زیست‌شناسی گیاهی ایران، سال هفتم، شماره بیست و سوم، بهار ۱۳۹۴، صفحه ۶۳-۷۴
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۰۳/۲۶
تاریخ بررسی مجدد: ۱۳۹۳/۰۶/۱۶
تاریخ بررسی مجدد: ۱۳۹۳/۰۸/۱۱
تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۳/۰۹/۰۳

بررسی تأثیر عنصر بور در بهبود تحمل نسبت به فلز سنگین آلومینیوم در گیاه گشنیز (*Coriandrum sativum* L.)

علی گنجعلی *، آزاده صفار یزدی، منیره چنیانی، مهرداد لاهوتی و زهرا رضایی
گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

چکیده

برای بررسی تأثیر عنصر بور در بهبود تحمل گیاه گشنیز به فلز سنگین آلومینیوم، آزمایشی با هفت غلظت مختلف آلومینیوم شامل: ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۳ و ۴ میلی‌گرم در لیتر Al^{3+} و سه غلظت مختلف بور شامل: ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ میلی‌گرم در لیتر BO_3^{3-} به همراه تیمار شاهد به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شد. جوانه‌زنی بذرها در ژرمیناتور انجام گرفت و دانه‌رست‌های گیاهی به محلول غذایی هوگلند حاوی غلظت‌های مختلف آلومینیوم و بور انتقال یافتند. نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که سطوح مختلف آلومینیوم، موجب کاهش وزن خشک، سطح برگ و ارتفاع گیاه و همچنین میزان کلروفیل و آلومینیوم در گیاه گشنیز شد. اما میزان پرولین و انباشت آلومینیوم در گیاهان تحت تیمار به طور معنی‌داری افزایش یافت. با افزایش غلظت بور، طول بخش هوایی و ریشه، وزن خشک گیاه و مقدار کلروفیل در اغلب سطوح غلظت آلومینیوم به طور معنی‌داری افزایش یافت، اما این روند در مورد پرولین معکوس بود. چنین استنباط می‌شود که با مصرف بور در محیط رشد حاوی آلومینیوم، رشد گیاه بهبود و احتمالا آثار منفی ناشی از سمیت آلومینیوم تا حدودی خنثی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آلومینیوم، بور، سمیت، گشنیز (*Coriandrum sativum* L.)

مقدمه

گشنیز با نام علمی *Coriandrum sativum* L.، گیاهی است یک‌ساله، از تیره Apiaceae (چتریان) (Ghahreman, 1994) که به علت غنی بودن آن از انواع کاروتنوئیدها، ترکیبات فنلی و گلیکولیپیدها به عنوان گیاهی دارویی و مهم معرفی شده است. گزارش‌ها حاکی از این است که تمام بخش‌های این گیاه از جمله: دانه، برگ، ساقه و ریشه آن کاربردهای دارویی، خوراکی و آرایشی دارد (Chithra and Leelamma, 1997؛ Cortes *et al*., 2004؛ Gurrea *et al*., 2005). نتایج بررسی‌های متعدد مؤید آن است که فلز سنگین آلومینیوم در غلظت‌های بالاتر از آستانه تحمل به ویژه در

*نویسنده مسؤول: نشانی پست الکترونیک: ganjeali@um.ac.ir، شماره تماس: ۰۵۱۳۸۷۶۲۲۲۷۰

شرایط اسیدی، محدودکننده رشد گیاهان است و موجب کاهش تولید محصول می‌شود (Bardelo *et al*., 1996؛ Mossor-Pietraszewska, 2001). مواجه طولانی مدت گیاه با غلظت‌های بالاتر از آستانه آلومینیوم، موجب بروز علایم سمیت به صورت‌های مختلف در ریشه و اندام هوایی گیاه می‌شود (Barcelo and Poschenrieder, 2002). کاهش رشد ریشه و اندام هوایی، اختلال در جذب و توزیع عناصر غذایی در اندام‌های رویشی و زایشی گیاه از علایم سمیت ناشی از تنش آلومینیوم است (Mossor-Pietraszewska, 2001). کاهش تعداد و اندازه برگ‌ها، کاهش وزن خشک اندام هوایی، کاهش فتوسنتز، پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی و مرگ برنامه‌ریزی شده سلولی، افزایش سنتز کلاتورهای گیاهی، تغییر در فراساختار برگ‌ها و ممانعت از سنتز DNA و تقسیم میتوز نیز از دیگر علایم سمیت ناشی از عنصر آلومینیوم است (Foy, 1998). بر هم‌کنش آلومینیوم با سایر یون‌های موجود در محیط، تأثیر بارزی بر رشد و نمو گیاهان دارد (Bardelo *et al*., 1996؛ Mossor-Pietraszewska, 2001). کاهش جذب فسفر و کلسیم در گیاهان مواجه با سمیت آلومینیوم در بررسی‌های متعدد گزارش شده است (Foy, 1998).

بور یک شبه فلز است (Landi *et al*., 2012) که وجود آن برای رشد و نمو همه گیاهان آوندی ضروری است (Brown and Shelp, 1997). در گیاهان عالی بخش عمده بور به صورت کمپلکس استرهای سیس-بورات در دیواره سلول‌ها وجود دارد (Hu and Brown, 1994). بور نه تنها با اجزای دیواره سلول ترکیبات پیچیده محکمی تشکیل می‌دهد، بلکه همراه با کلسیم به عنوان سیمان بین سلولی عمل می‌کند (Matoh, 1997). بور در توسعه و تقسیم سلولی، متابولیسم نوکلئیک اسیدها، کربوهیدرات، چربی و پروتئین، نفوذپذیری غشای سلول، سازوکار هورمون اکسین و ترکیبات فنلی، انتقال مواد بین سلول‌ها و ترمیم بافت‌های آوندی نقش مهمی بر عهده دارد (Matoh, 1997؛ Dell and Huang, 1997). بررسی‌ها نشان داده است که عنصر بور از طریق تأثیر بر مسیر متابولیسم هورمون اکسین و انتقال قندها (Marschner, 2005)، در تنظیم رشد و نمو گیاهان نقش محوری دارد (Zand *et al*., 2010). بور مقاومت گیاهان را نسبت به تنش سرما (Papadakis *et al*., 2004) و فلز سنگین آلومینیوم (Ruiz *et al*., 2006) و همچنین انواع بیماری‌ها افزایش می‌دهد (Papadakis *et al*., 2004). تصور می‌شود که عنصر بور از طریق افزایش قدرت آنتی‌اکسیدانی سلول، تنظیم میزان آب سلول و هورمون‌های گیاهی (Marschner, 2005) و افزایش سنتز رنگدانه‌هایی همچون کلروفیل (Sariam and Tyagi, 2004) موجب افزایش مقاومت گیاه نسبت به غلظت‌های مختلف آلومینیوم می‌شود (Ruiz *et al*., 2006).

نتایج پژوهش‌های گوناگون نشان داده است که میزان آلومینیوم انباشته شده در گیاه گشنیز کمتر از غلظت آلومینیوم استاندارد گزارش شده برای بدن انسان است (Asgari *et al*., 2008). بنابراین استفاده از گیاهان گشنیز تیمار شده با فلز آلومینیوم تأثیر سمی بر سلامت انسان نمی‌گذارد. با توجه به ارزش غذایی و دارویی گیاه گشنیز، عدم انباشت مقادیر سمی فلز آلومینیوم توسط این

گیاه و قابلیت رشد آن در خاک‌های اسیدی که مستعد سمیت آلومینیوم هستند (Oniruzzaman *et al*., 2013) و نظر به تأثیر سوء فلز آلومینیوم بر رشد و نمو گیاهان، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف بور بر بهبود آثار منفی ناشی از تنش فلز آلومینیوم بر رشد و نمو گیاه گشنیز انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف بور بر میزان رشد گیاهان گشنیز تحت تیمار آلومینیوم، آزمایشی با هفت غلظت مختلف آلومینیوم شامل: ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۳ و ۴ میلی‌گرم در لیتر Al^{3+} و نیز سه سطح بور شامل: ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ میلی‌گرم در لیتر BO_3^{3-} و تیمار شاهد، به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با چهار تکرار در آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهی دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. ابتدا بذرهای گیاه گشنیز در هیپوکلریت سدیم ۲ درصد به مدت پنج دقیقه ضدعفونی و با آب مقطر استریل سه بار شستشو داده شدند. سپس، بذرها به مدت ۱۰ ساعت در آب مقطر استریل خیسانده شد و برای جوانه‌زنی به ژرميناتور منتقل گردیدند. پس از جوانه‌زنی، دانه‌رست‌ها در روشنایی معادل ۲۵ تا ۳۵ هزار لوکس قرار گرفت و پس از ۶ روز، دانه‌رست‌هایی که به اندازه کافی رشد کرده بودند، به محیط هیدروپونیک حاوی محلول غذایی هوگلند منتقل شدند.

هر گلدان ۱/۲ لیتری که به طور مرتب در آن عمل هوادهی انجام می‌شد و حاوی ۷ گیاهچه بود به عنوان یک واحد آزمایشی در نظر گرفته شد. پنج روز پس از انتقال دانه‌رست‌ها و سازگاری نسبی گیاهچه‌ها به شرایط هیدروپونیک، تیمارهای آزمایشی اعمال شدند و گیاهان در فیتوترون با دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی قرار گرفتند. حدود ۴ هفته پس از اعمال تیمارها، گلدان‌ها تخلیه و سپس بخش هوایی و ریشه گیاه تفکیک شدند. ارتفاع با خط‌کش اندازه‌گیری شد. بخش هوایی و ریشه پس از تفکیک در آون ۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند و سپس وزن خشک آنها با ترازویی با دقت ۰/۰۰۱ گرم تعیین شد. برای اندازه‌گیری سطح سبز گیاه از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Leaf Area Meter، مدل Light Box، شرکت ADC، انگلستان) استفاده شد. برای سنجش مقادیر کلروفیل، پرولین و عناصر در این پژوهش، از برگ‌های جوان گیاه (نه چندان جوان و نه خیلی مسن) در زمان چهار هفتگی استفاده شد. در مورد ریشه نیز ریشه‌های هر گیاه پس از برداشت خشک و آسیاب شد، سپس به طور تصادفی مقدار معینی از این توده‌ها برداشته و برای سنجش استفاده شد.

مقدار کلروفیل بخش هوایی از روش Arnon و همکاران (۱۹۵۶) محاسبه گردید. در این روش، پس از ساییدن بافت برگ با استون ۸۰ درصد، جذب نوری محلول با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Shimadzu UV/vis، شرکت Shimadzu، ژاپن) خوانده شد. برای سنجش میزان پرولین موجود در برگ از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) استفاده شد. در این روش، ۰/۵ گرم از بافت برگ در ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ساییده

شد و پس از سانتریفیوژ (مدل Z230A، شرکت HERMLE، آلمان)، به مدت ۵ دقیقه در دور ۳۰۰۰، از محلول شناور رویی برای سنجش پرولین استفاده شد. در مرحله بعد، ۲ میلی‌لیتر نین هیدرین و ۲ میلی‌لیتر استیک اسید گلایسیال افزوده، سپس نمونه‌ها به مدت یک ساعت در حمام آب گرم ۱۰۰ درجه سانتیگراد قرار داده شدند. پس از افزودن ۴ میلی‌لیتر تولوئن، از محلول رویی برای سنجش پرولین با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Shimadzu UV-120-02، شرکت Shimadzu، ژاپن) استفاده گردید.

برای سنجش مقدار آلومینیوم موجود در بافت گیاهی از روش Chapman و Pratt (۱۹۶۱) استفاده شد. بدین منظور پس از تهیه خاکستر با استفاده از نیتریک اسید غلیظ، مقدار آلومینیوم موجود در بخش هوایی و ریشه گیاه با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل Shimadzu AA-670، شرکت Shimadzu، ژاپن) تعیین شد و مقدار آن بر حسب میکروگرم در ۱۰۰ گرم وزن خشک بخش هوایی و ریشه گیاه محاسبه شد.

تجزیه واریانس داده‌ها با نرم‌افزار JMP انجام و برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P\leq0.05$) استفاده شد.

نتایج

بیوماس خشک ریشه و اندام هوایی گیاه: نتایج مقایسه میانگین وزن خشک ریشه در غلظت‌های مختلف آلومینیوم نشان داد که در غلظت ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر و بالاتر Al^{3+}، کاهش معنی‌داری در بیوماس ریشه نسبت به شاهد مشاهده شد. همچنین، با افزایش غلظت Al^{3+} در محیط کشت، وزن خشک بخش هوایی کاهش یافت که این کاهش در غلظت ۰/۷۵ میلی‌گرم در لیتر Al^{3+} و بیشتر از آن نسبت به شاهد معنی‌دار بود. نتایج حاصل از مقایسه میانگین برهم کنش Al^{3+} و BO_3^{3-} بر وزن خشک ریشه گویای آن بود که با افزایش غلظت BO_3^{3-} در غلظت‌های ۰/۷۵ میلی‌گرم در لیتر Al^{3+} و بالاتر، وزن خشک ریشه به صورت معنی‌داری افزایش یافت. با افزایش غلظت بور در برخی از سطوح آلومینیوم، طول بخش هوایی نیز به صورت معنی‌داری افزایش نشان داد ($P\leq0.05$) (جدول ۱).

طول بخش هوایی و ریشه گیاه: مقایسه میانگین مشاهدات مربوط به ارتفاع گیاه نمایانگر آن بود که با افزایش غلظت آلومینیوم در محیط کشت، طول ریشه و بخش هوایی گیاه کاهش یافت و این کاهش نسبت به شاهد معنی‌دار بود. افزایش غلظت بور موجب افزایش طول ریشه و بخش هوایی گیاه نسبت به شاهد شد (جدول ۱). نتایج حاصل از مقایسه میانگین بر هم‌کنش آلومینیوم و بور بر طول ریشه گیاه، نشان دهنده افزایش معنی‌دار طول ریشه با افزایش غلظت BO_3^{3-} در اکثر سطوح Al^{3+} بود. همچنین، با افزایش غلظت بور در اغلب سطوح آلومینیوم، طول بخش هوایی به طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش نشان داد ($P\leq0.05$) (جدول ۱).

سطح برگ: مقایسه میانگین مشاهدات نشان داد که با افزایش غلظت آلومینیوم در محیط کشت، سطح برگ گیاه به طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش یافت. اما با افزایش غلظت بور (غلظت‌های ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر و

بالاتر)، موجب افزایش معنی‌دار سطح برگ نسبت به شاهد شد (جدول ۱). نتایج حاصل از مقایسه میانگین بر هم‌کنش Al^{3+} و BO_3^{3-} بر سطح برگ نشان داد که با افزایش غلظت BO_3^{3-} در تمامی سطوح Al^{3+}، سطح برگ گیاه افزایش می‌یابد، اما افزایش در هیچ یک از سطوح معنی‌دار نبود ($P\leq0.05$) (جدول ۱).

غلظت کلروفیل‌های a، b و کل برگ: نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش غلظت Al^{3+} در محیط کشت به تدریج میزان کلروفیل‌های a، b و کل کاهش یافت. در مورد کلروفیل‌های a و b این کاهش از غلظت ۰/۷۵ میلی‌گرم در لیتر آلومینیوم و بیشتر، نسبت به شاهد معنی‌دار بود. همچنین با افزایش غلظت آلومینیوم میزان کلروفیل کل نسبت به شاهد به صورت معنی‌داری کاهش داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین مشاهدات نمایانگر آن بود که با افزایش غلظت بور در محیط کشت، میزان کلروفیل‌های a، b و کل موجود در برگ گیاه افزایش یافت، اما این افزایش فقط در مورد کلروفیل b و کل نسبت به شاهد معنی‌دار بود ($P\leq0.05$). نتایج حاصل از مقایسه میانگین برهم کنش Al^{3+} و BO_3^{3-} نشان داد که با افزایش غلظت Al^{3+}، میزان کلروفیل‌های a، b و کل در اغلب سطوح BO_3^{3-} کاهش یافت و در بسیاری از ترکیبات تیمارها این کاهش نسبت به شاهد معنی‌دار بود، اما در تمامی سطوح یون Al^{3+} افزایش غلظت یون BO_3^{3-}، باعث افزایش میزان کلروفیل‌های a، b و کل شد و این افزایش در اغلب ترکیبات تیماری معنی‌دار بود (جدول ۲).

غلظت پرولین گیاه: مقایسه میانگین مشاهدات نشان داد که با افزایش غلظت آلومینیوم در محیط کشت، میزان پرولین برگ و ریشه افزایش یافت که این افزایش در غلظت ۰/۷۵ میلی‌گرم در لیتر Al^{3+} و بیشتر برای برگ و غلظت ۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر آلومینیوم و بالاتر برای ریشه نسبت به شاهد معنی‌دار بود (جدول ۲). با افزایش غلظت بور در محیط رشد گیاه، میزان پرولین موجود در برگ و ریشه به طور معنی‌داری کاهش یافت ($P\leq0.05$). نتایج حاصل از مقایسه میانگین برهم کنش Al^{3+} و BO_3^{3-} بر میزان پرولین نشان داد که با افزایش غلظت بور در اغلب سطوح آلومینیوم، میزان پرولین بخش هوایی و ریشه کاهش یافت، اما این کاهش فقط در برخی از غلظت‌ها معنی‌دار بود (جدول ۲).

میزان انباشت آلومینیوم در گیاه: نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش غلظت Al^{3+} در محیط کشت، میزان انباشت آلومینیوم برگ افزایش یافت. این افزایش در غلظت ۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر آلومینیوم و بیشتر، نسبت به شاهد معنی‌دار بود (جدول ۲). در مورد ریشه نیز غلظت ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر آلومینیوم و بالاتر موجب افزایش معنی‌دار انباشت آلومینیوم در ریشه نسبت به شاهد شد. نتایج نشان داد که انباشتگی آلومینیوم در ریشه‌ها چندین برابر بخش هوایی است. اما مقایسه میانگین مشاهدات میزان انباشت آلومینیوم برگ در سطوح مختلف غلظت‌های بور نشان داد که با افزایش غلظت BO_3^{3-} در تمامی سطوح Al^{3+}، میزان انباشت آلومینیوم در برگ و ریشه گیاه افزایش یافت. اما این افزایش در برخی از سطوح معنی‌دار بود ($P\leq0.05$) (جدول ۲).

جدول ۱- مقایسه میانگین آثار متقابل آلومینیوم و بور بر وزن خشک، طول بخش هوایی و ریشه و سطح برگ گیاه گشنیز. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح P≤0.05 است.

غلظت آلومینیوم (mg/L)	غلظت بور (mg/L)	وزن خشک ریشه (mg)	وزن خشک بخش هوایی (mg)	طول ریشه (cm)	طول بخش هوایی (cm)	سطح برگ (mm^2)
۰	۰	۲۶/۳ab	۷۶b–e	۳۴c	۱۴d	۳۱۰۶/۵۵b
۰	۰/۲۵	۲۵/۴ab	۸۰a-d	۳۶/۵b	۱۵/۵c	۳۳۵۸/۴۱ab
۰	۰/۵	۲۸a	۸۷a	۳۷/۵ab	۱۶/۵b	۳۶۴۴/۷۵a
۰	۰/۷۵	۲۶ab	۸۶ab	۳۸/۵a	۱۷/۳۳a	۳۶۷۰/۶۱a
۰/۲۵	۰	۲۴bcd	۷۱c-h	۲۹ef	۱۱/۱۶fg	۲۷۳۲/۳۹d
۰/۲۵	۰/۲۵	۲۶ab	۷۴c-f	۳۰e	۱۲/۳۳e	۲۸۰۴/۴۸cd
۰/۲۵	۰/۵	۲۶ab	۸۱abc	۳۲d	۱۳e	۲۸۲۹/۶۱cd
۰/۲۵	۰/۷۵	۲۵abc	۸۰a-d	۳۳cd	۱۴d	۲۹۵۱/۱۹cd
۰/۵	۰	۲۲cde	۶۵e-i	۲۶ij	۹/۸۳h–k	۲۰۳۲/۰۲ef
۰/۵	۰/۲۵	۲۲cde	۶۷e-i	۲۷/۳۴gh	۱۰/۶۶gh	۲۰۶۵/۲۱e
۰/۵	۰/۵	۲۲cde	۷۳c-g	۲۸/۲۸fg	۱۱/۵f	۲۲۵۱/۵۸e
۰/۵	۰/۷۵	۲۰ef	۷۰d-i	۲۹ef	۱۲/۵e	۲۳۲۸/۲۷e
۰/۷۵	۰	۲۰ef	۶۰hij	۲۳/۶۱lm	۸/۵mno	۱۶۷۸/۶۵g
۰/۷۵	۰/۲۵	۲۱de	۶۳f-i	۲۵/۰۹jk	۹/۳۳jklm	۱۶۶۸/۹۰g
۰/۷۵	۰/۵	۲۲cde	۶۷e-i	۲۶ij	۱۰hij	۱۷۰۳/۳۹fg
۰/۷۵	۰/۷۵	۲۴bcd	۶۷e-i	۲۶/۵hi	۱۱fg	۱۷۳۳/۰۷fg
۱	۰	۱۷fgh	۵۰jk	۲۱o	۷/۹۳opq	۱۲۸۹/۴۶h
۱	۰/۲۵	۱۹efg	۶۰hij	۲۲/۴۵mn	۹k–n	۱۲۸۱/۹۹h
۱	۰/۵	۲۰ef	۶۲ghi	۲۳/۱۵lm	۹/۷۳i–l	۱۲۹۴/۵۱h
۱	۰/۷۵	۲۱de	۶۷e-i	۲۴/۱۵kl	۱۰/۵ghi	۱۲۷۷/۰۶h
۱/۵	۰	۱۲i	۴۵kl	۱۸/۵qr	۷/۲۳q	۱۰۱۴/۱۹hij
۱/۵	۰/۲۵	۱۵hi	۴۶kl	۱۹/۵۰pq	۷/۷۶opq	۱۰۰۱/۱۷hij
۱/۵	۰/۵	۱۶gh	۵۹ij	۲۰/۵۰op	۸/۹۶lmn	۱۰۸۳/۰۲hi
۱/۵	۰/۷۵	۱۹efg	۶۵e-l	۲۱/۶۵no	۱۰hij	۱۰۸۴/۷۲hi
۲	۰	۷jk	۳۰mno	۱۶/۵tuv	۶/۳r	۸۴۳/۵۴ijk
۲	۰/۲۵	۷k	۳۲mn	۱۷/۵rst	۷/۵pq	۸۴۱/۴۱ijk
۲	۰/۵	۸j	۳۵mn	۱۸/۵qr	۸/۳۰nop	۸۷۲/۵۸ijk
۲	۰/۷۵	۸j	۳۹lm	۱۹/۵pq	۹/۲۶j–m	۵۸۷/۷۴k
۳	۰	۴kl	۲۰opq	۱۴/۷۷w	۵/۲۶s	۶۹۴/۷۷jk
۳	۰/۲۵	۴kl	۲۱opq	۱۶uv	۶/۳۱r	۷۱۷/۸۱ijk
۳	۰/۵	۵jkl	۲۱opq	۱۶/۶۸stu	۷/۴۷pq	۷۷۳/۲۰ijk
۳	۰/۷۵	۵jkl	۲۶nop	۱۷/۸۲rs	۸/۲۵nop	۸۱۵/۶۴ijk
۴	۰	۳l	۱۱q	۱۲/۷۸x	۴/۲۸t	۵۰۰/۹۴k
۴	۰/۲۵	۴kl	۱۳q	۱۴/۶۶w	۴/۹۸st	۵۳۲/۰۶k
۴	۰/۵	۵jkl	۱۷pq	۱۵/۵۰vw	۵/۴۴s	۵۷۱/۶۸k
۴	۰/۷۵	۴kl	۱۷pq	۱۶uv	۶/۴۵r	۵۸۷/۵۲k

جدول ۲- مقایسه میانگین آثار متقابل آلومینیوم و بور بر میزان کلروفیل‌های a، b و کل برگ، مقدار پرولین ریشه و بخش هوایی و میزان آلومینیوم ریشه و بخش هوایی در گیاه گشنیز. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح P≤0.05 است.

غلظت آلومینیوم (mg/L)	غلظت بور (mg/L)	کلروفیل a (g/100g FW)	کلروفیل b (g/100g FW)	کلروفیل کل (g/100g FW)	پرولین بخش هوایی (µM/g FW)	پرولین ریشه (µM/g FW)	آلومینیوم بخش هوایی (µg/100g DW)	آلومینیوم ریشه (µg/100g DW)
۰	۰	۰/۱۸۲abc	۰/۱۲۲c	۰/۳۳۱d	۰/۱۲۶qrs	۰/۰۶۶op	۲۴p	۵۵k
۰	۰/۲۵	۰/۱۹۲ab	۰/۱۴۲b	۰/۳۵۶c	۰/۱۲۰rs	۰/۰۵۵no	۲۴p	۵۲k
۰	۰/۵	۰/۲۰۲a	۰/۱۵۷a	۰/۳۷۵b	۰/۱۱۵s	۰/۰۴۶op	۲۴p	۵۲k
۰	۰/۷۵	۰/۱۹۹a	۰/۱۶۱a	۰/۳۸۹a	۰/۱۱۵s	۰/۰۴۱p	۲۵p	۵۴k
۰/۲۵	۰	۰/۱۷۲bcd	۰/۱۱۳cd	۰/۲۷۹hi	۰/۱۳۲opqr	۰/۰۷۸lmn	۳۰o	۱۱۱jk
۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۱۶۵cd	۰/۱۰۵def	۰/۲۹۱fgh	۰/۱۲۸qr	۰/۰۷۳mno	۳۱o	۱۲۳ijk
۰/۲۵	۰/۵	۰/۱۷۴bcd	۰/۱۱۵cd	۰/۳۰۳f	۰/۱۲۰rs	۰/۰۷۲mno	۳۳no	۱۲۸ijk
۰/۲۵	۰/۷۵	۰/۱۷۴bcd	۰/۱۱۷cd	۰/۳۱۶c	۰/۱۲۰rs	۰/۰۶۸no	۳۶lmn	۱۴۱hij
۰/۵	۰	۰/۱۶۶cd	۰/۱۲۱c	۰/۲۵۶kl	۰/۱۳۷n–q	۰/۰۸۶l	۳۵mn	۱۷۳hij
۰/۵	۰/۲۵	۰/۱۷۰cd	۰/۱۱۸cd	۰/۲۷۰ij	۰/۱۳۳opq	۰/۰۷۹lm	۳۵mn	۱۷۹hij
۰/۵	۰/۵	۰/۱۷۶bcd	۰/۱۱۰cde	۰/۲۸۲ghi	۰/۱۲۹pqr	۰/۰۷۱mno	۳۹ijkl	۱۹۱ghi
۰/۵	۰/۷۵	۰/۱۸۶abc	۰/۱۱۲cde	۰/۲۹۴fg	۰/۱۲۷qrs	۰/۰۶۸no	۴۱hij	۲۰۶fgh
۰/۷۵	۰	۰/۱۴۳ef	۰/۰۹g-j	۰/۲۳۰m	۰/۱۵۳m	۰/۱۱۰ij	۳۷klm	۲۶۶ef
۰/۷۵	۰/۲۵	۰/۱۴۳ef	۰/۰۸۴h-k	۰/۲۴۷l	۰/۱۴۸mn	۰/۱۰۵jk	۳۸jklm	۲۶۶ef
۰/۷۵	۰/۲۵	۰/۱۴۳ef	۰/۰۸۴h-k	۰/۲۴۷l	۰/۱۴۸mn	۰/۱۰۵jk	۳۸jklm	۲۹۲e
۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۱۶۵cd	۰/۱۰۹cde	۰/۲۸۰hi	۰/۱۴۱mnop	۰/۰۸۶l	۴۳gh	۳۶۵d
۱	۰	۰/۱۱۵gh	۰/۰۷۶j-m	۰/۱۹۳n	۰/۲۱۳j	۰/۱۲۶fgh	۳۸jklm	۳۷۱d
۱	۰/۲۵	۰/۱۱۶gh	۰/۰۷۴klm	۰/۲۱۹m	۰/۱۹۶k	۰/۱۰۸ij	۳۹ijkl	۳۸۰d
۱	۰/۵	۰/۱۳۱fg	۰/۰۹۲f-i	۰/۲۴۴l	۰/۱۸۵kl	۰/۰۹۷k	۴۰hijk	۳۹۲d
۱	۰/۷۵	۰/۱۳۷ef	۰/۱۰۳d-g	۰/۲۶۵jk	۰/۱۷۵l	۰/۰۸۶l	۴۲ghi	۴۱۹d
۱/۵	۰	۰/۰۸۵j	۰/۰۶۵l-o	۰/۱۵۴p	۰/۲۵۴h	۰/۱۴۳e	۴۲ghi	۴۲۳d
۱/۵	۰/۲۵	۰/۰۹۱ij	۰/۰۶۶l-o	۰/۱۸۰o	۰/۲۳۵i	۰/۱۲۸fgh	۴۲ghi	۴۲۸d
۱/۵	۰/۵	۰/۱۰۶hi	۰/۰۷۲klm	۰/۱۹۸n	۰/۲۲۶i	۰/۱۱۸hi	۴۲ghi	۴۳۲d
۱/۵	۰/۷۵	۰/۱۲۸fg	۰/۰۸i-l	۰/۲۲۳m	۰/۲۰۹j	۰/۱۰۰۶jk	۴۵fg	۵۲۳c
۲	۰	۰/۰۷۲jkl	۰/۰۶۱mno	۰/۰۹۱st	۰/۲۸۲fg	۰/۱۷۱c	۴۹de	۴۳۰d
۲	۰/۲۵	۰/۰۷۲jkl	۰/۰۶۵lmno	۰/۱۱۲r	۰/۲۷۲g	۰/۱۵۵d	۴۷ef	۴۲۴d
۲	۰/۵	۰/۰۸jk	۰/۰۷۶klm	۰/۱۳۴q	۰/۲۴۷h	۰/۱۳۷ef	۵۰de	۵۳۵c
۲	۰/۷۵	۰/۰۹۱ij	۰/۰۸۳h-k	۰/۱۵۱p	۰/۲۲۹i	۰/۱۲۳gh	۵۲d	۶۳۸b
۳	۰	۰/۰۳۸no	۰/۰۵۱op	۰/۰۶۵n	۰/۳۱۱d	۰/۱۸۷b	۶۵c	۶۴۵b
۳	۰/۲۵	۰/۰۵۱mn	۰/۰۴۴p	۰/۰۸۴t	۰/۲۹۷c	۰/۱۶۶c	۶۵c	۶۴۴b
۳	۰/۵	۰/۰۵۴lmn	۰/۰۶۱mno	۰/۰۹۶s	۰/۲۸۵f	۰/۱۴۶de	۶۶c	۶۵۳b
۳	۰/۷۵	۰/۰۶۱klm	۰/۰۷۵j-m	۰/۱۱۷r	۰/۲۵۴h	۰/۱۳۰fg	۶۸c	۷۲۹a
۴	۰	۰/۰۳o	۰/۰۴۲p	۰/۰۴۹v	۰/۳۶۹n	۰/۲۰۵n	۷۲b	۷۳۰a
۴	۰/۲۵	۰/۰۳۶no	۰/۰۴۴p	۰/۰۷n	۰/۳۴۵b	۰/۱۸۳b	۷۱b	۷۳۵a
۴	۰/۵	۰/۰۴۱mno	۰/۰۵۶nop	۰/۰۹st	۰/۳۲۳c	۰/۱۶۵c	۷۶a	۷۵۲a
۴	۰/۷۵	۰/۰۵۴lmn	۰/۰۶۷lmn	۰/۱۱۳r	۰/۲۸۶ef	۰/۱۴۴e	۷۸a	۷۵۲a

بحث

کاهش ماده خشک در گیاهان تحت تنش آلومینیوم در پژوهش‌های پیشین نیز گزارش شده است. تصور می‌شود که این عنصر از طریق اتصال به پروتئین‌ها و دو لایه لیپیدی غشای پلاسمایی یا ترکیبات پکتیکی و پروتئین‌های موجود در دیواره سلولی، بر نقل و انتقال مواد از طریق غشاهای زیستی تأثیر گذاشته، سوخت و ساز سلولی را مختل می‌کند. در این ارتباط اتصال آلومینیوم به آنزیم‌هایی همچون انولاز و پیروات کیناز، ATP و GTP نیز گزارش شده است. احتمالا عوامل اشاره شده موجب کاهش بیوماس و کاهش رشد گیاهان تحت تیمار آلومینیوم شده است (Delhaize and Ryan, 1995؛ Jones and Kochian, 1997). افزایش ماده خشک در گیاه کرچک (*Ricinus communis*) تحت تیمار بور نیز توسط Da Silva و همکاران (۲۰۰۸) گزارش شده است. تصور می‌شود که این عنصر از طریق تأثیر بر مسیر سنتز نشاسته، رشد گیاه را افزایش می‌دهد. همچنین عنصر بور از طریق تأثیر بر مسیر متابولیسم هورمون اکسین و انتقال قندها، قادر به تحریک رشد در گیاهان است (Marschner, 2005). Ruiz و همکاران (۲۰۰۶) برهم کنش بین دو عنصر بور و آلومینیوم را در گیاه آفتابگردان بررسی کرده‌اند. آنها معتقدند که بور از طریق تحریک مسیر متابولیسم گلوتاتیون و در نتیجه افزایش قدرت آنتی‌اکسیدانی سلول، موجب افزایش مقاومت گیاه نسبت به غلظت‌های مختلف آلومینیوم می‌شود. Ma و همکاران (۲۰۰۱) کاهش رشد ریشه در گیاهان تحت تیمار آلومینیوم را علت کاهش جذب آب و در نتیجه وزن گیاه بیان کردند. همچنین پژوهش‌های گوناگون مؤید آن است که عنصر بور نقش مهمی در تنظیم میزان آب سلولی در گیاهان ایفا می‌کند (Marschner, 2005). بنابراین، وجود این عنصر در محیط رشد گیاه، تا حدودی قادر به جبران آثار نامطلوب ناشی از وجود آلومینیوم است. کاهش طول ریشه و بخش هوایی در سایر گیاهان تیمار شده با آلومینیوم نیز گزارش شده است (Delhaize and Ryan, 1995؛ Illes *et al.*, 2006). Delhaize و Ryan (۱۹۹۵) و Illes و همکاران (۲۰۰۶) کاهش رشد ریشه را در گیاهان آرابیدوپسیس تحت تیمار آلومینیوم نشان دادند. این محققان بیان داشتند که نوک ریشه شامل کلاهک، منطقه مریستمی و ناحیه طویل شدن ریشه قادر به انباشت مقادیر بیشتری از فلز آلومینیوم است. تصور می‌شود که آلومینیوم به طور غیر مستقیم و از طریق تأثیر بر پیام‌رسان‌های ثانویه و هورمون‌های گیاهی موجب مهار رشد ریشه می‌شود. همچنین گزارش‌های متعدد نمایانگر کاهش میزان کلسیم موجود در بافت‌های گیاهی تحت تنش آلومینیوم است. کاهش میزان کلسیم سلول یکی از دلایل احتمالی کاهش رشد ریشه در گیاهان مواجه با تنش آلومینیوم است. Foy (۱۹۸۸) بیان داشت که سمیت ناشی از آلومینیوم، تقسیم سلولی و طویل شدن سلول‌های ریشه را مهار می‌کند و جذب آب و مواد غذایی را کاهش می‌دهد که نتیجه آن کاهش رشد گیاه است. اتصال آلومینیوم به DNA موجود در سلول‌های گیاهی، کاهش انعطاف‌پذیری دیواره سلولی و کاهش در دسترس بودن فسفر موجود در خاک و سطح ریشه گیاه، تداخل در عمل آنزیم‌های مسیر متابولیسم قندها، رسوب پلی ساکاریدها در دیواره سلول و کاهش جذب عناصر ضروری برای رشد و نمو گیاه مانند کلسیم،

منیزیم، پتاسیم، فسفر و آهن نیز در گیاهان تحت تیمار آلومینیوم گزارش شده است. تصور می‌شود که کاهش ارتفاع در گیاهان تحت تنش آلومینیوم عمدتا به دلیل کاهش رشد ریشه و به دنبال آن انتقال کمتر آب و عناصر غذایی به بخش هوایی است (Delhaize and Ryan, 1995؛ Rout *et al*., 2001). Marschner (۲۰۰۵) بیان داشت که عنصر بور به علت دخالت در متابولیسم هورمون‌های محرک رشد مانند اکسین و سیتوکینین، نقش مهمی در تحریک رشد سلول‌های گیاهی دارد. Herrera-Rodriguez و همکاران (۲۰۰۹) نیز تأثیر مثبت عنصر بور را در طویل شدن ریشه و بخش هوایی نشان دادند. همچنین گزارش‌های متعدد نمایانگر نقش محافظتی عنصر بور در برابر آثار منفی ناشی از تنش آلومینیوم است. تأثیر بور بر طویل شدن و فراساختار سلولی به ویژه سلول‌های ریشه مواجه با تنش آلومینیوم به اثبات رسیده است (Mossor-Pietraszewska, 2001). اتصال آلومینیوم به DNA سلول‌های گیاهی و در نتیجه مهار تقسیم سلولی و همچنین انتقال کمتر آب و عناصر غذایی به بخش هوایی از دلایل احتمالی کاهش رشد برگ‌ها است (Delhaize and Ryan, 1995). همچنین کاهش میزان عناصر فسفر، آهن و کلسیم در سلول‌های برگ گیاهان تحت تنش آلومینیوم گزارش شده است که می‌تواند یکی از علت‌های کاهش رشد این اندام باشد (Rout *et al*., 2001). پژوهشگران متعدد بر این باورند که عنصر بور به دلیل دخالت در متابولیسم هورمون‌های محرک رشد مانند اکسین و سیتوکینین و نقل و انتقال قندها، نقش مهمی در تحریک رشد سلول‌های گیاهی و در نتیجه افزایش سطح برگ ایفا می‌کند (Marschner, 2005). تصور می‌شود که تأثیر محرک رشد عنصر بور بر سلول‌های گیاهی تحت تنش آلومینیوم از دلایل احتمالی بهبود رشد در این گیاهان است.

بررسی‌های متعدد نشان دهنده کاهش انباشت منیزیم در ریشه‌ها و بخش هوایی گیاهان تحت تنش آلومینیوم است. در این راستا، کاهش منیزیم نیز یکی از دلایل احتمالی کاهش سنتز کلروفیل است (Mossor-Pietraszewska, 2001). همچنین تصور می‌شود که فلز سنگین آلومینیوم از طریق کاهش جذب آهن، بر مسیر سنتز کلروفیل تأثیر گذاشته، موجب کاهش میزان این رنگدانه فتوسنتزی در سلول می‌شود (Rout *et al*., 2001). پژوهشگران بر این باورند که کاهش تولید اکسیژن ناشی از فتوسنتز در برگ‌های مواجه با کمبود بور، می‌تواند به علت کاهش محتوای کلروفیل و انتقال الکترون فتوسنتزی باشد (Manios *et al*., 2003؛ Landi *et al*., 2012). Herrera-Rodriguez و همکاران (۲۰۰۹) طی پژوهشی بیان داشتند که عنصر بور نقش مهمی در محافظت از غشاهای تیلاکوئیدی و مسیر متابولیسم کلروفیل موجود در برگ‌های گیاه ایفا می‌کند و شاید به همین دلیل است که آثار ناشی از کاهش کلروفیل در نتیجه تیمار آلومینیوم بهبود یافته است.

پرولین به عنوان یک اسمولیت مهم در تعدیل فشار اسمزی سلول‌های تحت تنش‌های گوناگون نظیر: شوری، خشکی، سرما، کمبود مواد غذایی و فلزات سنگین نقش اساسی دارد. افزایش سنتز پرولین در گیاهان تحت تنش فلزات سنگین به کرات گزارش شده است (Wu *et al*., 1998). انباشت پرولین در شرایط تنش ممکن است به علت فعال‌سازی آنزیم‌های

بیوسنتزی پرولین، کاهش تخریب آن در اثر اکسیداسیون و تبدیل آن به گلوتامات، کاهش استفاده از پرولین در سنتز پروتئین و افزایش واژگردی (turn over) پروتئین‌ها باشد. تصور می‌شود که افزایش سنتز کلروفیل در تیمار بور، موجب هدایت گلوتامات به سمت تشکیل این رنگدانه فتوسنتزی و در نتیجه سبب کاهش سنتز پرولین شده است (Sariam and Tyagi, 2004).

Ezaki و همکاران (۲۰۰۱) طی پژوهشی بیان داشتند که فلز سنگین آلومینیوم به طور فعال از غشای تونوپلاستی عبور کرده، در واکوئل‌های سلول‌های ریشه انباشته می‌شود، این امر انتقال آلومینیوم را به بخش هوایی کند می‌کند و موجب انباشت مقادیر بیشتری از این فلز در ریشه ها نسبت به اندام هوایی می‌شود. تصور بر این است که گیاهان سیستم جذب متفاوتی برای عناصر بور و آلومینیوم دارند و افزودن بور به محیط رشد گیاه نمی‌تواند با آلومینیوم جهت ورود به ریشه رقابت کند. به همین دلیل، بور تأثیری بر میزان جذب و انباشت آلومینیوم ندارد (Miwa and Fujiwara, 2010؛ Jy *et al*., 2014).

جمع‌بندی

نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که غلظت‌های مختلف آلومینیوم، موجب کاهش وزن خشک، سطح برگ و ارتفاع گیاه و همچنین میزان کلروفیل‌های a، b و کل در گیاه گشنیز می‌شود. اما میزان پرولین و انباشت آلومینیوم در گیاهان تحت تیمار آلومینیوم افزایش معنی‌داری داشت. همچنین افزایش ارتفاع، سطح برگ، وزن خشک و کلروفیل در گیاهان تحت تیمار بور و در گیاهان تحت ترکیبات تیماری آلومینیوم و بور در مورد شاخص‌های: ارتفاع، وزن خشک و کلروفیل مشاهده شد.

سپاسگزاری

نگارندگان از حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد بابت هزینه‌های تأمین این تشکر و سپاسگزاری می‌نمایند.

منابع

Arnon, D. I., Allen, M. B. and Whatley, F. R. (1956) Photosynthesis by isolated chloroplast, IV, gentral concept and comparison of three photochemical reactions. Biochimica et Biophysica Acta 20(3): 449-461.

Asgari, A., Ahmadi Moghaddam, M., Mahvi, A. and Yonesian, M. (2008) Evaluation of aluminum in iranian consumed tea. Knowledge and Health 3(2): 45-49 (in Persian).

Barcelo, J. and Poschenrieder, C. (2002) Fast root growth responses, root exudates and internal detoxification as clues to mechanisms of aluminium toxicity and resistance: a review. Environtal and Experimental Botany 48: 75-92.

Bardelo, J., Poschenrieder, C., Vazquez, M. D. and Gunse, B. (1996) Aluminium phytotoxicity-a challenge for plant scientists. Fertilizer Research 43: 217-223.

Bates, L. S., Waldern, R. P. and Teame, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil 39: 205-207.

Brown, P. H. and Shelp, B. J. (1997) Boron mobility in plants. Plant and Soil 193: 85-101.

Chapman, H. D. and Pratt, P. F. (1961) Methods of analysis for soils, plants and water. University California, Berkeley, CA, USA.

Chithra, V. and Leelamma, S. (1997) Hypolipidemic effect of coriander seeds (*Coriandrum sativum*): Mechanism of action. Plant Foods for Human Nutrition 51: 167-173.

Cortes, E., Sandra, J. and Javier, J. (2004) Antimutagenicity of coriander (*Coriandrum sativum*) juice. Toxicology Letters 153: 283-291.

Da Silva, D. H., Rossi, M. L., Boaretto, A. E., De Lima Nogueira, N. and Muraoka, T. (2008) Boron affects the growth and ultrastructure of castor bean plants. Scientia Agricola 65: 659-664.

Delhaize, E. and Ryan, P. R. (1995) Aluminum toxicity and tolerance in plants. Plant Physiology 107: 315-321.

Dell, B. and Huang, L. (1997) Physiological response of plant to low boron. Plant and Soil 193: 103-120.

Ezaki, B., Katsuhara, M., Kawamura, M. and Mtsumoto, H. (2001) Different mechanisms of four aluminium (Al)-resistant transgenes for Al toxicity in Arabidopsis. Plant Physiology 127: 918-927.

Foy, C. D. (1988) Plant adaptation to acid, aluminum-toxic soils. Communication in Soil Science and Plant Analysis 19: 959-987.

Ghahreman, A. (1994) Iran chromophytes (systematic plant). vol. 2. Tehran University Publication Center, Tehran (in Persian).

Gurrea, N. B., Melo, E. A. and Filho, J. M. (2005) Antioxidant compounds from coriander (*Coriandrum sativum*) etheric extract. Food Composition and Analysis 18: 193-199.

Herrera-Rodriguez, M., Gonzalez-Fontes, A., Rexach, J., Camacho-Cristobal, J. J., Maldonado, J. M. and Navarro-Gochicoa M. T. (2009) Role of boron in vascular plants and response mechanisms to boron stresses. Plant Stress 4(2): 115-122.

Hu, H. and Brown, P. H. (1994) Localization of boron in cell walls of squash and tobacco and its association with pectin. Plant Physiology 105: 681-689.

Illes, P., Schlicht, M., Pavlovkin, J., Lichtscheidl, I., Baluska, F. and Ovecka, M. (2006) Aluminium toxicity in plants: internalization of aluminium into cells of the transition zone in Arabidopsis root apices related to changes in plasma membrane potential, endosomal behavior and nitric oxide production. Journal of Experimental Botany 57: 4201-4213.

Jones, D. L. and Kochian, L. (1997) Aluminum interaction with plasma membrane lipids and enzyme metal binding sites and its potential role in Al cytotoxicity. Federation of European Biochemical Societies Journal 400: 51-57.

Jy, L., Liu, J., Dong, D., Jia, X., McCouch, S. R. and Kochian, L. V. (2014) Natural variation underlies alterations in Nramp aluminum transporter (NRAT1) expression and function that play a key role in rice aluminum tolerance. In: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 111: 6503-6508.

Landi, M., Degl Innocenti, E., Pardossi, A. and Guidi, L. (2012) Antioxidant and photosynthetic responses in plants under boron toxicity: a review. American Journal of Agricultural and Biological Sciences 7: 255-270.

Ma, J. F., Ryan, P. R. and Delhaize, E. (2001) Aluminium tolerance in plants and the complexing role of organic acids. Trends in Plant Science 6(6): 273-278.

Manios, T., Stentiford, E. I. and Milher, P. A. (2003) The effect of heavy metals accumulation on the

chlorophyll concentration of *Typha latifolia* plants, metaliferus water. Ecological Engineering 20: 63-74.

Marschner, H. (2005) Mineral nutrition of higher plants. vol. 1. Academic Press, London.

Matoh, T. (1997) Boron in plant cell walls. Plant and Soil 193: 59-70.

Miwa, K. and Fujiwara, T. (2010) Boron transport in plants: co-ordinated regulation of transporters. Annals of Botany 105: 1103-1108.

Mossor-Pietraszewska, T. (2001) Effect of aluminium on plant growth and metabolism. Acta Biochimica Polonica 48: 673-686.

Oniruzzaman, M., Ahman, M. M., Hossein, S., Irajul Karim, A. J. M. and Khaliq, Q. A. (2013) Evaluation of coriande (Coriandrum sativum L.) genotypes for foliage yield and its attributes. Bangladesh Journal of Agricultural Research 38(1): 175-180.

Papadakis, I. E., Dimassi, N., Bosabalidis, A. M., Therios, I. N., Patakas, A. and Giannakoula, A. (2004) Effects of B excess on some physiological and anatomical parameters of 'Navelina' orange plants grafted on two rootstocks. Environmental and Experimental Botany 51: 247-257.

Rout, G. R., Samantaray, S. and Das, P. (2001) Aluminium toxicity in plants: a review. Agronomie 21: 3-21.

Ruiz, J. M., Rivero, R. M. and Romero, L. (2006) Boron increases synthesis of glutathione in sunflower plants subjected to aluminum stress. Plant and Soil 279: 25-30.

Sariam, R. K and Tyagi, A. (2004) Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. Current Science 86: 407-421.

Wu, J. T., Hsieh, M. T. and Kow, L. C. (1998) Role of proline accumulation in response to toxic copper in *Chlorella* sp. (chlorophyceae) cells. Phycology 34: 113-117.

Zand, B., Soroosh zadeh, A., Ghanati, F. and Moradi, F. (2010) Effect of zinc and auxin foliar application on some anti-oxidant enzymes activity in corn leaf. Iranian Journal of Plant Biology 2(1): 35-48.

The effects of boron on improving aluminium tolerance in coriander (*Coriandrum sativum* L.)

Ali Ganjeali *, Azadeh Saffar Yazdi, Monireh Chenyani, Mehrdad Lahouti and Zahra Rezaei

Department of Biology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Abstract

In this study, the role of boron (BO_3^{3-}) on improving tolerance of coriander plant (*Coriandrum sativum* L.) subjected to different concentrations of aluminum (Al^{3+}) was evaluated. In this regard, an experiment was implemented with seven different concentrations of aluminum including: 0.25, 0.50, 1.00, 2.00, 3.00 and 4.00 mg/L Al^{3+} and three concentrations of boron including: 0.25, 0.5 and 0.75 mg/L BO_3^{3-} with the control treatment. The experiment was concluded based on completely randomized design with three replications. Seeds of coriander were germinated in germinator and seedlings were grown in Hogland´s solution with different boron and aluminium concentrations. Results showed that different levels of Al^{3+}, decreased dry weight, leaf area, length of shoot and root, amount of chlorophyll and aluminium, while proline concentration and Al^{3+}accumulation increased. Nearly, in all concentrations of Al^{3+}, plant height, dry weight and chlorophyll content promoted with increasing boron concentrations, but proline concentration was decreased. It could be concluded that application of boron along with Al^{3+}, might have proved plant growth and neutralized effects of Al toxicity.

Key words: Aluminum, Boron, Toxicity, Coriander

* Corresponding Author: ganjeali@um.ac.ir