

مجله زیست‌شناسی گیاهی ایران، سال اول، شماره اول و دوم، پاییز و زمستان ۱۳۸۸، صفحه ۱۲-۱

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۰۸/۱۶

تاریخ بررسی مجدد: ۱۳۸۹/۰۲/۰۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۸۹/۰۲/۱۳

## اثر اکتومیکوریز بر روی میزان برخی عناصر معدنی موجود در گیاه پسته (احمد آقایی) تحت تیمار غلظت‌های متفاوت منیزیم

سکینه بهرامی سیرمندی، علی احمدی مقدم<sup>۱</sup>، سید جواد حسینی فرد<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران

<sup>۲</sup>بخش تحقیقات آبیاری و تغذیه، مؤسسه تحقیقات پسته ایران، رفسنجان، ایران

### چکیده

مطالعات متعددی برای ایجاد اکتومیکوریز در شرایط استریل و همچنین بررسی اثر این سیستم همزیستی روی گیاهان انجام شده است. با این حال، تاکنون مطالعه‌ای که در آن گیاهان پسته اکتومیکوریزی و بدون میکوریز در معرض غلظت‌های متفاوت منیزیم قرار گرفته باشند، انجام نشده است. در این تحقیق، گیاهان اکتومیکوریزی با استفاده از قارچ *Agaricus bisporus* در شرایط استریل اکتومیکوریزی شدند و همراه با گیاهان غیر میکوریزی استریل در ارلن تحت چهار تیمار سولفات منیزیم که با استفاده از محلول غذایی هوگلد با نصف غلظت تهیه شده بود رشد داده شدند. پس از برداشت گیاهان غلظت کلسیم، منیزیم، فسفر، آهن، پتاسیم، سدیم، روی، منگنز و مس در گیاهان اندازه‌گیری شد. شدت میکوریزی شدن در گیاهان هنگامی که در معرض غلظت بالای منیزیم قرار گرفتند افزایش یافت. غلظت عناصر معدنی گفته شده در گیاهان میکوریزی و در غلظت‌های بالای منیزیم نسبت به گیاهان غیر میکوریزی بیشتر شد. با این حال، اکتومیکوریز در غلظت‌های بالای منیزیم از تجمع منیزیم زیادی در بخش هوایی جلوگیری نمود. نتایج حاصل در ارتباط با نقش اکتومیکوریز در تغذیه عناصر معدنی در گیاهان مورد بحث قرار گرفته است.

**واژه‌های کلیدی:** اکتومیکوریز، غلظت عناصر معدنی، پسته، تیمار منیزیم

### مقدمه

اکتومیکوریزی وجود دارد که در اطراف ریشه آغشته می‌شوند و تشکیل غلاف قارچی و در بین سلول‌های ریشه تشکیل شبکه هارتیک می‌دهند و در همزیستی با گیاه نقش جذب آب و مواد غذایی را دارند (Mukerji and

در شرایط طبیعی گیاهان با قارچ‌های میکوریزی ارتباط همزیستی برقرار می‌کنند، اما تنها ۳ درصد از گیاهان دارای همزیستی اکتومیکوریزی هستند (Dell, 2000). ۶۰۰۰ گونه از قارچ‌های شرکت کننده در همزیستی

می‌کنند که گاهی خاک‌ها غنی از منیزیم‌اند و علاوه بر این، برداشت آب از چاه‌های زیرزمینی در مناطق پسته‌کاری باعث شده است که سطح آب پایین برود و با پایین رفتن سطح آب زیرزمینی و افت کیفیت آب در این مناطق نسبت کلسیم به منیزیم در آب‌های آبیاری باغ‌های پسته کاهش یافته است. بنابراین مطالعه تأثیر زیادی منیزیم بر گیاه پسته لازم به نظر می‌رسد.

در این بررسی، پسته رقم احمد آقایی با قارچ *Agaricus bisporus* همزیست شدند و سپس گیاهان میکوریزی و بدون میکوریزی تحت تأثیر مقادیر متفاوت منیزیم قرار گرفته، اثر این همزیستی روی محتوای برخی از عناصر تحت تیمارهای متفاوت منیزیم در گیاهان میکوریزی و بدون میکوریزی اندازه‌گیری شد.

### مواد و روش‌ها

ابتدا قارچ *Agaricus bisporus* از باغ‌های پسته در منطقه رفسنجان جمع‌آوری گردید و سپس در محیط کشت ملین - نور کرانس آگار (MMN) شامل:

$\text{CaCl}_2$  (g) ۰/۰۵،  $\text{NaCl}$  (g) ۰/۰۲۵،  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (g) ۰/۵،  $\text{MgSO}_4$  (g) ۰/۱۵،  $\text{Fe}(\text{Cl}_3)$  (ml) ۱/۲،  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  (g) ۰/۲۵، کلرید تیامین (۱۰۰ mg)، عصاره مالت (۳ g) و گلوکز (۱۰ g) رشد کرد. محیط کشت در ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر تهیه شد و پس از اضافه کردن ۱۵ گرم آگار اسیدیته محیط در حد ۵/۵ تنظیم شد. ظرف‌های محیط کشت پس از کشت قارچ در شرایط استریل به مدت چهار هفته در دمای معمولی اتاق قرار داده شدند تا قارچ رشد کند (Laiye et al., 2003). بذره‌های پسته پس از خیس شدن در آب به مدت دو هفته در دمای ۴ درجه قرار گرفتند و در محلول ۰/۵ درصد هیپوکلرید

(Chamola, 2003) آزمایش‌های متعددی برای القای میکوریز و مطالعه اثرات آن روی رشد گیاهان مختلف انجام شده است و درجات متعدد و متنوعی از رشد و آغستگی و جذب مواد و انتقال آن به گیاه میزبان مشاهده شده است (Gellier et al., 1984). درجات متفاوت آغستگی ریشه به نوع میزبان و قارچ همزیست بستگی دارد (Baxer and Dighton, 2001). اکتومیکوریز با افزایش پتاسیم، آهن و فسفر برای گیاه میزبان متابولیسم و رشد آن را افزایش داده، تجلی این وضعیت، افزایش غلظت این عناصر در گیاه میکوریزی است. درباره جذب منیزیم و کلسیم توسط هیف‌های خارجی اکتومیکوریز اطلاعات محدودی وجود دارد و تحقیقات نشان داده است که همزیستی اکتومیکوریز می‌تواند میزان منیزیم را در بافت گیاهی افزایش و یا کاهش دهد و یا تحت تأثیر قرار ندهد (Martin and Pais, 1997). در مطالعات محدودی هم نشان داده شده که هیف‌های خارجی نقش مهمی در جذب منیزیم و کلسیم دارد، ولی هنوز مکانیسم‌های جزئی آن شناخته نشده است (Karest and Turkington, 2008). از آنجا که به طور کلی جذب مواد غذایی توسط اکتومیکوریز به ژنتیک هر دو شرکت کننده بر می‌گردد و هر کدام ویژگی‌های فیزیولوژیک مخصوص به خود را دارند، لازم است تأثیر نوع میزبان و نوع قارچ در این ارتباط بررسی شود. پسته می‌تواند با قارچ‌های اندومیکوریزی و اکتومیکوریزی ارتباط همزیستی داشته باشد. در مورد اثر همزیستی اندومیکوریز روی تغذیه منیزیمی پسته تحقیقاتی صورت گرفته است، اما در مورد اثر این همزیستی بر تغذیه منیزیمی با پسته تاکنون پژوهشی انجام نشده است و همچنین به این علت که باغداران در سطح کشور اغلب بدون توجه به مناسب بودن خاک اقدام به پسته‌کاری

در شرایط آزمایشگاهی و در زیر نور کامل قرار داده شدند. بعد از ۹ هفته درصد آغشته شدن به اکتومیکوریز و محتوای برخی از عناصر اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری درصد آغشته‌گی ریشه از کاغذ میلی‌متری در زیر استریوسکوپ استفاده شد. برای اطمینان از تشکیل اکتومیکوریز از ریشه برخی از گیاهانی که انتظار می‌رفت میکوریزی شده باشند، برش‌های عرضی با تیغ به صورت دستی تهیه گردید. برش‌های گرفته شده از ریشه‌های میکوریزی با استفاده از رنگ متیلن بلو یک درصد در لاکتوفنول رنگ آمیزی شد (Laiye et al., 2003). بعد از گذاشتن نمونه‌ها (ریشه و اندام هوایی) جداگانه در کوره در دمای ۵۵۰ درجه به مدت ۶ ساعت با HCl غلیظ هضم شدند و از این عصاره به روش زرد-وانادات و با استفاده از اسپکتوفتومتر مقدار فسفر، مقدار منیزیم و کلسیم به روش تیتراسیون با EDTA، مقدار سدیم و پتاسیم با استفاده از فلیم فتومتر مدل JENWAY و مقدار آهن، مس، روی و منگنز با استفاده از جذب اتمی با مدل GBC932AA اندازه‌گیری شد (امامی، ۱۳۷۵).

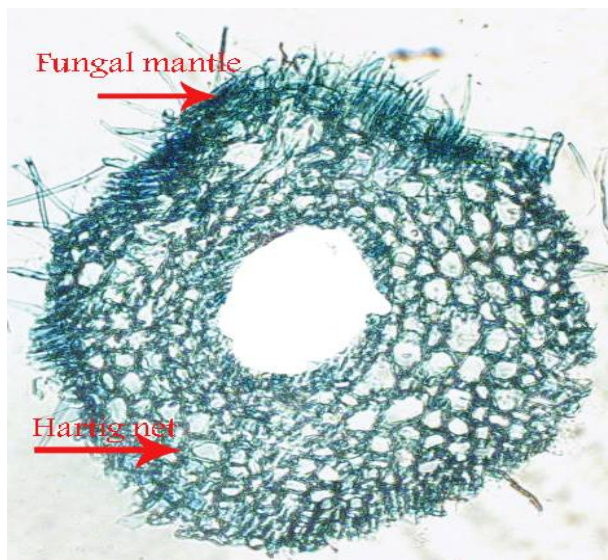
طراحی آزمایش به صورت آزمایش فاکتوریل ۲×۴ بود که در آن دو سطح میکوریزی و غیر میکوریزی و چهار سطح غلظت منیزیم وجود داشت و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام و آنالیز آماری شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد صورت گرفت.

### نتایج

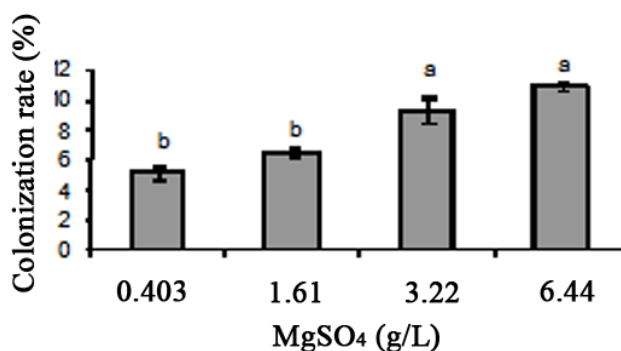
نتایج نشان داد با افزایش میزان منیزیم درصد آغشته‌گی ریشه به اکتومیکوریز افزایش یافت. در برش عرضی ریشه وجود اکتومیکوریز نشان داده شده است (شکل ۱).

کلسیم و سپس در محلول توئین یک درصد گذاشته و در نهایت چهار بار با آب مقطر استریل شسته شدند تا استریل شوند. این کار دو بار تکرار شد، سپس بذره‌های داخل پتری‌دیش استریل در دمای آزمایشگاه در تاریکی قرار داده شدند تا جوانه بزنند. پیت و پرلیت چهار بار با آب شیر شسته و خشک شدند و در ارلن‌های ۵۰۰ میلی‌لیتری ریخته و در دمای ۱۲۱ درجه و به مدت ۲۰ دقیقه استریل شدند. سه هفته بعد از جوانه‌زنی، گیاهک‌ها در شرایط استریل به ارلن‌های ۵۰۰ میلی‌لیتری که حاوی پرلیت به مقدار ۵۴ گرم و پیت ماس به مقدار ۶/۵ گرم (Gellier et al., 1984) و ۸۰ میلی‌لیتر محلول هوگلند با غلظت ۱/۲ بود، وارد شدند. در کنار ریشه‌های نیمی از ارلن‌ها، قطعات قارچ یک اندازه (۱۰ ديسك) گذاشته شد. بعد از ۴ هفته از رشد گیاهک‌ها، تیماردهی ارلن‌ها با محتوای متفاوت منیزیم شامل نسبت‌های ۱/۴، ۱، ۲ و ۴ که از محلول هوگلند با غلظت ۱/۲ ساخته شده بودند، صورت گرفت. هر یک از دو گروه از ارلن‌ها که حاوی گیاهان میکوریزی و یا غیر میکوریزی بودند به ۴ گروه با حداقل ۳ تکرار تقسیم شدند. هر گروه سه تایی از گیاهان میکوریزی، یا بدون میکوریز به ترتیب با ۸۰ میلی‌لیتر محلول سولفات منیزیم با نسبت‌های فوق که در آب مقطر استریل حل شده بود در هر هفته تیماردهی شدند. محلول غذایی هوگلند با غلظت ۱/۲ شامل:  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  (۷/۳۸mg)،  $\text{MgSO}_4$  (۱/۹۷mg)،  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (۵۴/۵mg)،  $\text{KNO}_3$  (۲۰۲mg)، سیترات آهن (۳mg)،  $\text{CuSO}_4$  (۰/۱mg)،  $\text{ZnSO}_4$  (۰/۱mg)، مولیبدیک اسید (۰/۱mg)  $\text{Na}_2\text{-EDTA}$  (۴ mg) بود (بهرام‌پور، ۱۳۸۵). محتوای سولفات منیزیم موجود در نسبت‌های منیزیم به کلسیم ۱/۴، ۱، ۲ و ۴ به ترتیب عبارت از: ۰/۴۰۳، ۱/۶۱، ۳/۲۲، ۶/۴۴ گرم در لیتر بود. ارلن‌های محتوی گیاهان به مدت ۹ هفته

همچنین نتایج مربوط به میزان آغشتگی ریشه‌ها به اکتومیکوریز آورده شده است (شکل ۲).



شکل ۱- برش عرضی از ریشه اکتومیکوریزی شده، غلاف قارچی (Fungal mantle) و شبکه هارتیگ



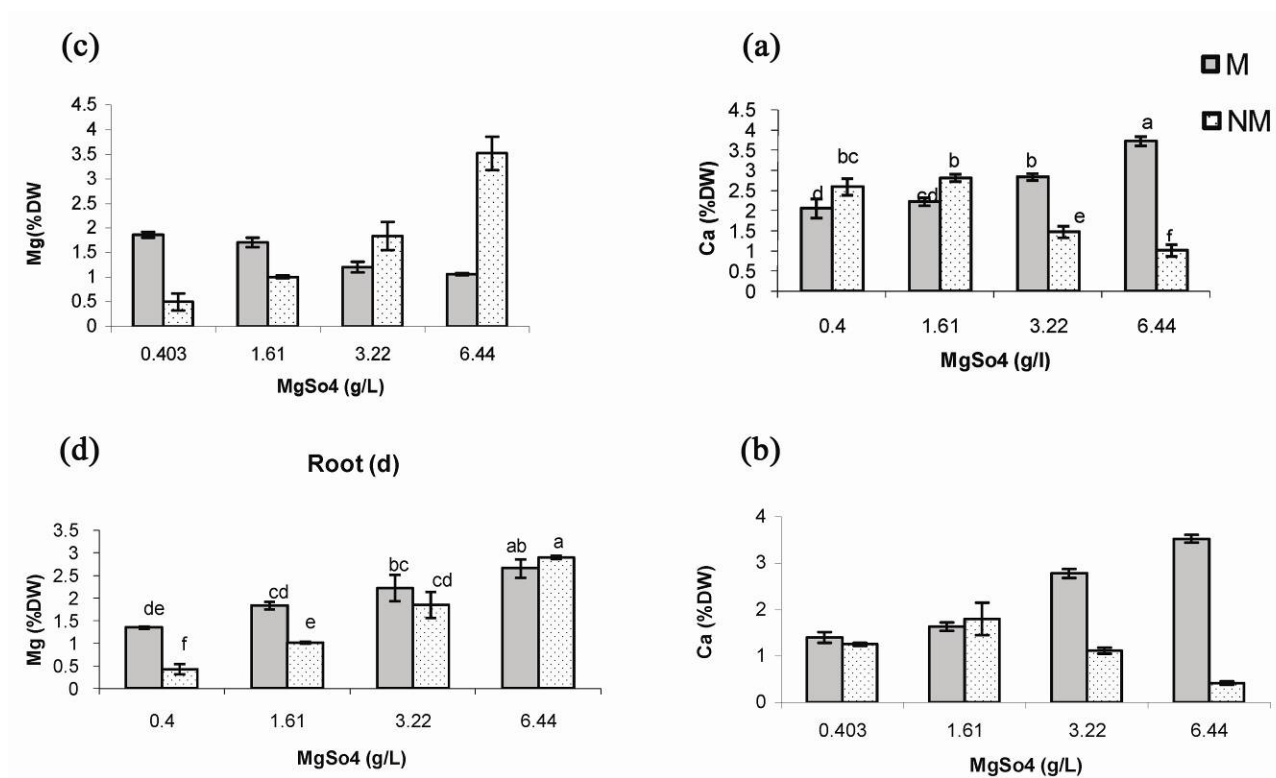
شکل ۲- درصد آغشتگی در پسته احمد آقایی در غلظت‌های مختلف منیزیم سولفات در حضور میکوریز (M). حروف متفاوت روی نمودار نشان‌دهنده تفاوت معنادار است ( $P < 0.05$ ).

هم در ریشه و هم در اندام هوایی در گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان بدون میکوریز افزایش را نشان داد (شکل‌های ۳a, ۳b). محتوای منیزیم در اندام هوایی گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان بدون میکوریز روند کاهشی را نشان می‌دهد. در محتوای بالاتر منیزیم (۶/۴۴ و ۳/۲۲ گرم در لیتر سولفات منیزیم)، محتوای منیزیم اندام هوایی در

هنگامی که محتوای منیزیم پائین بود (۱/۶۱ و ۰/۴۰۳ گرم در لیتر سولفات منیزیم)، محتوای کلسیم در اندام هوایی گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان بدون میکوریز افزایش یافت ولی در ریشه تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل‌های ۳a, ۳b). محتوای کلسیم، هنگامی که محتوای منیزیم بالا بود (۶/۴۴ و ۳/۲۲ گرم در لیتر سولفات منیزیم)،

نشان داد و افزایش محتوای منیزیم در اندام هوایی و ریشه گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان بدون میکوریزی مشاهده شد (شکل‌های ۳c, ۳d). در محتوای بالاتر منیزیم (۶/۴۴ و ۳/۲۲ گرم در لیتر سولفات منیزیم)، باعث افزایش محتوای منیزیم در اندام هوایی گیاه بدون میکوریز شد اما در ریشه تفاوت معنی‌داری نداشت شد (شکل‌های ۳c, ۳d).

گیاهان بدون میکوریزی نسبت به میکوریزی افزایش را نشان می‌دهد. اما این تیمارها در ریشه تفاوت معنی‌داری نداشتند. روند کاهش محتوای منیزیم در اندام هوایی و روند افزایشی در ریشه در گروه میکوریزی نسبت به گروه بدون میکوریز مشاهده شد (شکل‌های ۳c, ۳d). محتوای منیزیم هم در ریشه و هم در اندام هوایی در مقادیر پایین منیزیم (۱/۶۱ و ۰/۴۰۳ گرم در لیتر سولفات منیزیم)، تفاوت معنی‌داری را بین گروه میکوریزی و گروه بدون میکوریزی



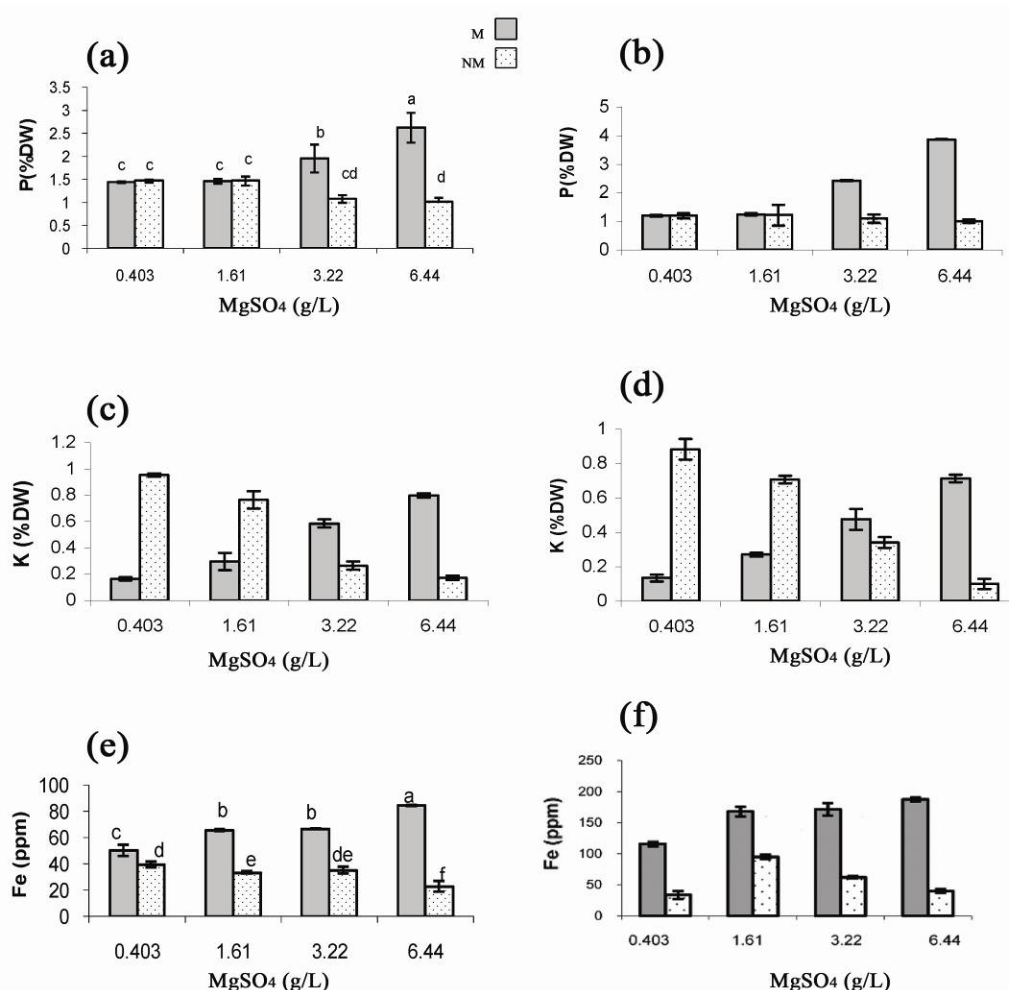
شکل ۳- تغییرات مقدار عناصر کلسیم در اندام هوایی (a)، ریشه (b) و منیزیم در اندام هوایی (c)، ریشه (d) گیاهان پسته در غلظت‌های مختلف منیزیم سولفات در حضور میکوریز (M) و بدون میکوریز (NM). حروف متفاوت روی نمودار نشان دهنده تفاوت معنادار می‌باشد (P < 0.05).

تفاوت معنی‌داری را بین گروه میکوریزی و گروه بدون میکوریز نشان نداده اما در تیمارهای ۶/۴۴ و ۳/۲۲ گرم در لیتر سولفات منیزیم، تفاوت معنی‌دار هم در ریشه و هم در اندام هوایی بین گروه میکوریزی و گروه بدون میکوریز

افزایش محتوای فسفر در اندام هوایی و ریشه در گروه میکوریزی نسبت به گروه غیر میکوریزی وجود دارد. محتوای فسفر هم در ریشه و هم در اندام هوایی در محتوای پایین منیزیم (۱/۶۱ و ۰/۴۰۳ گرم در لیتر سولفات منیزیم)،

میکوریزی نسبت به گیاهان غیر میکوریزی مشاهده شد. افزایش محتوای پتاسیم در محتوای بالای منیزیم (۶/۴۴ و ۳/۲۲ گرم در لیتر سولفات منیزیم)، هم در اندام هوایی و هم در ریشه در گروه میکوریزی نسبت به گروه بدون میکوریزی نشان داده شد (شکل‌های ۴c, ۴d). محتوای آهن در ریشه و اندام هوایی در همه تیمارهای سولفات منیزیم تفاوت معنی‌داری را بین گروه میکوریزی و گروه بدون میکوریزی نشان داد و افزایش آهن در ریشه و اندام هوایی گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان بدون میکوریزی را نشان داد (شکل‌های ۴e, ۴f).

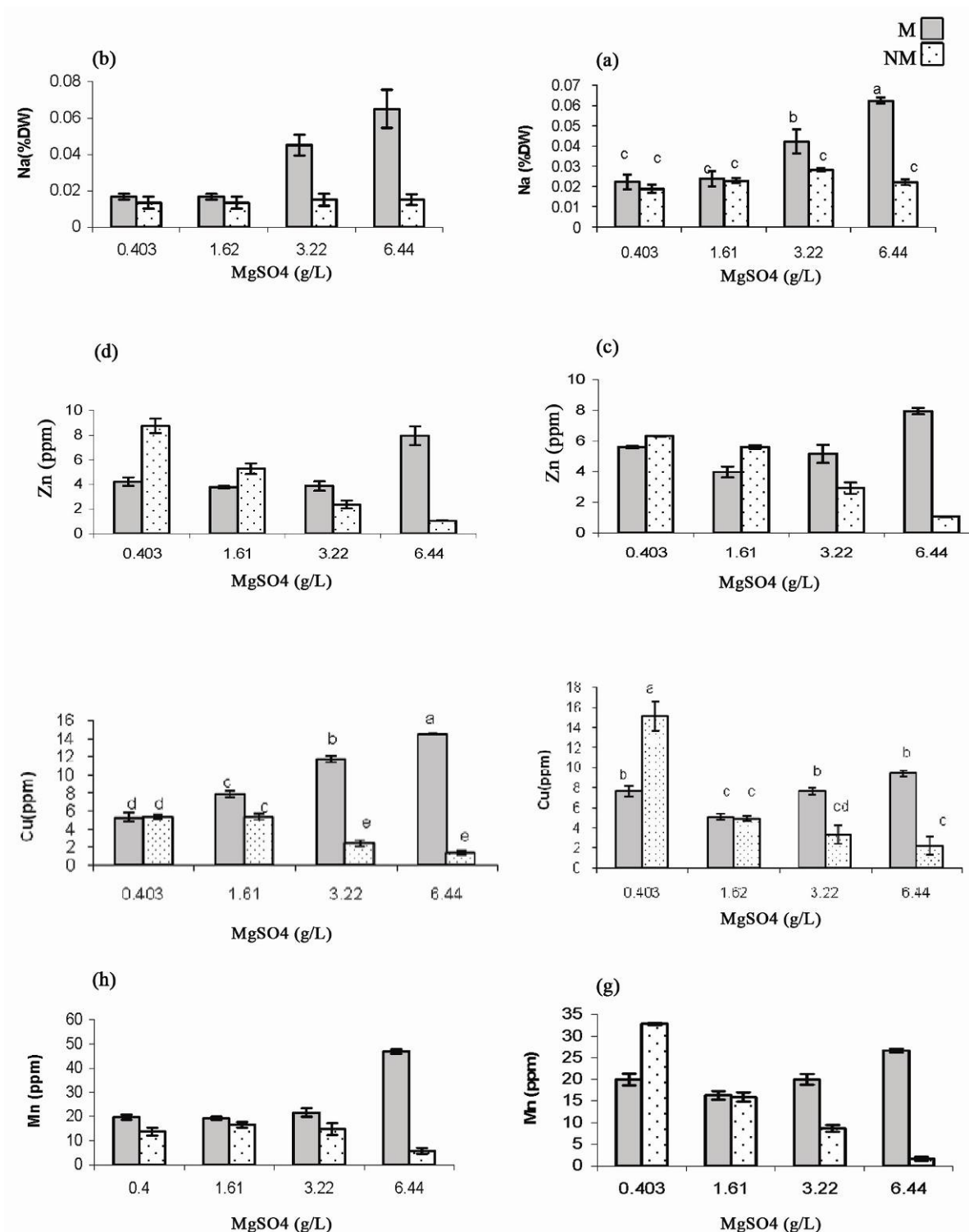
نشان داده شد که افزایش فسفر در گروه میکوریزی بوده است (شکل‌های ۴a, ۴b). روند افزایشی محتوای پتاسیم در اندام هوایی و ریشه گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان بدون میکوریزی و روند کاهش محتوای پتاسیم در گیاهان بدون میکوریزی نسبت به گیاهان میکوریزی وجود دارد (شکل‌های ۴c, ۴d). محتوای پتاسیم هم در ریشه و هم در اندام هوایی در محتوای پایین منیزیم (۱/۶۱ و ۰/۴۰۳ گرم در لیتر سولفات منیزیم)، تفاوت معنی‌داری را بین گروه میکوریزی و گروه بدون میکوریزی نشان داد و کاهش محتوای پتاسیم هم در ریشه و هم در اندام هوایی گیاهان



شکل ۴- تغییرات مقادیر عناصر فسفر در اندام هوایی (a) و ریشه (b)، پتاسیم در اندام هوایی (c) و ریشه (d) و آهن در اندام هوایی (e) و ریشه (f) گیاهان پسته در غلظت‌های مختلف منیزیم سولفات در حضور میکوریز (M) و بدون میکوریز (NM). حروف متفاوت روی نمودار نشان دهنده تفاوت معنادار می‌باشد (P < 0.05).

تفاوت معنی‌داری بین گروه میکوریزی و غیر میکوریزی پدید آمد و کاهش محتوای مس در اندام هوایی گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان بدون میکوریز مشاهده شد اما در ریشه تفاوتی وجود نداشت. محتوای مس اندام هوایی در تیمار ۱/۶۱ گرم در لیتر سولفات منیزیم، تفاوت معنی‌داری بین گروه میکوریزی و گروه بدون میکوریزی نشان نداد اما در ریشه تفاوت معنی‌داری وجود داشت (شکل‌های ۵e, 5f) و به طوری که افزایش محتوای مس در گروه میکوریزی نسبت به گروه بدون میکوریز بوده است. محتوای مس در محتوای بالای منیزیم (۶/۴۴ و ۳/۲۲ گرم در لیتر سولفات منیزیم)، هم در ریشه و هم در اندام هوایی تفاوت معنی‌داری را بین گروه میکوریزی و گروه بدون میکوریز نشان داد به طوری که افزایش محتوای مس هم در اندام هوایی و هم در ریشه در گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان بدون میکوریزی مشاهده گردید (شکل‌های ۵e, 5f). محتوای منگنز هم در اندام هوایی و هم در ریشه در تیمار ۰/۴۰۳ گرم در لیتر سولفات منیزیم، تفاوت معنی‌داری را بین گروه میکوریزی و گروه بدون میکوریز نشان داد و کاهش محتوای منگنز در اندام هوایی گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان بدون میکوریز مشاهده شد اما افزایش محتوای منگنز در ریشه در گروه میکوریزی نسبت به بدون میکوریز وجود داشت (شکل‌های ۵g, 5h). محتوای منگنز هم در ریشه و هم در اندام هوایی در تیمار ۱/۶۱ گرم در لیتر سولفات منیزیم، تفاوت معنی‌داری را بین گروه میکوریزی و گروه بدون میکوریزی نشان نداد. در محتوای بالای منیزیم (۶/۴۴ و ۳/۲۲ گرم در لیتر سولفات منیزیم)، افزایش محتوای منگنز در اندام هوایی گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان غیر میکوریزی مشاهده شد (شکل‌های ۵g, 5h).

محتوای سدیم در تیمارهای پایین منیزیم (۱/۶۱ و ۰/۴۰۳ گرم در لیتر سولفات منیزیم)، تفاوت معنی‌داری هم در ریشه و هم در اندام هوایی بین گروه میکوریزی و گروه بدون میکوریز نشان نداد. افزایش محتوای سدیم در محتوای بالای منیزیم (۶/۴۴ و ۳/۲۲ گرم در لیتر سولفات منیزیم)، هم در اندام هوایی و هم در ریشه در گروه میکوریزی نسبت به گروه بدون میکوریزی مشاهده گردید (شکل‌های ۵a, 5b). در تیمارهای پایین منیزیم (۱/۶۱ و ۰/۴۰۳ گرم در لیتر سولفات منیزیم)، هم در ریشه و هم در اندام هوایی تفاوت معنی‌داری وجود ندارد اما در محتوای بالاتر منیزیم (۶/۴۴ و ۳/۲۲ گرم در لیتر سولفات منیزیم)، هم در ریشه و هم در اندام هوایی محتوای سدیم افزایش نشان داد (شکل‌های ۵a, 5b). محتوای روی در اندام هوایی در تیمار ۰/۴۰۳ گرم در لیتر سولفات منیزیم، تفاوت معنی‌داری را بین گروه میکوریزی و گروه بدون میکوریز نشان نداد اما در ریشه تفاوت معنی‌داری وجود داشت، به طوری که میکوریزی شدن در این تیمار کاهش روی را در پی داشته است (شکل‌های ۵c, 5d). عنصر روی در تیمار ۱/۶۱ گرم در لیتر سولفات منیزیم، تفاوت معنی‌داری بین گروه میکوریزی و گروه بدون میکوریزی نشان داد و کاهش محتوای روی در اندام هوایی و ریشه در گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان بدون میکوریزی مشاهده شد. در محتوای بالای منیزیم (۶/۴۴ و ۳/۲۲ گرم در لیتر سولفات منیزیم)، هم در اندام هوایی و هم در ریشه از نظر محتوای روی گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان بدون میکوریز افزایش را نشان دادند (شکل‌های ۵c, 5d). محتوای مس در اندام هوایی در گیاهان میکوریزی نسبت به بدون میکوریز روند افزایشی را نشان می‌دهد. در تیمار ۰/۴۰۳ گرم در لیتر سولفات منیزیم، در اندام هوایی



شکل ۵- تغییرات مقادیر عناصر سدیم در اندام هوایی (a) و ریشه (b)، روی در اندام هوایی (c) و ریشه (d) و مس در اندام هوایی (e)، ریشه (f) و منگنز در اندام هوایی (g) و ریشه (h) گیاهان پسته در غلظت‌های مختلف منیزیم سولفات در حضور میکوریز (M) و بدون میکوریز (NM). حروف متفاوت روی نمودار نشان دهنده تفاوت معنادار می‌باشد ( $P < 0.05$ ).



## نتیجه‌گیری و بحث

با توجه به نتایج مشاهده شده از تأثیر اکتومیکوریز روی تغذیه برخی از عناصر غذایی افزایش منیزیم در ریشه‌های میکوریزی نشان دهنده این است که میکوریز توانسته از حرکت مقادیر زیاد منیزیم به اندام هوایی جلوگیری کند و منیزیم را در ریشه‌های اطراف ریشه گیاه نگه‌داری کند. چنانکه افزایش درصد آغشتگی ریشه به اکتومیکوریز را می‌توان واکنش سیستم میکوریزی در جهت رفع مشکل زیادی منیزیم دانست. با این حال این امر که منیزیم در ریشه‌ها و یا ریشه‌های قارچ متمرکز شده است مورد سوال است. مکانیسم‌هایی که اکتومیکوریز برای جلوگیری از زیادی منیزیم به گیاه اعمال می‌کند، شامل: ۱- باند شدن به غلاف قارچی ۲- کاهش تحرک آپوپلاستی به عنوان نتیجه‌ای از اثر هیدروفوبیک غلاف قارچی ۳- کلاته شدن بوسیله اسیدهای آلی ۴- باند شدن به هیف‌های خارجی است (Kayama et al., 2005). افزایش منیزیم باعث کاهش عناصری مانند کلسیم و پتاسیم در گیاهان غیر اکتومیکوریزی شده بود. منیزیم بالا باعث کاهش رشد می‌شود و از جذب عناصری مثل کلسیم و پتاسیم جلوگیری می‌کند و منیزیم بالا از رشد ریشه جلوگیری می‌کند و همچنین در میتوکندری ریشه مانع فعالیت آنزیم‌های مختلف می‌گردد (Kayama et al., 2005). میزان کم این عناصر در گیاه غیر میکوریزی می‌تواند به دلیل رقابتی باشد که این سه عنصر (کلسیم، منیزیم و پتاسیم) با هم دارند و این سه عنصر می‌توانند جایگاه‌های یکسانی از مواضع را اشغال کنند و در نتیجه افزایش منیزیم می‌تواند کمبود این سه عنصر را شدت بخشد (منگل و کرکبی، ۱۳۷۲).

افزایش محتوای منیزیم در ریشه لوبیای تیمار شده با نمک کلرید منیزیم باعث کاهش محتوای کلسیم و پتاسیم در گیاه شده بود (Legget and Gilbert, 1999) که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. به هر حال باید گفت اطلاعاتی که نشان دهنده مکانیسم اثر ریشه میکوریزی شده روی محتوای منیزیم، پتاسیم و کلسیم باشد، محدود است (Kayama et al., 2005).

در تحقیق حاضر، *Agaricus bisporus* سویه صورتی محتوای کلسیم گیاه را در غلظت‌های بالای منیزیم، افزایش داده بود. این وضعیت می‌تواند نشان دهنده نقش مثبت این قارچ در باغ‌های پسته باشد. در حالی که کمبود کلسیم با تغییر در نفوذ پذیری غشای پلاسمایی توانایی برای نفوذ یون‌ها کم می‌کند. محتوای منیزیم در محیط ریشه که بالا باشد بر مقدار پتاسیم توسط گیاه اثر می‌گذارد و باعث نزول پتاسیم در گیاه می‌شود. اکتومیکوریز پتاسیم گیاه را افزایش داده و این امر احتمالاً می‌تواند باعث افزایش تولید ATP و افزایش فتوسنتز شود. چون کمبود پتاسیم می‌تواند ظرفیت فتوسنتز را کاهش دهد (منگل و کرکبی، ۱۳۷۲). در این آزمایش میزان فسفر نیز در گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان بدون میکوریزی افزایش نشان داده است. در گیاهان اکتومیکوریزی که درصد آغشتگی کم و یا ضعیفی دارند در شرایطی که منیزیم بالا باشد مقدار فسفر و پتاسیم در ریشه کم می‌شود. نقش اکتومیکوریز همراه با افزایش میزان مواد غذایی در میزبان (Kayama et al., 2005) تأییدی است بر نتایجی که به دست آمده است. اکتومیکوریز با تغییرات شیمیایی در ریزوسفر شامل اسیدی کردن و تولید شلاته‌های فلزی باعث افزایش حلالیت فسفر

اصلی از دهنده الکترون در فتوسیستم II است و مس و روی در بسیاری از آنزیم‌ها نقش ساختمانی دارند و همچنین باعث افزایش فعالیت آنزیم‌ها می‌شوند (منگل و کرکی، ۱۳۷۲).

در همزیستی گیاه *Pinus virginiana* با اکتومیکوریز محتوای منگنز و روی در ریشه و اندام هوایی گیاهان میکوریزی افزایش نشان داده بود (Miller and Rudolph, 1986) که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت دارد. کاهش میزان عناصر منگنز، روی و مس در گیاهان بدون میکوریزی می‌تواند بخاطر اثر رقابتی منیزیم و منگنز، روی و مس باشد و این که محتوای این عناصر تحت تأثیر منیزیم است (مارشور، ۱۳۸۴).

### جمع‌بندی

نتایج حاصل حاکی از این است که میکوریزی شدن در شرایطی که غلظت منیزیم در محیط گیاه زیاد باشد، باعث افزایش در میزان عناصر غذایی فسفر، پتاسیم، کلسیم، آهن، سدیم، منگنز، روی و مس در گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان غیر میکوریزی می‌شود. کاهش میزان برخی از عناصر بالا در گیاه میکوریزی و افزایش این عناصر در گیاه بدون میکوریز مخصوصاً در شرایطی که میزان منیزیم پایین باشد، رخ داده است. این امر احتمال می‌رود به این علت باشد که در گیاهان بدون میکوریزی این مقدار منیزیم تا حدودی نیاز گیاه را بر طرف کرده و شرایط استرس‌زایی را موجب نشده است ولی در گیاه میکوریزی اگر چه که این مقدار منیزیم، نیاز کافی را برای گیاه فراهم کرده ولی چون گیاه انرژی زیادی را برای این همزیستی هزینه کرده به این علت که گیاه باید ۱۰ تا ۲۰ درصد فتوسنتز خالص خود را صرف تشکیل این همزیستی

غیر آلی و در نتیجه جذب و انتقال آن به گیاه میزبان می‌شود (Wallander, 2000).

با اندازه‌گیری آهن در گیاه بدون میکوریزی نشان داده شده که مقدار این عنصر در اندام هوایی و ریشه کاهش یافته است. اما این که با وجود آهن در محیط رشد، گیاهان غیر میکوریزی نتوانستند آهن لازم را برای خود تأمین نمایند احتمالات متعددی را مطرح می‌کند که از آن جمله شاید غیر محلول شدن آهن و یا ترکیب شدن با بنیان‌های شیمیایی و غیر متحرک شدن و یا رقابت با سایر عناصر باشد اما این مطلب از جمله مواردی است که نیاز به تحقیقات بیشتری دارد. اکتومیکوریزها تولید سیدروفورهای را می‌کنند که تمایل ریشه را برای جذب آهن در شرایطی که مقدار منیزیم خیلی بالا باشد، فراهم می‌کنند

(Marschener and Dell, 1994) با افزایش منیزیم اثر رقابتی پتاسیم می‌تواند کاهش یابد و سدیم می‌تواند در گیاه زیاد شود. میزان سدیم در محتوای بالای منیزیم در اندام هوایی و ریشه در گیاهان میکوریزی شده افزایش را نشان می‌دهد. میزان سدیم در ریشه بیشتر از ساقه است. اکتومیکوریز سدیم را در هیف‌ها و میسلیوم‌های خود نگهداری کند. این وضعیت یعنی تجمع سدیم در ریشه‌های پسته توسط همزیستی میکوریزی وزیکولار-آربوسکول نیز نشان داده شده است (بهرام‌پور، ۱۳۸۵). با این حال باید تحقیقات بیشتر این مطلب را روشن کند که آیا سدیم مازاد بر نیاز در میسلیوم قارچ جمع می‌شود و یا در بافت‌های ریشه؟

در تحقیق حاضر، محتوای منگنز، روی و مس در گیاه میکوریزی افزایش چشمگیری نسبت به گیاهان بدون میکوریزی نشان داده است. بافت‌های مریستمی به عنصر منگنز نیاز دارند و نیز منگنز در فتولیز آب یک قسمت

Karst, Jones, M. D., Turkington, R. (2008) Ectomycorrhizal colonization and intraspecific variation in growth response of Lodge pole pine. *Plant Ecology*. DOI:10.1007/s11258-008-9443-9.

Laiye, Q. U., Quoreshi, A. M., Iwase, K., Tamai, Y., Funada, R. and Koike, T. (2003) *In Vitro* ectomycorrhizal formation on two larch species of seedlings with six different fungal species. *Eurasiana. For.Res* 6: 65-73.

Legget, J. E. and Gilbert, W. A. (1999) Magnesium uptake by soybean. *Plant physiology*. 44:1182-1186.

Martin, A., Casimiro, A. and Pais, M. S. (1997) Influence of mycorrhization on physiological parameters of micro propagated *Castahea sativa* Mill. plants. *Mycorrhiza* 7: 161-165.

Marschener, H. and Dell, B. (1994) Nutrient up take in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil* 159:89-102.

Mukerji, K. G. and Chamola, B. P. (2003) Compendium of mycorrhizal research. Concepts in mycorrhizal research. Kluwer Academic Publisher, London. P.373.

Quoreshi, A. M. and Khasa, D. P. (2008) Effectiveness of mycorrhizal inoculation in the nursery on root colonization, growth, and nutrient uptake of aspen and balsam poplar. *Biomass and Bioenergy* 32: 381-391.

Miller, F. A. and Rudolph, E. D. (1986) Uptake and distribution of manganese and zinc in *Pinus virginiana* seedlings infected with *Pisolithus tinctorius*. OHIO University. *Journal of Science* 86(4): 22-25.

Wallander, H. (2000) up takes of P from apatite by *Pinus sylvestris* seeding colonization by different ectomycorrhizal fungi. *Plant and Soil* 218:249-256.

کند و قارچ نیاز بالایی به کربوهیدرات گیاه دارد در نتیجه کاهش در محتوای این عناصر در گیاه را باعث شده است.

## منابع

امامی، ع. (۱۳۷۲) روش‌های تجزیه گیاه. جلد اول. نشریه فنی شماره ۹۸۲. موسسه تحقیقات خاک و آب. انتشارات دانشگاه تهران. تهران.

بهرام‌پور، م. (۱۳۸۵) اثر منیزیم و کلسیم روی نهال‌های پسته رقم بادامی با توجه به روابط متقابل بین منیزیم و موقعیت میکوریزی گیاه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران.

مارشندر، ه. (۱۳۸۴) تغذیه معدنی گیاهان عالی. ترجمه خلدبرین، ب. و اسلام‌زاده، ط. جلد دوم. انتشارات دانشگاه شیراز. شیراز.

منگل، ک. و کرکی، ا. (۱۳۷۲) اصول تغذیه گیاه. ترجمه سالاردینی، ع. و مجتهدی، م. جلد دوم. انتشارات دانشگاه تهران. تهران.

Baxer, J. W., and Dighton, J. (2001). Ectomycorrhiza diversity alters growth and nutrient acquisition seedlings in host-symbiont culture condition. *New Phytologist* 153:139-199.

Dell, B. (2002) Role of mycorrhizal fungi in ecosystems. *Journal of Central Michigan University(CMU)* 1: 47-54.

Gellier, B., Letouze, R. and Steullu, D. G. (1984) Micro propagation of Birch and mycorrhizal formation *in vitro*. *New Phytologists* 97: 591-599.

Kayama, M., Quoreshi, A. M., Uemura, S. and Koike, T. (2005) Difference in growth characteristics and dynamics of elements absorbed in seedlings of three Spruce species raised on serpentine soil in northern Japan. *Annals of Botany Company*. Email: koike@exfor.agr.hokudai.ac.jp