

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

علی گنجعلی*، آزاده صفار یزدی، منیره چینیانی، 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 کاملاً 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 احتمالاً آثار منفی ناشی از سمیت آلومینیوم تا حدودی خنثی می‌شود.

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

مقدمه

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؛ Gurra et al., 2005). نتایج بررسی‌های متعدد مؤید آن است که فلز سنگین آلومینیوم در غلظت‌های بالاتر از آستانه تحمل به ویژه در

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

شرایط اسیدی، محدود کننده 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 علائم 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 علائم 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 علائم سمیت ناشی از عنصر آلومینیوم است (Foy, 1998). برهم کنش 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

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

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 خط کش 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 ترازوی 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 Amon 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

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 کاملاً 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 ژرمیناتور 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 هو گلند منتقل شدند.

هر گلدان ۱/۲ لیتری که به طور مرتب در آن عمل هوادهی انجام می‌شد و حاوی ۷ گیاهچه بود به عنوان

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 میلی گرم در لیتر Al^{3+} و بیشتر از آن نسبت به شاهد معنی دار 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 میلی گرم در لیتر Al^{3+} و بالاتر، وزن خشک ریشه به صورت معنی داری افزایش یافت. با افزایش غلظت بور در برخی از سطوح آلومینیوم، طول بخش هوایی نیز به صورت معنی داری افزایش نشان داد ($P \leq 0.05$) (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 معنی دار بود. افزایش غلظت بور موجب افزایش طول ریشه و بخش هوایی گیاه نسبت به شاهد شد (جدول ۱). نتایج حاصل از مقایسه میانگین برهم کنش آلومینیوم و بور بر طول ریشه گیاه، نشان دهنده افزایش معنی دار 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 معنی داری نسبت به شاهد افزایش نشان داد ($P \leq 0.05$) (جدول ۱).

سطح برگ: مقایسه میانگین مشاهدات نشان داد که

با افزایش غلظت آلومینیوم در محیط کشت، سطح برگ گیاه به طور معنی داری نسبت به شاهد کاهش یافت. اما با افزایش غلظت بور (غلظت‌های ۰/۵ میلی گرم در لیتر و

شد و پس از سانتیفریوژ (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 میلی لیتر نین هیدرین و ۲ میلی لیتر استیک اسید گلاسیال افزوده، سپس نمونه‌ها به مدت یک ساعت در حمام آب گرم ۱۰۰ درجه سانتیگراد قرار داده شدند. پس از افزودن ۴ میلی لیتر 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 Pratt و Chapman (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 نرم افزار JMP انجام و برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P \leq 0.05$) 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 میلی گرم در لیتر و بالاتر Al^{3+} ، کاهش معنی داری در بیوماس ریشه نسبت به

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 ($P \leq 0.05$). 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 ($P \leq 0.05$) (جدول ۲).

بالاتر)، موجب افزایش معنی‌دار سطح برگ نسبت به شاهد شد (جدول ۱). نتایج حاصل از مقایسه میانگین برهم کنش 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 ($P \leq 0.05$) (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 ($P \leq 0.05$). 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

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 $P \leq 0.05$ 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 $P \leq 0.05$ است.

آلومینیوم ریشه ($\mu\text{g}/100\text{g DW}$)	آلومینیوم بخش هوایی ($\mu\text{g}/100\text{g DW}$)	پرولین ریشه ($\mu\text{M}/\text{g FW}$)	پرولین بخش هوایی ($\mu\text{M}/\text{g FW}$)	کلروفیل کل ($\text{g}/100\text{g FW}$)	کلروفیل b ($\text{g}/100\text{g FW}$)	کلروفیل a ($\text{g}/100\text{g FW}$)	غلظت بور (mg/L)	غلظت آلومینیوم (mg/L)
۵۵k	۲۴p	۰/۰۶۶op	۰/۱۲۶qrs	۰/۳۳۱d	۰/۱۲۲c	۰/۱۸۲abc	۰	۰
۵۲k	۲۴p	۰/۰۵۵no	۰/۱۲۰rs	۰/۳۵۶c	۰/۱۴۲b	۰/۱۹۲ab	۰/۲۵	۰
۵۲k	۲۴p	۰/۰۴۶op	۰/۱۱۵s	۰/۳۷۵b	۰/۱۵۷a	۰/۲۰۲a	۰/۵	۰
۵۴k	۲۵p	۰/۰۴۱p	۰/۱۱۵s	۰/۳۸۹a	۰/۱۶۱a	۰/۱۹۹a	۰/۷۵	۰
۱۱۱jk	۳۰o	۰/۰۷۸lmn	۰/۱۳۲opqr	۰/۲۷۹hi	۰/۱۱۳cd	۰/۱۷۲bcd	۰	۰/۲۵
۱۲۳ijk	۳۱o	۰/۰۷۳mno	۰/۱۲۸qr	۰/۲۹۱fgh	۰/۱۰۵def	۰/۱۶۵cd	۰/۲۵	۰/۲۵
۱۲۸ijk	۳۳no	۰/۰۷۲mno	۰/۱۲۰rs	۰/۳۰۳f	۰/۱۱۵cd	۰/۱۷۴bcd	۰/۵	۰/۲۵
۱۴۱hij	۳۶lmn	۰/۰۶۸no	۰/۱۲۰rs	۰/۳۱۶c	۰/۱۱۷cd	۰/۱۷۴bcd	۰/۷۵	۰/۲۵
۱۷۳hij	۳۵mn	۰/۰۸۶l	۰/۱۳۷n-q	۰/۲۵۶kl	۰/۱۲۱c	۰/۱۶۶cd	۰	۰/۵
۱۷۹hij	۳۵mn	۰/۰۷۹lm	۰/۱۳۳opq	۰/۲۷۰ij	۰/۱۱۸cd	۰/۱۷۰cd	۰/۲۵	۰/۵
۱۹۱ghi	۳۹ijkl	۰/۰۷۱mno	۰/۱۲۹pqr	۰/۲۸۲ghi	۰/۱۱۰cde	۰/۱۷۶bcd	۰/۵	۰/۵
۲۰۶fgh	۴۱hij	۰/۰۶۸no	۰/۱۲۷qrs	۰/۲۹۴fg	۰/۱۱۲cde	۰/۱۸۶abc	۰/۷۵	۰/۵
۲۶۶ef	۳۷klm	۰/۱۱۰ij	۰/۱۵۳m	۰/۲۳۰m	۰/۰۹g-j	۰/۱۴۳ef	۰	۰/۷۵
۲۶۶ef	۳۸jklm	۰/۱۰۵jk	۰/۱۴۸mn	۰/۲۴۷l	۰/۰۸۴h-k	۰/۱۴۳ef	۰/۲۵	۰/۷۵
۲۹۲e	۳۸jklm	۰/۱۰۵jk	۰/۱۴۸mn	۰/۲۴۷l	۰/۰۸۴h-k	۰/۱۴۳ef	۰/۲۵	۰/۷۵
۳۶۵d	۴۳gh	۰/۰۸۶l	۰/۱۴۱mnop	۰/۲۸۰hi	۰/۱۰۹cde	۰/۱۶۵cd	۰/۷۵	۰/۷۵
۳۷۱d	۳۸jklm	۰/۱۲۶fgh	۰/۲۱۳j	۰/۱۹۳n	۰/۰۷۶j-m	۰/۱۱۵gh	۰	۱
۳۸۰d	۳۹ijkl	۰/۱۰۸ij	۰/۱۹۶k	۰/۲۱۹m	۰/۰۷۴klm	۰/۱۱۶gh	۰/۲۵	۱
۳۹۲d	۴۰hijk	۰/۰۹۷k	۰/۱۸۵kl	۰/۲۴۴l	۰/۰۹۲f-i	۰/۱۳۱fg	۰/۵	۱
۴۱۹d	۴۲ghi	۰/۰۸۶l	۰/۱۷۵l	۰/۲۶۵jk	۰/۱۰۳d-g	۰/۱۳۷ef	۰/۷۵	۱
۴۲۳d	۴۲ghi	۰/۱۴۳e	۰/۲۵۴h	۰/۱۵۴p	۰/۰۶۵l-o	۰/۰۸۵j	۰	۱/۵
۴۲۸d	۴۲ghi	۰/۱۲۸fgh	۰/۲۳۵i	۰/۱۸۰o	۰/۰۶۶l-o	۰/۰۹۱ij	۰/۲۵	۱/۵
۴۳۲d	۴۲ghi	۰/۱۱۸hi	۰/۲۲۶i	۰/۱۹۸n	۰/۰۷۲klm	۰/۱۰۶hi	۰/۵	۱/۵
۵۲۳c	۴۵fg	۰/۱۰۰۶jk	۰/۲۰۹j	۰/۲۲۳m	۰/۰۸i-l	۰/۱۲۸fg	۰/۷۵	۱/۵
۴۳۰d	۴۹de	۰/۱۷۱c	۰/۲۸۲fg	۰/۰۹۱st	۰/۰۶۱mno	۰/۰۷۲jkl	۰	۲
۴۲۴d	۴۷ef	۰/۱۵۵d	۰/۲۷۲g	۰/۱۱۲r	۰/۰۶۵lmno	۰/۰۷۲jkl	۰/۲۵	۲
۵۳۵c	۵0de	۰/۱۳۷ef	۰/۲۴۷h	۰/۱۳۴q	۰/۰۷۶klm	۰/۰۸jk	۰/۵	۲
۶۳۸b	۵۲d	۰/۱۲۳gh	۰/۲۲۹i	۰/۱۵۱p	۰/۰۸۳h-k	۰/۰۹۱ij	۰/۷۵	۲
۶۴۵b	۶۵c	۰/۱۸۷b	۰/۳۱۱d	۰/۰۶۵n	۰/۰۵۱op	۰/۰۳۸no	۰	۳
۶۴۴b	۶۵c	۰/۱۶۶c	۰/۲۹۷c	۰/۰۸۴t	۰/۰۴۴p	۰/۰۵۱mn	۰/۲۵	۳
۶۵۳b	۶۶c	۰/۱۴۶de	۰/۲۸۵f	۰/۰۹۶s	۰/۰۶۱mno	۰/۰۵۴lmn	۰/۵	۳
۷۲۹a	۶۸c	۰/۱۳۰fg	۰/۲۵۴h	۰/۱۱۷r	۰/۰۷۵j-m	۰/۰۶۱klm	۰/۷۵	۳
۷۳۰a	۷۲b	۰/۲۰۵n	۰/۳۶۹n	۰/۰۴۹v	۰/۰۴۲p	۰/۰۳o	۰	۴
۷۳۵a	۷۱b	۰/۱۸۳b	۰/۳۴۵b	۰/۰۷n	۰/۰۴۴p	۰/۰۳۶no	۰/۲۵	۴
۷۵۲a	۷۶a	۰/۱۶۵c	۰/۳۲۳c	۰/۰۹st	۰/۰۵۶nop	۰/۰۴۱mno	۰/۵	۴
۷۵۲a	۷۸a	۰/۱۴۴e	۰/۲۸۶ef	۰/۱۱۳r	۰/۰۶۷lmn	۰/۰۵۴lmn	۰/۷۵	۴

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. احتمالاً عوامل اشاره شده موجب کاهش بیوماس و کاهش رشد گیاهان تحت تیمار آلومینیوم شده است (Delhaize and Ryan, 1995؛ Jones and Kochian, 1997؛ and Ryan, 1995). 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 گلوکاتیون 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). Ryan و Delhaize (۱۹۹۵) و Illes و همکاران (۲۰۰۶) کاهش رشد ریشه را در گیاهان آراییدوپسیس تحت تیمار آلومینیوم نشان دادند. این محققان بیان داشتند که نوک ریشه شامل کلاهک، منطقه مرستمی 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،

(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 بخش‌های 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)؛ Herrera-Rodriguez (Landi *et al.*, 2012). 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

منیزیم، پتاسیم، فسفر و آهن نیز در گیاهان تحت تیمار آلومینیوم گزارش شده است. تصور می‌شود که کاهش ارتفاع در گیاهان تحت تنش آلومینیوم عمدتاً به دلیل کاهش رشد ریشه و به دنبال آن انتقال کمتر آب و عناصر غذایی به بخش‌های هوایی است (Delhaize and Marschner, 1995; Ryan, 2001). (Rout *et al.*, 2001). 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 طول شدن ریشه و بخش‌های هوایی نشان دادند. همچنین گزارش‌های متعدد نمایانگر نقش محافظتی عنصر بور در برابر آثار منفی ناشی از تنش آلومینیوم است. تأثیر بور بر طول 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 بخش‌های 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,

(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.

بیوسنتزی پرولین، کاهش تخریب آن در اثر اکسیداسیون و تبدیل آن به گلو تامات، 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 گلو تامات 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 واکنش‌های سلول‌های ریشه انباشته می‌شود، این امر انتقال آلومینیوم را به بخش هوایی کند می‌کند و موجب انباشت مقادیر بیشتری از این فلز در ریشه‌ها 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

منابع

- Arnon, D. I., Allen, M. B. and Whatley, F. R. (1956) Photosynthesis by isolated chloroplast, IV, general 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. *Environmental 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