в течение многих лет. Но как срок окультуривания почвы, так и количество необходимых для этой цели органических удобрений могут быть весьма значительно сокращены, путем применения при окультуривании почвы, наряду с органическими удобрениями, известкования почвы, благодаря чему можно сравнительно в короткий срок поднять степень насыщенности почвы основаниями и улучшить условия для накопления в почве органического вещества.

Но в целях создания при этом более благоприятного для развития сельскохозяйственных растений состава поглощенных катионов в почве, чем тот состав, который устанавливается при обычно применяемом способе известкования, необходимо вносить в почву не только кальций-содержащие удобрения, но и вещества, содержащие другие катионы,—особенно одновалентные.

Само собой разумеется, что в связи со всеми поднятыми здесь вопросами необходима постановка ряда дальнейших исследований—особенно проведения достаточного количества полевых опытов в целях подведения научной базы под практические мероприятия по химической мелиорации ненасыщенных основаниями подзолистых почв.

На основании рассмотренных выше полученных при нашей работе данных учета урожая вегетационных опытов и исследований аналитического характера, в связи с результатами других работ, можно сделать следующие выводы:

1. Состав поглощенных катионов ненасыщенных основаниями подзолистых почв может быть исправлен не только путем введения в поглощающий комплекс этих почв кальция, но и ряда других катионов: Mg, Na, K и Mn, причем эти катионы могут быть введены в поглощающий комплекс в значительно больших количествах, чем это принято считать на основании прежних исследований.

2. При благоприятной для развития растений реакции среды сельскохозяйственные растения могут развиваться при довольно широких отношениях между кальцием и другими катионами в поглощающем комплексе почвы.

3. Оптимальный состав поглощенных катионов в ненасыщенных основаниями подзолистых почвах неодинаков для всех сельскохозяйственных растений и может колебаться в довольно широких пределах в зависимости от биологических свойств растений.

4. В отношении максимального содержания магния в поглощающем комплексе почвы, при котором сельскохозяйственные растения могут нормально развиваться, участвовавшие в наших опытах растения могут быть расположены в следующий ряд в порядке уменьшения чувствительности к вредному действию магния: горчица, ячмень, озимая пшеница, клевер.

5. В отношении наиболее высокого содержания в поглощающем комплексе отдельных катионов, при котором растения могут нормально развиваться, изученные при нашем опыте катионы для ячменя могут быть расположены в следующий ряд в убывающем порядке: кальций, магний, натрий, калий, марганец.

6. По мере повышения содержания того или другого катиона в поглощающем комплексе почвы повышается также концентрация этих катионов в почвенном растворе (по водной вытяжке), но в относительно меньшем размере.

7. По мере повышения содержания в почве непрореагировавшего с ней углекислого кальция повышается также концентрация ионов кальция в почвенном растворе, но незначительно. Повышение же содержания непрореагировавшего с почвой углекислого магния, напротив, ведет к весьма значительному повышению концентрации магния в почвенном растворе, что является главной причиной вредного действия на развитие растений высоких доз углекислого магния.

8. Невошедший в поглощающий комплекс почвы магний оказывает резко выраженное вредное действие на развитие сельскохозяйственных растений даже при незначительном его содержании в почве.

9. Вредное действие непрореагировавшего с почвой углекислого магния на развитие сельскохозяйственных растений может быть ослаблено, а в известных пределах даже полностью устранено путем внесения в почву достаточно высоких доз углекислого кальция.

10. Действие углекислого кальция и углекислого магния на развитие сельскохозяйственных растений при совместном внесении в почву зависит как от абсолютных количеств примененных солей, так и от соотношений между ними.

11. При внесении в ненасыщенные основаниями подзолистые почвы вместе с углекислым кальцием углекислого магния или натрия может иметь место усиление положительного действия извести или даже устранение отрицательного действия слишком высоких доз извести, вызванного установлением неблагоприятного для развития растений соотношения между ионами в почвенном растворе.

12. При изменении состава поглощенных катионов в ненасыщенных основаниями подзолистых почвах путем внесения углекислых солей большое влияние на развитие растений оказывает устанавливаемая при этом в почве реакция среды, которая колеблется в широких пределах в зависимости от природы катиона соли и от ее дозы. В отношении своей способности нейтрализовать почвенную кислотность и подщелачивать почвенный раствор испытанные при настоящей работе катионы могут быть расположены в следующий ряд в возрастающем порядке: марганец, кальций, магний, натрий и калий.

13. Внесенные в ненасыщенную основаниями подзолистую почву в виде углекислых солей катионы могут оказать заметное влияние на подвижность почвенного гумуса. Сила и характер этого влияния зависят от химической природы отдельных катионов и от их концентрации в почвенном растворе. Особенное значение при этом имеет, с одной стороны, устанавливаемая в каждом конкретном случае реакция среды, а с другой—коагулирующая способность отдельных катионов в отношении почвенного гумуса.

14. Внесенные в ненасыщенную основаниями подзолистую почву в виде углекислых солей катионы могут в весьма значительной степени повысить подвижность соединений фосфора в почве. Такое повышение содержания подвижных соединений фосфора (растворимых в 1% лимонной кислоте) под влиянием углекислых солей различных катионов зависит как от химической природы отдельных катионов, так и от их концентрации в почвенном растворе и обуславливается реакцией среды, установившейся в каждом конкретном случае растворимостью фосфорнокислых солей отдельных катионов и их коагулирующей способностью в отношении органических фосфор-содержащих соединений почвы.

15. При химической мелиорации ненасыщенных оснований подзолистых почв, занимающих обширные площади в БССР, путем искусственного изменения состава поглощенных катионов этих почв, должны найти применение не только известковые кальций-содержащие удобрения, но и магний-содержащие удобрения.

16. В целях подведения подлинно научной базы под практические мероприятия по химической мелиорации ненасыщенных оснований подзолистых почв, проводимые в социалистическом сельскохозяйственном производстве, необходимо всесторонне изучить явления, имеющие место при взаимодействии с поглощающим почвенным комплексом этих почв различных удобрений, содержащих магний, натрий, калий и различные микроэлементы как в виде основного вещества, так и в виде примесей. При этом должно быть уделено достаточно внимания не только материалам, применяемым в качестве удобрений в настоящее время, но и другим веществам, которые могли бы быть использованы в целях химической мелиорации почв в дальнейшем.

Заканчивая изложение нашей работы, считаем необходимым отметить, что в выполнении ряда связанных с этой работой анализов принимали участие лаборанты А. И. Савицкая и М. Ф. Миркина.

ЛИТЕРАТУРА

1. К. К. Гедройц—Почвенные обменные катионы и растение. Удобрение и урожай, № 6, 1930 г.
2. К. К. Гедройц—Почвенные обменные катионы и растение. Удобрение и урожай, № 11—12, 1931 г.
3. К. К. Гедройц—Почвенный поглощающий комплекс, растение, удобрение и мелиорация. Химизация Соц. Земледелия, № 1, 1932 г.
4. К. К. Гедройц—Почвенный поглощающий комплекс, как каллоидальная часть почвы и его взаимоотношение с растением. Химизация Соц. Земледелия, № 9—10, 1932 г.
5. К. К. Гедройц—Учение о поглотительной способности почв, 1932 г.
6. П. Коссович—Опыты по известкованию почв. Труды физ.-химич. лаборатории в С.-Петербурге, вып. IV, 1905 г.
7. Л. Альтгаузен—Опыты по известкованию. Труды с.-х. химич. лаборатории в С.-Петербурге, вып. VI, 1905 год.
8. П. С. Коссович и Л. Альтгаузен—Влияние CaCO_3 и MgCO_3 на почву и растение. Труды I Менделеевского съезда по общей и прикладной химии, 1907 г., СПб, 1909 г.
9. A. Voelcker—The Woburn Exp. st Report on Pot eult Exp. 1910 г., 1911, 1912, Chem.
10. I. A. Voelcker— Journ. Rog Agr. Soc England 77, 1916.
11. E. Magre—Le progress agric. et vitic, № 47, 1913.
12. P. Gille and Agetan C.—Journ. of ind and Eng. Chem. 1913.
13. E. Haselhoff—Landurrtsch Jahrbücher, 1913.
14. W. White and F. Gardner—The Pensilvania State College Schoolot Agriculture 4, № 152, 1918 г.
15. A. Gehring—Zeitsch. für Pflanz. Dung, und Bodenk. 1927, Bd. 13. S. 249.
16. О. К. Кедров-Зихман—О значении примесей магния в известковых удобрениях. Удобрение и урожай, 1930 г., № 6.
17. О. К. Кедров-Зихман—Действие известки на подзолистых почвах, согласно данным вегетационных опытов с овсом. Записки Горьковского института с.х., 1929 г.
18. Oskar Sichmann-Kedrow—Die Kalkung der Podsolböden Weissrusslands als ein Mittel vor Hebung ihrer Fruchtbarkeit. „Труды II Международного конгресса почвоведов“, 1930 г.
19. О. К. Кедров-Зихман и О. Э. Кедрова-Зихман—Влияние состава поглощенных катионов на развитие ячменя и клевера. Химизация Соц. Земледелия, № 12, 1934 г.
20. Р. Т. Вільдфлуш і І. Х. Рызоў—Да пытання аб уплыве розных суадносін паміж кальцыем і магнеіем на ўраджайнасць і спажыванне ячменю. Запіскі Беларускай дзяржаўнай акадэміі сельскай гаспадаркі, 1931 г.

21. Г. І. Пратасеня—Дзейнасць вапны на падзолістых глебах БССР паводле даных вегетацыйных доследаў, ДВБ, 1932 г.
22. В. І. Шэмпель і З. П. Ганчарова—Дзейнасць вапны і вапніста-магнэзіяльных сумесей на ўраджай аўса і гароху. БелАН.
23. Д. В. Дружинин—О возможном содержании магния в известняках, „Вестник с. г.“, 1929 г., № 4—5.
24. Д. В. Дружинин и В. Г. Швынденков—Труды НИУ. Минеральные удобрения, 1932 г., вып. 1.
25. Д. В. Дружинин—Значение магния в удобрениях и в почве для урожая растений. Новое в удобрении почв. Сельхозгиз, 1933 г.
26. K. Aso—Journ. College of Agric. Tocio.
27. C. Konomata—Journ. College of Agric. Tocio, VII, № 5.
28. K. Aso—Journ. College of Agric. Tocio.
29. Jmaseci—Bullemp. Cut. Agr. Exp. st. Japan, S № 2.
30. Dr. Oscar Loew—Die Lehre vom Kalkfaktor, 1914.
31. А. И. Кирсанов, Э. Е. Кирсанова и Г. А. Люцернова—Влияние на растение частичного введения в поглощающий комплекс HMgNaNH_4 . Почвоведение, 1932 г., № 4.
32. Jenny H. и Cowan F.—Zeitschr. Pfl. Düng Bodenkunde A 31, 1933.
33. Чириков.—Из результатов лаб. Д. Н. Прянишникова, т. VIII.
34. Е. В. Бабко.—Из результатов лаб. Д. Н. Прянишникова, т. XII.
35. Смирнов.—Из результатов лаб. Д. Н. Прянишникова, т. X.

кат
кон
ной

ров
кон
зна
шег
зна
ном
дей
маг

ока
сел
его

кис
мож
нос
сок

на
ном
чес
ним

лис
маг
тели
ног
уста
соо

нас
сен
сте
реа
в з
В о
кис

жен
кал

O. K. Kedrow-Sichmann und O. E. Kedrowa-Sichmann

EINFLUSS DES BESTANDS VON ABSORBIERTEN KATIONEN UND KOHLENSAUREN SALZEN AUF DIE ERNTE LANDWIRTSCHAFTLICHER PFLANZEN UND AUF DEN CHEMISCHEN BESTAND DER BODENLÖSUNG

ZUSAMMENFASSUNG

Die Ausarbeitung theoretischer Gründe für chemische Bodenverbesserung der von Basen ungesättigten Podsolböden (Podsol), die in W.S.S.R. ausgedehnten Flächen einnehmen, war der Zweck dieser Arbeit, die aus Vegetationsexperimenten und analytischen Untersuchungen bestand und vom Institut für Bodenkunde und Düngung der Weisrussischen Akademie der Wissenschaft durchgeführt wurde.

Dabei beabsichtigten wir die Möglichkeit und Zweckmässigkeit der Anwendung anderer Kationen ausser Kalzium festzustellen, zwecks Verbesserung, des für die Entwicklung der landwirtschaftlichen Pflanzen ungünstigen Bestands absorbiertes Kationen der Podsolböden, vor allem aber die Möglichkeit der Verstärkung positiver Wirkung der Kalkung aufzuklären, durch Zuführung dem Boden zusammen mit Kalzium enthaltenem Kalkdünger, Substanzen, die andere Kationen enthalten.

Bei den Vegetationsexperimenten wurden, in den mit Basen wenig gesättigten Neubruch des Podsolbodens vom Sowchos „Borkowitschi“ (W.S.S.R.) (Sättigungsgrad der Basen 20,6%) Kationen zugeführt: Kalzium, Magnesium, Natrium, Kalium und Mangan, durch Vermischung des Bodens mit den Kohlensäuren Salzen dieser Kationen.

Das Experiment wurde in Gefässen (Mittscherlich System) gewöhnlicher Grösse 20 cm. × 20 cm. angestellt, die 6 Kg. absolut trockner Erde enthalten.

Um die Pflanzen mit Nährstoffen zu versorgen, wurde in jedes Gefäss, ausser den oben angegebenen kohlsauerer Salzen, noch eine volle Mineraldüngung—NPK Mg zugeführt in Form folgender Salze: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, KCl , $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ aus Berechnung 0,5 G. wirkenden Stoffes auf ein Gefäss.

Als Versuchspflanzen wurden genommen—frühe zweiseitswendige Gerste: Colchicum 10—30, roter Klee, Winterweizen Moskauer Sorte und Senf.

In Verbindung mit dieser Arbeit wurde eine ganze Reihe analytischer Untersuchungen von Bodenproben unternommen, sowohl zum Zweck der Charakteristik des zum Experiment genommenen Bodens, sowie auch zur eingehenden Aufklärung verschiedener Erscheinungen, die man bei Vegetationsexperimenten beobachtet und zu einem gründlichen Studium der Prozesse, die bei dem gegenseitigen Einfluss des Bodens mit dem ihm zugeführten kohlsauerer Salzen stattfinden.

Auf Grund der oben betrachteten Angaben und der bei unserer Arbeit erhaltenen Ernteresultate von Vegetationsexperimenten und Untersuchungen analytischen Charakters, in Verbindung mit den Ergebnissen anderer Arbeiten, kann man folgendes feststellen:

1. Der Bestand der absorbierten Kationen der mit Basen ungesättigten Podsolböden kann verbessert werden, nicht nur durch Zuführung von Kalzium in den absorbierenden Komplex dieser Böden, sondern auch einer Reihe anderer Kationen: Mg, Na, K, und Mn., wobei diese Kationen in den absorbierenden Komplex in bedeutend grösserer Quantität eingeführt werden können, als es auf Grund früherer Untersuchungen angenommen ist.

2. Bei günstigen Reaktion für die Pflanzenentwicklung können sich die landwirtschaftlichen Pflanzen bei ziemlich weiten Verhältnissen zwischen Kalzium und anderen Kationen im absorbierenden Bodenkomplex entwickeln.

3. Der optimale Bestand absorbierten Kationen in den mit Basen ungesättigten Podsolböden ist nicht für alle landwirtschaftlichen Pflanzen gleich und kann in ziemlich weiten Grenzen, abhängig von den biologischen Eigenschaften der Pflanzen, schwanken.

5. In Bezug auf den Maximalgehalt von Magnesium im absorbierenden Bodenkomplex, in welchem sich die landwirtschaftlichen Pflanzen normal entwickeln können, kann man die in unseren Experimenten angewandten Pflanzen in folgender Reihe aufstellen, je nach Verminderung ihrer Empfindlichkeit gegen der schädlichen Magnesiumwirkung: Gerste, Winterweizen, Klee.

In Bezug auf den höheren Gehalt einzelner Kationen im absorbierenden Komplex, bei welchem sich die Pflanzen normal entwickeln können, kann man die bei unserem Experiment studierten Kationen für Gerste nach folgender Reihe aufstellen und zwar in abnehmender Ordnung: Kalzium, Magnesium, Natrium, Kalium, Mangan.

6. Mit der Gehaltssteigerung des einen oder anderen Kationen im absorbierenden Bodenkomplex steigt auch die Konzentration dieser Kationen in der Bodenlösung (nach Wasserausgang) aber in verhältnismässig kleinerem Mass.

7. Mit der Steigerung im Boden des Gehalts des mit ihm nicht reagierten kohlsauerer Kalziums steigt auch die Konzentration der Ionen von Kalzium in der Bodenlösung, aber unbedeutend. Die Steigerung des Gehalts von kohlsauerem Magnesium, das nicht mit dem Boden reagiert hat, führt im Gegenteil zu sehr bedeutender Steigerung der Konzentration von Magnesium in der Bodenlösung, was auch der Hauptgrund der schädlichen Wirkung auf die Entwicklung der Pflanzen mit einer hohen Dosis von kohlsauerem Magnesium ist.

8. Das in den absorbierenden Bodenkomplex nicht eingedrungene Magnesium übt eine scharf ausgeprägte schädliche Wirkung auf die Entwicklung der landwirtschaftlichen Pflanzen aus, sogar bei seinem geringen Gehalt im Boden.

9. Die schädliche Wirkung des mit dem Boden nicht reagierten kohlsauerer Magnesiums auf die Entwicklung der landwirtschaftlichen Pflanzen kann geschwächt werden und in bestimmten Grenzen sogar völlig beseitigt werden, indem man dem Boden eine genügend grosse Dosis von kohlsauerem Kalzium zuführt.

10. Die Wirkung von kohlsauerem Kalzium und kohlsauerem Magnesium auf die Entwicklung der landwirtschaftlichen Pflanzen bei ihrer gemeinsamen Zuführung in den Boden, hängt sowohl von der absoluten Quantität der beigemischten Salze ab, sowie auch von der Wechselbeziehung zwischen ihnen.

11. Bei Zuführung von kohlsauerem Kalzium zusammen mit kohlsauerem Magnesium oder Natrium in die mit Basen ungesättigten Podsolböden kann eine Verstärkung der positiven Wirkung von Kalk, oder sogar die Beseitigung der negativen Wirkung der zu grossen Dosen Kalks stattfinden, hervorgerufen durch die für die Pflanzenentwicklung ungünstige Wechselbeziehung zwischen den Ionen in der Bodenlösung.

12. Bei Veränderung des Bestands absorbierten Kationen in den mit Basen ungesättigten Podsolböden durch Zuführung kohlsauerer Salze hat die sich dabei bildende Reaktion grossen Einfluss auf die Entwicklung der Pflanzen, die in

weiten Grenzen, abhängig von der Kationsnatur der Salze und ihrer Dosis, schwänkt.

In Bezug auf ihre Fähigkeit die Azidität des Bodens zu neutralisieren und der Bodenlösung können die Kationen, welche bei dieser Arbeit geprüft wurden, nach folgender Reihe in anwachsender Ordnung aufgestellt werden: Mangan, Kalzium, Magnesium, Natrium, Kalium.

13. Die zugeführten Kationen in den mit Basen ungesättigten Podsolböden in Form von kohlen-sauereren Salzen können einen wesentlichen Einfluss auf die Beweglichkeit des Bodenhumus haben. Kraft und Charakter dieses Einflusses hängt von der chemischen Natur einzelner Kationen und von ihrer Konzentration in der Bodenlösung ab. Besondere Bedeutung dabei hat einerseits, die bei jedem konkreten Fall sich bildende Reaktion, andererseits die koagulierende Fähigkeit einzelner Kationen in Verhältnis zum Bodenhumus.

14. Die zugeführten Kationen in den mit Basen ungesättigten Podsolböden in Form von kohlen-sauereren Salzen können die Beweglichkeit der Phosphorverbindung im Boden in hohem Mass steigern. Solche Steigerung des Gehalts beweglicher Phosphorverbindungen (löslich in 1,0% Zitronensäure) unter der Wirkung kohlen-saurer Salze verschiedener Kationen hängt sowohl von der chemischen Natur einzelner Kationen, sowie auch von ihrer Konzentration in der Bodenlösung ab und wird von der Reaktion bedingt, welche sich in jedem konkreten Fall gebildet hat von der Lösbarkeit phosphorsaurer Salze einzelner Kationen und ihrer koagulierenden Fähigkeit im Verhältnis zu den organischen phosphorhaltige Bodenverbindungen.

СОДЕРЖАНИЕ

Вводная часть	3
Экспериментальная часть	13
А. Постановка вегетационного опыта и наблюдение за развитием растений	14
Б. Урожайные данные	21
Аналитические исследования	48
Заключение,	62
Литература	72

Под редакцией:
Проф. Э. Магарама.
Проф. Г. Протасени.

Ответственный корректор М. Ковалева.
Техн. редактор В. Свиридов.

Сдано в производство 14/VII 1936 г.
Подписано к печати 29/IX 1936 г.
Формат бумаги 60×92 мм.—Печатных листов 4²/₃.
Заказ № 339. Главлитбед № 4133. Тираж 1000 экз.

Типография Академии наук БССР.

Цена 1 р. 50 к.

25 к.