واکنش نهالهای کاج سیلوستر به کود و مواد اصلاح کننده خاک

احمد رحمانی(۱)

خلاصه

موضوع این تحقیق بررسی تأثیر افزایش آهک و کودهای مختلف بر رشد و تغذیه نهالهای کاج سیلوستر در طول ۳ سال آزمایش در منطقه لیموزن فرانسه می باشد. تیمارهای مورد استفاده عبارتند از: ۱- آهک (CaO ۹۴٪ به میزان یک تن در هکتار)، ۲- آهک منیزیم‌دار (CaO ۴۲٪ + MgO ۱۰٪ به میزان یک تن در هکتار)،۳- CaMgNPK (تیمار ۲ به اضافه ۵۰۰کیلوگرم در هکتار N,P,K) و۴- میکرو المنتها+ CaMgNPK (تیمار ۳ + ۵۰ کیلوگرم پودر آلگ شامل Fe, Mn, Cu...).

برای بررسی میزان رشد، ارتفاع و قطر در یقه نهالها در پایان فصل رویشی هر سال اندازه گیری و تجزیه و تحلیل آماری شدند. ۳ سال پس از کاشت، تعداد ۵ درخت از هر تیمار برداشت شد و هر درخت به ۱۱ قسمت تقسیم گردید و پس از توزین وآماده سازی مورد تجزیه قرار گرفت و توزیع عناصر در اندامهای مختلف بررسی شد. در پایان هر سال نمونه‌هایی از گیاهان زیر اشکوب برداشت شد و تغییرات آنها در تیمارهای مختلف بررسی شد.

برگها حساسترین اندام در گیاه بودند که تحت تأثیر قرار گرفتند. میزان K, Mg,Ca در تمام اندامها به خصوص برگها افزایش داشت. مقدار جذب ماکروالمنتها توسط نهالها در تیمار ۴ که حاوی میکروالمنتها بود نسبت به سایر تیمارها افزایش بیشتری داشت. میزان Mn در تمام اندامها،به خصوص در برگها کاهش معنی‌داری داشت که می تواند به عنوان

۱- عضو هیأت علمی مؤسسهٔ تحقیقات جنگلها و مراتع

شاخص تأثیر تیمارهای مختلف مد نظر قرار گیرد. عناصری که در گیاه تحرک کمتری دارند مانند Na,Fe,Mn,Ca در برگهای مسن تر و عناصری که تحرک بیشتری دارند مانند Mg و K در برگهای سال جاری غلظت بیشتری دارند.

رشد طولی و قطری درختان تیمارهای مختلف تشدید گردید. افزایش رشد در تیمار آهک (تیمار ۱) معنی‌دار نبود، ولی در سایر تیمارها نسبت به شاهد معنی‌دار بود. بیشترین رشد در تیمار ۴ مشاهده شد.

گیاهان زیر اشکوب به صورت بسیار زیاد با درختان جوان رقابت داشتند، به طوری که میزان عناصر موجود در واحد سطح در گیاهان زیر اشکوب ۲۰ برابر درختان بود. این عامل در کمیت مواد اصلاح کننده و کودها باید مورد توجه قرار گیرد.

مقدمه

این تحقیق در منطقهٔ لیموزن در فرانسه انجام گرفت. این منطقه از نظر تولید چوب در فرانسه اهمیت زیادی دارد و در سال ۱۹۹۳، ۴/۲ درصد تولید چوب را در سطح آن کشور به خود اختصاص داده، ۱۰۰۰۰ فرصت شغلی ایجاد کرده و بیش از ۲/۸ میلیارد فرانک درآمد داشته است (DRAF، ۱۹۹۵ به نقل از INSEE).درمیان سوزنی برگان، pinus در سالهای پیش و Douglas اخیراً زیاد کشت شده‌اند.

معمولاً زمینهای حاصلخیز به مزرعه یا چراگاه تبدیل می شوند وزمینهایی که مرغوبیت کافی ندارند وحاصلخیزی کمتری دارند برای جنگلکاری اختصاص می‌یابند. امروزه در جنگلکاریها برای افزایش تولید، موارد مختلفی مانند فاصلهٔ کاشت، تنک کردن، عملیات پرورشی و کاشت گونهٔ مناسب مورد توجه قرار می‌گیرد ولی همهٔ این موارد در صورت توجه به خصوصیات خاک و بخصوص حاصلخیزی مناسب آن نتیجهٔ مطلوب را خواهد داد. معمولا سوزنی برگان باتولید اسیدهای آلی حاصل از تجزیهٔ برگهای خود سبب افزایش اسیدیته خاک می‌گردند. جذب کاتیونها به‌وسیله گیاهان در

این اراضی اسیدی شدن خاک را تشدید می‌کنند. بنابراین در این اراضی باید به شکلی عمل شود که تعادل تغذیه‌ای دوباره بر قرار گردد و این عمل ممکن است با افزایش کود یا مواد اصلاح کننده انجام شود. یکی از راه‌های افزایش و بهبود تولید در جنگل افزایش حاصلخیزی خاک توسط افزودن مواد اصلاح کننده یا کودها ورفع کمبودهای عناصر پر مصرف یا کم مصرف می باشد. تعیین بهترین تیمار کودی، میزان مناسب کود، زمان مناسب کوددهی و. .برای خاکهای مختلف و با پوشش گیاهی و شرایط آب و هوایی متفاوت موضوعاتی هستند که تحقیقات وسیعی را طلب می‌کنند.

معمولاً" واکنش درختان به کودهای شیمیایی سریع نیست، به عنوان مثال Toutain و همکاران (۱۹۹۳) آن را ۱۰ سال و Weissen و Nys (۱۹۹۳) آن را میان ۵ تا ۱۵ سال اعلام کرده‌اند. بنابراین برای کم کردن این زمان و افزایش رشد در این تحقیق از شروع رشد اقدام به کود دهی شد.

انتخاب *Pinus sylvestris* به دلیل جنگلکاری با این گونه در خاکهای هیدرومورف بوده و لازم بود که واکنش آن به افزایش کود در این اراضی بررسی شود تا بتوان درختانی با کیفیت بهتر تولید کرد. بنابراین یکی از اهداف این تحقیق بررسی تأثیر کوددهی همراه مواد اصلاح کننده خاک بر رشد و تغذیه نهالهای کشت شده در این خاکهای ویژه بوده است که بتوان با اصلاح این خاکها وفراهم نمودن شرایط تغذیه‌ای مناسبتر تولید را از نظر کمی و کیفی افزایش داد.

سابقهٔ تحقیق

یکی از مهمترین اثرات منفی اسیدی شدن خاک افزایش میزان آلومینیم در خاک (Ulrich، ۱۹۸۶) و کاهش کاتیونهای بازی (Dewalle و همکاران، ۱۹۸۵) است. ریشه‌ها اولین اندام گیاهی هستند که از اسیدی شدن خاک و افزایش آلومینیم تاثیر می‌پذیرند (Devisser و Keltjens، ۱۹۹۳؛ Goransson و Eldhuset، ۱۹۸۷؛

Gorissen و همکاران، ۱۹۹۳؛ Ericsson و همکاران، ۱۹۹۵؛ Hecht-Buchholz و همکاران، ۱۹۸۷). واکنش گونه‌های مختلف گیاهان به خاکهای اسیدی متفاوت است. Schaedle و همکاران، ۱۹۸۹ بر اساس میزان حساسیت درختان جنگلی به آلومینیم محلول در خاک تقسیم بندی زیر را انجام داده اند:

- گروه گونه‌های حساس که در غلظت آلومینیم حدود ۱۵۰ میکرومول علائم مسمومیت از خود بروز می دهند مانند:

Picea glauca و *Picea abies*

- گونه‌های حد واسط که در غلظت میان ۱۵۰ تا ۸۰۰ میکرومول آسیب جدی می‌بینند مانند: *Picea rubens*، *Picea mariana*، *Fagus sylvatica*، *Acer saccharum*

- گونه‌های مقاوم که غلظت بیش از ۸۰۰ میکرو مول را تحمل می کنند مانند: *Abies balsamea*، *Pseudotsuga menziesii*، *Pinus sylvestris*، *Pinus strobus*، *Picea sitchensis*، *Fagus grandifoli*، *Betula pendula*، *Quercus rubra*.

بر اساس تحقیقات Goransson و Eldhuset، ۱۹۹۱ رشد نسبی *Pinus sylvestris* در غلظت ۶ میلی مول آلومینیم کاهش یافته و رشد ریشه در غلظت ۳ میلی مول، ولی جذب عناصر کلسیم و منیزیم در غلظت ۱ میلی مول کاهش یافته است. به طور کلی سوزنی برگان نسبت به سایر درختان در برابر مقدار زیاد آلومینیوم و منگنز مقاومت زیادی دارند (Hecht-Buchholz و همکاران، ۱۹۸۷).

واکنش جنگل در برابر افزودن عناصر و مواد اصلاح کننده خاک بسیار متفاوت است. عناصر مختلف به صورت مستقیم یا از طریق اثر متقابلشان در خاک بر درختان تأثیر دارند. Adams (۱۹۸۴) نشان داد که دسترسی به کلسیم و منیزیم در خاک ارتباط مستقیمی با درصد اشباع کلوئیدهای خاک، غلظت این عناصر در محلول خاک، غلظت یون هیدروژن و حضور عناصر سمی (آلومینیوم و منگنز) دارد. اکثر تحقیقات مرتبط به تغذیه معدنی و رشد درختان، در مورد جنگلهای مستقر شده (۱۵ تا ۲۰ساله) یا

جنگلهای مسن می‌باشند. در این شرایط واکنش درختان در درازمدت ظاهر می‌شود و برای مشاهده اثر و ارزیابی آن چندین سال وقت لازم است (Nys ،۱۹۸۹).

تحقیقات زیادی در مورد رفع کمبود عناصر و افزایش تولید در جنگلها صورت گرفته است. افزودن مواد آهکی حاوی منیزیم باعث افزایش بیوماس ومینرالوماس (میزان عناصر جذب شده توسط گیاه در واحد سطح) در درختان مختلف گردیده‌است (Belkacem و همکاران، ۱۹۹۲ ؛ NYS، ۱۹۸۹). عناصر غذایی دیگری مانند K,P,N و حتی عناصر میکرو مانند مس (Genere، ۱۹۹۲) نیز برای اصلاح تغذیه بکاررفته است. این عناصر سبب کوتاه شدن چرخه تولید در سوزنی برگان می‌شوند و تولید افزایش می‌یابد.

زمان لازم برای مشاهده اثر مواد اصلاح کننده یا کودها بر اساس مقدار مواد، ترکیب آنها، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و نوع گونه گیاهی متفاوت است. افزودن مقدار زیاد کربنات کلسیم (۵ تن در هکتار) به خاک سبب شد که بعد از ۷ ماه pH خاک افزایش یابد (Belkacem و Nys، ۱۹۹۳). افزایش خطی میزان کلسیم محلول خاک با مقدار کلسیم داده شده به خاک پس از ۱۸ ماه توسط Laudelout، ۱۹۹۳ مشاهده شد. آهک دهی به همراه NPK پس از ۲ سال سبب سبز شدن دوباره و برگدهی مناسب در درختان ضعیف گردید (Ranger و همکاران، ۱۹۹۴). برای اطلاعات بیشتر در این مورد به Rahmani، ۱۹۹۷ مراجعه شود.

تأثیر آهک دهی بر رشد درختان بر اساس نوع خاک، گونه گیاه، ترکیب ومیزان مواد بکار رفته متفاوت است. تأثیر مثبت آهک دهی بر رشد توسط Fehlen و Picard، ۱۹۹۴؛ Toutain و همکاران، ۱۹۸۷ ؛ Nys، ۱۹۸۹ ؛ Lebourgeois، ۱۹۹۱ گزارش شده است.

آهک دهی همراه سایر عناصر غذایی مانند NPK اثرات مناسب‌تری داشته است.مطالعات Rehfuess و همکاران، ۱۹۹۱ در آلمان نشان می‌دهد که کود دهی با

NPKCaMg و NPKMg در خاک پودزولی، رشد *Pinus sylvestris* را افزایش داده است.

تعداد زیادی از تحقیقاتی که اخیراً صورت گرفته نشان می‌دهد که کمبود عناصر غذایی به خصوص کمبود Mg و Ca عامل کاهش رشد و ضعیف شدن درختان در اروپای مرکزی بوده است (Le Goaster و همکاران، ۱۹۹۱؛ Bonneau، ۱۹۹۳؛Palomaki و Raitio، ۱۹۹۵؛ Ericsson و همکاران، ۱۹۹۵). در فرانسه زرد شدن جنگلها در سال ۱۹۸۳ مشاهده شد (Ranger و همکاران، ۱۹۹۴). این زردی به نحو عمده به کمبود کلسیم و منیزیم نسبت داده شد (Bonneau، ۱۹۹۳؛ Ranger و همکاران، ۱۹۹۴ ؛ Belkacem و Nys، ۱۹۹۳). در اثر این کمبود ابتدا زرد شدن برگها بعد ریزش آنها و سرانجام کند شدن رشد و حتی مرگ درختان مشاهده می‌شود.

رقابت آلومینیم؛کلسیم و منیزیم در نقاط جذب مریستمی ریشه در یک خاک اسیدی می‌تواند جذب این عناصر را با اشکال مواجه کند (Goransson و Eldhuset، ۱۹۹۵؛ Bengtsson و همکاران ۱۹۸۸ و Ericsson و همکاران، ۱۹۹۵). غلظت مناسب منیزیم برای رشد به وجود یا عدم وجود آلومینیم در خاک بستگی دارد، در حالت اول منیزیم لازم برای رسیدن به رشد مطلوب بیش از حالتی است که خاک فاقد آلومینیم می‌باشد. همچنین در حضور مقدار زیاد کلسیم در خاک ممکن است کمبود منیزیم بوجود آید (Ericsson و همکاران، ۱۹۹۵). افزایش مقدار آلومینیم در خاک باعث کاهش جذب منیزیم، کلسیم وهمچنین فسفر،ازت و پتاس در *Betula pendula* گردیده است (Goranssn و Eldhuset، ۱۹۸۷). کاهش میزان کلسیم و منیزیم در ریشه یا برگ سوزنی‌برگان در اثر افزایش آلومینیم یا منگنز توسط افراد دیگر نیز گزارش شده است (Ericsson و همکاران، ۱۹۵۵ ؛ Hecht-Buchholz و همکاران ۱۹۸۷).

افزودن آهک همراه یا بدون سایر عناصر غذایی به طور کلی تغذیه کلسیم و منیزیم را در درختان بهبود می‌بخشد (Sharpe و همکاران، ۱۹۹۳؛ Joslin و Wolf، ۱۹۸۸؛

Belkacem، ۱۹۹۰ ؛ Ranger و همکاران، ۱۹۹۴ ؛ Bonneau، ۱۹۹۳) و میزان منگنز را در گیاه کاهش می‌دهد (Derom، ۱۹۹۱ ؛ Toutain و همکاران، ۱۹۸۷). اثر آهک بر مقدار پتاسیم، ازت و فسفر جذب شده به نوع گیاه، نوع خاک، مقدار و ترکیب کود بستگی دارد.

به‌طور کلی بررسی منابع نشان می‌دهد که برای رشد خوب درختان، شرایط خوب تغذیه‌ای امری ضروری است. اسیدی شدن خاک و شستشوی کاتیونها سبب بوجود آمدن وضعیت نامتعادل در خاک می‌گردد. در این شرایط افزودن مواد اصلاح کننده یا کودها می‌توانند سبب بهبود تغذیه و افزایش رشد گردند. نوع و مقدار کود به عوامل زیادی مانند درجه اسیدی بودن خاک، شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک، شرایط آب و هوایی و بارندگی و نوع گونه جنگلی و سن آنها بستگی دارد.

مواد و روشها

مشخصات مکان انجام آزمایش:

محل آزمایش در منطقه لیموزن فرانسه با ارتفاعی حدود ۷۰۰ متر و بارندگی نسبتاً زیاد (۱۲۰۰mm-۱۱۰۰) و درجه حرارت میانگین سالیانه ۸/۵ درجه سانتیگراد می‌باشد. به‌طور کلی آب و هوای منطقه خنک و مرطوب بدون خشکی تابستانه است. خاک محل مورد آزمایش Redoxisol (Psudogley) است که با توجه به زهکشهای ایجاد شده به خاکهای قهوه‌ای نزدیک شده است. بافت خاک شن-رس-لوم می‌باشد.

پوشش گیاهی غالب *Molinia caerulea* است و *Erica tetralix*، *Ulex minor* و به ندرت *Calluna vulgaris* در رده‌های بعدی قرار دارند.

برای کاشت نهالها از پیش نهرهایی به فاصله ۲ متر جهت زهکشی ایجاد شد و کشت نهالها در بالای شیارها انجام گردید. فاصله نهالها از همدیگر ۲ متربود. کودها بعد از

کاشت، به‌وسیله دست در سطح خاک پخش شد. آزمایش در سال ۱۹۹۲ شروع شد و ۳ سال به طول انجامید. ترکیب تیمارهای مورد استفاده و مقدار آنها در جدول شماره ۱ آورده شده است. این مواد در زمان کاشت در سطح خاک پخش گردیده است. در این آزمایش ۵ پلات به ابعاد ۲۰×۲۰ متر در نظر گرفته شد و هر کدام به ترتیب زیر نامگذاری شد. شاهد، Ca (تیمار کلسیم به تنهایی)،CaMg (تیمار کلسیم و منیزیم)، MAC (تیمار کلسیم، منیزیم، ازت، پتاسیم و فسفر)،COM (تیمار MAC به اضافه عناصر میکرو). برای بررسی تأثیر مواد اضافه شده بر نهالها، همه ساله طول و قطر یقه تمام نهالها اندازه‌گیری شدند و مورد مقایسه قرار گرفتند. در سال سوم تعداد ۵ نهال در هر تیمار بر اساس طبقه ارتفاع انتخاب و به شرح زیر مورد اندازه‌گیری و تجزیه قرار گرفتند.

هر نهال انتخاب شده به دقت با ریشه از خاک خارج شده و به قسمتهای زیر تقسیم شد:

- ریشه‌ها به دو قسمت تقسیم شدند، ریشه‌های ظریف (کمتر از ۲ میلیمتر قطر) و ریشه‌های قطور (بیش از ۲ میلیمتر قطر)، ریشه‌ها ابتدا با آب معمولی شسته شدند که گل و لای آنها خارج شود و در نهایت ۳ بار با آب مقطر شستشو داده شدند.
- چوب به سه قسمت (تنه، شاخه‌های یکساله و شاخه‌های چند ساله)
- پوست به سه قسمت (پوست تنه، پوست شاخه‌های یکساله و پوست شاخه‌های چند ساله)
- برگها به دو قسمت (برگهای سال جاری و برگهای سالهای قبل). در مورد برگهای سال جاری از برگهای شاخه انتهایی محور نهال جداگانه و از سایر برگهای سال جاری نیز جداگانه نمونه برداری شده و مورد تجزیه واقع گردیده‌اند. در مورد برگهای سالهای قبل هم دو نمونه مجزا از شاخه‌های جانبی و از تنه مورد تجزیه قرار گرفته اند.

روشهای آزمایش:

نمونه‌های گیاهی پس از خشک شدن در حرارت ۶۰ درجه به مدت ۴۸ ساعت، توزین شده و پودر گردیدند. بعد عمل مینرالیزاسیون توسط مخلوطی از اسید سولفوریک و نیتریک به اضافه آب اکسیژنه (Hoeing و Vanderstappen، ۱۹۷۸) انجام شد و کاتیونها توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند. ازت توسط دستگاه کلدال و فسفر از طریق کولوریمتری (AFNOR، ۱۹۸۰) اندازه‌گیری شد.

پارامترهای رشد بر اساس میانگین ۹۰ نهال در هر تیمار و اعداد مربوط به غلظت عناصر میانگین ۵ نمونه می‌باشد. آنالیز واریانس و آزمون توکی برای تعیین معنی‌دار شدن تیمارها استفاده شد.

نتایج

رشد ارتفاعی:

در طول سال اول رشد ارتفاعی در هیچ‌کدام از تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشته (جدول ۳) و در این سال که سال استقرار نهالهای جوان بوده است رشد تحت تأثیر کود نبوده است.

در دومین سال تفاوت رشد میان تیمارها معنی‌دار شده است. نهالهای مربوط به شاهد کمترین رشد را داشته و سایر تیمارها نسبت به شاهد رشد بیشتری داشته‌اند. بیشترین رشد مربوط به تیمار COM (۲۰/۱۹Cm) و کمترین رشد در شاهد (۱۲/۸۳) بوده است.

۳ سال بعد از کاشت و اعمال تیمارها تفاوت میان تیمارها آشکارتر شده، همانند سال قبل شاهد کمترین رشد را داشته و تیمارهای Ca,CaMg,MAC,COM به ترتیب بیشترین رشد را داشته‌اند (هیستوگرام ۱). به نظر می‌رسد که دو سال پس از استقرار

نهالها، تیمارها تفاوت خود را به خوبی نشان می‌دهند. مقایسه رشد نهالها در طول ۳ سال نشان می‌دهد که تیمارهای اجرا شده، بر رشد طولی اثر معنی‌داری داشته‌اند. کمترین تأثیر در میان تیمارها را Ca داشته که احتمالاً به علت اثر نامطلوب آهک در اوایل مصرف آن باشد.این موضوع توسط Toutain و همکاران (۱۹۸۷) نیز گزارش شده است. بیشترین رشد مربوط به تیمار COM بوده که نشاندهنده تأثیر عناصر کم مصرف بر رشد می‌باشد. تیمارهای MAC و CaMg حد واسط دو تیمار دیگر بوده‌اند.

رشد قطری

مقایسه میانگین قطر نهالها در زمان کاشت نشان می‌دهد که تفاوت معنی‌داری میان نهالها وجود ندارد و از یکنواختی لازم برخوردار هستند. رشد قطری نهالها، یکسال بعد از کاشت و اجرای تیمارها نیز معنی‌دار نبوده است. رشد قطری در سال اول حدود ۱mm بوده است. در سال دوم تفاوت رشد نمایان شده، ولی از نظر آماری معنی‌دار نبوده است (هیستوگرام ۲). تفاوت در رشد قطری در سال سوم معنی‌دار شده و همانند رشد ارتفاع، نهالهای تیمار شاهد کمترین و تیمار COM بیشترین رشد قطری را داشته‌اند که گویای نقش مهم عناصر کم مصرف در رشد نهالها بوده است (جدول شماره ۴). ۳ سال پس از کوددهی رشد قطری نهالها ۳۴٪، ۱۱٪، ۱۹٪، و ۲۱٪ در تیمارهای COM، MAC، CaMg و Ca نسبت به شاهد افزایش داشته است.

جذب عناصر معدنی توسط نهالها

برای بررسی تأثیر تیمارهای مختلف بر جذب عناصر معدنی در ۲ سال اول تنها به نمونه برداری از ۲ نهال اکتفا شد و هدف کسب اطلاعات اولیه در مورد چگونگی تغییرات احتمالی میان تیمارها بود. بررسی منابع نشان می‌دهد که در ۲ سال اول پس از کوددهی تفاوتها نمی‌توانند معنی‌دار باشند. نتایج حاصل از تجزیه ریشه و برگ در ۲ سال

اول نشان می دهد که اولین عنصری که در تیمارهای مختلف تغییرات زیادی نشان می‌دهد، منگنز است. مقدار آن در ریشه نهالهای شاهد، ۰/۴۹ میلیگرم در یک گرم ماده خشک، در تیمارهای Ca و MAC ۰/۳ میلیگرم و در تیمارهای COM و CaMg ۰/۱۶ میلیگرم بوده است. در مورد برگهایی که مورد تجزیه واقع شدند نیز کاهش مقدار منگنز در تیمارهای اعمال شده مشهود بود (۰/۴ تا ۰/۸ میلیگرم در تیمارها و ۱/۲ میلیگرم در شاهد). به‌طور کلی نتایج حاصل از تجزیه اندامهای گیاهان در ۲ سال اول نشان می‌دهد که منگنز عنصری است که نسبت به سایر عناصر سریعترین واکنش را داشته و برگها نیز حساسترین اندامها هستند که این واکنش را بخوبی نشان می‌دهند.

نتایج حاصل از تجزیه اندامها ۳ سال پس از کاشت و اعمال تیمارها

ازت

کود دهی در این آزمایش هیچ تأثیر معنی‌داری بر ازت برگها نداشت و مقدار ازت در برگهای سال جاری ۲/۰۱ تا ۲/۰۹ درصد و در برگهای مسن ۱/۸۱ تا ۲/۱ درصد متغیر بود.

کلسیم

تیمارهای اجرا شده سبب شد که کلسیم در تمام اندامها افزایش یابد. افزایش آن در برگهای سال جاری، برگهای مسن و پوست شاخه‌ها در تیمار COM نسبت به شاهد معنی‌دار بود. در میان برگهای سال جاری برگهای مربوط به شاخه انتهایی محور نهال که زودتر از سایر برگهای سال جاری تشکیل می شوند از نظر کلسیم غنی تر هستند (۱۴٪ در تیمار COM تا ۳۴٪ در تیمار Ca و MAC). در تیمار CaMg اعداد با شاهد تفاوت زیادی ندارند. برگهای مربوط به سالهای قبل نسبت به برگهای سال جاری از نظر کلسیم

غنی تر هستند (۳۵٪ در تیمار Ca تا حدود ۶۰٪ در تیمار COM). مقدار کلسیم در ریشه‌های قطور و در چوب کمتر از سایر اندامها بود.

منیزیم

مقدار منیزیم در تمام اندامهای گیاه در اثر تیمارهای اجرا شده افزایش داشت. تفاوت میان تیمارهای مختلف در برگهای سال جاری و ریشه باریک معنی‌دار بود (جدول 5a، 5b،5c و 5d). غلظت منیزیم در ریشه باریک در تیمار MAC و COM ۵۰ درصد بیشتر از شاهد بود. در تمام اندامهایی که تجزیه شد، به جز پوست، منیزیم در تیمار COM بیشتر از سایر تیمارها بود. میانگین منیزیم در برگهای مسن ۲۶٪ کمتر از برگهای سال جاری مربوط به محور انتهایی نهال و ۱۸٪ کمتر از سایر برگهای سال جاری بود. منیزیم در ریشه‌های نازک ۲ برابر ریشه قطور و مقدار آن در پوست نیز ۲ برابر چوب بود. منیزیم در پوست شاخه‌های سال جاری بیشترین و در چوب‌های دو ساله کمترین مقدار را نسبت به سایر اندامها داشت.

پتاسیم

در اکثر اندامهایی که تجزیه شدند، میزان پتاسیم در تیمارهای مختلف، به جز آهک، روند صعودی داشته است. تیمار آهک، پتاسیم را در برگها کمی کاهش داده است. مقدار پتاسیم تمام اندامها در تیمار COM زیادتر از سایر تیمارها بود. مقدار پتاسیم در برگهای سال جاری ۳۳٪ بیشتر از برگهای مسن بود. مقدار پتاسیم در ریشه‌های باریک ۲ برابر ریشه‌های قطور بود. همین نسبت هم در مورد پوست و چوب دیده می شود. در میان اندامهایی که تجزیه شدند، پتاسیم در برگهای سال جاری بیشترین و در چوب شاخه‌های ۲ ساله کمترین مقدار را داشته است.

سدیم و آهن

مقدار سدیم و آهن در اندامهای مختلف تحت تأثیر تیمارها قرار نگرفت. غلظت آهن بر خلاف سایر عناصر در ریشه‌ها بیشتر از سایر اندامهای نهالهابود. بیشترین مقدار آهن در ریشه‌های باریک بود که مقدار آن ۲/۵ برابر ریشه‌های قطور بود.

منگنز

در اثر تیمارهای اجرا شده منگنز در تمام اندامها کاهش پیدا نمود.این کاهش در تیمارهای MAC و COM نسبت به شاهد معنی‌دار بود.

تجمع منگنز در در برگهای پیر ۲ برابر برگهای جوان بود. همچنین در ریشه‌های باریک و پوست غلظت منگنز بیشتر از ریشه‌های قطور و چوب بود.بیشترین غلظت منگنز در برگها به خصوص برگهای پیر مشاهده شد.

بررسی پوشش گیاهی

گونه غالب در پوشش گیاهی، *Molinia coerulea* از خانواده گرامینه بوده است. وضعیت تغییر گونه‌ها در طول ۳ سال پس از کوددهی و اعمال تیمارها توسط Rahmani (۱۹۹۷) آورده شده است و در این مقاله تنها به اختصار در مورد بیوماس بحث خواهد شد.

بیوماس قسمت هوایی

در جدول شماره ۶ بیوماس و غلظت عناصر معدنی در دو گیاه مولینی و کاج نشان داده شده است. مقدار بیوماس زیاد پوشش گیاهی نسبت به نهالها، گویای جذب زیاد عناصر غذایی و احتمالاً رقابت شدید میان نهالها و پوشش گیاهی است. نهالها در مجموع ۴/۶ تا ۶ درصد پوشش گیاهی را از نظر بیوماس دارند.

غلظت پتاسیم در نهالها بسیار بیشتر از مولینی است (حدود ۲ برابر). مقدار پتاسیم در

مولینی با اعمال تیمارهای کودی افزایش یافته (۲۵٪ در تیمارهای Ca و CaMg و ۵۰٪ در تیمارهای MAC و COM). در مورد عنصر منگنز که در نهالها در اثر تیمارهای مختلف مقدار آن کاهش زیادی داشته در مورد مولینی این طور نبوده و مقدار آن در تیمارهای مختلف تفاوت زیادی نشان نمی‌دهد. عنصر آهن در گیاه مولینی به مقدار بسیار زیادتری نسبت به نهالها جذب شده است.

به طور کلی اگر چه مولینی با توجه به بیوماس و سیستم ریشه‌ای سطحی نهالها، رقابت زیادی با آنها دارد، ولی به نظر می‌رسد که این رقابت در مورد عناصر بحرانی در این خاک (کاتیونها) که در تغذیه کاج نقش دارند تأثیر زیادی نداشته است.

نتیجه‌گیری و بحث

رشد ارتفاعی نهالها ۲ سال پس از کوددهی و رشد قطری ۳ سال پس از آن تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان داد. در تیمار COM که حاوی میکروالمنتها بود این رشد بیشتر از سایر تیمارها بود. علاوه بر افزایش رشد، جذب عناصر هم در تیمار COM بیشتر از سایر تیمارها است که علت آن احتمالاً رشد بهتر سیستم ریشه ای و فعالیت بهتر میکوریزهای ریشه و همچنین تعادل بهتر کاتیونهای خاک در این تیمار است.

نتایج حاصل از تجزیه اندامها نشان داد که میزان ازت در برگها نسبتاً مناسب بوده است. مقدار ۱/۵ تا ۲/۵ درصد ازت در برگهای پینوس سیلوستریس برای رشد مناسب کافی است (Martin-prevel، ۱۹۸۴).

در اثر اجرای تیمارها، کلسیم و منیزیم در تمام و پتاسیم در بسیاری از اندامها افزایش یافت. تأثیر مثبت کودهای حاوی کلسیم از طریق کاهش مقدار آلومینیوم که در جذب باکلسیم رقابت می‌کند می‌باشد و همچنین تأثیر این کودها بر رشد ریشه‌ها و فعالیت بهتر میکوریزهای ریشه، جذب عناصر بیشتر را سبب می‌شوند (Bonneau، ۱۹۹۳).افزایش منیزیم در برگ و ریشه‌های نهالها در تیمار آهک (بدون منیزیم) مؤید این مطلب است که

تیمار آهک رشد ریشه‌ها و میکوریزی شدن آنها را افزایش داده و در نتیجه جذب بهتر صورت گرفته است. مطالعات قبلی در درختان دوگلاس هم همین نتایج را تأیید می‌کند (Velazquuez-Martinez و همکاران، ۱۹۹۲).

مقدار منگنز در اندامهای تجزیه شده کاهش داشت. این کاهش در تیمار MAC و COM بیشتر از سایر تیمارها بود. آزمایشهای خاک کاهش منگنز تبادلی خاک را تأیید می‌کند. در قبل هم گزارشهایی در مورد کاهش مقدار منگنز در اثر تیمار با آهک توسط Toutain و همکاران ۱۹۸۷ منتشر شده است. کاهش منگنز در ریشه‌های پینوس بر اثر کود دهی توسط Finn و Braekke (۱۹۹۵) هم گزارش شده است. افزایش منگنز در خاک باعث سمیت شده که در نهایت کاهش رشد را سبب می‌شود. کاهش رشد پینوس رادیاتا در اثر افزایش منگنز در نیوزلند گزارش شده است (Adams و Walkes، ۱۹۷۵).

Na, Mn, Ca و Fe در برگهای پیر تجمع حاصل می کنند و غلظت آنها در برگهای جوان کمتر است. غلظت K و Mg در برگهای جوان بیشتر از برگهای پیر است که نشانهٔ این است که تحرک این عناصر بیشتر از گروه اول است. Helmissari (۱۹۹۲ a,b) گزارش نمود که در پینوس N و K کاملا در درخت تحرک دارند، Mn, Ca و Fe تحرک بسیار کم و Zn, Mg و B نسبتاً متحرک هستند. تجمع کلسیم در برگهای مسن‌تر در پیسه‌آ نیز گزارش شده است (Le Goaster و همکاران، ۱۹۹۱).

اگر غلظت عناصر در اندامهای جوان زیاد باشد نشانه تحرک این عنصر و اگر در اندامهای پیر تجمع بیشتر پیدا کند نشانه این است که عنصر به اندامهای جوان منتقل نمی‌شود یا کم منتقل می‌شود (Helmissari، ۱۹۹۰).

به‌طور خلاصه از تجزیه برگ نتایج زیر حاصل گردید:

مقدار کلسیم برگ در تیمارهای مختلف افزایش داشته، ولی تیمار آهک (Ca) بدون سایر مواد تأثیر کمتری داشته است. آزمایش‌ها نشان دادند که افزودن منیزیم به کلسیم (تیمار CaMg) مقدار کلسیم وهمچنین مقدار منیزیم و پتاسیم را در برگ افزایش داده است.

غلظت منیزیم در برگها از ۰/۳۱ تا ۰/۵۱ میلیگرم در گرم ماده خشک متغیر است. این مقدار به ویژه برای برگهای جوان بسیار کم است. آستانه کمبود این عنصر ۰/۵ میلیگرم در گرم ذکر شده است (Martin-prevel و همکاران، ۱۹۸۴) که در تیمارهای شاهد و Ca خیلی کمتر از این مقدار است و ۳ تیمار دیگر باعث افزایش منیزیم شده و کمبود آن رفع گردیده است. برگها در تیمارهای مختلف (به جز تیمار آهک به تنهایی) مقدار پتاسیم زیادتری داشته، ولی به رغم مقدار زیاد پتاسیم در خاک، مقدار آن در برگ کم است.

تمام تیمارهای اعمال شده سبب کاهش مقدار منگنز در برگ شده و با توجه به اینکه مقدار زیاد منگنز ایجاد سمیت می‌کند، دستیابی به این نتیجه اهمیت خاصی دارد. کاهش منگنز در اثر کوددهی در قبل توسط Toutain و همکاران (۱۹۹۳) گزارش شده است.

نتیجه‌گیری نهایی

زمان ۳ سال برای برآورد تأثیر مواد اصلاح کننده و کودها بر خاک جنگل زمانی کوتاه است و نمی‌توان در این مدت تمام نتایج حاصل بر نهالها را ارزیابی نمود. با این وجود نتایج زیادی که از این آزمایش بدست آمده به‌طور مختصر بیان می‌گردد.در مورد کاج سیلوستر آستانه کمبود و مقدار مناسب عناصر توسط افراد مختلف تعیین و ذکر شده است (Martin prevel و همکاران، ۱۹۸۴ به نقل از Bonneau). مقدار ۲ درصد ازت و ۰/۱۵ درصد تا ۰/۲۶ درصد کلسیم در برگهای سال جاری رشد خوبی را سبب شده‌اند. ولی مقدار فسفر خیلی نزدیک به آستانه کمبود (۰/۱ درصد) می‌باشد. پتاسیم در شاهد در حد مقدار مناسب توصیه شده (۰/۴۵ درصد) قرار ندارد و اعمال تیمارها و افزودن پتاسیم سبب رفع کمبود شده است. منیزیم عنصری است که بیشترین کمبود را نشان می‌دهد (میان ۰/۰۵ تا ۰/۰۹ درصد). مقدار آستانه کمبود برای این عنصر ۰/۱ درصد ذکر شده، که از مقدار آن در این آزمایش بیشتر است. بنابراین با توجه به تجزیه‌های انجام شده به نظر می‌رسد که دادن کود در این خاک اجتناب ناپذیر بوده و کمبود عناصر باید با دادن کود مرتفع شوند.

جدول شماره ۱ - مقدار و ترکیب مواد و کودهای داده شده در تیمارهای مختلف (کیلوگرم در هکتار)

مواد اضافه شده در هر تیمار	شاهد	Ca	CaMg	MAC	COM
Calcium: (94%CaO) Quicklime	-	۱۰۰۰	-	-	-
Calcomagnesian: (42%CaO+10%MgO)	-	-	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
N: (16.75%Nitric, 16.75%Ammoniac)	-	-	-	۵۰۰	۵۰۰
PK : (18.5%P2O5, 24%K2O)	-	-	-	۵۰۰	۵۰۰
Micro-element: (46%CaO, 5%MgO, Fe,Mn,Cu,Co,Ni<0.01%)	-	-	-	-	۵۰

جدول شماره ۲ - تجزیه خاک زمین مورد آزمایش قبل از کوددهی واعمال تیمارها (۲۰ سانتیمتر سطح خاک)

pH		کاتیونهای تبادلی (meq/100g)					Fe	Cu	
H2O	Kcl	Ca	Mg	K	Na	Mn	(mg/kg)	(mg/kg)	S
٤/٩	¼	۰/۰۵	۰/۱۹	۰/۳۸	۰/۲۰	۰/۰۷	۲۰/۳۳	۲/٦۳	۰/۸۲

C(%)	N(%)	C/N	O.M(%)	یونهای اسیدی (meq/100g)			pH7		خاکpH	
				H	Al	Ae	T7	V7 (%)		Vخاک(%)
۳/۷٦	۰/۲۳	۱٦/۷	۷/۵۱	۰/۲۲	۲/۷۹	۳/۰۱	۱٦/۳۲	۵/۲۸	۳/۸۰	۲۱/۳۶

S: مجموع کاتیونهای تبادلی V: نسبت S به T: Tمجموع یونهای تبادلی Ae: مجموع یونهای اسیدی

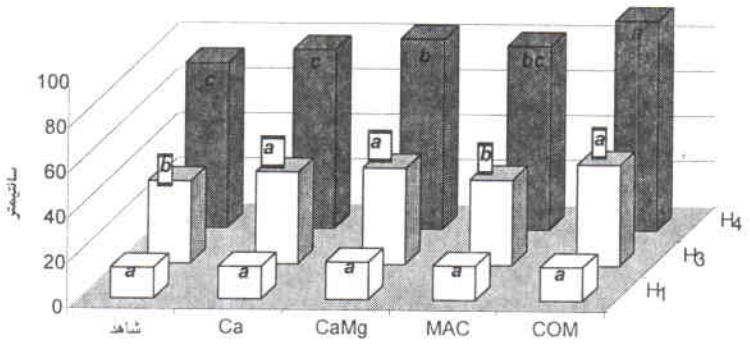
جدول شماره ۳ – میانگین اندازه ارتفاع و رشد کاج در تیمارهای مختلف، ۳ سال پس از کود دهی (سانتیمتر)

	شاهد	Ca	CaMg	MAC	COM
H۱	a۱۳/۷٤	a۱٤/۵۰	a۱٦/۷۱	a۱۵/۲۷	a۱۵/۰۳
H۲	a۲۳/٦۰	a۲۳/۵۱	a۲۵/۲٤	a۲۳/۳۵	a۲٤/۵٦
H۳	b۳٦/٤۳	ab٤۰/٦۱	ab٤۲/۷٤	b۳۷/۸۱	a٤٤/۷۸
H٤	c۷۳/۳۲	c۷۹/۳۹	b۸٤/۳۵	bc۸۱/٤۲	a۹۲/۸٦
H۲-H۱	a۹/۸٦	a۹/۰۱	a۸/۵۳	a۸/۰۸	a۹/۵٦
H۳-H۲	c۱۲/۸۳	ab۱۷/۱۰	ab۵/۱۷	bc۱٤/٤٦	a۲۰/۱۹
H٤-H۳	d۳٦/۳۷	bcd۳۹/۱۷	bc۵۹/٤۱	b٤۳/۲۸	a٤۸/۲٦
H۳-H۱	b۲۲/٦۷	b۲۵/۸۸	ab۰/۲٦	b۲۲/۵	a۳۰/۰۸
H٤-H۱	c۵۹/۵۸	bc٦٤/۸۹	b٦٤/٦۷	bc٦٦/۱۵	a۷۷/۸۳

در هر ردیف اعدادی که دارای حروف مشابه هستند از نظر آماری تفاوت معنی دار در سطح ۵٪ ندارند.

H۱ = ارتفاع در سال اول H۲ = ارتفاع در سال دوم H۳ = ارتفاع در سال سوم H۴ = ارتفاع در سال چهارم

هیستوگرام شماره ۱ – ارتفاع نهالها در تیمارهای مختلف

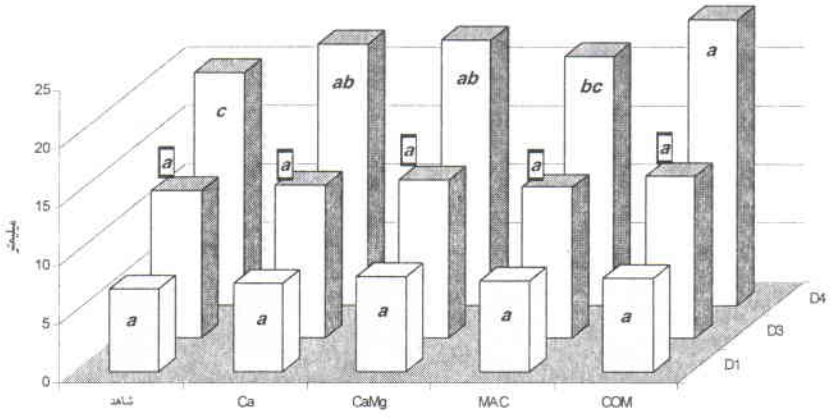


جدول شماره ٤- میانگین اندازه قطر یقه و رشد قطری کاج در تیمارهای مختلف ۳ سال پس از کوددهی (میلیمتر)

	شاهد	Ca	CaMg	MAC	COM
D۱	a۷/۷۱	a۷/۵۷	a۸/۱۵	a۷/۸	a۸/۰٦
D۲	a۸/٦٦	a۸/٤٥	a۹/۲۲	a۸/۷۱	a۹/۳۰
D۳	a۱۲/٦٦	a۱۳/۰۳	a۱۳/۵۰	a۱۲/۹۱	a۱۳/۹۳
D٤	c۱۹/۸۸	ab۲۲/۲٦	ab۲۲/٦۵	bc۲۱/۳	a۲٤/٤٤
D۲-D۱	a۰/۹۵	a۰/۸۸	a۱/۰۷	a۰/۹۱	a۱/۲٤
D۳-D۲	a۳/۹۵	a٤/۵۸	a٤/۲۸	a٤/۲۰	a٤/٦۳
D٤-D۳	c۷/۱۹	ab۹/۳۰	b۹/۱٤	bc۸/٤۰	a۱۰/۵۱
D۳-D۱	a٤/۸۳	a۵/۳۸	a۵/۳٦	a۵/۱۱	a۵/۸۷
D٤-D۱	c۱۲/۱۷	ab۱٤/٦۹	ab۱٤/۵	bc۱۳/۵۰	a۱٦/۳۸

در هر ردیف اعدادی که دارای حروف مشابه هستند از نظر آماری تفاوت معنی دار در سطح ۵٪ ندارند.

D۱ = قطر در سال اول D۲ = قطر در سال دوم D۳ = قطر در سال سوم D۴ = قطر در سال چهارم



جدول شماره 5a – مقدار عناصر معدنی در برگهای شاخه انتهایی کاج در تیمارهای مختلف (mg/g)

تیمار	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn
شاهد	b۱/۹۹	a۰/۷۱	ab٤/۲٤	a۰/۰۳	a۰/۱۰	a۰/٦۰
Ca	ab۲/۵۵	a۰/۸۸	b٤/۱۸	a۰/۰۳	a۰/۱۰	ab۰/٤۱
CaMg	ab۲/۱۳	a۰/۸۸	ab۵/۰۷	a۰/۰۳	a۰/۱۲	ab۰/٤۲
MAC	a۲/۸۷	a۰/۸۲	ab۵/۰۸	a۰/۰۳	a۰/۱۰	b۰/۲۷
COM	a۳/۰۱	a۰/۹۹	a۵/٤۷	a۰/۰۲	a۰/۱۰	b۰/۳۰

در هر ستون اعدادی که دارای حروف مشابه هستند از نظر آماری تفاوت معنی دار در سطح ۵٪ ندارند.

جدول شماره 5 b – مقدار عناصر معدنی در برگهای یکساله کاج در تیمارهای مختلف (mg/g)

تیمار	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	N%
شاهد	b۱/٤۷	b۰/۵٦	ab٤/٦۹	a۰/۰۲	a۰/۱۰	a۰/۵۳	a۲/۰۱
Ca	ab۱/۸۷	ab۰/۷۹	b٤/۳۵	a۰/۰۳	a۰/۱۱	ab۰/۳۹	a۲/۰۹
CaMg	ab۲/۱۹	ab۰/۸۵	ab۵/۵۵	a۰/۰۲	a۰/۱۰	b۰/۳۱	a۲/۰٤
MAC	ab۲/۱۵	ab۰/۷٤	ab۵/٦۸	a۰/۰۲	a۰/۱۰	b۰/۲۲	a۲/۰۹
COM	a۲/٦۵	a۰/۹٦	a٦/۲۳	a۰/۰٤	a۰/۰۹	b۰/۲۷	a۲/۰۱

جدول شماره 5c- مقدار عناصر معدنی در برگهای دوساله کاج در تیمارهای مختلف (mg/g)

تیمار	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	N%
شاهد	b۳/۲۰	a۰/٤٦	a۲/۸٦	a۰/۰٤	a۰/۱٦	a۱/۳۰	a۱/۸٦
Ca	ab۳/٤۰	a۰/٦۱	a۲/۹۱	a۰/۰٦	a۰/۱۸	b۰/٦۹	a۲/۰۱
CaMg	ab٤/۳٥	a۰/٦۳	a۳/۷٥	a۰/۰۷	a۰/۱۳	ab۰/۸۳	a۱/۸۹
MAC	ab٤/٤۷	a۰/۷۲	a۳/۷۹	a۰/۰۷	a۰/۱۹	b۰/٦۳	a۱/۹۲
COM	a٥/٤۷	a۰/۸٥	a٤/۳٦	a۰/۰۹	a۰/۱۰	ab۰/۷٦	a۲/۱۰

در هر ستون اعدادی که دارای حروف مشابه هستند از نظر آماری تفاوت معنی دار در سطح ۵٪ ندارند

جدول شماره 5d - مقدار عناصر معدنی در ریشه نازک کاج در تیمارهای مختلف (mg/g)

تیمار	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Al
شاهد	۰/۶٥b	۰/۴۴b	۳/۰۲b	۰/۰۶a	۰/٥۲a	۰/۱۹a	۱/۰٥ab
Ca	۰/۷۴ab	۰/٥۳ab	۳/۰۹b	۰/۰۷a	۰/٥٥a	۰/۱۳b	۱/۴۰a
CaMg	۰/۸۳a	۰/٥٥ab	۳/۷۹ab	۰/۰۶a	۰/٥۷a	۰/۱۲bc	۱/۲۲ab
MAC	۰/۷۹ab	۰/۶۲a	۳/۸٥ab	۰/۰٥a	۰/٥۲a	۰/۰۸d	۰/۹۸ab
COM	۰/۷۰ab	۰/۶۰a	۴/۴۲a	۰/۰۶a	۰/٥۰a	۰/۱۰cd	۰/۷۴b

در هر ستون اعدادی که دارای حروف مشابه هستند از نظر آماری تفاوت معنی دار در سطح ۵٪ ندارند.

جدول شماره ۵e – مقدار عناصر معدنی در ریشه قطور کاج در تیمارهای مختلف (mg/g)

تیمار	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn
شاهد	۰/۴۶a	۰/۲۴a	۱/۹۸a	۰/۰۳a	۰/۱۸a	۰/۰۹a
Ca	۰/۵۶a	۰/۳۱a	۱/۹۸a	۰/۰۳a	۰/۱۷a	۰/۰۸ab
CaMg	۰/۵۶a	۰/۲۹a	۲/۶۳a	۰/۰۳a	۰/۱۹a	۰/۰۷ab
MAC	۰/۵۷a	۰/۳۳a	۲/۰۵a	۰/۰۳a	۰/۲۰a	۰/۰۶b
COM	۰/۵۷a	۰/۳۰a	۲/۶۳a	۰/۰۳a	۰/۲۱a	۰/۰۷ab

در هر ستون اعدادی که دارای حروف مشابه هستند از نظر آماری تفاوت معنی دار در سطح ۵٪ ندارند.

جدول شماره ۵f – مقدار عناصر معدنی در پوست شاخه های یکساله کاج در تیمارهای مختلف (mg/g)

تیمار	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn
شاهد	۱/۸۴a	۰/۸۷a	۳/۹۳a	۰/۰۵a	۰/۰۵a	۰/۴۲a
Ca	۱/۹۳a	۰/۸۳a	۴/۰۴a	۰/۱۲a	۰/۰۸a	۰/۱۵b
CaMg	۲/۰۸a	۰/۹۵a	۴/۴۸a	۰/۰۶a	۰/۰۹a	۰/۱۵b
MAC	۲/۳۹a	۱/۰۳a	۳/۸۸a	۰/۰۶a	۰/۰۷a	۰/۱۲b
COM	۲/۳۷a	۰/۹۱a	۴/۴۴a	۰/۰۶a	۰/۰۷a	۰/۱۱b

در هر ستون اعدادی که دارای حروف مشابه هستند از نظر آماری تفاوت معنی دار در سطح ۵٪ ندارند.

جدول شماره 5g – مقدار عناصر معدنی در پوست شاخه های مسن کاج در تیمارهای مختلف (mg/g)

تیمار	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn
شاهد	۱/۹۰b	۰/۵۶a	۲/۴۶a	۰/۰۲a	۰/۱۱a	۰/۲۵a
Ca	۲/۲۲ab	۰/۶۹a	۲/۷۵a	۰/۰۳a	۰/۱۸a	۰/۲۱ab
CaMg	۲/۶۸a	۰/۶۵a	۳/۰۶a	۰/۰۳a	۰/۱۴a	۰/۲۱ab
MAC	۲/۱۵b	۰/۷۱a	۲/۵۲a	۰/۰۳a	۰/۱۱a	۰/۱۹ab
COM	۲/۱۶ab	۰/۷۴a	۲/۸۶a	۰/۰۳a	۰/۱۸a	۰/۱۲b

در هر ستون اعدادی که دارای حروف مشابه هستند از نظر آماری تفاوت معنی دار در سطح ۵٪ ندارند.

جدول شماره 5a – مقدار عناصر معدنی در پوست تنه کاج در تیمارهای مختلف (mg/g)

تیمار	Ca	Mg	K	Na
شاهد	۱/۶۶a	۰/۶۱a	۳/۶۴a	۰/۰۴a
Ca	۱/۷۴a	۰/۷۱a	۳/۷۳a	۰/۰۷a
CaMg	۲/۰۳a	۰/۸۷a	۴/۶۹a	۰/۰۶a
MAC	۱/۷۶a	۰/۹۳a	۳/۸۵a	۰/۰۴a
COM	۲/۱۴a	۰/۷۱a	۴/۲۷a	۰/۰۴a

جدول شماره ٦- مقایسه بیوماس و ترکیب معدنی نهالهای کاج و گیاه مولینی (mg/g)

	وزن خشک (g/m^2)	Ca	Mg	K	Na	Mn	Fe
کاج							
شاهد	٣٨/٧	١/١٩	٠/٤٥	٣/٣٣	٠/٠٣	٠/٣٦	٠/٠٧
Ca	٤٥/٢	١/٤٦	٠/٥٥	٣/١٦	٠/٠٣	٠/٢٥	٠/٠٨
CaMg	٤٨/٦	١/٤٤	٠/٥٥	٢/٨٦	٠/٠٣	٠/٢٢	٠/١١
MAC	٤٦/٣	١/٧٧	٠/٦٤	٤/٠٠	٠/٠٣	٠/١٧	٠/٠٥
COM	٥٣/٣	١/٦٨	٠/٥٥	٣/٨٦	٠/٠٣	٠/١٦	٠/١١
مولینی							
شاهد	٩٢٠	١/١٥	٠/٤٧	١/٣٢	٠/٠٢	٠/٤٤	٠/٦٧
Ca	٧٥٨	١/٢٣	٠/٤٨	١/٦٥	٠/٠٤	٠/٣٦	٠/٢٩
CaMg	٩٣٠	١/١٩	٠/٤١	١/٦٥	٠/٢٣	٠/٣٦	٠/١٧
MAC	٨٢٤	١/٣٢	٠/٥٣	١/٩١	٠/١٣	٠/٤٧	٠/٤٥
COM	٩٥٠	١/٧٥	٠/٦٦	٢/٠٥	٠/٠٧	٠/٤٩	٠/٣٤

جدول شماره ۷ - بیوماس قسمتهای مختلف کاج چهار سال پس از کشت (گرم بر نهال) ، اعداد میانگین ۵ نهال است.

تیمار	ریشه باریک	ریشه قطور	برگهای یکساله	برگهای مسن	چوب یکساله	چوب مسن	چوب تنه	پوست یکساله	پوست مسن	پوست تنه
شاهد	۸/۲۰	۱۶/۵۲	۷۵/۲۶	۲/۹۹	۱۵/۵۸	٦/۸۷	۲٤/۷۸	۱۸/۲۹	٦/۳۵	۲۱/۹۸
Ca	۹/۹۳	۱۷/۸۲	۸۸/٦۵	۳/۱۸	۱۸/۲۸	۱۰/٤۷	۲٦/۲۹	۲۱/٤۵	۹/٦۷	۲۳/۳۱
CaMg	۷/۸۲	۱۹/٦٤	۹۲/۳۷	٤/۹٦	۲۰/۰۵	۸/۵۱	۳۰/۹٦	۲۳/۵۳	۷/۸٦	۲۷/٤٦
MAC	۷/۵۰	۱۷/۷۷	۸۸/۰۷	٤/۷۳	۱۹/۱۱	۸/۱۲	۲۹/۵۳	۲۲/٤٤	۷/٤۹	۲٦/۱۸
COM	۸/۳٦	۲۰/۳۱	۱۰۰/٦	۷/٤۰	۲۱/۸۵	۹/۲۸	۳۳/۷۵	۲۵/٦٤	۸/۵٦	۲۹/۹۲

منابع

Adams F., 1984. Crop response to lime in the southern United States. In : Soil Acidity and Liming (2nd ed), F. Adams, ed., Am. Soc. Agr. Inc., Crop Sci. Soc. Am. Inc., Soil Sci.Soc. Am. Inc., Madison, U S A, 211-265.

Adams J.A. et Walker, T.W. 1975. Nutrient relationship of radiata pine in Tasman forest,Nelson. N.Z. J. For. Sci. 5: 18-32.

AFNOR, 1980. Aliment des Animaux. Dosage du phosphore total. Methode spectrophotometrique. NF V 18-106. AFNOR, ed., Paris la Defense, France.

Belkacem S., 1990. Effets d'un amendement calcaire et d'une fertilisation Azotée sur la redistribution des éléments mineraux dans le sol et dans la biomasse forestière. D. E. A. Nancy I. 81 p.

Belkacem S., Nys C. et Gelhage D., 1992. Essai d'une fertilisation et d'un amendement sur l'immobilisation d'éléments dans la biomasse d'un peuplement adulte d'épicéa commun (*Picea abies*). Ann. Sci. For. 49: 235-252.

Belkacem S. et Nys C., 1993. Effets des différentes formes d'amendements calcaires et du gypse sur les caractéristiques chimiques d'un sol acide forestier. Forets et Amendements calcaires, INRA-CRF Nancy, 113-126.

Bengtsson B., Asp A., Jenson P. et Berggren D., 1988. Influence of aluminium on phosphate and calcium uptake in beech (*Fagus silvitica*) grown in nutrient solution and soil solution. Physiol. Plant. 74: 299-305.

Bonneau M., 1993. Fertilisation sur résineux adultes (*Picea abies* Karst et *Abies alba* Mill) dans les vosges : composition foliaire en relation avec la défoliation et le jaunissement. Ann. Sci. For. 50: 159-175.

Bonneau, M., 1993. Chaulage en forêt : Justification et problèmes posés. Forêts et Amendements calcaires, INRA-CRF Nancy. 17-25.

Derom J., 1991. Effects of forest liming on the nutrient status of Podzolic soil in Finland. Water. Air Soil pollution. 54: 337-350.

Devisser P.H.B. et Keltjens W.G., 1993. Growth and nutrient uptake of Douglas fir seedlings at differant rates of ammonium supply, with or without additional nitrate and other nutrients. Netherlands J. Agr. Sci. 41: 327-341.

DeWalle D.R., Ribblett G.C., Helvery J.D. et Kochenderfer J., 1985. Laboratory investigation of leachate chemistry from six application forest floor type subjected to simulated acid rain. J. Environ. Qual. 14: 234-240.

DRAF Limousin, 1995. La forêt et la filière bois, 6p.

Ericsson T., Goransson A., Van oene H. et Gobran G., 1995. Interactions between aluminium, calcium and magnesium - Impacts on nutrition and growth of forest trees. Ecol. Bull. 44: 191-196.

Finn H. et Braekke, F.H., 1995. Response of under storey vegetation and Scots pine root systems to fertilization and multiple deficiency stress. Plant Soil. 168-169: 179-185

Fehlen N. et Picard J.F., 1994. Influence de la fertilisation sur la végétation spontanée et la croissance radiale de l'épicéa commun (*Picea abies*.L. Karst) dans une plantation adulte des Ardennes Françaises. Ann. Sci for. 51: 569-580.

Généré B., 1992. Bilan des essais de fertilisation du Douglas vert à Peyrat-le-Chateau. CEMAGREF, Nogent-sur- Vernisson, 1-14.

Göransson A. et Eldhuset T.D., 1987. Effects of Aluminium on growth and nutrient uptake of *Betula pendula* seedlings. Physiol. Plant. 69: 193-199.

Göransson A. et Eldhuset T.D., 1991. Effects of Aluminium on growth and nutrient uptake of small *Picea abies* and *Pinus sylvestris* plants. Trees. 5: 136-142.

Göransson A. et Eldhuset T.D., 1995. Effects of Aluminium ions on uptake of Calcium, Mgnesium and Nitrogen in *Betula pendula* seedlings growing at high and low nutrient supply rates. Water, Air and Soil pollution. 83: 351-365.

Gorissen A., Jansen A.E. et Olsthoorn A.F.M., 1993. Effects of two-year application of ammonium sulfate on growth, nutrient uptake, and rhizosphere microflore of juvenile Douglas fir. Plant and Soil. 157: 41-50.

Hecht-Buchholz C., Jorns C.A. et Keil P., 1987. Effect of excess Al and Mn on Norway spruce seedlings as related to Mg nutrition. J. Plant Nut. 10: 1103-1110.

Helmisaari H., 1990. Temporal variation in nutrient concentration of *Pinus sylvestris* needles. Scand. J. For. Res. 5: 177-193.

Helmisaari H., 1992a. Nutrient retranslocation in three *Pinus sylvestris* stands. For. Ecol. Manage. 51: 347-367.

Helmisaari H., 1992b. Spatial and age - related variation in nutrient concentrations of *Pinus sylvestris* needles. Silva Fennica. 26 (3): 145-153.

Joslin D.J. et Wolfe M.H., 1988. Responses of red spruce seedlings to changes in soil aluminium in six amended forest soil horizons. Can. J. For. Res. 18: 1614-1623.

Laudelout H., 1993. La pratique du chaulage : historiqe et philosophie. Forêts et Amendements calcaires, INRA-CRF Nancy, 5-17.

Lebourgeois F., 1991. Modifications observées à la suite d'une fertilisation dans diverses sapinières dépérissantes des Vosges. Etude phytoécologique et dendrochronologique. DEA Ecologie générale et production végétale, Univ. Paris 11 (Orsay), 52 p.

Le Goaster S., Dambrine E. et Ranger J., 1991. Mineral supply of healthy and declining trees of a young Spruce stand. Water, Air, and Soil pollution. 54: 269-280.

Martin-Prével P., Gagnard J. et Gautier P., 1984. Analyse végétale dans le controle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales. Lavoisier. France, 525-546.

Nys C., 1989. Fertilisation dépérissement et production de l'épicéa commun dans les Ardennes. Rev. For. Fr. 61 (4) : 336-347.

Palomaki V. et Raitio, H. 1995. Chemical composition and ultrastractural changes in Scots pine needles in a forest décline area in southwestern Finland. Trees. 9: 311-317.

Rahmani A., 1997. Résponses aux amendements de deux écosystemes forèstiers juvéniles en limousin : plantations de *Pinus sylvestris* et de *Pseudotsuga menziesii*. Thèse. Doct. Univ. Limoges. 156 p.

Ranger J., Daldoum M.A. et Gelhaye D., 1994. Effet d'un amendement calco-magnésien associé ou non à une fertilisation, sur le cycle biogéochimique des éléments nutritifs dans une plantation d'épicéa commun (*Picea abies* Karst) dépérissante dans les vosges. Ann. Sci. For. 51: 455-475.

Rehfuess K.E., Makeschin, F et Rodenkirchen, H., 1991. Results and experience from amelioration trials in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forest of Northeastern Bavaria. Fertilizer research. 27: 96-105.

Schaedle M., Thornton F.C., Raynal D.J. et Tepper H.B., 1989. Responce of tree seedlings to aluminium. Tree Physiol 5: 337-356.

Sharpe W.E., Swistock B.R. et Dewalle D.R., 1993. Agreenhouse study of Northern red oak seedling growth on two forest soils at different stages of acidification. Water, Air and soil pollution. 66: 121-133.

Toutain F., Diagne A. et Le Tacon F., 1987. Effets d'apports d'éléments minéraux sur le fonctionnement d'un écosystème forestier de l'Est de la France. Rev. Ecol. Biol. Sol. 24: 283-300.

Toutain F., Diagne A. et Le Tacon F., 1993. Effets d'apports de Calcium et de divers éléments majeurs sur le fonctionnement d'un écosystème forestier acide de l'Est de la France. Forêt et Amendements calcaires. INRA. Centre de Nancy, 35-49.

Ulrich B., 1986. Die Rolle der Bodenversauerung beim Waldsterben: Langfristige Konsequenzen und forstliche Möglichkeiten. Forstwiss. Central bl. 105: 421-435.

Velazquez-Martinez A., Perry D.A. et Bell T.E., 1992. Response of aboveground biomass increment, growth efficiency, and foliar

nutrients to thinning, fertilization, and pruning in young Douglas-fir plantations in the central Oregon Cascades. Can. J. For. Res. 22: 1278-1289.

Weissen F. et Nys C., 1993. Rôle des amendements dans la lutte contre le dépérissement des peuplements forestiers. Forêt et Amendements calcaires. INRA. Centre de Nancy 75-80.