

А. РИЙСПЕРЕ

О МИНЕРАЛЬНОМ ПИТАНИИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SILVESTRIS* L.) НА МАЛОМОЩНЫХ ПЕРЕГНОЙНО- КАРБОНАТНЫХ (АЛЬВАРНЫХ) ПОЧВАХ

II. РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ С СЕЯНЦАМИ СОСНЫ В ПОЧВЕННЫХ КУЛЬТУРАХ

Нами была выдвинута гипотеза, что на альварных почвах Эстонии наряду с малой мощностью корнеобитаемого горизонта и связанного с ней неблагоприятного водного режима серьезные тормозящие рост леса факторы могут скрываться и в химизме этих почв (Рийспере, 1966). В исследованиях, посвященных изучению питания растений на почвах с высоким содержанием углекислого кальция, указано на ряд связанных между собой факторов, которые отрицательно действуют на питание растений. К ним, в частности, относятся нейтральная или слабощелочная реакция, избытие бикарбонатных ионов, антагонистические взаимодействия между кальцием и другими катионами, трудная доступность фосфора, железа и некоторых микроэлементов. Непосредственное влияние некоторых из них на питание сосны изучено нами в песчаных культурах (Рийспере, 1966). В результате опытов удалось существенно уточнить физиологию корневого питания сосны с точки зрения нашей проблемы: выяснилось, что сеянцы сосны устойчивы к высоким концентрациям кальция и магния в среде; к тому же такие концентрации не оказывают существенного антагонистического действия на поглощение остальных питательных элементов. Однако сеянцы сосны оказались чувствительными к повышенным концентрациям бикарбонат-ионов в среде.

Второй основной частью нашей работы было изучение обеспеченности сосны на альварных почвах необходимыми питательными элементами и выяснение возможных путей улучшения условий корневого питания. Трудная доступность питательных веществ на почвах с высоким содержанием извести обычно в литературе связывается с высоким значением рН. В то же время имеются ссылки на возможность улучшения доступности питательных элементов путем кислотности почв. Опыты с сельскохозяйственными культурами, а также лесными древесными породами показали, что наиболее подходящие вещества для этого — серная кислота, ее соли и элементарная сера (Заев, 1932; Кирсанов и др., 1937; Накаидзе, 1964; Young, 1938; McGeorge, 1943; Stoekeler, Arneman, 1960; Mullin, 1964). Образующиеся в почве соли серной кислоты обладают меньшей растворимостью по сравнению с солями других сильных минеральных кислот (например с хлоридами), что предотвращает чрезмерное повышение концентрации почвенного раствора. Установлено также, что сульфат-ионы безвредны для древесных растений, они накапливаются в резуль-

тате разложения лесной подстилки в большом количестве и в естественных лесных почвах (Stremme, 1950). Само собой разумеется, что эффект кислотования почвы зависит от физиологических особенностей вида растения. О сеянцах сосны обыкновенной известно (Süchting и др., 1937; Wilde, 1958 и др.), что оптимальная почвенная реакция для них находится в кислом интервале (около рН 5). Поэтому в лесных питомниках значения рН почвы выше 5,5 считаются уже признаком переизвесткования и тем самым неблагоприятными для сеянцев сосны (Krauss, 1962 и др.). Однако принятый в лесоводческой литературе оптимальный интервал реакции для сосны нельзя считать общедействительным. В специальных работах (Голубев и др., 1935; Петербургский, 1955) убедительно доказано, что оптимальные значения рН для отдельных растений — величины не постоянные и существенно зависят от характера почвы. Установлено, что на почвах с высоким содержанием органического вещества и насыщенных кальцием возможность вредного действия подкисления реакции невелика.

В наших опытах основное внимание уделялось влиянию кислотования альварных почв на рост сеянцев сосны, поглощению ими отдельных питательных элементов, а также подвижности последних в почве. Учитывая нестабильность водного режима альварных почв, особенно летние почвенные засухи, специальный опыт с кислотованием проводился в условиях недостаточного водоснабжения. Для более рельефного выявления роли «известкового фактора» во все опыты с кислотованием были включены варианты с добавлением окиси кальция. Кроме того, изучалась эффективность внесения в почву питательных солей с целью выявить основные элементы, лимитирующие рост сосны на альварных почвах. Особое внимание обращалось на вопросы фосфорного питания.

Материал и методика

Вегетационные опыты в почвенных культурах проводились в 1964 г. на экспериментальной станции Института зоологии и ботаники АН ЭССР — летом в условиях вегетационного домика, зимой в вегетационной камере.

Использовалась почва из горизонта A_1 из-под типичных альварных лесов IV—V бонитета. По данным Э. Пихельгаса (Pihelgas, 1959), на таких маломощных перегнойно-карбонатных лесных почвах Эстонии, образовавшихся на известняковом плитняке (строение профиля: A_0-A_1-D или A_0-A_1-C-D), преобладающая масса корней сосны находится в A_1 -горизонте. Почвы с условными названиями «Варди I» и «Варди II» привезли из лесничества Варди, почвы «Куузику» и «Абру» из лесничества Куузику. Их химическая характеристика приведена в табл. 1.

Все подопытные почвы характеризуются слабощелочной реакцией, высокой карбонатностью и высоким содержанием кальция, богаты гумусом и общим азотом. Уровень подвижного фосфора очень низок, а обеспеченность подвижным калием можно считать достаточной. Больше половины валового фосфора находится в органической форме. Все почвы обладали прочной зернистой структурой.

Большинство опытов проводилось параллельно с почвами «Варди I» и «Куузику». Почвы «Варди II» и «Абру» использовались только в опыте 3. Последние отличались от основных подопытных почв относительно низким содержанием гумуса и пониженным соотношением между кальцием и магнием. Кроме того, почва «Абру» резко отличалась от всех других наиболее высокой карбонатностью и большим содержанием магния.

Количества серной кислоты для подкисления и количества окиси кальция для подщелачивания почв до заданного значения рН вычисляли по предварительно составленным кривым титрования. Дозы элементарной (порошковидной) серы установили на основе рекомендаций Дж. Стокелера и Х. Арнемана (Stoekeler, Arneman, 1960),

Таблица 1

Характеристика подопытных альварных почв

| Показатель | Почвы | | | |
|--|-----------|-----------|------------|--------|
| | «Варди I» | «Куузику» | «Варди II» | «Абру» |
| Мощность горизонта A ₁ , см | 5 | 10 | 10 | 20 |
| Полная влагоемкость, % к абс. сухому весу | 134 | 96 | 91 | 81 |
| pH водной суспензии | 7,4 | 7,6 | 7,4 | 7,6 |
| pH солевой суспензии | 6,9 | 7,0 | 6,7 | 6,9 |
| Гумус по Тюрину, % | 18,8 | 14,6 | 8,7 | 8,2 |
| Водорастворимый гумус по Кубель-Тиману, % | 0,019 | 0,019 | 0,015 | 0,011 |
| Карбонатность (CO ₂), % | 7,0 | 6,3 | 4,5 | 12,5 |
| Бикарбонаты (HCO ₃), % | 0,11 | 0,09 | 0,07 | 0,07 |
| Азот общий, % ¹ | 0,67 | 0,38 | 0,32 | 0,40 |
| P ₂ O ₅ валовой, % | 0,190 | 0,100 | 0,085 | 0,113 |
| P ₂ O ₅ органический, % ² | 0,111 | 0,050 | 0,046 | 0,074 |
| P ₂ O ₅ неорганический, % | 0,079 | 0,050 | 0,039 | 0,039 |
| P ₂ O ₅ подвижный, мг/100 г почвы ³ | 1,11 | 0,13 | 0,17 | 0,00 |
| K ₂ O валовой, % ¹ | 0,21 | 0,22 | 0,21 | 0,31 |
| K ₂ O подвижный, мг/100 г почвы ³ | 10,6 | 10,8 | 7,2 | 14,4 |
| Na ₂ O валовой, % ¹ | 0,74 | 0,60 | 0,40 | 1,30 |
| CaO валовой, % | 4,49 | 3,83 | 2,29 | 6,81 |
| Ca поглощенный, мг-экв/100 г почвы ⁴ | 57,4 | 48,5 | 30,1 | 29,1 |
| Ca водорастворимый, мг-экв/100 г почвы | 1,98 | 2,10 | 1,08 | 1,05 |
| MgO валовой, % | 1,24 | 1,01 | 1,44 | 5,26 |
| Mg поглощенный, мг-экв/100 г почвы ⁴ | 8,7 | 1,9 | 9,7 | 8,7 |
| Mg водорастворимый, мг-экв/100 г почвы | 0,43 | 0,48 | 1,17 | 1,85 |
| Fe ₂ O ₃ валовой, % | 3,52 | 3,67 | 3,14 | 4,35 |
| Al ₂ O ₃ валовой, % ¹ | 11,9 | 9,8 | 8,8 | 9,2 |
| SiO ₂ валовой, % ¹ | 48 | 58 | 70 | 47 |

¹ Определены в Центральной химической лаборатории Эстонского научно-исследовательского института земледелия и мелиорации (зольные элементы определялись разложением почвы царской водкой).

² Органический фосфор определялся (Legg, Black, 1955) по разности количества P₂O₅, извлекаемого концентрированной HCl из почвы после прокаливании в течение 1 ч при 240° и без прокаливании.

³ Определялись в лактатно-ацетат-аммонийной вытяжке (Egner и др., 1960).

⁴ Определялись по методу А. Шмука (Ильковская, 1965).

согласно которым по почвоокисляющей способности 1 мл концентрированной H₂SO₄ равен 0,6 г элементарной серы. Все подкисляющие и подщелачивающие агенты вносились в почву при набивке сосудов (серная кислота вносилась разбавленной). Для обеспечения необходимой предварительной инкубации почвы с внесенными веществами семена высаживались не ранее чем через 7 дней после набивки сосудов. Для выращивания растений использовались 5-литровые оцинкованные сосуды, покрытые изнутри битуменом и 1,3-литровые полистироловые банки. В большие сосуды высевалось по 100, в малые — по 50 семян. Поверхность почвы покрывалась слоем кварцевого песка. Влажность почвы в период вегетации растений поддерживалась на уровне 70% от полной влагоемкости (кроме опыта 2, в схему которого были параллельно включены и варианты с недостаточным водоснабжением). По результатам предварительного опыта указанная (70%) влажность оптимальна для роста сеянцев сосны

Таблица 2
Рост и химический состав семян сосны при внесении в почву серной кислоты, элементарной серы и окиси кальция (опыт 1)

| № варианта | Вариант ¹ | pH ₂ O почвы | | Содержание на 100 г почвы | | Сухой вес одного растения | | | | Содержание питательных элементов, % от абсолютно-сухого вещества | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|---------------|---|---------------------|---------------------------|---------------|----------|---------------|--|------|------|------|------|-------------|----------|------|-----------|-------------|------|------|------|
| | | в начале опыта ² | в конце опыта | A.L-рас-творимо-го P ₂ O ₅ , мг | водрас-тво, мг-экав | надземная часть | | корни | | в хвое | | | | | | в корнях | | | | | | |
| | | | | | | мг | % к конт-ролю | мг | % к конт-ролю | N | P | K | Ca | Mg | Fe | N | P | K | Ca | Mg | Fe | |
| Почва «Варди I» | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Контроль | 7,4 | 7,7 | 0,50 | 3,2 | 26±1,3 | 100 | 7,7±0,4 | 100 | 1,81 | 0,24 | 1,41 | 1,47 | 0,33 | 1,56 | 0,33 | 0,18 | Не опред. | 1,56 | 0,33 | 0,18 | |
| 2 | 22 мл H ₂ SO ₄ | 6 | 7,2 | 1,50 | 60,5 | 31±2,3 | 119 | 8,6±0,5 | 112 | 2,02 | 0,27 | 1,37 | 1,23 | 0,37 | 1,27 | 0,27 | 0,20 | 0,0140 | 1,05 | 0,27 | 0,24 | |
| 3 | 30 мл H ₂ SO ₄ | 5 | 7,0 | 1,54 | 81,2 | 40±3,2 | 154* | 9,2±0,4 | 119 | 2,41 | 0,24 | 1,43 | 0,89 | 0,23 | 0,0140 | 1,05 | 0,27 | 0,24 | 0,0117 | 0,92 | 0,20 | 0,28 |
| 4 | 38 мл H ₂ SO ₄ | 4 | 6,5 | 1,28 | 95,4 | 47±2,6 | 181* | 10,5±0,9 | 136 | 2,14 | 0,17 | 1,28 | 0,62 | 0,18 | 0,0117 | 0,92 | 0,20 | 0,28 | 0,0120 | 0,73 | 0,24 | 0,25 |
| 5 | 45 мл H ₂ SO ₄ | 3 | 5,8 | 1,89 | 102,9 | 42±0,6 | 162* | 11,2±0,6 | 146* | 2,47 | 0,12 | 1,49 | 0,56 | 0,23 | Не определ. | 0,73 | 0,24 | 0,25 | Не определ. | 0,73 | 0,24 | 0,25 |
| 6 | 13 г S | (6) | 7,0 | 0,30 | 21,3 | 28±1,0 | 103 | 14,8±0,2 | 192* | 1,68 | 0,12 | 1,50 | 1,76 | 0,21 | Не определ. | 0,73 | 0,24 | 0,25 | Не определ. | 0,73 | 0,24 | 0,25 |
| 7 | 18 г S | (5) | 6,9 | 0,17 | 35,8 | 31±1,2 | 119 | 16,5±1,4 | 214* | 1,96 | 0,14 | 1,48 | 1,40 | 0,28 | Не определ. | 0,73 | 0,24 | 0,25 | Не определ. | 0,73 | 0,24 | 0,25 |
| 8 | 23 г S | (4) | 6,7 | 0,23 | 52,8 | 28±1,3 | 108 | 15,2±1,0 | 195* | 1,77 | 0,16 | 1,62 | 1,35 | 0,33 | Не определ. | 0,73 | 0,24 | 0,25 | Не определ. | 0,73 | 0,24 | 0,25 |
| 9 | 26 г S | (3) | 6,7 | 0,23 | 52,3 | 34±0,5 | 131* | 14,2±2,7 | 184 | 2,21 | 0,16 | 1,49 | 1,10 | 0,26 | Не определ. | 0,73 | 0,24 | 0,25 | Не определ. | 0,73 | 0,24 | 0,25 |
| 10 | 5 г CaO | 9 | 7,8 | 0,37 | 3,0 | 29±1,3 | 112 | 8,7±0,6 | 113 | 1,92 | 0,17 | 1,54 | 1,69 | 0,10 | Не опред. | 1,50 | 0,29 | 0,19 | Не опред. | 1,50 | 0,29 | 0,19 |
| Почва «Куузику» | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Контроль | 7,2 | 7,3 | 0,24 | 2,4 | 32±0,9 | 100 | 11,5±0,4 | 100 | 2,06 | 0,13 | 1,04 | 1,05 | 0,24 | 0,180 | 0,34 | 0,43 | 0,0180 | 1,58 | 0,34 | 0,43 | |
| 2 | 5 мл H ₂ SO ₄ | 6 | 7,0 | 0,44 | 5,7 | 36±1,7 | 112 | 14,2±1,2 | 123 | 2,08 | 0,11 | 1,18 | 1,30 | 0,15 | 0,0182 | 1,35 | 0,26 | 0,36 | 0,0182 | 1,35 | 0,26 | 0,36 |
| 3 | 8 мл H ₂ SO ₄ | 5 | 6,5 | 0,97 | 11,3 | 39±1,5 | 122* | 12,8±1,1 | 111 | 1,94 | 0,14 | 1,15 | 1,22 | 0,20 | 0,0149 | 1,06 | 0,24 | 0,26 | 0,0149 | 1,06 | 0,24 | 0,26 |
| 4 | 15 мл H ₂ SO ₄ | 4 | 5,4 | 1,00 | 39,3 | 42±0,6 | 131* | 13,5±1,3 | 117 | 2,67 | 0,11 | 1,16 | 0,65 | 0,24 | 0,0123 | 0,97 | 0,30 | 0,28 | 0,0123 | 0,97 | 0,30 | 0,28 |
| 5 | 21 мл H ₂ SO ₄ | 3 | 4,6 | 0,64 | 42,1 | 46±0,3 | 144* | 11,5±0,4 | 100 | 2,83 | 0,13 | 1,22 | 0,46 | 0,27 | 0,0123 | 0,56 | 0,24 | 0,20 | 0,0123 | 0,56 | 0,24 | 0,20 |
| 6 | 3 г S | (6) | 7,1 | 0,35 | 2,3 | 36±2,0 | 112 | 12,6±0,7 | 110 | 2,24 | 0,13 | 1,30 | 1,20 | 0,21 | Не определ. | 0,56 | 0,24 | 0,20 | Не определ. | 0,56 | 0,24 | 0,20 |
| 7 | 5 г S | (5) | 7,0 | 0,37 | 2,7 | 40±3,7 | 125 | 13,2±0,5 | 115 | 2,58 | 0,14 | 1,40 | 1,18 | 0,26 | Не определ. | 0,56 | 0,24 | 0,20 | Не определ. | 0,56 | 0,24 | 0,20 |
| 8 | 10 г S | (4) | 5,5 | 1,06 | 12,6 | 42±1,4 | 131* | 15,0±1,7 | 130 | 2,29 | 0,16 | 1,37 | 1,07 | 0,20 | Не определ. | 0,56 | 0,24 | 0,20 | Не определ. | 0,56 | 0,24 | 0,20 |
| 9 | 13 г S | (3) | 4,4 | 1,02 | 41,1 | 37±0,9 | 116* | 11,2±1,0 | 97 | 2,51 | 0,15 | 1,31 | 0,95 | 0,27 | Не определ. | 0,56 | 0,24 | 0,20 | Не определ. | 0,56 | 0,24 | 0,20 |
| 10 | 7 г CaO | 9 | 7,7 | 0,25 | 2,6 | 31±1,5 | 97 | 11,5±0,8 | 100 | 2,50 | 0,14 | 1,21 | 1,47 | 0,19 | 0,0166 | 1,91 | 0,33 | 0,29 | 0,0166 | 1,91 | 0,33 | 0,29 |

¹ Дозы рассчитаны на 1 кг воздушно-сухой почвы; количества H₂SO₄ выражены в миллилитрах концентрированной кислоты (уд. вес 1,84).

² Цифры в скобках обозначают значения pH при использовании эквивалентных количеств серной кислоты.

* Различия достоверно по критерию t при 5%-ном уровне значимости.

на альварной почве. Полив производился по весу дистиллированной водой. Опыты были заложены в четырех повторностях.

По окончании опытов в почвах определялись рН (стеклянным электродом в водной суспензии 1:2,5), содержание водорастворимого кальция (трилометрически в присутствии мурексида) и количество подвижного фосфора в лактатно-ацетат-аммонийной вытяжке (Egner и др., 1960) колориметрически по Труог-Мейеру. В опыте 2, где были испытаны все четыре подопытные почвы, дополнительно определили содержание водорастворимого магния (трилометрически в присутствии хромогена черного), количество подвижного калия в лактатно-ацетат-аммонийной вытяжке (на гламенном фотометре), содержание водорастворимого гумуса по Кубель-Тиману и содержание бикарбонатов титрованием серной кислотой в присутствии метилоранжа (Аринюшкина, 1961).

У семян определялся сухой вес надземной части и корней после высушивания материала до постоянного веса при 70° С. Химическому анализу подвергались отдельно хвоя и корни. В хвое определялось общее содержание азота, фосфора, калия, кальция, магния и железа, в корнях — содержание кальция, магния и железа по методам, указанным нами в первой статье (Рийспере, 1966). Все данные химического анализа почв и растений выражены в процентах к абсолютному сухому весу.

Содержание хлорофилла в хвое определялось колориметрически в спиртовой вытяжке из сырого материала.

Экспериментальная часть

Опыт 1. Целью опыта было изучение влияния кислотности альварных почв на рост и питание семян сосны. В качестве подкисляющих агентов использовались параллельно серная кислота и элементарная сера, которые в возрастающих дозах добавлялись к почвам «Варди I» и «Куузику». Кроме того, в схему опыта был включен вариант с внесением в почву СаО.

Опыт проводился в условиях вегетационной камеры с 24/II до 7/VII 1964 г. Растения выращивались в 1,3-литровых сосудах.

Результаты опыта показали, что внесение серной кислоты резко увеличивает количество водорастворимого кальция в почве (табл. 2). При этом почва «Варди I», отличающаяся более высокой буферной способностью и потребовавшая для подкисления реакции больше кислоты, содержала при равных исходных значениях рН больше водорастворимого кальция, чем «Куузику».

Количество подвижного фосфора при кислотности почв серной кислотой тоже увеличилось, однако и в окислованных вариантах уровень его остался низким. При этом в почве «Варди I» образовалось больше подвижного фосфора, чем в «Куузику». На внесение серы подопытные почвы реагировали по-разному: в почве «Варди I» подвижность фосфора уменьшилась, а в почве «Куузику» возросла почти в той же мере, как при кислотности серной кислотой.

Кислование обеих подопытных почв способствовало росту семян. Из подкисляющих агентов более эффективной оказалась серная кислота. На почве «Варди I» наиболее благоприятный рост отмечен при кислотности серной кислотой до рН 4, на почве «Куузику» — после кислотности до рН 3 (рис. 1). Эффективность кислотности на почве «Варди I» была выше, чем на «Куузику» (вес надземной части в первом случае увеличился на 81, во втором — на 44%). Следует отметить, что рН окислованных почв в течение опыта сдвинулась в нейтральную сторону и мы можем говорить только об известных пределах рН почвы (табл. 2).

Положительное влияние серы проявилось при применении более высоких доз. Особенно положительно повлияло добавление серы на рост

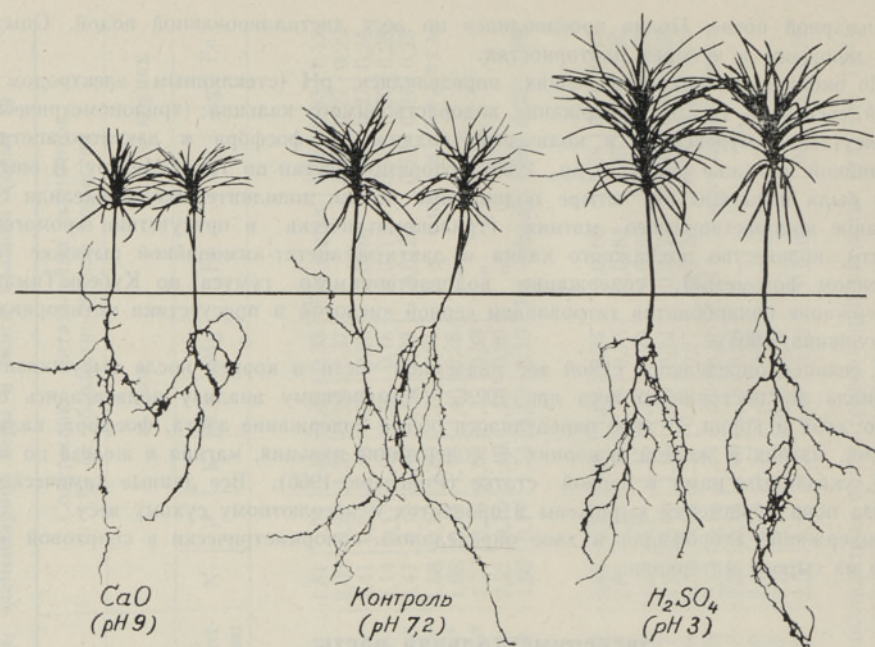


Рис. 1. Сеянцы сосны, выращенные на почве «Куузику» при внесении CaO и H_2SO_4 (опыт 1).

корней сеянцев на почве «Варди I»; на «Куузику» такого эффекта не наблюдалось.

Судя по химическому составу хвои, в окислованных почвах усиливается усвоение сеянцами азота. Накопление фосфора в хвое на почве «Варди I» понизилось при окисловании ее серной кислотой до сильноокислой реакции и после добавления серы. На почве «Куузику» концентрация фосфора в хвое под влиянием окислования почти не изменилась.

Интересным оказалось уменьшение содержания кальция как в хвое, так и в корнях сеянцев, после окислования почв серной кислотой, несмотря на резкое повышение количества водорастворимого кальция в почве. При использовании для окислования почвы серы (за исключением наивысшей дозы) подобного явления не наблюдалось. Изменения в накоплении магния в хвое и в корнях под влиянием окислования почвы оказались менее закономерными. По общей тенденции на почвах, окислованных как серной кислотой, так и элементарной серой, содержание магния в хвое и в корнях сеянцев уменьшалось.

Концентрация железа в хвое и в корнях сеянцев на почве «Куузику» при окисловании серной кислотой понизилась; на «Варди I» содержание железа в корнях увеличилось.

Сеянцы, выращенные на почвах, в которые дополнительно было внесено CaO (исходная pH 9), по интенсивности роста надземной части и корней практически не отличались от контроля. В этих вариантах на «Варди I» они накопили меньше фосфора и магния в хвое, чем контрольные сеянцы. Внесение в почву CaO особенно тормозило усвоение сеянцами магния, его концентрация в хвое снизилась более чем в три раза по сравнению с контролем. При этом надо отметить, что добавление к почве «Варди I» CaO вызвало у сеянцев сильный хлороз хвои. Хлороз, правда менее интенсивный, наблюдался и у контрольных сеянцев. На окислованной же почве признаков хлороза не обнаружилось.

На почве «Куузику» при подщелачивании реакции до pH 9 усиливалось усвоение сеянцами азота, калия и кальция. Содержание фосфора в хвое по сравнению с контролем не изменилось, но содержание магния несколько уменьшилось. Концентрация железа в хвое снизилась по сравнению с контролем, но была выше, чем при кислой реакции почвы. В корнях образовалась высокая концентрация кальция (чего не было на почве «Варди I»), при этом содержание магния не изменилось, а железа — уменьшилось по сравнению с контролем. Хлороза хвои на почве «Куузику» как при внесении CaO, так и в контроле, не наблюдалось.

Опыт 2. Опыт был поставлен с целью выяснить влияние недостаточного водоснабжения на рост сеянцев сосны и усвоение ими питательных элементов, а также изучить эффективность кислотования при пониженной влажности почвы. Для этого все варианты его ставились параллельно при оптимальной и недостаточной влажности почвы (соответственно 70 и 40% от полной влагоемкости). В качестве окисляющего агента использовалась серная кислота. Аналогично предыдущему опыту наряду с кислотованием в схему включили варианты с добавлением CaO.

В период прорастания семян поверхность почвы увлажнялась и в «сухих» вариантах. После появления всходов влажность почвы регулировалась соответственно схеме. Опыт проводился в вегетационном домике с 16/VI до 18/X 1964 г. на почвах «Варди I» и «Куузику». Растения выращивались в 1,3-литровых сосудах. Результаты опыта приведены в табл. 3 и на рис. 2.

Как видно из таблицы, количество водорастворимого кальция в почве не зависит от уровня влажности, при кислотовании его содержание возрастает как во влажной, так и в сухой почве. То же можно отметить и в отношении подвижного фосфора в почве «Варди I». В почве «Куузику», однако, подвижность фосфора под действием кислотования увеличилась только при влажности 70%, в вариантах с пониженной влажностью подвижный фосфор не удалось обнаружить. При этом интересно отметить, что добавление CaO в условиях низкой влажности вызвало увеличение подвижности фосфора.

Влияние недостаточного увлажнения почвы проявилось в подавленном накоплении сеянцами органического вещества. На почве «Варди I» в контрольном варианте при влажности 40% вес надземных частей сеянцев был на 16 и вес корней на 23% меньше, чем при оптимальной влажности. На «Куузику» при пониженной влажности соответствующие показатели уменьшились на 15% и 23%.

Рост сеянцев при подкислении реакции почвы улучшился как при 70, так и при 40% влажности, хотя эффективность кислотования была выше при оптимальном водоснабжении. На почве «Варди I» сеянцы росли интенсивнее при кислотовании почвы до pH 5. Рост корней на «сухой» почве оказался наиболее сильным в варианте с CaO, где их вес увеличился на 50% по сравнению с контролем. В результате кислотования почвы «Куу-

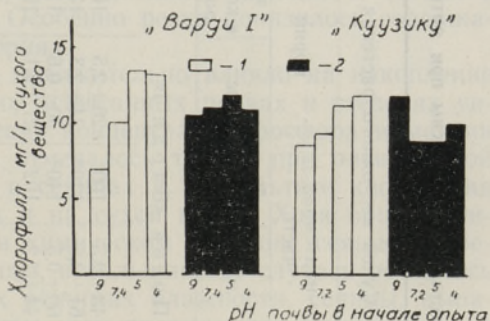


Рис. 2. Влияние изменения реакции почвы на содержание хлорофилла в хвое при оптимальном и недостаточном водоснабжении (опыт 2): 1 — влажность почвы 70% от полной влагоемкости; 2 — влажность почвы 40% от полной влагоемкости.

Таблица 3
Влияние изменения реакции почвы на рост и химический состав семян сосны при оптимальном и недостаточном водоснабжении (опыт 2)

| № варианта | Вариант ¹ | рН _{H2O} почвы | | Содержание на 100 г почвы | | Сухой вес одного растения | | | | Содержание питательных элементов, % от абсолютно-сухого вещества | | | | | | | | |
|-----------------|--------------------------------------|-------------------------|---------------|---------------------------|--|---------------------------|---------------|--------|---------------|--|------|------|------|----------|--------|------|------|------|
| | | в начале опыта | в конце опыта | водораств. Ca, мг-экв | A.L-рас-твримо-го P ₂ O ₅ , мг | надземная часть | | корни | | в хвое | | | | в корнях | | | | |
| | | | | | | мг | % к конт-ролю | мг | % к конт-ролю | N | P | K | Ca | Mg | Fe | Ca | Mg | Fe |
| Почва «Варди I» | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Почва «Куузику» | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Влажность почвы 70% | 7,4 | 7,9 | 1,9 | 0,14 | 43±2,5 | 100 | 26±2,5 | 100 | 1,79 | 0,11 | 0,75 | 0,69 | 0,13 | 0,0115 | 1,52 | 0,26 | 0,21 |
| 2 | Контроль | 5,0 | 6,5 | 71,4 | 0,42 | 64±3,5 | 149* | 34±2,3 | 131 | 2,14 | 0,19 | 1,15 | 0,59 | 0,18 | 0,0091 | 0,50 | 0,27 | 0,22 |
| 3 | 30 мл H ₂ SO ₄ | 4,0 | 5,3 | 91,0 | 0,46 | 60±0,5 | 140* | 30±0,6 | 115 | 2,34 | 0,16 | 1,10 | 0,49 | 0,16 | 0,0090 | 0,54 | 0,28 | 0,29 |
| 4 | 38 мл H ₂ SO ₄ | 9,0 | 8,0 | 2,2 | 0,15 | 44±2,2 | 102 | 27±2,1 | 104 | 1,82 | 0,14 | 0,93 | 1,08 | 0,14 | 0,0109 | 0,83 | 0,31 | 0,15 |
| 5 | 5 г CaO | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Влажность почвы 40% | 7,4 | 7,8 | 2,0 | Нет | 36±1,5 | 100 | 20±0,3 | 100 | 1,81 | 0,14 | 0,67 | 0,62 | 0,15 | 0,0097 | 1,47 | 0,29 | 0,25 |
| 6 | Контроль | 5,0 | 6,1 | 70,0 | 0,69 | 50±1,5 | 139* | 20±0,8 | 100 | 2,06 | 0,11 | 1,06 | 0,42 | 0,13 | 0,0088 | 0,62 | 0,16 | 0,13 |
| 7 | 30 мл H ₂ SO ₄ | 4,0 | 5,1 | 84,1 | 0,32 | 47±1,0 | 131* | 18±1,0 | 90 | 2,18 | 0,10 | 0,99 | 0,30 | 0,12 | 0,0085 | 0,48 | 0,16 | 0,12 |
| 8 | 38 мл H ₂ SO ₄ | 9,0 | 8,0 | 2,1 | 0,37 | 59±1,7 | 108 | 30±2,3 | 150 | 1,88 | 0,14 | 0,82 | 0,88 | 0,11 | 0,0103 | 1,28 | 0,30 | 0,16 |
| 8 | 5 г CaO | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Почва «Куузику» | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Влажность почвы 70% | 7,2 | 7,7 | 1,7 | Нет | 46±1,6 | 100 | 30±0,8 | 100 | 1,33 | 0,11 | 0,74 | 0,73 | 0,15 | 0,0112 | 1,93 | 0,29 | 0,25 |
| 2 | Контроль | 5,0 | 6,7 | 37,3 | 0,14 | 55±1,8 | 120* | 34±1,6 | 113 | 1,91 | 0,13 | 0,94 | 0,75 | 0,29 | 0,0086 | 1,15 | 0,30 | 0,20 |
| 3 | 8 мл H ₂ SO ₄ | 4,0 | 6,8 | 50,9 | 0,32 | 56±1,6 | 122* | 31±0,6 | 103 | 1,97 | 0,13 | 0,97 | 0,66 | 0,19 | 0,0097 | 0,99 | 0,22 | 0,21 |
| 4 | 15 мл H ₂ SO ₄ | 9,0 | 8,1 | 2,2 | Нет | 50±2,6 | 109 | 27±2,2 | 90 | 2,53 | 0,22 | 0,77 | 1,31 | 0,16 | 0,0112 | 0,79 | 0,31 | 0,11 |
| 4 | 7 г CaO | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Влажность почвы 40% | 7,2 | 7,6 | 1,8 | Нет | 39±1,0 | 100 | 23±1,0 | 100 | 1,63 | 0,11 | 0,58 | 0,63 | 0,13 | 0,0087 | 1,55 | 0,16 | 0,23 |
| 6 | Контроль | 5,0 | 6,7 | 47,4 | " | 41±1,2 | 105 | 20±1,4 | 87 | 1,65 | 0,12 | 0,74 | 0,49 | 0,15 | 0,0054 | 1,15 | 0,20 | 0,11 |
| 7 | 8 мл H ₂ SO ₄ | 4,0 | 6,3 | 54,3 | " | 44±0,9 | 113 | 20±0,9 | 87 | 1,57 | 0,09 | 0,81 | 0,48 | 0,10 | 0,0098 | 1,02 | 0,16 | 0,12 |
| 8 | 15 мл H ₂ SO ₄ | 9,0 | 8,1 | 2,3 | 0,17 | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 7 г CaO | | | | | | | | | | | | | | | | | |

¹ Дозы рассчитаны на 1 кг воздушно-сухой почвы; количества H₂SO₄ выражены в миллилитрах концентрированной кислоты (уд. вес 1,84).

* Различия достоверно по критерию t при 5%-ном уровне значимости.

Большинство растений погибло

зику» до рН 5 вес надземных частей растений при оптимальном водоснабжении увеличился на 20 и вес корней на 13%. При недостаточном увлажнении кислование указанной почвы не давало почти никакого эффекта.

На обеих подопытных почвах при 70% влажности кислование способствовало образованию хлорофилла в хвое (рис. 2). В действии СаО на образование хлорофилла выявилась существенная зависимость от степени увлажнения почвы. При влажности 70% в результате внесения извести содержание хлорофилла в хвое снизилось, особенно на почве «Варди I», где у сеянцев появился сильный хлороз. При влажности почвы 40% содержание хлорофилла в хвое под влиянием СаО на почве «Варди I» несколько уменьшилось, а на «Куузику» отмечалось даже резкое повышение его содержания по сравнению с другими вариантами опыта.

Данные химического анализа хвои и корней сеянцев контроля показали, что в сдвигах процентного содержания элементов, происходящих при изменении влажности почвы, нет общих закономерностей. На почве «Варди I» привлекает внимание лишь повышенное накопление фосфора в хвое при пониженной влажности. У сеянцев, выращенных на почве «Куузику», в условиях недостаточного водоснабжения содержание азота в хвое повышалось. Концентрации же калия, кальция и магния в растениях при этом уменьшались. Особенно резко понизилось содержание двух последних элементов в корнях.

Внесение серной кислоты явно положительно влияло на накопление в сеянцах азота и калия при обеих испытанных почвах и степенях увлажнения. В то же время повышение концентраций фосфора и магния в хвое в окислованных вариантах отмечалось только при оптимальной влажности. Содержание кальция в сеянцах в результате кислования уменьшалось как на влажной, так и на сухой почве. Хотя общая тенденция изменений, происходящих в химическом составе сеянцев в результате подкисления реакции почвы, в большинстве случаев оказалась одинаковой при обоих испытанных режимах влажности, сеянцы, выращенные при низкой влажности почвы, как правило, содержали меньше азота и зольных элементов, чем при оптимальной влажности.

Действие СаО на питание сеянцев при обеих степенях увлажнения можно проследить только на почве «Варди I», так как на «Куузику» большинство сеянцев в этом варианте при влажности 40% погибли. Данные свидетельствуют о том, что действие СаО на усвоение сеянцами питательных элементов оказалось одинаковым при обоих испытанных уровнях влажности почвы. Добавление СаО обусловило повышенное накопление в хвое самого кальция, а также калия. Привлекает внимание, что в этих вариантах содержание кальция в корнях уменьшилось (по сравнению с контролем). Снизилась в корнях и концентрация железа.

На почве «Варди I» в этом опыте проявилась тесная коррелятивная связь между весом надземных частей сеянцев и содержанием в хвое азота ($r=0,81$) и калия ($r=0,99$). На почве «Куузику» такую коррелятивную связь с весом надземных частей имело только содержание в хвое калия ($r=0,89$).

Опыт 3. Основной целью опыта было изучение эффективности фосфорного удобрения на альварных почвах. Основанием для постановки такой задачи послужили многочисленные данные литературы о трудной доступности растениям фосфора на нейтральных или слабощелочных известковых почвах и о быстром превращении внесенного в почву фосфора в труднорастворимые кальциевые соли.

Влияние внесения фосфора и изменения реакции почвы на рост и химический состав семян сосны (опыт 3) Таблица 4

| № варианта | Вариант ¹ | рН _{H2O} почвы | | Содержание на 100 г почвы | | Сухой вес одного растения | | | Содержание питательных элементов, % от абсолютно-сухого вещества | | | | | | | | | |
|-------------------------|--|-----------------------------|---------------|---------------------------|---|---------------------------|---------------|--------|--|---------------------------------------|------|------|------|------|----------|------|------|------|
| | | в начале опыта ² | в конце опыта | водораств. Ca, мг-экв | A-L-рас-творимо-го P ₂ O ₅ , мг | надземная часть | | корни | | в хвое | | | | | в корнях | | | |
| | | | | | | мг | % к конт-ролю | мг | % к конт-ролю | N | P | K | Ca | Mg | Fe | Ca | Mg | Fe |
| Почва «Варди I» | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Контроль | 7,4 | 7,8 | 2,5 | Нет | 38±2,1 | 100 | 24±1,1 | 100 | 1,91 | 0,09 | 0,82 | 0,91 | 0,12 | 0,0129 | 1,08 | 0,16 | 0,09 |
| 2 | 270 мг NaH ₂ PO ₄ (P ₁) | 7,4 | 7,8 | 2,1 | 0,60 | 37±1,5 | 97 | 26±1,1 | 108 | 2,53 | 0,33 | 0,97 | 0,61 | 0,27 | 0,0122 | 0,37 | 0,41 | 0,12 |
| 3 | 540 мг NaH ₂ PO ₄ (P ₂) | 7,4 | 7,8 | 2,1 | 2,24 | 36±1,0 | 95 | 23±1,4 | 96 | 2,46 | 0,31 | 1,14 | 0,59 | 0,24 | 0,0143 | 0,43 | 0,40 | 0,12 |
| 4 | 810 мг NaH ₂ PO ₄ (P ₃) | 7,4 | 7,8 | 2,4 | 4,78 | 39±0,6 | 103 | 27±1,3 | 112 | 2,41 | 0,34 | 1,12 | 0,54 | 0,30 | 0,0132 | 0,34 | 0,44 | 0,12 |
| 5 | 30 мл H ₂ SO ₄ | 5,0 | 6,2 | 80,1 | 1,14 | 73±2,8 | 192* | 34±1,1 | 142* | 2,39 | 0,22 | 1,17 | 0,64 | 0,11 | 0,0155 | 0,65 | 0,16 | 0,12 |
| 6 | 270 мг NaH ₂ PO ₄ (P ₁) + 30 мл H ₂ SO ₄ | 5,0 | 6,2 | 79,2 | 1,93 | 92±4,9 | 242* | 39±1,3 | 162* | 2,28 | 0,27 | 1,14 | 0,47 | 0,18 | 0,0113 | 0,34 | 0,25 | 0,12 |
| 7 | 540 мг NaH ₂ PO ₄ (P ₂) + 30 мл H ₂ SO ₄ | 5,0 | 6,2 | 82,1 | 3,70 | 99±4,7 | 261* | 42±2,2 | 175* | 2,26 | 0,28 | 1,19 | 0,53 | 0,17 | 0,0136 | 0,38 | 0,23 | 0,11 |
| 8 | 810 мг NaH ₂ PO ₄ (P ₃) + 30 мл H ₂ SO ₄ | 5,0 | 6,3 | 72,4 | 5,18 | 120±4,5 | 316* | 49±2,2 | 204* | 2,36 | 0,30 | 1,15 | 0,56 | 0,15 | 0,0140 | 0,38 | 0,22 | 0,12 |
| Почва «Куузику» | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Контроль | 7,2 | 7,6 | 1,9 | Нет | 51±1,7 | 100 | 30±0,6 | 100 | 2,09 | 0,07 | 0,52 | 0,83 | 0,10 | 0,0107 | 1,55 | 0,23 | 0,19 |
| 2 | 270 мг NaH ₂ PO ₄ (P ₁) | 7,2 | 7,7 | 2,2 | 0,05 | 63±3,8 | 124 | 39±2,3 | 130* | 1,96 | 0,32 | 0,99 | 0,66 | 0,20 | 0,0125 | 0,64 | 0,41 | 0,22 |
| 3 | 540 мг NaH ₂ PO ₄ (P ₂) | 7,2 | 7,7 | 1,8 | 2,11 | 63±1,4 | 124* | 40±1,9 | 133* | 2,40 | 0,36 | 0,99 | 0,53 | 0,25 | 0,0119 | 0,48 | 0,41 | 0,19 |
| 4 | 810 мг NaH ₂ PO ₄ (P ₃) | 7,2 | 7,7 | 1,9 | 4,43 | 67±0,7 | 131* | 43±1,4 | 143* | 2,35 | 0,35 | 0,98 | 0,60 | 0,17 | 0,0093 | 0,47 | 0,42 | 0,21 |
| 5 | 8 мл H ₂ SO ₄ | 5,0 | 6,5 | 58,6 | Нет | 71±2,9 | 139* | 47±1,7 | 157* | 2,17 | 0,19 | 1,06 | 0,60 | 0,15 | 0,0087 | 0,76 | 0,23 | 0,16 |
| 6 | 270 мг NaH ₂ PO ₄ (P ₁) + 8 мл H ₂ SO ₄ | 5,0 | 6,5 | 59,0 | 0,70 | 112±4,0 | 220* | 53±1,2 | 177* | 2,33 | 0,29 | 1,10 | 0,58 | 0,18 | 0,0121 | 0,47 | 0,25 | 0,13 |
| 7 | 540 мг NaH ₂ PO ₄ (P ₂) + 8 мл H ₂ SO ₄ | 5,0 | 6,5 | 58,1 | 1,97 | 116±2,1 | 227* | 56±2,3 | 187* | 2,22 | 0,30 | 1,14 | 0,57 | 0,19 | 0,0133 | 0,44 | 0,29 | 0,14 |
| 8 | 810 мг NaH ₂ PO ₄ (P ₃) + 8 мл H ₂ SO ₄ | 5,0 | 6,4 | 61,0 | 4,96 | 120±3,5 | 235* | 59±1,5 | 197* | 2,34 | 0,31 | 1,08 | 0,53 | 0,18 | 0,0169 | 0,45 | 0,29 | 0,12 |
| Почва «Варди II» | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Контроль | 7,4 | 7,7 | 1,0 | Нет | 56±1,0 | 100 | 30±0,6 | 100 | 1,92 | 0,12 | 1,05 | 0,53 | 0,16 | 0,0128 | 1,08 | 0,26 | 0,18 |
| 2 | 12 мл H ₂ SO ₄ | 5,0 | 6,9 | 24,1 | " | 71±2,7 | 127* | 40±1,8 | 133* | 2,04 | 0,20 | 0,99 | 0,42 | 0,40 | 0,0092 | 0,74 | 0,34 | 0,14 |
| 3 | 19 мл H ₂ SO ₄ | 4,0 | 5,9 | 39,3 | 0,24 | 36±1,1 | 64* | 16±0,3 | 53* | 1,97 | 0,08 | 1,15 | 0,25 | 0,47 | 0,0092 | 0,55 | 0,56 | 0,16 |
| 4 | 4 г CaO | 9,0 | 8,2 | 1,7 | Нет | 65±3,2 | 116 | 37±3,2 | 123 | 1,82 | 0,16 | 0,98 | 0,87 | 0,24 | 0,0113 | 1,16 | 0,27 | 0,11 |
| 5 | 540 мг NaH ₂ PO ₄ (P ₂) | 7,4 | 7,7 | 1,1 | 3,23 | 59±2,1 | 105 | 33±1,8 | 110 | 1,80 | 0,34 | 0,85 | 0,42 | 0,25 | 0,0120 | 0,59 | 0,39 | 0,23 |
| 6 | 540 мг NaH ₂ PO ₄ (P ₂) + 12 мл H ₂ SO ₄ | 5,0 | 6,9 | 22,3 | 3,97 | 102±3,2 | 182* | 40±4,7 | 133 | 2,15 | 0,26 | 0,94 | 0,40 | 0,40 | 0,0104 | 0,46 | 0,31 | 0,16 |
| Почва «Абру» | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Контроль | 7,6 | 7,8 | 1,0 | Нет | 58±0,9 | 100 | 25±1,5 | 100 | 2,03 | 0,07 | 0,82 | 0,50 | 0,25 | 0,0120 | 1,60 | 0,38 | 0,35 |
| 2 | 35 мл H ₂ SO ₄ | 6,0 | 7,3 | 59,0 | " | " | " | " | " | Всходы погибли после появления | | | | | | | | |
| 3 | 21 г S | (6,0) | 7,0 | 47,9 | " | 25±0,5 | 43* | 9±0,3 | 36* | 0,95 | 0,16 | 0,59 | 0,20 | 0,41 | 0,0109 | 0,49 | 0,75 | 0,31 |
| 4 | 78 г S | (3,0) не опр. | " | 66,3 | " | " | " | " | " | Растения погибли в течение 3-4 недель | | | | | | | | |
| 5 | 3,5 г CaO | 9,0 | 8,2 | 1,4 | " | 60±1,8 | 103 | 32±1,9 | 128 | 1,78 | 0,11 | 1,09 | 0,80 | 0,34 | 0,0163 | 1,16 | 0,27 | 0,19 |

¹ Дозы рассчитаны на 1 кг воздушно-сухой почвы; количества H₂SO₄ выражены в миллилитрах концентрированной кислоты (уд. вес 1,84).

² Цифры в скобках обозначают значения рН при использовании эквивалентных количеств H₂SO₄.

* Различия достоверно по критерию t при 5% уровне значимости.

Основные серии опыта проводились на почвах «Варди I» и «Куузику», параллельно с неокислованной и окислованной почвами. Фосфорное удобрение в виде легкорастворимой соли натрия (NaH_2PO_4) вносилось в почву в трех возрастающих дозах при набивке сосудов. Для кислотова почвы использовалась серная кислота.

Кроме того, в опыт включили альварные почвы «Варди II» и «Абру», химическая характеристика которых по некоторым показателям (содержание гумуса, соотношение между содержаниями кальция и магния) отличалась от почв «Варди I» и «Куузику» (табл. 1). На почве «Варди II» изучались как влияние кислотова, так и эффективность фосфора на рост и питание сеянцев. На почве «Абру», которая отличалась наиболее высокой карбонатностью и большим содержанием магния, изучалось только действие кислотова. Так как указанная почва обладала крайне сильной буферной способностью (для кислотова 1 кг ее до pH 6 потребовалось 1250 мг-экв и до pH 5 — 4630 мг-экв SO_4^- во то время, как для кислотова «Варди I» и «Куузику» до pH 5 — соответственно 1080 и 288 мг-экв SO_4^-), кислотова серной кислотой проводилось только до pH 6. Во избежание сильного разрушения структуры почвы, что имеет место при использовании больших количеств кислоты, для кислотова почвы до pH 5 применялась элементарная сера.

В схему опытов с почвами «Варди II» и «Абру» были включены и варианты с внесением CaO.

Опыт проводился в вегетационном домике с 12/VI до 27/X 1964 г. Растения выращивались в 5-литровых сосудах. Результаты опыта приведены в табл. 4 и на рис. 3.

В этом опыте особый интерес представляют доступность внесенного фосфора растениям и интенсивность его превращения в труднорастворимые формы в различных вариантах. Приведенные в табл. 4 данные о содержании А-Л-растворимого фосфора показывают, что подвижность внесенного

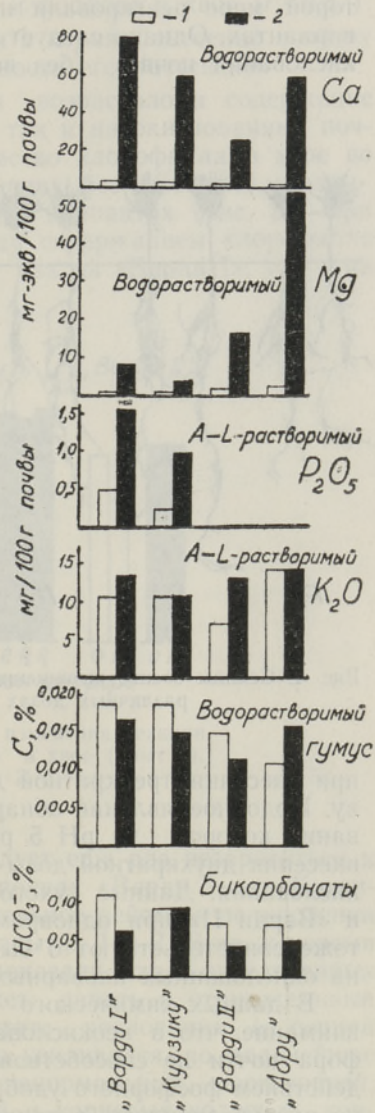


Рис. 3. Влияние кислотова почв на растворимость питательных веществ и содержание бикарбонатов (опыт 3): 1 — неокислованная; 2 — окислованная серной кислотой до pH 5 (почва «Абру» — до pH 6).

фосфора при кислотова почвы увеличивается. Положительное влияние кислотова особенно ярко проявляется при малых дозах фосфора (P₁). При более высоких дозах (P₂ и P₃) разница в содержании подвижного фосфора между окислованными и неокислованными вариантами уменьшается.

Действие фосфорного удобрения на интенсивность роста сеянцев сосны существенно усиливается при подкислении реакции альварных почв (рис. 4). На почве «Варди I» в неокислованных вариантах при добавлении фосфора повышенного накопления сухой массы сеянцами не наблюдалось. Зато в окислованных вариантах при наивысшей дозе фосфора (P_3) вес их надземных частей увеличился более чем в три раза, а вес корней — около двух раз по сравнению с контролем. На почве «Куузику», которая обладала более низким содержанием как валового, так и подвижного фосфора (по сравнению с «Варди I»), сеянцы в некоторой мере реагировали на добавление фосфора и в неокислованных вариантах. Однако следует отметить, что рост сеянцев при одном только окисловании почвы (без внесения фосфора) усиливался больше, чем



Рис. 4. Сеянцы сосны, выращенные на неокислованной и окислованной почвах при различных дозах фосфора (опыт 3, почва «Варди I»).

при внесении трехкратной дозы удобрения (P_3) в неокислованную почву. Подобное явление обнаружилось и на почве «Варди II», при окисловании которой до pH 5 рост сеянцев усиливался больше, чем после внесения двухкратной дозы фосфорного удобрения без предварительного окислования. Данные сухой веса растений, выращенных на «Куузику» и «Варди II» при одновременном внесении фосфора и серной кислоты, тоже свидетельствуют о высокой эффективности фосфорного удобрения на окислованных альварных почвах.

В данных химического анализа сеянцев прежде всего привлекает внимание, что в неокислованных вариантах, где внесение в почву фосфора почти не способствовало накоплению сухой массы сеянцев, под действием фосфорного удобрения содержание фосфора в хвое в несколько раз увеличилось, а также повысилось процентное содержание азота, калия и магния. Концентрация фосфора в хвое под действием фосфорного удобрения значительно повышалась и на окислованных почвах, но в меньшей степени.

Интересно отметить, что концентрация кальция в хвое и корнях сеянцев, особенно в неокислованных вариантах, уменьшалась при добавлении в почву фосфора. Как на «Варди I», так и на «Куузику», наблюда-

лась тесная обратная корреляция между содержаниями кальция и фосфора в хвое (на «Варди I» $r=-0,84$, на «Куузику» $r=-0,81$). Можно предполагать, что это явление обусловлено, с одной стороны, антагонистическим действием ионов натрия (внесены в почву вместе с фосфором), с другой стороны, уменьшением растворимости кальция в почве после внесения фосфора (фосфаты кальция менее растворимы, чем бикарбонаты).

Содержание магния в хвое и корнях, наоборот, после добавления в почву фосфора повышалось. При этом на почве «Куузику» проявилась тесная связь между концентрациями магния и фосфора в хвое ($r=0,87$).

Судя по концентрациям железа в хвое и в корнях, внесение в почву фосфорного удобрения не ухудшало доступность его растениям.

После внесения фосфорного удобрения возрастало и содержание хлорофилла в хвое как на неокислованных, так и на окислованных почвах. Однако на окислованной почве количество хлорофилла в хвое во всех вариантах (включая окислованную почву без фосфора) превышало его в соответствующих неокислованных вариантах (рис. 5). При этом наблюдалась тесная корреляция между содержанием хлорофилла в хвое и весом надземных частей сеянцев как на «Варди I», так и на «Куузику» ($r=0,97$ и $0,94$).

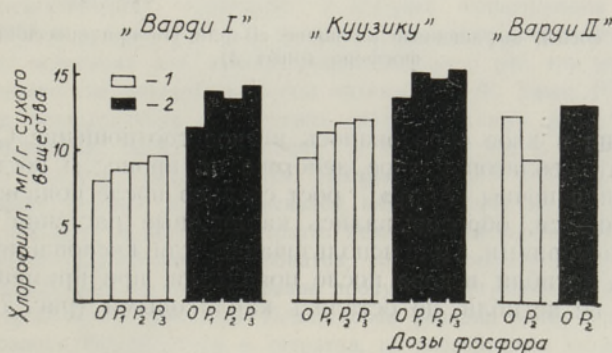


Рис. 5. Влияние внесения фосфора и изменения реакции почвы на содержание хлорофилла в хвое (опыт 3). Обозначения см. рис. 3.

При анализе результатов опыта 3 следует еще раз возвратиться к вопросам кислотности альварных почв. На почвах «Варди I» и «Куузику» и в этом опыте подтвердилось положительное действие подкисления реакции на питание сосны, отмеченное в опытах 1 и 2. В то же время варианты с почвами «Варди II» и «Абру» показали, что в определенных условиях кислотание альварных почв может давать и отрицательные результаты. На почве «Варди II» в результате кислотания ее серной кислотой до pH 5 рост сеянцев существенно усиливался, но дальнейшее повышение дозы кислоты вызывало уже ненормальный рост корней, задерживалось образование боковых корней и корневых волосков, корни приобретали утолщенную форму (рис. 6).

По химическому составу хвои можно заключить, что после кислотания почвы «Варди II» до pH 5 улучшалась обеспеченность сеянцев фосфором и магнием, но при кислотании до pH 4 резко тормозилось поглощение растениями фосфора и кальция. Хотя концентрация кальция в хвое оказалась не особенно низкой, при относительно высокой концен-

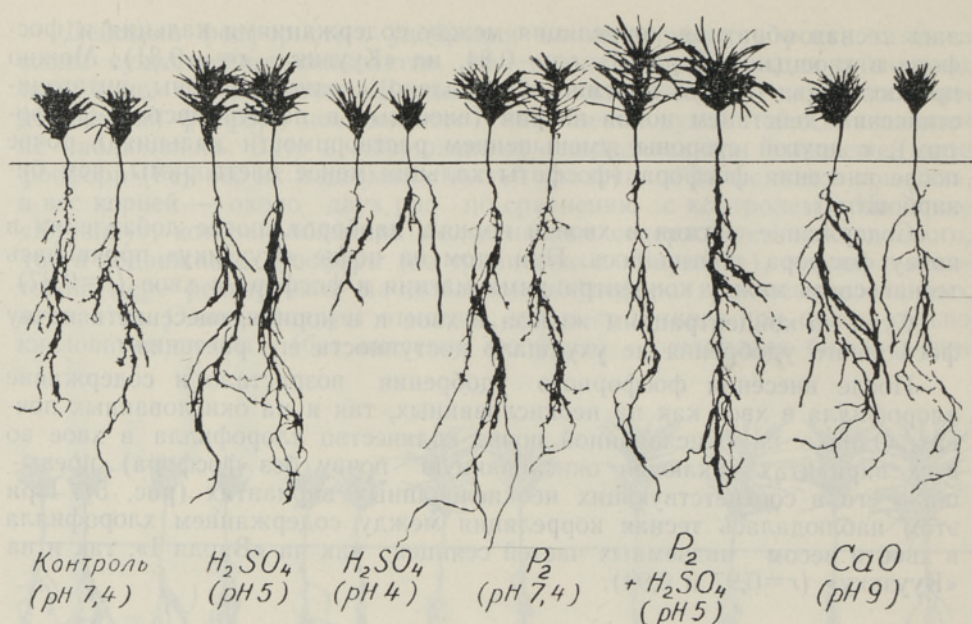


Рис. 6. Сеянцы сосны, выращенные на почве «Варди II» при внесении H₂SO₄, CaO и фосфора (опыт 3).

трации магния в хвое образовалось низкое соотношение Ca:Mg, что и могло оказать неблагоприятное действие на процессы роста. В результате кислотания почвы «Абру» рост сеянцев после появления всходов приостанавливался, образовывались карликовые растения с короткими утолщенными корнями. При использовании для кислотания серной кислоты всходы погибли вскоре после появления, при применении элементарной серы не погибли, но остались карликовыми (рис. 7). Последние

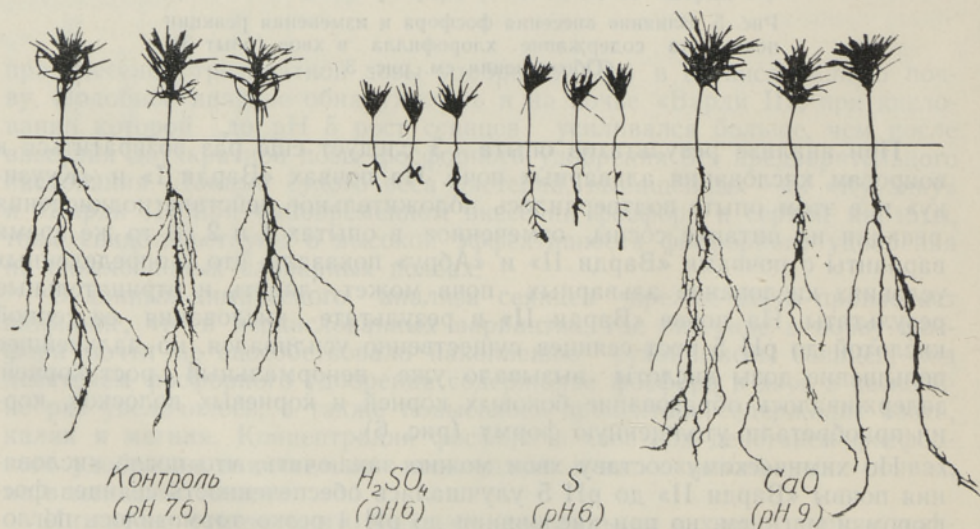


Рис. 7. Сеянцы сосны, выращенные на почве «Абру» при внесении H₂SO₄, S и CaO (опыт 3).

на окислованной почве «Абру» отличались низким содержанием азота, калия и кальция в хвое. Как в хвое, так и в корнях обнаружилось низкое соотношение $Ca : Mg$.

Добавление к почвам «Варди II» и «Абру» CaO оказало положительное действие на рост сеянцев по сравнению с контролем, хотя и вызвало хлороз хвон (рис. 8).

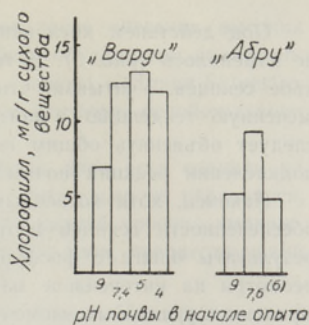


Рис. 8. Влияние изменения реакции почвы на содержание хлорофилла в хвое (опыт 3).

Обсуждение

Обеспеченность азотом и калием сеянцев сосны на альварных почвах. Высокое содержание гумуса и его растворимых форм в подопытных почвах (табл. 1) позволяет предположить, что азот не является элементом, лимитирующим рост на альварных почвах. Это подтверждается и данными химического анализа сеянцев из контрольных (неокислованных) вариантов, в которых концентрация азота в хвое (Böszörményi, 1958 и др.) находится в пределах достаточной обеспеченности. Однако это еще не дает основания для окончательного вывода о том, что условия азотного питания на естественных альварных почвах оптимальны. Ф. Эверс (Evers, 1963), например, в своих исследованиях об азотном питании лесных древесных пород и о причинах возникновения хлороза приходит к выводу, что в карбонатных почвах режим азотного питания неблагоприятен. Нейтральная или слабощелочная реакция этих почв создают условия для интенсивной нитрификации, в результате образующийся аммиак быстро окисляется в нитраты. Резкое преобладание нитратов в почве вместе с высоким содержанием бикарбонатов, по предположению Ф. Эверса, может вызвать в растениях чрезмерное повышение продукции органических кислот и в связи с этим расстройство метаболизма. Подкисление реакции почвы уменьшает интенсивность образования бикарбонатов и нитратов, но способствует аммонифицирующим процессам и тем самым — нормализации обеспечения растений аммиачным азотом.

У нас нет данных об изменениях, происходящих в соотношениях между отдельными формами азота в альварных почвах при подкислении их реакции. Однако кислование почвы в большинстве случаев вызывало повышение концентрации азота в хвое. Остается невыясненным, связано это явление с улучшением режима азотного питания или является результатом общего повышения интенсивности метаболизма растений при подкислении реакции среды. Содержание воднорастворимого гумуса (рис. 3), которое под действием кислования практически не изменялось, также не дает ответа на вопрос.

Необходимо отметить, что внесение в почву подкисляющих веществ в отдельных случаях может привести к ухудшению условий азотного питания; например, при использовании высоких доз элементарной серы, интенсивное микробиологическое окисление которой (сульфотификация) может подавлять процессы минерализации азота (Прянишников, 1940; Simon-Sylvestre, Boischo, 1962). Есть основание предполагать, что в наших опытах подобное явление имело место при внесении элементарной серы в почву «Абру» (опыт 3), где концентрация азота в хвое снизилась до явного дефицита.

Содержание подвижного (A-L-растворимого) калия в альварных почвах (табл. 1), по предельным числам Ф. Гофмана (Hoffmann, 1963), следует считать достаточным для удовлетворительного роста сеянцев сосны. Это подтверждается и относительно высокой концентрацией калия в хвое сеянцев из контрольных вариантов наших опытов.

Под действием кислотания содержание подвижного калия в почвах существенно не изменялось (рис. 3). В то же время обнаружилось его повышенное накопление в хвое сеянцев. Учитывая, что доступность калия мало зависит от реакции почвы, отмеченную тенденцию в поглощении калия (подобно повышенному усвоению азота) следует объяснить общим повышением метаболической активности в растениях при подкислении реакции почвы.

Наконец, хотя косвенным, но весьма убедительным доказательством достаточной обеспеченности сеянцев азотом и калием на альварных почвах следует считать результаты опыта с фосфорным удобрением (опыт 3, окислованные варианты), где несмотря на интенсивное накопление сухой массы не обнаружилось признаков превращения указанных элементов в лимитирующие рост факторы.

Фосфорное питание сеянцев сосны на альварных почвах. По ничтожно малому содержанию подвижного фосфора в почве (табл. 1), по низкой концентрации его в хвое сеянцев из контрольных вариантов* (табл. 2, 3, 4) и по сильной реакции сеянцев на внесение в почву фосфорного удобрения можно заключить, что фосфор на альварных почвах — лимитирующий рост элемент.

По данным литературы (Clark, Peech, 1955 и др.), малая подвижность фосфора в известковых почвах связана с образованием труднорастворимых кальциевых солей фосфорной кислоты, главным образом в виде гидроксиллапатита. Кроме того, фосфат-ионы могут быть зафиксированы на поверхности частиц углекислого кальция путем адсорбции, в результате чего доступность фосфора растениям также уменьшается (Olsen, 1953).

При кислотании альварных почв серной кислотой количество подвижного фосфора в почве увеличивается, хотя абсолютные показатели остаются низкими (табл. 2, 3, 4, рис. 3). По предположению Э. Уиллиамса (Williams, 1951), растворимость фосфора после кислотания увеличивается в результате инактивизации органических и неорганических комплексообразователей в почве, а также в результате гидролиза фосфорорганических соединений. С другой стороны, повышение концентрации ионов кальция при кислотании известковых почв может ограничивать растворимость фосфора (McGeorge, Breazeale, 1931; Tobia, Pollard, 1959). Это явление объясняется законом действующих масс в химических реакциях, по которому и растворимость фосфатов кальция уменьшается при повышении концентрации ионов кальция в растворе. Исследования К. Коула и С. Олсена (Cole, Olsen, 1959) показали, что в уравновешенном почвенном растворе концентрация фосфора находится в обратной зависимости от концентрации кальция. Этим и объясняется относительно ограниченная растворимость фосфора в окислованных известковых почвах, несмотря на то, что при кислой реакции фосфорная кислота диссоциирует в виде более подвижного одновалентного аниона.

В последнее время многие авторы (Scharpenseel, 1965; Hannapel и др., 1964; Hannapel и др., 1964) все больше подчеркивают положительную роль органического вещества в фосфорном питании растений на известковых почвах, так как фосфор, связанный в комплекс органическими соединениями, не фиксируется в почве ионами кальция. Кроме того, при кислой реакции почвы органическое вещество препятствует образованию труднорастворимых фосфатов железа и алюминия (Dalton и др., 1952), а при щелочной реакции — высаждению его из раствора в виде кальциевых солей (Scharpenseel, 1965). На альварных почвах более чем 50% валового содержания фосфора находится в органической форме (табл. 1), поэтому можно предполагать, что сосна на естественных альварных почвах в значительной мере питается за счет органического фосфора. Это предположение подтверждается и тем фактом, что усвоение фосфора растениями даже после внесения в почву окиси кальция по сравнению с контролем не тормозилось (табл. 3, 4).

* Высокие показатели содержания фосфора в хвое в опыте I связаны с низкой интенсивностью накопления органической массы в условиях вегетационной камеры, в результате чего получились повышенные процентуальные содержания зольных элементов.

Уменьшение количества подвижного фосфора в почве после внесения высоких доз элементарной серы (опыт 1, почва «Варди I») могло быть обусловлено подавляющим действием ее на микробиологическую деятельность почвы (Simon-Sylvestre, Boisot, 1962). В связи с этим уменьшалось и количество фосфора, освобождавшегося в результате микробиологической деятельности.

Несмотря на резкое повышение концентрации фосфора в хвое рост сеянцев на неокислованной альварной почве при добавлении фосфора значительно не усиливался, как на окислованной почве. Этот факт указывает на то, что низкий уровень подвижного фосфора — не единственный фактор в химизме альварных почв, препятствующий нормальному питанию сеянцев сосны.

Роль кальция и магния в питании сеянцев на альварных почвах. Непосредственное залегание основного корнеобитаемого слоя (A_1 -горизонта) альварных почв на известковой материнской породе обуславливает высокую насыщенность его обменно-поглощающего комплекса ионами кальция и магния (по данным А. Лиллема (1962), насыщенность альварных почв основаниями обычно равна 90—100%) и наличие в почве свободных карбонатов обоих элементов. В условиях лесных почв к карбонатам кальция и магния добавляются их серноокислые соли, так как при разложении лесной подстилки освобождаются заметные количества серной кислоты (Stremme, 1950).

Однако при оценке условий кальциевого и магниевое питания растений в данном случае нельзя ограничиваться только вышеприведенной общей информацией и определенными нами показателями валовых и водорастворимых кальция и магния в почве, а следует учитывать и состав почвенного раствора. Как показано в ряде теоретических обсуждений (Bradfield, 1942; Olsen, Watanabe, 1959), уровень кальция и магния в жидкой фазе известковых почв определяется системой $CaCO_3-MgCO_3-H_2O-CO_2$. Хотя растворимость карбонатов кальция и магния в чистой воде очень низка, соответственно 0,3 и 2,6 мг-экв/л (по Rauscher и др., 1962), в почвенном растворе, всегда содержащем уголекислоты, их концентрация может значительно повышаться — в результате образования бикарбонатов. При умеренном содержании CO_2 в почвенной атмосфере (0,3—1%) растворимость $CaCO_3$ достигает 4 мг-экв/л, а в случае насыщения почвенного раствора уголекислым газом — 20 мг-экв/л (Jenny, 1942; Patscheke, 1951). Растворимость карбоната магния в тех же условиях выше растворимости карбоната кальция в 15—25 раз (Bradfield, 1942). Имеются также ссылки (Cole, 1957; Olsen, Watanabe, 1959) на то, что растворимость $CaCO_3$ в почве в результате проникновения сульфат-ионов в кристаллическую решетку кальцита значительно превышает его растворимость в чистой системе $CaCO_3-H_2O-CO_2$. На основании изложенного можно сделать заключение: корни растений на альварных почвах находятся в контакте с почвенным раствором, богатым ионами кальция и магния.

Что касается кальция, то сделанный нами вывод о количестве его в почвенном растворе подтверждается химическим составом растений — сеянцы на подопытных альварных почвах, особенно на почвах «Варди I» и «Куузику», в которых соотношение Ca : Mg оказалось выше, отличались высоким содержанием кальция как в хвое, так и в корнях.

Этот факт отмечен и в литературе (Süchting, 1939; Duchaufour, 1960). Ф. Дюшофур считает это одной из основных причин, тормозящих рост сосны и вызывающих хлороз хвои. Однако, судя по результатам наших опытов, интенсивное накопление сеянцами кальция, хотя, несомненно, имеет влияние на коллоидно-химические свойства плазмы, но не является единственной и главной причиной слабого роста сеянцев сосны на альварных почвах. Только в опыте 1 (в вегетационной камере), где содержание кальция в хвое оказалось особенно высоким (табл. 2), появилась статистически достоверная обратная корреляция между сухим весом надземной части сеянцев и содержанием кальция в хвое (на «Варди I» $r = -0,94$, на «Куузику» $r = -0,74$). Такая связь не обнаружена в опытах 2 и 3. В опыте 3, например, где при внесении фосфора усвоение кальция сеянцами на неокислованной почве существенно понизилось и концентрации калия и магния в хвое повысились, рост сеянцев не улучшился.

Предположение Ф. Дюшофура о том, что сеянцы сосны на рендзинных почвах

страдают от недостатка магния, в наших опытах не подтвердилось. Судя по химическому составу хвои на основе соответствующих стандартов, выработанных Т. Ингестадом (Ingestad, 1962), обеспеченность семян магнием на подопытных альварных почвах вполне достаточна. Это можно объяснить классическими исследованиями К. Гедройца (1955), доказавшими, что магниевое голодание растений при избытке CaCO_3 может возникнуть только в почвах, обменно-поглощающий комплекс которых полностью лишен магния (насыщен водородными ионами). Поэтому нельзя отождествлять губительное действие переизвесткования кислых почв с условиями произрастания на высококарбонатных альварных почвах, исходная порода которых — доломитизированный известняк. По опубликованным данным (Sepp, 1957), под альварными лесами Эстонии содержание MgCO_3 в верхнем слое материнской породы может варьировать в пределах 1—48%. Естественно, это отражается, хотя в более нивелированном виде, на химическом составе надлежашего A_1 -горизонта.

Возникает вопрос — в какой мере варьирование содержания CaCO_3 и MgCO_3 в перегнойном горизонте альварных почв влияет на питание сосны. При оценке условий питания на известковых почвах нельзя придавать особого значения общему содержанию карбонатов, концентрация которых в почвенном растворе не зависит от их количества в почве. В литературе (Гедройц, 1955; Bradfield, 1942; Olsen, Watabe, 1959) более существенное значение приписывается соотношению между CaCO_3 и MgCO_3 в сумме карбонатов. Отмечается более отрицательное действие MgCO_3 (по сравнению с CaCO_3) из-за его более высокой растворимости. Большая активность MgCO_3 выявилась и в наших опытах. В то время, когда мы не нашли прямой связи между валовым содержанием кальция в почве и концентрацией его в растениях, увеличение доли магния в сумме карбонатов отражалось в повышенном содержании магния в хвое. При этом следует подчеркнуть, что варьирование соотношений между кальцием и магнием в почве, а также различия в общей карбонатности не влияли на рост семян сосны (см. характеристику подопытных почв в табл. 1 и данные контрольных вариантов в табл. 4). На основе сказанного выше можно делать вывод, что при сравнительной оценке условий питания на различных альварных почвах нельзя переоценивать значение указанных показателей.

Действие внесенного в испытанные альварные почвы CaO (в дозах 0,35—0,70% от абсолютно сухого веса почвы) мы не можем считать результатом повышения валового содержания кальция в почве. Более интенсивное накопление Ca в хвое этих вариантов, по всей вероятности, обусловлено значительно большей активностью CaO по сравнению с CaCO_3 . Так как обработка данных не показала статистически достоверного отрицательного влияния усиленного накопления кальция в хвое на образование хлорофилла, мы склонны предполагать, что появившийся хлороз хвои в вариантах с внесением CaO не был результатом действия ионов кальция, а обусловлен подщелачиванием реакции почвы.

При окислении альварных почв серной кислотой эквивалентное количество карбоната кальция и магния превращается в сульфаты и питание растений кальцием и магнием определяется уже системой $\text{CaSO}_4\text{—MgSO}_4\text{—H}_2\text{O}$. Хотя и в окислованных почвах количество водорастворимого кальция (выражено в *мг-экв* на 100 г почвы) превышает количество водорастворимого магния (рис. 3), в почвенном растворе концентрация кальция лимитируется низкой растворимостью гипса (30 *мг-экв/л*) и в жидкой фазе окислованной почвы должны доминировать ионы магния как продукт легкорастворимого (5900 *мг-экв/л*) сульфата магния. Вследствие этого изменяется соотношение между кальцием и магнием в почвенном растворе.

Разумеется, содержания водорастворимых Ca и Mg , определенные в вытяжке, где соотношение почва : вода = 1 : 50, не дают истинного представления о концентрациях этих элементов в почвенном растворе, в котором указанное соотношение в условиях наших опытов не превышало 1 : 1. Поэтому мы попытались путем экстраполяции данных содержаний водорастворимых Ca и Mg найти концентрации их в почвенном растворе при влажности почвы 70% от полной влагоемкости. Получены следующие результаты:

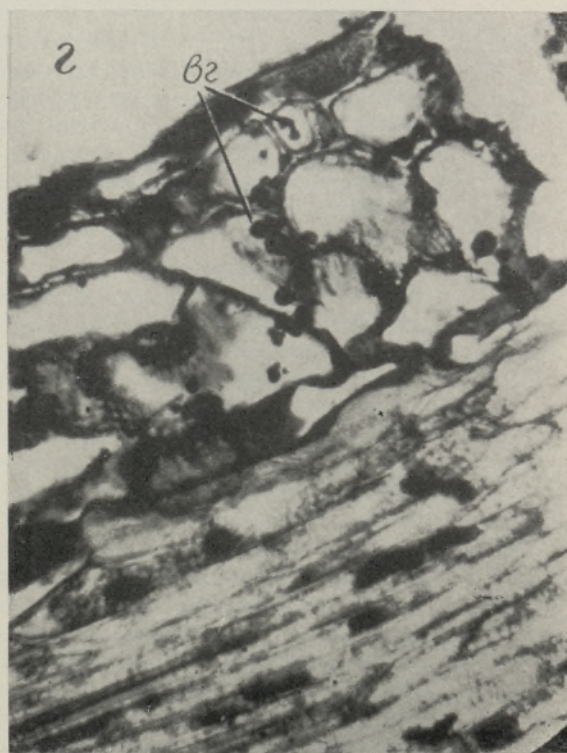
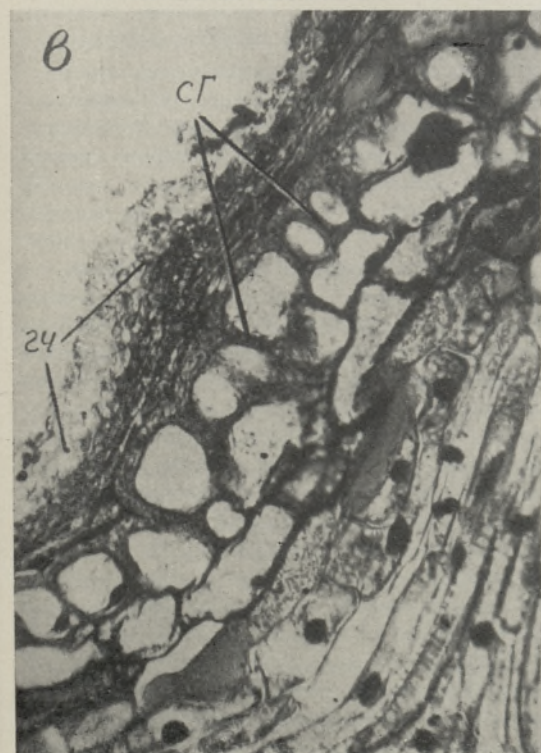
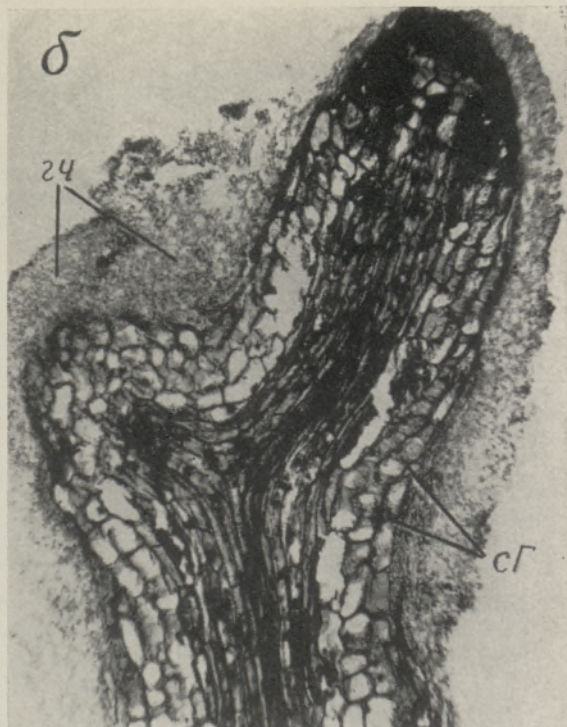
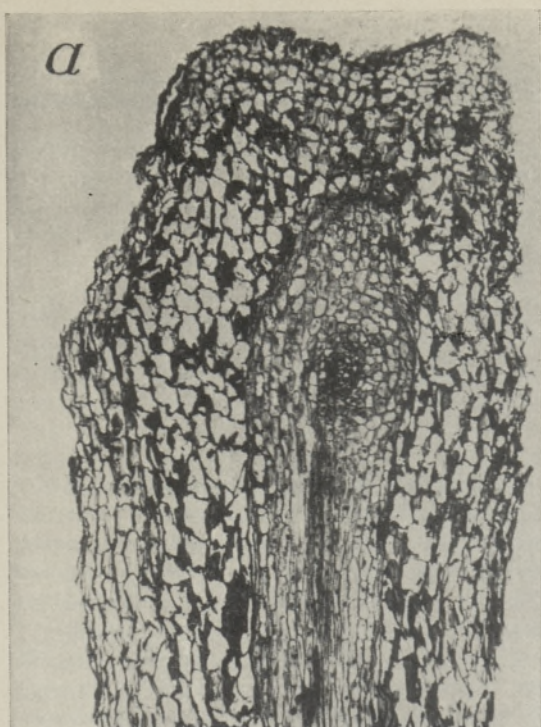


Рис. 9. Продольные срезы из корневых окончаний семян сосны (окрашены гематоксилином по Гейденгайну): *а* — корень с ненормально утолщенной корой (опыт 3, почва «Варди II», окислованная до pH 4; увел. 54 X); *б* — эктэндотрофная микорриза (опыт 1, почва «Куузику», контрольный вариант; увел. 90 X); *в* — эктэндотрофная микорриза (опыт 1, почва «Варди I», контрольный вариант; увел. 250 X); *г* — эндотрофная микорриза (опыт 1, почва «Варди I», окислованная до pH 4; увел. 400 X); Обозначения: *гч* — грибной чехол, *сГ* — сеть Гартига, *вг* — внутриклеточные гифы.

| Почва | Почва : вода (при 70% от пол- ной влагоемкости) | Концентрация в почвен- ном растворе (мг-экв/л) после кислнения почвы до pH 5 | |
|------------|---|---|------|
| | | Ca++ | Mg++ |
| «Варди I» | 1 : 0,94 | не больше 30 | 84 |
| «Куузику» | 1 : 0,67 | „ 30 | 51 |
| «Варди II» | 1 : 0,64 | „ 30 | 250 |
| «Абру» | 1 : 0,57 | „ 30 | 950 |

При вычислении возможной концентрации ионов кальция в почвенном растворе за основу принималась растворимость гипса в воде (30 мг-экв/л). По всей вероятности, в окислованных альварных почвах растворимость гипса и в связи с тем концентрация кальция в почвенном растворе лимитируется и высокой концентрацией сульфат-иона, как продукта диссоциации легкорастворимого сульфата магния.

Таким образом, хотя показатели водорастворимого кальция (в мг-экв на 100 г почвы) после кислнения почвы возрастают в несколько десятков раз (табл. 2, 3, 4), следует предполагать, что концентрация ионов кальция в почвенном растворе (мг-экв/л) повышается сравнительно мало. При этом не исключена возможность, что после кислнения в альварных почвах содержание кальция в жидкой фазе даже уменьшается, особенно в почвах с более высоким содержанием магния.

Наше предположение об относительном уменьшении доли кальция в почвенном растворе в результате кислнения подтверждается понижением концентрации кальция в растениях, выращенных на окислованных почвах (табл. 2, 3, 4). Однако отмеченное явление нельзя объяснить только уменьшением удельного веса кальция в почвенном растворе. Несомненно, в окислованных почвах следует учитывать и антагонистическое действие водородных ионов, их отрицательная роль при усвоении кальция общепризнана.

Выше нами было отмечено, что в альварных почвах в их первоначальном состоянии соотношение между валовыми содержаниями кальция и магния особого влияния на рост сосны не имеет. Но с указанным соотношением следует серьезно считаться при кислнении почв. В результате высокой растворимости сульфата магния в почвах с относительно высоким содержанием $MgCO_3$ кислнение серной кислотой или серой может вызвать опасное для растений повышение осмотического давления почвенного раствора, т. е. условия засоленности. Так, при анализе причин отрицательного действия кислнения на почвах «Варди II» и «Абру» в опыте 3 прежде всего следует учесть более высокое содержание магния и низкое соотношение Ca : Mg по сравнению с «Варди I» и «Куузику» (табл. 1). Хотя сосна обыкновенная характеризуется широкой экологической амплитудой — ее можно встретить как на верховых болотах, песчаных дюнах, так и на меловых скалах — она, как большинство хвойных, чувствительна к высоким концентрациям солей в почвенном растворе (Kramer, Kozlowski, 1960). Из данных А. Шахова (1956) и И. Фрейберга (1965) выясняется, что сосна обыкновенная обладает низкой солеустойчивостью. И. Крупеников (1943, 1947) и Л. Правдин (1964) показывают, что эколого-физиологическая приспособляемость к засоленности почвы развивалась только у особого «солончакового» экотипа подвиды *Pinus silvestris* L. ssp. *kulundensis* Sukaczew, у так наз. наурзумской сосны, произрастающей на солончаковых почвах в Северо-Западном Казахстане. Само собой разумеется, что наша «лесная сосна» (по названию А. Шахова) не приспособлена к высоким концентрациям солей в почвенном растворе.

Чрезмерным повышением осмотического давления почвенного раствора объясняется и ненормальный рост корней в окислованных вариантах «Абру» и «Варди II» (рис. 6, 7 и 9а). Основание для такого вывода дают данные Хэйварда и Блэра (Hayward, Blair, 1942 цит. по Kramer, 1949), по которым высокое осмотическое дав-

ление почвенного раствора вызывает интенсивное опробкование эпидермиса корней до самого кончика, в результате чего рост корней в длину приостанавливается. Следует отметить, что образование клубнеобразных корней наблюдал и Х. Янг (Young, 1938) у сеянцев *Pinus caribaea* после кислотования почвы большими дозами серы; однако подробного объяснения этому явлению он не приводит.

Кроме высокого осмотического давления на окислованных почвах, первоначально богатых карбонатом магния, отрицательное влияние на растения может оказать и возникающее резкое преобладание ионов магния над ионами кальция. Например, на окислованной почве «Абру» (принимая в основу данные, полученные путем экстраполяции) в почвенном растворе можно считаться с соотношением $Ca:Mg=1:30$. В литературе имеются указания на то, что соотношение $Ca:Mg$ в среде ниже 1:1 вредно для растений (Baumeister, 1958; Key и др., 1962 и др.). В этом отношении сосна менее чувствительна. Как показали опыты в песчаных культурах (Руйспере, 1966), изменение соотношения $Ca:Mg$ в питательной среде в пределах от 7:1 до 1:7 не оказало существенного влияния на рост сеянцев при условии достаточной обеспеченности обоими элементами. То же самое показывают результаты почвенных культур, в которых сеянцы успешно развивались на окислованных почвах «Варди I», «Варди II» и «Куузику» при соотношениях $Ca:Mg$ в почвенном растворе соответственно 1:3, 1:8 и 1:2. По-видимому, расстройство в метаболизме у сосны вызывает лишь экстремное отклонение соотношения между ионами от нормального.

При анализе вопроса о роли кальция и магния в питании растений на известковых почвах неизбежно следует принимать во внимание влияние бикарбонатного иона. Многие авторы (Lindsay, Thorne, 1954; Miller, 1960 и др.) связывают неблагоприятные условия питания растений на известковых почвах именно с губительным действием высоких концентраций бикарбонатных ионов. Изучение влияния эквивалентных концентраций ионов кальция, магния и бикарбоната в песчаных культурах показало, что в концентрациях, где кальций и магний способствовали росту сеянцев сосны (15—20 мг-экв/л), ионы бикарбоната действовали подавляюще. Экстраполяция содержания бикарбонатов в подопытных почвах (табл. 1) на концентрации их в почвенном растворе (при влажности почв 70% от полной влагоемкости) показывает, что корни растений на альварных почвах находятся в контакте с почвенным раствором, богатым HCO_3^- -ионами (17—22 мг-экв/л). Поэтому можно предполагать, что одним из тормозящих рост сосны факторов в химизме альварных почв является высокая концентрация бикарбонат-ионов. В результате кислотования образование бикарбонатов в общем подавляется (рис. 3). Кроме того, есть основание полагать, что преобладание в почвенном растворе сульфат-ионов уменьшает неблагоприятное влияние HCO_3^- при усвоении питательных анионов.

На основе своих опытов мы не можем наметить оптимальных значений pH, до которых должна быть доведена реакция альварных почв при кислотании (данные роста и химического состава сеянцев отражают интегрированное влияние довольно широкого интервала реакции, которая в течение периода выращивания сместилась в направлении к исходной pH почвы). Учитывая, что в окислованных почвах после длительной инкубации нельзя считаться с наличием остатка свободной кислоты, следует предполагать, что реакция контролируется в основном системой $CaSO_4-MgSO_4-H_2O$, pH которой около 0,5 ниже значения pH карбонатной системы (Bradfield, 1942). Влияние такого сравнительно небольшого снижения pH не следует недооценивать, так как на рендзинных почвах это связано со значительным улучшением подвижности фосфора (Mattson и др., 1953) и уменьшением активности HCO_3^- -ионов.

Обеспеченность сеянцев сосны железом на альварных почвах. Торможение роста растений на известковых почвах и заболевание их хлорозом многие авторы связывают с расстройствами в усвоении и метаболизме железа. Эта точка зрения принята также в лесоводческой литературе. Например, С. Шенхар (Schönhar, 1960, 1963), специально рассматривающий причины возникновения известкового хлороза у сосны, также объясняет это явление недостаточной обеспеченностью железом.

В литературе (Sideris, Krauss, 1934; Кирсанов и др., 1937; Накаидзе, 1964) имеются данные о том, что доступность железа в известковых почвах повышается после подкисления их реакции. Однако наши опыты с кислованием показывают, что на альварных почвах в результате этого мероприятия поглощение железа не увеличивается. При этом содержание железа в растениях контроля указывает, что сеянцы и на первоначальных альварных почвах достаточно обеспечены железом. Следует полагать, что это связано с высоким содержанием гумуса в альварных почвах. Как известно, железо в почве с растворимыми компонентами гумуса образует внутрикомплексные соединения (Кауричев, Ноздрунова, 1960; Титова, 1962), легкоусваиваемые растениями и при более высоких значениях pH среды (Olsen, 1935; Truog, 1948). При этом большое значение имеет состав гумуса. По исследованиям Н. Титовой (1962), способностью к образованию доступных для растений растворимых внутрикомплексных соединений с железом обладают только фульвокислоты. На основании данных Э. Реппо и Г. Шабалиной (1963) можно считать, что условия для образования растворимых природных хелатов в альварных почвах благоприятны, так как их гумус отличается преобладанием фульвокислот над гуминовыми. Цитированный материал служит дополнительным доказательством того, что растения на первоначальных альварных почвах не могут страдать от недостатка доступности железа в почве. При этом безынтенесно отметить, что при дальнейшем повышении pH почвы доступность природных хелатов, по-видимому, уменьшается. Об этом говорит уменьшение содержания железа в корнях сеянцев в вариантах с CaO (табл. 2, 3, 4).

Несмотря на достаточную доступность железа в альварных почвах, у нас нет оснований для вывода об отсутствии расстройств в метаболизме железа внутри растений. Существует много данных о том, что поглощенное железо может подвергаться инактивизации в ассимилирующих органах (главным образом в проводящих тканях), в результате чего оно не способно участвовать в процессах синтеза хлорофилла. Это явление может иметь разные причины и разные толкования. Одни авторы ищут причину в высоких значениях pH наружной среды, что вызывает сдвиги реакции клеточного сока в щелочную сторону (Miller, 1960; Baxter, Belcher, 1955). Предполагают, что понижение концентрации водородных ионов в клеточном соке вызывает переход железа в неактивную форму (Кирсанов и др., 1937; Biddulph, 1951; DeKock, 1955). В многочисленных работах подчеркивается специфическое неблагоприятное влияние бикарбонатных ионов, подавляющих активность железа в метаболизме растений (Miller, Thorne 1956; Doney и др., 1960 и др.). Что касается альварных почв, то можно предполагать, что отрицательное действие на метаболизм железа в растениях могут оказать как высокая концентрация бикарбонатов, так и обусловленная ими щелочная реакция окружающей корни среды. Тот факт, что сильный хлороз хвои в наших опытах появился при дальнейшем повышении pH без увеличения при этом концентрации бикарбонатов (для подщелачивания реакции почвы употреблялась CaO) показывает, что в подавлении синтеза хлорофилла существенную роль играет щелочная реакция почвы. При этом необходимо отметить, что хлороз хвои при внесении CaO не наблюдался у сеянцев, выращенных при низкой влажности почвы (опыт 2). В литературе имеются указания (Elgala, Maier, 1964) на уменьшение количества активного железа в растениях при повышении влажности почвы. Этим, наверно, объясняются различия в возникновении хлороза при разных степенях увлажнения почвы в опыте 2. Можно полагать, что в результате более интенсивной аэрации при влажности почвы 40% от полной влагоемкости парциальное давление CO₂ в почвенной атмосфере понижалось. Это в свою очередь могло обусловить понижение концентрации бикарбонатов в почвенном растворе и уменьшение их отрицательного действия на метаболизм железа в сеянцах.

Мы, как и большинство авторов, изучавших вопросы питания растений на известковых почвах, не нашли в растениях положительной корреляции между валовым содержанием железа и концентрацией хлорофилла. Наблюдалась даже обратная тенденция — в большинстве случаев сеянцы на первоначальных альварных почвах, бедные хлорофиллом, накопили больше железа в хвое, чем темно-зеленые сеянцы на

окислованных почвах. Подобная тенденция обнаружена и другими исследователями (McGeorge, 1949; Olson, 1951). При этом первым было установлено, что в условиях, вызывающих инактивизацию железа в тканях, его поглощение увеличивается, и наоборот — при повышении активности железа в растениях, интенсивность его поглощения из окружающей среды и накопление в тканях уменьшается. В указанных работах отмечается, что в результате кислотования наблюдалось существенное повышение доли растворимого (в 1н. HCl) железа в растениях, более активного в синтезе хлорофилла и других метаболических процессах.

На основании изложенного можно предполагать, что несмотря на интенсивное поглощение железа сеянцами на первоначальных альварных почвах, активность его в метаболизме низка. Принимая во внимание повышенное содержание хлорофилла и интенсивность накопления органической массы, мы склонны допустить, что на альварных почвах после их кислотования эффективность усвоенного железа также повышается.

К вопросу микоризообразования у сеянцев сосны на альварных почвах. При рассмотрении вопросов минерального питания сосны нельзя обойти роль микоризы. В монографии Н. Шемахановой (1962) делается ссылка на ряд работ, указывающих на отсутствие микоризообразования на слабокислых и нейтральных почвах. Некоторые авторы (Dale и др., 1955) связывают заболевание сосны хлорозом на известковых почвах именно с отсутствием микоризы. Однако имеются данные, указывающие на ее наличие также при высоких значениях рН почвы (Лобанов, 1953; Mikola, 1966).

О микоризообразовании на альварных почвах данные отсутствуют. В литературе есть только ссылка на развитие в альварных почвах богатой грибной флоры (Sepp, 1957). Просмотр корней из наших опытов показал, что у сеянцев в контрольных вариантах всех подопытных почв наблюдалось как дихотомное, так и коралловидное ветвление корешков, указывающее на наличие микоризы. На микротомных срезах, приготовленных из таких корневых окончаний, обнаружился грибной чехол и сеть Гартига (рис. 9 б, в). По всей вероятности, интенсивное микоризообразование на альварных почвах следует объяснить высоким содержанием гумуса, который обеспечивает развитие грибной флоры при нейтральной и щелочной реакциях (Dale и др., 1955).

Под действием кислотования почв серной кислотой форма микоризы изменилась. Гистологический анализ корней показал отсутствие или слабое развитие грибного чехла, в то же время обнаружился гифы внутри клеток (рис. 9 г). Такое же явление наблюдал Х. Янг (Young, 1938) в опыте с *Pinus caribaea* — после кислотования почвы серой эктотрофная форма микоризы заменилась эндотрофной. По всей вероятности, изменение типа микоризы при кислотании почвы связано с увеличением подвижности неорганических ионов. Установлено (Hacskaýlo, 1957), что образование эктотрофной микоризы находится в обратной зависимости от содержания в почве растворимых солей. Однако исчезновение грибного чехла и появление внутриклеточных гиф обнаружилось не только в результате кислотования, но и после подщелачивания почвы с СаО. Отмеченное нами явление согласуется с данными П. Микола (Mikola, 1966), по которым грибной чехол оказался самой чувствительной к изменениям условий произрастания частью микоризы в то время, когда образование сети Гартига и внутриклеточных гиф мало подвержены воздействию почвенных факторов.

Следует отметить, что у сильно хлоротичных сеянцев не наблюдалось ни дихотомного, ни коралловидного ветвления корешков. Отсутствие у таких растений микоризы подтвердилось и гистологическим анализом корней. Микориза отсутствовала также в вариантах, в которых кислотование почвы давало отрицательные результаты и нормальный рост корней был поврежден (опыт 3).

На основе вышеизложенного можно сделать вывод, что на альварных почвах, несмотря на их высокую карбонатность, имеются благоприятные условия для образования у сосны хорошо развитой эктэндотрофной микоризы и что в оптимальных вариантах кислотования происходят лишь некоторые изменения формы микоризы в на-

правлении эндотрофности. Поэтому нет оснований причину расстройств в минеральном питании сосны на альварных почвах искать в подавленном микоризообразовании. Разумеется, вопросы микотрофного питания сосны на этих почвах требуют более детального изучения.

Выводы

1. Расстройства корневого питания и слабый рост сосны обыкновенной на альварных почвах в значительной мере связаны с физико-химическими свойствами основного корнеобитаемого слоя — гумусового (A_1) горизонта. Непосредственное залегание A_1 -горизонта на доломитизированном известняке обуславливает высокое содержание в нем карбонатов, в результате чего корневое питание растений определяется в основном системой $CaCO_3—MgCO_3—H_2O—CO_2$. Доминирование указанной системы вызывает в альварных почвах нейтральную или слабощелочную реакцию и высокое содержание бикарбонатов, отрицательно влияющих на питание и рост сосны. Неблагоприятное действие этих факторов в некоторой степени сглаживается высоким содержанием гумуса в почве.

2. Вследствие высокого содержания $CaCO_3$ и нейтральной или слабощелочной реакции фосфор в альварных почвах труднодоступен растениям и его следует считать основным лимитирующим рост элементом. Обеспеченность сосны другими питательными элементами (N, K, Ca, Mg, Fe) можно считать достаточной. Усиленное усвоение кальция не оказывает антагонистического влияния на поглощение других катионов (K и Mg).

3. Заторможенный рост сосны объясняется не только труднодоступностью фосфора, поскольку интенсивное поглощение внесенного фосфора на первоначальных альварных почвах не вызывает существенного улучшения состояния растений. Непосредственное отрицательное влияние оказывают высокое значение pH и обилие бикарбонат-ионов, вызывающие инактивизацию усвоенных питательных элементов (в частности железа) и тормозящие метаболические процессы в растениях.

4. Условия питания сосны на альварных почвах можно улучшить кислотанием почвы серной кислотой или элементарной серой. В результате кислотования карбонатная система в почве заменяется системой $CaSO_4—MgSO_4—H_2O$: реакция почвы становится более благоприятной и отрицательный эффект бикарбонат-ионов ослабляется. Под действием кислотования доступность фосфора в почве улучшается, в тканях не происходит инактивизации усвоенных питательных элементов и общая метаболическая активность в растениях повышается. Внесение фосфора в окислованную почву оказывает положительный эффект на рост сеянцев сосны.

5. Если в первоначальных альварных почвах варьирование общего содержания карбонатов и соотношение между карбонатами кальция и магния не оказывают заметного влияния на питание и рост сеянцев сосны, то при кислотании почвы эти показатели имеют немаловажное значение. На почвах с относительно высоким содержанием $MgCO_3$ образующийся при кислотании легкорастворимый $MgSO_4$ может вызывать чрезмерное повышение концентрации почвенного раствора и серьезное поражение корней, ведущее даже к гибели растений. Образующийся при кислотании $CaSO_4$ из-за низкой растворимости даже в больших количествах не оказывает отрицательного действия на растения.

ЛИТЕРАТУРА

- Аринушкина Е. В., 1961. Руководство по химическому анализу почв. М.
- Гедройц К. К., 1955. Почвенные коллоиды и поглотительная способность почв. Избранные сочинения 1. М.
- Голубев Б. А., Петербургский А. В., Уляков И. П., Штатнов В. И., 1935. Свойства почвы и отношение растений к реакции среды. В сб.: Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ (16) : 420—457. Л.
- Заев П. П., 1932. Использование кислотного отхода химической промышленности в сельском хозяйстве. Химизация и социалистическое хозяйство (9) : 119—120.
- Ильковская З. Г., 1965. Определение в почве поглощенных оснований, гипса, карбонатов, серы и водорастворимых веществ. В сб.: Агрохимические методы исследования почв : 5—44. М.
- Кауричев И. С., Ноздрунова Е. М., 1960. Роль компонентов водорастворимого органического вещества в образовании комплексных железоорганических соединений. Докл. Моск. с.-х. акад. им. К. А. Тимирязева 52 : 65—70.
- Кирсанов А. Т., Санкидзе А. О., Бакрадзе Т. Г., 1937. Хлороз виноградной лозы в зависимости от свойств почвы и удобрений. Тр. Почв. ин-та АН СССР 14 : 129—165.
- Крупеников И. А., 1943. О произрастании сосны (*Pinus silvestris* L.) на солончаковых почвах. Докл. АН СССР 41 : 273—276.
- Крупеников И. А., 1947. Эколого-биохимические особенности «солончаковой» сосны как результат ее приспособления к засолению почвы. Докл. АН СССР 56 : 655—658.
- Лиллема А. И., 1962. Перегнойно-карбонатные почвы Эстонской ССР. Сб. науч. тр. Эст. с.-х. акад. 24 : 173—185.
- Лобанов Н. В., 1953. Микотрофность древесных растений. М.
- Накидзе И. А., 1964. Влияние серы на свойства коричневых карбонатных слитых почв и хлороз виноградной лозы. Сб. статей к VIII международному конгрессу почвоведов : 239—260. Тбилиси.
- Петербургский А. В., 1955. О влиянии кислотности почв на растения. Почвоведение 5 : 19—28.
- Правдин Л. Ф., 1964. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М.
- Прянишников Д. Н., 1940. Агрохимия. М.
- Реппо Э., Шабалина Г., 1963. Некоторые данные о природе органического вещества перегнойно-карбонатных почв Эстонии. Сб. науч. тр. Эст. н.-и. ин-та земледелия и мелиор. 3 : 12—18.
- Рийспере А. Ю., 1966. О минеральном питании сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) на маломощных перегнойно-карбонатных (альварных) почвах. I. Влияние концентраций кальция, магния и бикарбоната в среде на питание семян в песчаных культурах. Изв. АН ЭССР, сер. биол. 15 (4) : 530—550.
- Титова Н. А., 1962. Железо-гумусовые комплексы некоторых почв. Почвоведение 12 : 215—218.
- Фрейберг И. А., 1965. Влияние характера почвенных условий на рост сосны в лесных культурах лесостепного Зауралья. Тр. Ин-та биологии УФ АН СССР 43 : 215—218.
- Шахов А. А., 1956. Солеустойчивость растений. М.
- Шемаханова Н. М., 1962. Микотрофия древесных пород. М.
- Vaumeister W., 1958. Hauptnährstoffe. Handbuch der Pflanzenphysiologie 4 : 482—557. Berlin—Göttingen—Heidelberg.
- Baxter P., Belcher R., 1955. The role of the bicarbonate ion in lime induced chlorosis. J. Austral. Inst. Agric. Sci. 21 : 32—34.
- Biddulph O., 1951. The translocation of minerals in plants. Mineral Nutrition of Plants (Ed. E. Truog) : 261—275. Madison.
- Bradfield R., 1942. Calcium in the soil. I. Physico-chemical relations. Soil Sci. Soc. America Proc. 6 : 8—15.
- Böszörményi Z., 1958. Leaf analysis investigations with scotch pine seedlings; the problem of constancy of critical nutrient concentrations. Acta Bot. Acad. Scient. Hungariae 4 (1/2) : 19—44.
- Clark J. S., Peech M., 1955. Solubility criteria for the existence of calcium and aluminium phosphates in soils. Soil Sci. Soc. America Proc. 19 : 171—174.
- Cole C. V., 1957. Hydrogen and calcium relationships of calcareous soils. Soil Sci. 83 : 141—150.
- Cole C. V., Olsen S. R., 1959. Phosphorus solubility in calcareous soils. I. Dicalcium phosphate activities in equilibrium solutions. Soil Sci. Soc. America Proc. 23 : 116—118.

- Dale J., McComb A. L., Loomis W. E., 1955. Chlorosis, mycorrhizae and the growth of pines on a high-lime soil. *Forest Sci.* **1** : 148—157.
- Dalton J. D., Russell G. C., Sieling D. H., 1952. Effect of organic matter on phosphate availability. *Soil. Sci.* **73** : 173—181.
- DeKock P. C., 1955. Iron nutrition of plants at high pH. *Soil Sci.* **79** : 167—176.
- Doney R. C., Smith R. L., Wiebe H. H., 1960. Effects of various levels of bicarbonate, phosphorus and pH on the translocation of foliar-applied iron in plants. *Soil Sci.* **89** : 269—275.
- Duchaufour Ph., 1960. Notes sur l'origine de la chlorose de certains conifères sur sol calcaire. *Bull. Soc. bot. France* **107** : 8—12.
- Egner H., Riehm H., Domingo W. R., 1960. Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung. *Kungliga lantbrukshögskolans annaler* **26** : 199—215.
- Elgala A. M., Maier R. H., 1964. Chemical forms of plant and soil iron as influenced by soil moisture. *Plant and Soil* **21** : 201—202.
- Evers F. H., 1963. Neue Erkenntnisse zur Chlorosebekämpfung durch Düngungsmaßnahmen. *Allgem. Forstzeitschrift* **18** : 499—500.
- Hackskaylo E., 1957. Mycorrhizae of trees with special emphasis on physiology of ectotrophic types. *Ohio J. Sci.* **57** : 350—357.
- Hannapel R. J., Fuller W. H., Bosma S., Bullock J. S., 1964. Phosphorus movement in a calcareous soil. I. Predominance of organic forms of phosphorus in phosphorus movement. *Soil Sci.* **97** : 350—357.
- Hannapel R. J., Fuller W. H., Fox R. H., 1964. Phosphorus movement in a calcareous soil. II. Soil microbial activity and organic phosphorus movement. *Soil Sci.* **97** : 421—427.
- Hoffmann F., 1963. Bodenuntersuchung und Düngung in forstlichen Pflanzgärten. *Z. Landwirtschaftl. Versuchs- u. Untersuchungswesen* **9** : 445—456.
- Ingestad T., 1962. Macro element nutrition of pine, spruce, and birch seedlings in nutrient solutions. *Medd. Statens Skogsforskningsinst.* **51** : 1—150.
- Jenny H., 1942. Calcium in the soil. III. Pedologic relations. *Soil Sci. Soc. America Proc.* **6** : 27—35.
- Key J. L., Kurtz L. T., Tucker B. B., 1962. Influence of ratio of exchangeable calcium-magnesium on yield and composition of soybeans and corn. *Soil Sci.* **93** : 265—270.
- Kramer P., 1949. Plant and soil water relationships. New York—Toronto—London.
- Kramer P. J., Kozłowski T. T., 1960. Physiology of trees. New York—Toronto—London.
- Krauss H. H., 1962. Bericht über die Bodenuntersuchungen und Düngungsberatung 1960 und 1961 in Forstpflanzgärten des nördlichen Teils der DDR. *Soz. Forstwirtschaft.* **2** : 47—53.
- Legg J. O., Black C. A., 1955. Determination of organic phosphorus in soils. II. Ignition method. *Soil Sci. Soc. America Proc.* **19** : 139—143.
- Lindsay W. L., Thorne D. W., 1954. Bicarbonate ion and oxygen level as related to chlorosis. *Soil Sci.* **77** : 271—279.
- Mattson S., Alvsaker E., Koutler-Andersson E., Vahtras K., 1953. Phosphate relationships of soil and plant. IX. Phosphate solubility in pedocal and «calalfer» soils. *Kungliga lantbrukshögskolans annaler* **20** : 19—50.
- McGeorge W. T., Breazeale J. F., 1931. Phosphate solubility studies on some unproductive calcareous soils. *Arizona Agric. Exp. Station. Techn. Bull.* **35**.
- McGeorge W. T., 1943. Acidulated fertilizers for Arizona soils. *Arizona Agric. Exp. Station. Techn. Bull.* **101**.
- McGeorge W. T., 1949. Lime-induced chlorosis. Relation between active iron and citric and oxalic acids. *Soil Sci.* **68** : 381—390.
- Mikola P., 1966. Studies on the ectendotrophic mycorrhiza of pine. *Acta Forest. Fennica* **79** : 1—56.
- Miller G. W., 1960. Carbon dioxide-bicarbonate absorption, accumulation effects on various plant metabolic reactions, and possible relations to lime-induced chlorosis. *Soil Sci.* **89** : 241—245.
- Miller G. W., Thorne W. D., 1956. Effect of bicarbonate ion on the respiration of excised roots. *Plant Physiol.* **31** : 151—155.
- Mullin R. E., 1964. Acidification of a forest tree nursery soil. *Soil Sci. Soc. America Proc.* **28** : 441—444.
- Olsen C., 1935. Iron absorption and chlorosis in green plants. *Comptes rendus, des travaux du Laboratoire Carlsberg, Série chimique* **21** : 15—52.
- Olsen S. R., 1953. Inorganic phosphorus in alkaline and calcareous soils. Soil and fertilizer phosphorus in crop nutrition (Eds W. H. Pierre and A. G. Norman) : 89—122. New York.

- Olsen S. R., Watanabe F. S., 1959. Solubility of calcium carbonate in calcareous soils. *Soil Sci.* 88 : 123—129.
- Olson R. V., 1951. Effects of acidification, iron oxide addition and other soil treatments on sorghum chlorosis and iron adsorption. *Soil Sci. Soc. America Proc.* 15 : 97—101.
- Patscheke G., 1951. Über den pH-Wert karbonathaltiger Böden. Eine Skizzierung der physikalisch-chemischen Grundzüge des Puffergleichgewichtes. *Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde* 54 : 193—200.
- Pihelgas E., 1959. Männi juurekava arengust loomuldadel. *Eesti Põllumajanduse Akadeemia teaduslike tööde kogumik* 11 : 13—22.
- Rauscher K., Voigt J., Wilke I., Wilke K.-Th., 1962. Chemische Tabellen und Rechentafeln für die analytische Praxis. Leipzig.
- Scharpenseel H. W., 1965. Untersuchungen zur Phosphatfestlegung im Boden. II. Versuche zur Erhaltung der Pflanzenaufnehmbarkeit der Phosphorsäure in Ca-reichem Boden mit hoher Phosphatfestlegungskapazität. *Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde* 109 : 214—227.
- Schönhar S., 1960. Chlorose an Kiefern auf Kalkstandorten. *Allgem. Forstzeitschrift*, 27 : 385.
- Schönhar S., 1963. Ursachen und Bekämpfung der Kalkchlorose in der Forstbauschule. *Mitt. Biol. Bundesanst. Land- und Forstwirtschaft*, 108 : 29—31. Berlin—Dahlem.
- Sepp R., 1957. Loomuldade metsakasvatustest omadustest. *Looalade metsastamise ja loometsade majandamise küsimusi* : 36—48. Tartu.
- Sideris C. P., Krauss B. H., 1934. The effect of sulfur and phosphorus on the availability of iron to pineapple and maize plants. *Soil Sci.* 37 : 85—97.
- Simon-Sylvestre G., Boischot P., 1962. Etude sur l'emploi du soufre élémentaire comme fertilisant du sol. *Ann. Agron.* 13 : 549—574.
- Stoekeler J. H., Arneman H. F., 1960. Fertilizers in forestry. *Advances Agron.* 12 : 127—195. New York—London.
- Stremme H. E., 1950. Die Schwefelsäure im Säurehaushalt der Waldböden. *Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde* 50 : 89—99.
- Süchting H., 1939. Untersuchungen über die Ernährungsverhältnisse des Waldes. IV. Prüfung ausgewählter Waldböden auf Nährstofflieferung durch Vegetationsversuche mit Lärche, Kiefer und Fichte sowie auf Nährstofflöslichkeit durch chemische Untersuchungsmethoden. *Bodenkunde u. Pflanzenernähr.* 13 : 73—117.
- Süchting H., Jessen W., Maurmann G., 1937. Untersuchungen über die Ernährungsverhältnisse des Waldes. III. Wuchsleistung und Nährstoffaufnahme junger Holzpflanzen (Lärche, Kiefer, Fichte, Buche) in Abhängigkeit von Bodenreaktion und Düngung. *Bodenkunde u. Pflanzenernähr.* 5 (50) : 338—374.
- Tobia S. K., Polliard A. G., 1959. Some effects of acidification of alkaline and calcareous soils. II. Effect on composition of soil solution under field conditions. *J. Sci. Food and Agric.* 10 : 529—532.
- Truog E., 1948. Lime in relation to availability of plant nutrients. *Soil Sci.* 65 : 1—7.
- Wilde S. A., 1958. *Forest soils*. New York.
- Williams E. G., 1951. Effects of acid treatment of soils on phosphate availability and solubility. *J. Soil Sci.* 2 : 110—117.
- Young H. E., 1938. The acidification of alkaline nursery soils for the production of exotic pines. *Queensland Agric. J.* 50 : 585—600.

Институт зоологии и ботаники
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
21/XII 1966

A. RIISPERE

MÄNNI (PINUS SILVESTRIS L.) MINERAALSEST TOITUMISEST LOOMULDADEL

II. KATSEDE MÄNNISEEMIKUTEGA MULDKULTUURIDES

Resüme

Katsete eesmärgiks oli uurida loomuldadel kasvava männi varustatust vajalike toiteelementidega ning välja selgitada võimalused tema toitumistingimuste parandamiseks keemilise melioratsiooni ja väetamise teel.

Katsete tulemused näitasid järgmist.

1. Männi pidurdatud kasv loomuldadel on olulisel määral tingitud juurte poolt asustatud huumushorisoni (A₁) füüsikalise-keemilistest omadustest. Huumushorisoni

vahetu lasumise tõttu dolomitiseerunud lubjakivil on muld kõrge karbonaatide sisaldusega ja taimede toitumisrežiimi määrab põhiliselt süsteem $\text{CaCO}_3\text{—MgCO}_3\text{—H}_2\text{O—CO}_2$. Viimase domineerimine loomuldades põhjustab neutraalse kuni nõrgalt leelise reaktiooni ning kõrge bikarbonaatide sisalduse, mis pärsivad männi tootumist ja kasvu. Mõnevõrra tasandab nende faktorite mõju mulla suur huumusesisaldus.

2. Mulla kõrge CaCO_3 -sisalduse ning neutraalse kuni nõrgalt leelise reaktiooni tõttu on loomuldades leiduv fosfor taimedele raskesti omastatav ja teda tuleb lugeda üheks põhiliseks kasvu limiteerivaks toiteelemendiks. Männiseemikute varustatust teiste toiteelementidega (N, K, Ca, Mg, Fe) võib pidada küllaldaseks. Kaltsiumi intensiivne omastamine ei kutsu esile antagonisminähte teiste kationidega varustamises.

3. Männiseemikute pidurdatud kasv loomuldadel ei ole tingitud ainult fosfori raskesti kättesaadavusest. Seda tõendab see, et looduslikku mulda viidava hästi lahustuva fosforisoola intensiivne omastamine ei avalda olulist efekti taimede kasvule. Tingimata tuleb arvestada mulla kõrge pH ja bikarbonaatioonide vahetut mõju, mis põhjustavad omastatud toiteelementide (eriti raua) inaktiveerumist ja sellega pärsivad taimedes toimuvaid metaboliitilisi protsesse.

4. Toitumistingimusi loomuldadel on võimalik parandada mulla hapustamise teel väävelhappe või elementaarse väävliga. Selle tulemusena asendub karbonaatne süsteem süsteemiga $\text{CaSO}_4\text{—MgSO}_4\text{—H}_2\text{O}$, muutub soodsamaks mulla reaktsioon ja väheneb bikarbonaatioonide kahjulik mõju. Hapustamine muudab mullas leiduva fosfori taimedele kergemini omastatavaks ning väldib absorbeeritud toiteelementide inaktiveerumist kudedes, mille tõttu taimede üldine metaboliitiline aktiivsus tõuseb. Fosfori lisamine hapustatud mulda omab tugevat positiivset efekti männiseemikute kasvule.

5. Kui looduslikes loomuldades karbonaatide üldsisalduse ning kaltsium- ja magneesiumkarbonaatide vahekorra varieerumine mõjustab vähe männiseemikute kasvu ja tootumist, siis muldade hapustamisel tuleb neid näitajaid tingimata arvestada. Suhteliselt kõrge MgCO_3 -sisalduse puhul võib mulla hapustamisel tekkiv hästi lahustuv MgSO_4 mullalahuse kontsentratsiooni ülemäärase tõusu tõttu kutsuda esile juurte kahjustumist ning põhjustada taimede hukkumist. Hapustamisel tekkiv CaSO_4 oma piiratud lahustuvuse tõttu ei osutu taimedele kahjulikuks ka suurtes kogustes.

*Eesti NSV Teaduste Akadeemia
Zooloogia ja Botaanika Instituut*

Saabus toimetusse
21. XII 1966

A. RIISPERE

**STUDIES ON THE MINERAL NUTRITION OF SCOTCH PINE
(PINUS SILVESTRIS L.) ON RENDSINA SOILS**

II. RESULTS OF SOIL CULTURE EXPERIMENTS WITH PINE SEEDLINGS

Summary

The purpose of the investigation was to study the supply of pine seedlings with nutrient elements on rendsina soils and to elucidate the principles for an improvement of the nutritional conditions by chemical amelioration and fertilization.

The results of experiments indicate the following:

1. The poor growth of scotch pine on rendsina soils is to an essential degree induced by the unfavourable physical and chemical properties of the humus horizon (A_1). As the humus horizon lies immediately on dolomitized limestone, the soil has a high content of carbonates and the nutrition of plants is mainly determined by the system $\text{CaCO}_3\text{—MgCO}_3\text{—H}_2\text{O—CO}_2$. The predominance of this system produces a neutral or weak alkaline reaction and a high bicarbonate content in rendsina soils, which affect the nutrition and growth of pine to disadvantage. The unfavourable action of these factors is to a certain extent compensated by the high humus content in the soil.

2. A high Ca carbonate content and neutral or weak alkaline reaction cause a low availability of phosphorus in rendsina soils, and the phosphorus is to be considered as a main growth-limiting nutrient on these soils. The supply of pine seedlings with other nutrient elements (N, K, Ca, Mg, Fe) are considered to be sufficient. The intensive uptake of calcium does not induce the phenomena of antagonism in the absorption of other cations.

3. The deficiency of phosphorus is not the single cause of inhibited growth of pine seedlings on rendsina soils, for there was no remarkable growth response either in spite of an intensive uptake of phosphorus after the addition of this nutrient in a well-soluble

form to natural soils. Undoubtedly, one must take into consideration the direct inhibitory effect of high pH and bicarbonate ions in soil, which induce the inactivation of absorbed nutrients (especially of iron) and reduce the activity of the metabolic processes in plant tissues.

4. The nutritional conditions of scotch pine on rendsina soils are improved by the acidification of the soils with sulphuric acid or elementary sulphur, after which the carbonate system in soil is replaced by the system $\text{CaSO}_4\text{--MgSO}_4\text{--H}_2\text{O}$. This results in a more favourable soil reaction and decreases the deteriorating effect of bicarbonate ions. Acidification increases the solubility of phosphorus in soil and prevents the inactivation of absorbed nutrients in tissues, which results in increasing the total metabolic activity of plants. The addition of phosphorus to acidified soils considerably improves the growth of pine seedlings.

5. Though in natural rendsina soils the varying of the total carbonate content and the ratio of Ca and Mg carbonates do not affect the growth and nutrition of pine seedlings to any considerable extent, it is necessary to consider those factors when acidifying the soil. Due to the formation of well-soluble MgSO_4 , the acidification of soils with a relatively high MgCO_3 content may result in an excessive increase of the concentration of the soil solution. It may induce serious injury to roots and a destruction of the whole plant. The CaSO_4 formed at an acidification of soils is not deleterious to plants (even if it occurs in large quantities) because of its low solubility.

*Academy of Sciences of the Estonian SSR,
Institute of Zoology and Botany*

Received
Dec. 21, 1966