دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

بررسی تحمل لاین‌های پیشرفته گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. Subsp. *durum*Desf) تحت شرایط تنش آلومینیوم

الناز رمزی[۱]، علی اصغری[۲]، سعید خماری[۳] و حمیدرضا محمددوست چمن‌آباد[۴]

۱، ۳ و ۴- دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی
۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، (نویسنده مسوول: ali_asgharii@yahoo.com)
تاریخ دریافت: ۹۵/۲/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۱۹

چکیده

آلومینیوم یکی از فراوان‌ترین عناصر موجود در خاک است که در خاک‌هایی با اسیدیته بالا به شکل انحلال‌پذیر Al^{+3} در آمده، از طریق ریشه جذب شده و به‌این ترتیب بر رشد گیاهان اثر می‌گذارد. ارزیابی تحمل گیاهان به تنش‌های زیست محیطی به‌ویژه در خلال مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه عامل مهمی در انتخاب آن‌ها برای کشت در شرایط مختلف می‌باشد. به‌منظور بررسی تنوع ژنتیکی ۸۳ لاین پیشرفته گندم دوروم تحت سمیت آلومینیوم در مرحله گیاهچه در شرایط آزمایشگاهی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملا تصادفی با دو تکرار انجام شد. سطوح تنش شامل شاهد و غلظت ۲/۵ میلی‌مولار آلومینیوم و صفات اندازه‌گیری شده شامل تعداد ریشه‌چه، وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه و نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه بودند. نتایج حاصل نشان داد که تنش بر تمامی صفات تاثیر معنی‌دار داشت. هم‌چنین، بین لاین‌های گندم دوروم از لحاظ تمامی صفات اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. برهم‌کنش رقم در تنش در همه صفات معنی‌دار بود. ارزیابی لاین‌های برتر بر اساس شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) انجام شد. لاین‌های ۳۵، ۵۸، ۷۲، ۷۵، ۷۶، ۷۷، ۸۲ و ۸۳ با داشتن بالاترین شاخص SIIG متحمل به تنش آلومینیوم و لاین‌های ۱۱، ۱۶، ۲۱، ۲۵، ۲۶، ۶۵، ۶۶، ۶۸ و ۷۳ با داشتن پایین‌ترین مقدار این شاخص حساس به تنش آلومینیوم بودند. نتایج حاصل از رتبه‌بندی بر مبنای شاخص فوق با نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای بر مبنای شاخص Ti انطباق زیادی داشت.

واژه‌های کلیدی: گندم، آلومینیوم، گیاهچه، تنش، SIIG

مقدمه

اهمیت روز افزون غلات در تغذیه بشر به صورت مستقیم یا فرآورده‌های حاصل از آن و هم‌چنین مصرف غلات توسط دام و طیور، لزوم انجام تحقیق در این زمینه را روشن می‌کند. در بین غلات، گندم مهم‌ترین غله به‌شمار می‌آید که به مقدار زیاد و در مساحت‌های وسیعی در زمین‌های کشاورزی دنیا کشت می‌شود و اهمیت اقتصادی آن چه از نظر تولید و چه از نظر تغذیه بیش از سایر محصولات کشاورزی است (۳۴). این گیاه در سطحی معادل ۲۱۷ میلیون هکتار کشت می‌شود و میزان تولید سالیانه آن ۶۵۱ میلیون تن گزارش شده است (۱۲). گندم دوروم با داشتن حدود ۲۱ میلیون هکتار سطح زیرکشت در جهان بیش از ده درصد سطح زیر کشت گندم را به خود اختصاص داده و یکی از محصولات مهم زراعی به حساب می‌آید (۳). این گندم با داشتن خصوصیات فیزیولوژیکی فوق‌العاده، به دامنه وسیعی از شرایط اقلیمی سازگار می‌باشد (۴). از طرفی، افزایش خاک‌های اسیدی تولید محصولات کشاورزی از جمله گندم را محدود ساخته و به یک مشکل اساسی در سراسر جهان تبدیل شده است. آلومینیوم یکی از فاکتوهای مهم محدودکننده رشد و تولیدات گیاه در خاک‌های اسیدی سراسر جهان محسوب می‌شود. امروزه حدود ۵۰ درصد زمین‌های قابل کشت جهان را خاک‌های اسیدی اشغال کرده‌اند و سمیت ناشی از آلومینیوم یکی از مشکلات اصلی در این خاک‌هاست (۳۷). از جمله عوامل اسیدی شدن خاک می‌توان به افزایش فعالیت‌های صنعتی و باران‌های اسیدی اشاره نمود. آلومینیوم در آب، خاک و هوا وجود دارد ولی بخش اعظم آن به صورت آلومینوسیلیکات (Al_2SiO_4) جزء مواد کانی خاک می‌باشد. البته مقدار کمی نیز به صورت پتاسیم آلومینیوم سولفات ($KAl(SO_4)_{12}H_2O$) و اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) در طبیعت وجود دارد. در شرایط اسیدی آلومینیوم به کاتیون‌های Al^{+3} هیدرولیز شده و به فاکتور محدودکننده رشد و محصولات گیاه تبدیل می‌شود (۲۸). به‌دلیل اسیدیته بالای طبقات زیرین خاک، سمیت آلومینیوم باعث کاهش عمق نفوذ ریشه گیاه، افزایش حساسیت به خشکی و کاهش استفاده از مواد مغذی خاک می‌گردد (۲۴). گیاهان علایم مسمومیت به آلومینیوم را با حساسیت بیشتری نسبت به تغییر شرایط محیطی نشان می‌دهند. زیرا، این حساسیت حاصل تاثیر آلومینیوم بر تعدادی از آبشارهای پیام‌رسانی است. تجمع آلومینیوم در درجه اول در راس ریشه صورت می‌گیرد که بیانگر تداخل آن با تقسیم سلولی و گسترش سلول‌ها می‌باشد. مهم‌ترین پاسخ‌ها به مسمومیت آلومینیوم مهار رشد ریشه و القاء سنتز کالوز (بتا-۱و۳-گلوکان) پس از تیمار کوتاه مدت با آلومینیوم است. هر دو رویداد مربوط به تنش اکسیداتیو تحریک شده توسط تیمار آلومینیوم می‌باشد، ولی سازوکار پیام‌رسانی در پاسخ به آلومینیوم هم‌چنان نامشخص است (۳۶). مهار رشد ریشه اولین نشانه سمیت آلومینیوم است (۱۱). شاید به این دلیل است که بیشترین تحقیقات بر سیستم ریشه متمرکز شده‌اند. تحت تنش آلومینیوم ریشه‌ها معمولا کوتاه، شکننده و قهوه‌ای رنگ می‌شوند که در جذب آب و مواد غذایی کم‌بازده می‌باشند (۲۸). در اغلب گونه‌های گیاهی، بخصوص گونه‌های

زراعی و حساس به آلومینیوم، جذب آلومینیوم عمدتا باعث محدود شدن سیستم ریشه شده و در اپیدرم و پوسته بیرونی ریشه تجمع می‌یابد (۳۰). از نشانه‌های سمیت آلومینیوم در ریشه‌ها، تغییرات سطح و ترکیب لیپید غشای پلاسمایی (۱۶)، افزایش تنش اکسیداتیو (۹)، تشکیل و تجمع کالوز (۲)، اختلال در پویایی اسکلت سلولی و تعامل با کالمودولین (۱۳) هستند. از آثار سمیت آلومینیوم در اندام هوایی می‌توان به تغییرات سلولی و فرا ساختاری در برگ‌ها، کاهش منافذ روزنه‌ای، کاهش فعالیت فتوسنتزی که منجر به کلروزه و نکروزه شدن برگ‌ها می‌شود، اشاره نمود (۳۳). در سطح سلولی، دیواره یکی از مکان‌های اصلی ایجاد سمیت، سمیت زدایی و هم‌چنین اولین بخش متصل‌شونده به فلزات سنگین می‌باشد (۱۵). آلومینیوم باعث تغییر سطح کلسیم سیتوپلاسمی و در نتیجه فعالسازی نوکلئازهای وابسته به کلسیم می‌شود. در نهایت، این آنزیم‌ها DNA را در منطقه بین نوکلئازی برش داده و منجر به قطعه قطعه شدن DNA می‌گردد (۳۵). در اثر انباشت Al^{3+}، مارپیچ دوگانه DNA افزایش پیدا کرده و در نتیجه تقسیم سلولی در مریستم کاهش پیدا می‌کند (۱۹). از آنجا که شرایط تنش‌زای محیطی سبب اختلال در فعالیت‌های گیاهی می‌شوند، لذا بررسی پاسخ گیاهان به این تنش‌ها به‌عنوان ابزاری برای مطالعه و شناخت سازوکارهای تحمل در گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲۰). با استفاده از یک روش آزمایشگاهی تحت شرایط کنترل‌شده، امکان ارزیابی سریع و دقیق گیاهان نسبت به تنش فراهم می‌گردد و به انتخاب ارقام مناسب برای کشت در مناطقی که در معرض این تنش هستند، کمک می‌کند. در پژوهش حاضر عکس‌العمل بذور ۸۳ لاین گندم دوروم در مرحله جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه‌ها، بررسی شدند تا لاین‌های حساس و متحمل شناسایی شوند.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تحمل لاین‌های پیشرفته گندم دوروم تحت سمیت آلومینیوم، آزمایشی در سال ۱۳۹۴ در آزمایشگاه دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی انجام شد. ۸۳ لاین پیشرفته گندم دوروم تهیه شده از مرکز تحقیقات گچساران در این مطالعه استفاده شدند. این لاین‌ها از گزینش از بین نسل‌های در حال تفرق در ایکادا تولید و به مراکز تحقیقات دیم از جمله مرکز تحقیقات کچساران ارسال می شوند تا مطالعات تکمیلی از جمله مقاومت به تنش‌های زنده و غیرزنده روی آن‌ها انجام شود تا نهایتا از بین آن‌ها لاین‌های مقاوم با عملکرد بالا انتخاب و به‌عنوان رقم معرفی شوند. لذا، این لاین‌ها در مرحله گیاهچه از لحاظ صفات طول، وزن تر و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه، تعداد ریشه‌چه و نسبت طول ریشه‌چه به اندام‌هوایی در ۲ سطح تنش شامل صفر (شاهد) و غلظت ۲/۵ میلی‌مولار آلومینیوم مورد مطالعه قرار گرفتند. این غلظت از یک آزمایش مقدماتی انتخاب گردید. در آزمایش مقدماتی تاثیر غلظت‌های صفر، ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵، ۵ و ۱۰ میلی‌مولار آلومینیوم روی چهار رقم گندم مطالعه شد که در غلظت ۲/۵ میلی‌مولار آلومینیوم رشد ریشه محدود شده و نوک ریشه قهوه‌ای و چند شاخه‌ای شده بود. هم‌چنین، در این غلظت لاین‌ها خوب از هم تفکیک می‌شدند. در این آزمایش برای ایجاد سطح تنش آلومینیوم از $AlCl_3$ استفاده شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه‌ی کاملا تصادفی با دو تکرار انجام شد. بذرها بعد از ضدعفونی به مدت ۱۵ دقیقه در هیپوکلریت سدیم یک درصد و شستشو در آب مقطر در درون پتری روی کاغذ صافی استریل قرار گرفتند. در هر پتری ۵۰ عدد بذر کشت شد. به پتری‌های شاهد فقط آب مقطر و به پتری‌ها تحت تنش، آب مقطر حاوی غلظت ذکر شده از آلومینیوم اضافه شد. سپس، پتری‌ها به داخل دستگاه ژرمیناتور با درجه حرارت ۲ ±۲۰درجه سانتی‌گراد منتقل گردیدند. در طول آزمایش در صورت نیاز به پتری‌ها فقط آب مقطر در اندازه خیس بودن کاغذ صافی‌ها اضافه شد. در روز چهاردهم، از هر پتری ۱۲ گیاهچه به طور تصادفی انتخاب و صفات تعداد ریشه‌چه، طول ساقه‌چه (از یقه تاجوانه انتهایی)، طول ریشه‌چه (از یقه تا نوک ریشه‌اصلی) بر حسب سانتی‌متر با استفاده از خط‌کش، وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه بلافاصله بعد از برداشت با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ بر حسب گرم و نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه محاسب شدند. برای اندازه‌گیری وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه در پایان آزمایش نمونه‌ها به آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت منتقل و بعد از آن با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ توزین شدند. تاثیر غلظت آلومینیوم و ارزیابی لاین‌های حساس و متحمل با محاسبه شاخص تحمل (Ti) (مقدار صفت در سطح تنش تقسیم بر مقدار صفت در سطح شاهد برای صفات مطالعه شده و شاخص انتخاب لاین ایده‌آل (SIIG)[1] (۳۹،۳۸) انجام شد. بعد از محاسبه شاخص Ti برای لاین‌های مورد مطالعه در هر صفت و به‌دست آوردن بالاترین و پایین‌ترین مقدار شاخص تحمل برای هر صفت (جدول ۳)، از آن‌ها جهت محاسبه فاصله هر لاین از ژنوتیپ ایده‌آل مثبت (d^+) و ژنوتیپ ایده‌آل منفی (d^-) استفاده شد.[۱]

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{m}(Ti_{ij} - Ti_j^+)} \quad i=1,\ldots,n$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{m}(Ti_{ij} - Ti_j^-)} \quad i=1,\ldots,n$$

در روابط فوق اندیس‌های i و j به ترتیب معرف ژنوتیپ‌ها و شاخص‌ها می‌باشند. آماره شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) از رابطه زیر محاسبه شد:

$$SIIG = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad i=1,2,\ldots,n \quad 0 \le SIIG \le 1$$

علاوه بر استفاده از شاخص SIIG در این تجزیه، گروه بندی لاین‌های مورد مطالعه با استفاده از تجزیه خوشه‌ای به روش حداقل واریانس وارد انجام شد. این گروه‌بندی هم با بکار بردن میانگین کل صفات در لاین‌ها، میانگین صفات لاین‌ها در شرایط تنش و میانگین لاین‌ها برای شاخص Ti انجام شد، تا نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای با نتایج حاصل از شاخص SIIG مقایسه گردد. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از

1- Selection Index of Ideal Genotype

نرم‌افزار $SPSS_{16}$ و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنش آلومینیوم بر تمامی صفات مورد اندازه‌گیری تاثیر معنی‌دار داشت. بین لاین‌های مورد مطالعه در تمام صفات تفاوت معنی‌دار مشاهده شد. برهم‌کنش لاین×تنش نیز برای همه صفات معنی‌دار بود (جدول۲). میانگین صفات در لاین‌های مورد مطالعه در جدول ۳ آورده شده است. به دلیل زیاد بودن تعداد لاین‌ها، در هر صفت تنها ۱۰ لاین با بیشترین و کمترین مقدار از صفات آورده شد، ولی به دلیل استفاده از شاخص Ti و SIIG در انتخاب لاین‌های حساس و متحمل به سمیت آلومینیوم، روی مقایسه میانگین لاین‌ها زیاد تاکید نشد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تنش آلومینیوم باعث کاهش معنی‌دار تمامی صفات مورد بررسی شد (جدول ۴). طول ریشه‌چه در اثر تنش آلومینیوم کاهش یافت (جدول ۴). مهم‌ترین تاثیر سمیت آلومینیوم، مهار رشد ریشه و القاء سنتز کالوز (بتا-۱ و ۳-گلوکان) پس از تیمار کوتاه مدت با آلومینیوم است. هر دو رویداد مربوط به تنش اکسیداتیو تحریک شده توسط تیمار آلومینیوم می‌باشد (۳۶). اتصال آلومینیوم به دیواره سلولی سبب تغییر پتانسیل غشا می‌شود که نتیجه آن فعال‌سازی یک‌سری کانال‌های کلسیمی است. نتیجه افزایش کلسیم به دو صورت تشکیل کالوز و تخریب اسکلت سلولی است (۲۶). مطالعات نشان می‌دهد که سمیت آلومینیوم مهم‌ترین فاکتور محدود کننده رشد گیاه از جمله رشد ریشه بوده و افزایش طول ریشه را به شدت مهار می‌کند (۱۸). کاهش رشد ریشه گیاهان تحت تاثیر تنش آلومینیوم در مطالعات ویتورلو و همکاران (۳۰) نیز گزارش شده است. در این مطالعه علاوه بر کاهش رشد، ریشه‌چه‌ها شکننده و نوک آن‌ها به رنگ قهوه‌ای درآمد. گزارش‌ها نشان داده است که آلومینیوم مقدار اسیدهای فرولیک و دی‌فرولیک را در دیواره سلولی افزایش می‌دهد که موجب سختی و ضخیم شدن دیواره می‌شود. زیرا، این دو اسید در فرآیند چوبی شدن شرکت کرده و متعاقب آن باعث مهار رشد ریشه می‌شود. چوبی و چوب پنبه‌ای شدن دیواره سلولی یک پاسخ دفاعی است که ورود عناصر سمی را به ریشه محدود می‌کند و پاسخ‌های دفاعی با منع رشد همراه هستند (۱۴). مطابق با بررسی‌های کلمیر و همکاران (۱۷) ناحیه گذار ریشه، اولین ناحیه در ریشه گیاه ذرت است که حساس به آلومینیوم می‌باشد. هم‌چنین، گزارش شده است که هورمون‌های گیاهی از جمله اکسین نقش مهمی را در تعدیل رشد گیاه بازی می‌کند و کاربرد ایندول استیک اسید در ناحیه طویل شدن، مهار رشد ریشه القا شده از طریق آلومینیوم را تعدیل می‌کند (۳۲،۲۹،۲۸). آلومینیوم فعالیت اکسین اکسیداز را افزایش می‌دهد (۱) و از طریق کاهش در بیوسنتز فاکتورهای رشد یا جلوگیری از انتقال آن‌ها از مریستم ریشه به ناحیه طویل شدن موجب کاهش رشد می‌شود (۶). تنش آلومینیوم باعث کاهش وزن تر و خشک ریشه‌چه شد (جدول ۴). از آن‌جا که طول ریشه‌چه بر اثر سطوح آلومینیوم کاهش معنی‌دار نشان داد، وزن ریشه‌چه نیز کاهش یافت. اویانگ و همکاران (۲۱) با مطالعه تاثیر سمیت آلومینیوم بر مقدار رشد و آنتی‌اکسیدانت گیاهچه‌های *Jatropacurcas* گزارش کردند که با افزایش غلظت آلومینیوم مقدار زیست توده کوتیلدون‌ها ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت، اما زیست توده هیپوکوتیل و ریشه‌چه کاهش یافت. باتیستا و همکاران (۸) با مطالعه تاثیر آلومینیوم بر رشد ذرت گزارش کردند که با افزایش غلظت آلومینیوم مقدار وزن خشک ریشه کاهش می‌یابد. با کاهش رشد ریشه تحت تنش آلومینیوم، وزن تر ریشه نیز کاهش می‌یابد (۱۰). با توجه به کاهش وزن ریشه‌چه در شرایط تنش، نسبت وزن ریشه به ساقه‌چه نیز کاهش می‌یابد. هرچندکه، تنش وزن خشک ساقه‌چه را نیز کاهش می‌دهد (جدول ۴)، اما تاثیر تنش آلومینیوم بر روی ریشه‌چه بیشتر از ساقه‌چه می‌باشد. لذا، در شرایط تنش در مقایسه با شاهد هر رقمی که نسبت وزن ریشه‌چه به ساقه‌چه بالاتری را داشته باشد، در واقع تحمل بیشتری به تنش داشته است و می‌توان از این شاخص به جای دو صفت وزن ساقه‌چه و ریشه‌چه یکجا در گزینش ارقام و لاین‌های متحمل به تنش استفاده نمود. در شرایط تنش آلومینیوم در مقایسه با شاهد میانگین تعداد ریشه‌چه کاهش یافت (جدول ۴). باتیستا و همکاران (۸) گزارش کردند که در گیاه ذرت رشد ریشه با وجود آلومینیوم محدود شده و در نتیجه ریشه‌های فرعی کمتری حاصل می‌شود. روت و همکاران (۲۷) اظهار داشتند که آلومینیوم با مداخله در تقسیم سلولی نوک ریشه و ریشه‌های جانبی، کاهش تنفس ریشه و تثبیت فسفر به شکلی که در خاک و سطح ریشه کمتر قابل دسترس باشد، باعث اختلال در تعداد، اندازه و سطح ریشه‌چه می‌شود. با توجه به این‌که رشد ریشه گیاه تحت تنش آلومینیوم کاهش می‌یابد، متعاقب آن طول ریشه گیاه نیز کاهش می‌یابد (۲۸). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها طول، وزن تر و خشک ساقه‌چه با اعمال تنش آلومینیوم کاهش یافت (جدول ۴). با توجه به نتایج به‌دست آمده، آلومینیوم با اختلال در فتوسنتز، تنفس، متابولیسم نیتروژن و هم‌چنین اختلال در متابولیسم کلی و آسیب دیدن غشا سلول‌های گیاهی که منجر به ازدست دادن آب می‌شود، باعث کاهش رشد می‌شود که به‌دنبال آن زیست توده نیز کاهش می‌یابد. هم‌چنین، مشخص شده است که کاهش وزن ریشه و اندام هوایی به دلیل اختلال در جذب عناصر غذایی و آب می‌باشد (۳۱). با توجه به کاهش رشد گیاه تحت تنش آلومینیوم (۱۸)، وزن خشک ساقه چه گیاه نیز کاهش می‌یابد. علت این کاهش ممکن است ناشی از تاثیر آلومینیوم بر جذب عناصر غذایی از خاک و جابجایی آن‌ها در گیاه باشد (۵). وجود آلومینیوم در خاک باعث ایجاد اختلال در جذب سایر عناصر نظیر فسفر می‌شود (۷). کاهش انتقال فسفر به بخش‌های هوایی گیاه باعث کاهش مقدار فتوسنتز شده و در نتیجه تجمع کربوهیدرات کاهش و در نهایت منجر به ایجاد برگ‌های روشن با مقدار ماده خشک کم می‌شود (۲۵). باتیستا و همکاران (۸) گزارش کردند که در گیاه ذرت با افزایش غلظت آلومینیوم مقدار وزن خشک اندام هوایی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. مطالعات انجام گرفته روی گیاه ماش

نشان می‌دهد که تیمار بلندمدت این گیاه با آلومینیوم باعث افزایش سطوح پراکسید و پراکسیداسیون لیپید در برگ‌ها می‌شود (۲۳). آلومینیوم با ترکیبات فسفاته پیوند می‌یابد و بنابراین دسترسی آنزیم روبیسکو به فسفات را کاهش می‌دهد و کاهش فعالیت روبیسکو را باعث می‌شود که آنزیمی کلیدی جهت سنتز کربوهیدرات محلول می‌باشد (۱۰). هم‌چنین، گزارش شده است که آلومینیوم با جلوگیری از جذب فسفر به درون سلول، باعث کاهش تولید زیست توده می‌شود (۲۲). طبق مطالعات قبلی، با کاهش زیست توده اندام هوایی و کاهش رشد ساقه، وزن خشک ساقه نیز کاهش می‌یابد (۲۷). تاثیر غلظت آلومینیوم و ارزیابی لاین‌های حساس و متحمل با محاسبه شاخص تحمل (Ti) و شاخص انتخاب لاین ایده‌آل (SIIG) انجام شد. شاخص (SIIG) به‌عنوان روشی برای انتخاب ژنوتیپ مطلوب با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری به‌طور همزمان می‌باشد. مفهوم اساسی این روش، انتخاب بهترین ژنوتیپ (ژنوتیپ پایدار) است که باید دارای کمترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل منفی باشد. در این روش دو فرضیه وجود دارد: ۱. ژنوتیپ ایده‌آل مثبت دارای حداکثر پایداری و حداقل ناپایداری نسبت به همه ارقام است. ۲. ژنوتیپ ایده‌آل منفی که حداکثر ناپایداری و حداقل ثبات نسبت به بقیه ارقام را دارد. از جمله ویژگی‌های این روش کمک به انتخاب ارقام پایدار با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری است. اگر برای انتخاب ارقام پایدار، محققان بتوانند چند روش پایداری را همزمان مورد استفاده قرار دهند، احتمالا بهره‌وری انتخاب افزایش می‌یابد. روش SIIG قادر به ترکیب روش‌های مختلف پایداری برای انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل می‌باشد. انتخاب همزمان برای عملکرد و پایداری را با این روش می‌توان انجام داد. این روش برای ارزیابی رتبه‌بندی نهایی ارقام پایدار مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش ارقامی با SIIG نزدیک به ۱ انتخاب می‌شوند (۳۸). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین لاین‌های مورد مطالعه از نظر شاخص Ti صفات اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۵). حداقل و حداکثر مقدار شاخص Ti صفات و مقایسه میانگین شاخص Ti صفات در لاین‌های مورد مطالعه انجام شد که به دلیل زیاد بودن تعداد لاین‌ها، در هر صفت تنها ۱۰ لاین با بیشترین و ۱۰ لاین با کمترین مقدار آورده شد (جدول ۶). بعد از محاسبه شاخص Ti برای لاین‌های مورد مطالعه در هر صفت و به دست آوردن بالاترین و پایین‌ترین مقدار شاخص تحمل برای هر صفت (جدول ۶)، از آن‌ها جهت محاسبه فاصله هر لاین از ژنوتیپ ایده‌آل مثبت (d^+) و ژنوتیپ ایده‌آل منفی (d^-) استفاده شد (جدول ۷). نتایج حاصل از روش SIIG و رتبه‌بندی لاین‌ها نشان داد که لاین‌های با بیشترین مقدار SIIG (به ترتیب ۲۰ لاین با بالاترین مقدار شاخص SIIG مطابق با جدول (۷) در مقایسه با دیگر لاین‌ها متحمل‌ترین لاین‌ها به سمیت آلومینیوم بودند. لاین‌های با کمترین مقدار شاخص SIIG حساس‌ترین لاین‌ها به سمیت آلومینیوم بودند (جدول ۷). علاوه بر استفاده از شاخص SIIG در این تجزیه، گروه‌بندی لاین‌های مورد مطالعه با استفاده از تجزیه خوشه‌ای به روش حداقل واریانس وارد انجام شد. این گروه‌بندی هم با بکار بردن میانگین کل صفات در لاین‌ها، میانگین صفات لاین‌ها در شرایط تنش و میانگین لاین‌ها برای شاخص Ti انجام شد، تا نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای با نتایج حاصل از شاخص SIIG مقایسه گردد.بر اساس نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای لاین‌ها بر مبنای میانگین صفات مورد مطالعه با استفاده از روش حداقل واریانس وارد، لاین‌ها به سه گروه مجزا تقسیم شدند. میانگین‌ها لاین‌های گروه سوم (۳۵،۵۸،۷۲،۷۶،۷۸،۸۲،۸۳) بیشتر از میانگین کل و دو گروه دیگر بود. (جدول ۸). نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای لاین‌ها بر اساس میانگین صفات و شاخص‌های مختلف نشان داد که بیشترین انطباق بین نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای با بکار بردن شاخص Ti با نتایج شاخص SIIG وجود داشت (جدول ۹). در استفاده از شاخص Ti به دلیل وجود Tiهای مختلف بر اساس صفات متفاوت تصمیم‌گیری روی لاین‌های حساس و متحمل کار راحتی نیست. در صورتی‌که، با تجمیع این شاخص‌ها در قالب یک شاخص تحت عنوان شاخص SIIG کار تصمیم‌گیری راحت‌تر می‌شود. نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای با بکار بردن میانگین صفات در شرایط تنش و شاهد با هم و شرایط تنش به طور مجزا با نتایج شاخص SIIG انطباق خیلی زیادی نداشت. لذا، نتایج این گروه‌بندی‌ها ارایه نشد.

جدول ۱- اسامی و شجره لاین‌های مورد مطالعه

Table 1. Name and pedigree of studied lines

شماره	شجره لاین	شماره	شجره لاین
۱	IcamorTA042/4/Bcr/Lks4/3/Altar84/Stn//Lahn/5/Beltagy2/6/Ossl1/Stj5/5/Bicrederaa1/4/BezaizSHF//SD19539/Waha/3/Stj/Mrb3—ICD07-823-BLMSD-0AP-4AP-0Tr-1AP-0THT-0AP	۴۳	Mgnl3/Aghrass2/3/IcamorTA0463//H.mouline/Sbl2/4/Beltagy1—ICD06-0252-BLMSD-0AP-4AP-0Tr-2AP-0Tr-7AP-0THT-0AP
۲	IcamorTA042/4/Bcr/Lks4/3/Altar84/Stn//Lahn/5/Beltagy2/6/Ossl1/Stj5/5/Bicrederaa1/4/BezaizSHF//SD19539/Waha/3/Stj/Mrb3—ICD07-823-BLMSD-0AP-5AP-0Tr-2AP-0THT-0AP	۴۴	Mgnl3/Ainzen1/3/IcamorTA0462//Terbol975/Icamor"s"/4/Beltagy2—ICD06-0254-BLMSD-0AP-6AP-0Tr-2AP-0Tr-1AP-0THT-0AP
۳	IcamorTA042/4/Bcr/Lks4/3/Altar84/Stn//Lahn/5/Beltagy2/6/Ossl1/Stj5/5/Bicrederaa1/4/BezaizSHF//SD19539/Waha/3/Stj/Mrb3—ICD07-823-BLMSD-0AP-12AP-0Tr-2AP-0THT-0AP	۴۵	Mgnl3/Ainzen1/3/IcamorTA0462//Terbol975/Icamor"s"/4/Beltagy2—ICD06-0254-BLMSD-0AP-10AP-0Tr-3AP-0Tr-9AP-0THT-0AP
۴	Ossl1/Stj5/5/Bidra1/4/BezaizSHF//SD19539/Waha/3/Stj/Mrb3/6/Icajihan1—ICD07-002-BLMSD-0AP-0Tr-2AP-0Tr-8AP-0THT-0AP	۴۶	Mgnl3/Ainzen1/3/IcamorTA0463//H.mouline/Sbl2/4/Mgnl3/Ainzen1—ICD06-0261-BLMSD-0AP-4AP-0Tr-2AP-0Tr-4AP-0THT-0AP
۵	Ossl1/Stj5/5/Bidra1/4/BezaizSHF//SD19539/Waha/3/Stj/Mrb3/6/Icajihan1—ICD07-002-BLMSD-0AP-0Tr-3AP-0Tr-2AP-0THT-0AP	۴۷	Mrb3/Mna1//Ter1/3/IcamorTA0459/Ammar7/4/Beltagy2—ICD06-0279-BLMSD-0AP-5AP-0Tr-5AP-0Tr-1AP-0THT-0AP
۶	CM829/CandocrossH25//Icajihan3—ICD07-020-BLMSD-0AP-0Tr-1AP-0Tr-1AP-0THT-0AP	۴۸	Ter1/3/Stj3//Bcr/Lks4/4/IcamorTA0462/3/Arislahn7//CI115/Bcrch1/5/Beltagy2—ICD06-0298-BLMSD-0AP-1AP-0Tr-2AP-0Tr-1AP-0THT-0AP
۷	Stj3//Bcr/Lks4/3/Ter3/4/Icajihan10—ICD07-076-BLMSD-0AP-0Tr-3AP-0Tr-3AP-0THT-0AP	۴۹	Quabrach1/4/IcamorTA0462/3/Maamouri3//Vitron/Bidra1/5/Bcrch1//Mrf1/Stj2—ICD06-0302-BLMSD-0AP-6AP-0Tr-1AP-0Tr-2AP-0THT-0AP
۸	Ter1/3/Stj3//Bcr/Lks4/4/Icajihan18—ICD07-149-BLMSD-0AP-0Tr-4AP-0Tr-1AP-0THT-0AP	۵۰	Amedakul1/4/IcamorTA0462/3/Arislahn7//CI115/Bcrch1/5/Beltagy2—ICD06-0328-BLMSD-0AP-8AP-0Tr-1AP-0Tr-3AP-0THT-0AP
۹	Ter1/3/Stj3//Bcr/Lks4/4/Icajihan18—ICD07-149-BLMSD-0AP-0Tr-4AP-0Tr-3AP-0THT-0AP	۵۱	Aghrass1//Bezaiz982/Bcrch1/4/IcamorTA0462/3/Quabrach3//Vitron/Bidra1/5/Stj3//Bcr/Lks4/3/Ter3—ICD06-0333-BLMSD-0AP-2AP-0Tr-3AP-0Tr-1AP-0THT-0AP
۱۰	Waha(Check)—	۵۲	Maamouri1/5/IcamorTA0462/4/Stj3//Bcr/Lks4/3/Icamor"s"/6/Mgnl3/Ainzen1—ICD06-0367-BLMSD-0AP-2AP-0Tr-2AP-0Tr-2AP-0THT-0AP
۱۱	Ter1/3/Stj3//Bcr/Lks4/4/Icajihan18—ICD07-150-BLMSD-0AP-0Tr-7AP-0Tr-4AP-0THT-0AP	۵۳	Azeghar2/5/IcamorTA0462/4/Stj3//Bcr/Lks4/3/Icamor"s"/6/Stj3//Bcr/Lks4/3/Ter3—ICD06-0374-BLMSD-0AP-2AP-0Tr-2AP-0Tr-1AP-0THT-0AP
۱۲	Ter1/3/Stj3//Bcr/Lks4/4/Icajihan18—ICD07-150-BLMSD-0AP-0Tr-7AP-0Tr-5AP-0THT-0AP	۵۴	Mgnl3/Ainzen1/3/Bcr/Gro1//Mgnl1—ICD06-1265-BLMSD-0AP-7AP-0Tr-2AP-0Tr-2AP-0THT-0AP
۱۳	Ter1/3/Stj3//Bcr/Lks4/4/Icajihan18—ICD07-150-BLMSD-0AP-0Tr-7AP-0Tr-6AP-0THT-0AP	۵۵	Mgnl3/Ainzen1/3/Bcr/Gro1//Mgnl1—ICD06-1265-BLMSD-0AP-8AP-0Tr-2AP-0Tr-3AP-0THT-0AP
۱۴	Miki2(Check)—	۵۶	Ossl1/Stj5/5/Bicrederaa1/4/BEZAIZSHF//SD19539/Waha/3/Stj/Mrb3/6/Mgnl3/Aghrass2—ICD06-1525-BLMSD-0AP-1AP-0Tr-5AP-0Tr-2AP-0THT-0AP
۱۵	Ter1//Mrf1/Stj2/3/Icajihan22—ICD07-181-BLMSD-0AP-0Tr-5AP-0Tr-1AP-0THT-0AP	۵۷	Terbol975/Geruftel2—ICD06-1790-BLMSD-0AP-6AP-0Tr-3AP-0Tr-3AP-0THT-0AP
۱۶	Ter1//Mrf1/Stj2/3/Icajihan22—ICD07-181-BLMSD-0AP-0Tr-5AP-0Tr-2AP-0THT-0AP	۵۸	Mgnl3/Ainzen1/3/Ter1//Mrf1/Stj2—ICD06-1615-BLMSD-0AP-0Tr-2AP-0Tr-3AP-0Tr-3AP-0THT-0AP
۱۷	Bicrederaa1/Azeghar2//Icajihan25—ICD07-192-BLMSD-0AP-0Tr-1AP-0Tr-5AP-0THT-0AP	۵۹	Mgnl3/Ainzen1/3/Ter1//Mrf1/Stj2—ICD06-1615-BLMSD-0AP-0Tr-4AP-0Tr-1AP-0Tr-1AP-0THT-0AP
۱۸	Bicrederaa1/Azeghar2//Icajihan25—ICD07-192-BLMSD-0AP-0Tr-2AP-0Tr-3AP-0THT-0AP	۶۰	Azeghar1//Blrn/Mrf2/3/Bicrederaa1/Azeghar2—ICD06-1646-BLMSD-0AP-0Tr-1AP-0Tr-6AP-0Tr-3AP-0THT-0AP
۱۹	Azeghar1/6/Zna1/5/Awl1/4/Ruff//Jo/Cr/3/F9.3/7/Azeghar1//Msbl1/Quarmal—ICD07-318-BLMSD-0AP-0Tr-4AP-0Tr-1AP-0THT-0AP	۶۱	Aghrass1/3/HFN94N8/Mrb5//Zna1/4/IcamorTA0458—ICD04-0178-BLMSD-0AP-8AP-0Tr-4AP-0Tr-1AP-0Tr-3AP-0Tr-3AP-0THT-0AP
۲۰	Omrabi5(Check)—	۶۲	Ouasloukos1/5/Azn1/4/BEZAIZSHF//SD19539/Waha/3/Gdr2—ICD03-0342-BLMSD0AP-1AP-0Tr-3AP-0Tr-4AP-0Tr-3AP-0THT-0AP
۲۱	Azeghar1/6/Zna1/5/Awl1/4/Ruff//Jo/Cr/3/F9.3/7/Azeghar1//Msbl1/Quarmal—ICD07-318-BLMSD-0AP-0Tr-4AP-0Tr-3AP-0THT-0AP	۶۳	Ouasloukos1/5/Azn1/4/BEZAIZSHF//SD19539/Waha/3/Gdr2—ICD03-0342-BLMSD0AP-1AP-0Tr-3AP-0Tr-4AP-0Tr-5AP-0THT-0AP
۲۲	Ter1/3/Stj3//Bcr/Lks4/4/Aghrass1/3/Mrf1//Mrb16/Ru—ICD07-324-BLMSD-0AP-0Tr-1AP-0Tr-2AP-0THT-0AP	۶۴	Ouasloukos1/5/Azn1/4/BEZAIZSHF//SD19539/Waha/3/Gdr2—ICD03-0342-BLMSD0AP-1AP-0Tr-3AP-0Tr-4AP-0Tr-1AP-0THT-0AP
۲۳	Ter1/3/Stj3//Bcr/Lks4/4/Aghrass1/3/Mrf1//Mrb16/Ru—ICD07-324-BLMSD-0AP-0Tr-3AP-0Tr-4AP-0THT-0AP	۶۵	Ouasloukos1/5/Azn1/4/BEZAIZSHF//SD19539/Waha/3/Gdr2—ICD03-0342-BLMSD0AP-2AP-0Tr-6AP-0Tr-3AP-0Tr-4AP-0THT-0AP
۲۴	Ter1/3/Stj3//Bcr/Lks4/4/Aghrass1/3/Mrf1//Mrb16/Ru—ICD07-324-BLMSD-0AP-0Tr-4AP-0Tr-1AP-0THT-0AP	۶۶	Ouasloukos1/5/Azn1/4/BEZAIZSHF//SD19539/Waha/3/Gdr2—ICD03-0342-BLMSD0AP-2AP-0Tr-7AP-0Tr-5AP-0Tr-2AP-0THT-0AP
۲۵	Younes1(Check)—	۶۷	Ouasloukos1/5/Azn1/4/BEZAIZSHF//SD19539/Waha/3/Gdr2—ICD03-0342-BLMSD0AP-2AP-0Tr-9AP-0Tr-3AP-0Tr-1AP-0THT-0AP
۲۶	Ter1/3/Stj3//Bcr/Lks4/4/Aghrass1/3/Mrf1//Mrb16/Ru—ICD07-324-BLMSD-0AP-0Tr-4AP-0Tr-3AP-0THT-0AP	۶۸	Ouasloukos1/5/Azn1/4/BEZAIZSHF//SD19539/Waha/3/Gdr2—ICD03-0342-BLMSD0AP-2AP-0Tr-10AP-0Tr-6AP-0Tr-2AP-0THT-0AP
۲۷	Ter1/3/Stj3//Bcr/Lks4/4/Aghrass1/3/Mrf1//Mrb16/Ru—ICD07-324-BLMSD-0AP-0Tr-5AP-0Tr-1AP-0THT-0AP	۶۹	Ouasloukos1/5/Azn1/4/BEZAIZSHF//SD19539/Waha/3/Gdr2—ICD03-0342-BLMSD0AP-2AP-0Tr-10AP-0Tr-6AP-0Tr-3AP-0THT-0AP
۲۸	Ter1/3/Stj3//Bcr/Lks4/4/Aghrass1/3/Mrf1//Mrb16/Ru—ICD07-324-BLMSD-0AP-0Tr-6AP-0Tr-7AP-0THT-0AP	۷۰	Ouasloukos1/5/Azn1/4/BEZAIZSHF//SD19539/Waha/3/Gdr2—ICD03-0342-BLMSD0AP-2AP-0Tr-11AP-0Tr-8AP-0Tr-1AP-0THT-0AP
۲۹	Korifla(Check)—	۷۱	Ouasloukos1/5/Azn1/4/BEZAIZSHF//SD19539/Waha/3/Gdr2—ICD03-0342-BLMSD0AP-2AP-0Tr-11AP-0Tr-8AP-0Tr-3AP-0THT-0AP
۳۰	Ter1//Mrf1/Stj2/3/Icasyr1—ICD07-349-BLMSD-0AP-0Tr-4AP-0Tr-2AP-0THT-0AP	۷۲	Ouasloukos1/5/Azn1/4/BEZAIZSHF//SD19539/Waha/3/Gdr2—ICD03-0342-BLMSD0AP-2AP-0Tr-11AP-0Tr-8AP-0Tr-5AP-0THT-0AP
۳۱	Ter1//Mrf1/Stj2/3/Icasyr1—ICD07-349-BLMSD-0AP-0Tr-4AP-0Tr-4AP-0THT-0AP	۷۳	Ouasloukos1/5/Azn1/4/BEZAIZSHF//SD19539/Waha/3/Gdr2—ICD03-0342-BLMSD0AP-2AP-0Tr-11AP-0Tr-8AP-0Tr-1AP-0THT-0AP
۳۲	CandocrossH25/Ysf1//CM829/CandocrossH25—ICD07-497-BLMSD-0AP-0Tr-2AP-0Tr-1AP-0THT-0AP	۷۴	Ouasloukos1/5/Azn1/4/BEZAIZSHF//SD19539/Waha/3/Gdr2—ICD03-0342-BLMSD0AP-2AP-0Tr-11AP-0Tr-8AP-0Tr-3AP-0THT-0AP
۳۳	CandocrossH25/Ysf1//CM829/CandocrossH25—ICD07-497-BLMSD-0AP-0Tr-3AP-0Tr-4AP-0THT-0AP	۷۵	Ouasloukos1/5/Azn1/4/BEZAIZSHF//SD19539/Waha/3/Gdr—ICD03-0342-BLMSD-0AP-2AP-0Tr-6AP-0Tr-1AP-0Tr-3AP-0Tr-1AP-0Tr-2AP-0THT-0AP
۳۴	CM829/CandocrossH25/5/F4-13/3/Arthur71/Lahn//Blk2/Lahn/4/Quarmal—ICD07-799-BLMSD-0AP-0Tr-2AP-0Tr-4AP-0THT-0AP	۷۶	Ouasloukos1/5/Azn1/4/BEZAIZSHF//SD19539/Waha/3/Gdr—ICD03-0342-BLMSD-0AP-2AP-0Tr-6AP-0Tr-3AP-0Tr-1AP-0Tr-1AP-0Tr-2AP-0THT-0AP
۳۵	Stk/Hau//Heca1/3/IRANYT0512/4/Beltagy2—ICD06-0019-BLMSD-0AP-5AP-0Tr-3AP-0Tr-3AP-0THT-0AP	۷۷	Ossl1/Stj5/5/Bicrederaa1/4/BEZAIZSHF//SD19539/Waha/3/Stj/Mrb3/6/Beltagy2—ICD06-1511-0AP-9AP-0AP-3AP-0THTD-0AP-0THT-0AP
۳۶	Geromtel1/IRANYT053//Mgnl3/Ainzen1—ICD06-0048-BLMSD-0AP-6AP-0Tr-6AP-0Tr-5AP-0THT-0AP	۷۸	CM829/CandocrossH25//Icajihan10—ICD07-078-BLMSD-0AP-2AP-0Tr-13AP-0THT-0AP
۳۷	Geromtel1/IRANYT053//Mgnl3/Ainzen1—ICD06-0048-BLMSD-0AP-6AP-0Tr-6AP-0Tr-6AP-0THT-0AP	۷۹	Ossl1/Stj5/5/Bicrederaa1/4/BezaizSHF//SD19539/Waha/3/Stj/Mrb3/6/Icajihan12—ICD07-094-BLMSD-0AP-6AP-0Tr-1AP-0THT-0AP
۳۸	IcamorTA0463/4/IcamorTA0463/3/CandocrossH25//Msbl1/Quarmal-04182/5/MIKI2—ICD06-0135-BLMSD-0AP-4AP-0Tr-5AP-0Tr-8AP-0THT-0AP	۸۰	Lah/Ch1-2521/3/Azeghar1//Blrn/Mrf2—ICD07-605-BLMSD-0AP-1AP-0Tr-3AP-0THT-0AP
۳۹	IcamorTA0471//IcamorTA0459/Ammar8/4/Stj3//Dra2/Bcr/3/Ter3—ICD06-0172-BLMSD-0AP-3AP-0Tr-4AP-0Tr-2AP-0THT-0AP	۸۱	Adnan1//Mgnl3/Ainzen1—ICD07-646-BLMSD-0AP-4AP-0Tr-5AP-0THT-0AP
۴۰	IcamorTA0471//IcamorTA0459/Waha/3/Mgnl3/Ainzen1—ICD06-0174-BLMSD-0AP-9AP-0Tr-5AP-0Tr-3AP-0THT-0AP	۸۲	Ossl1/Stj5/5/Bidra1/4/BezaizSHF//SD19539/Waha/3/Stj/Mrb3/6/Icajihan1—ICD07-002-BLMSD-0AP-0Tr-4AP-0Tr-1AP-0THT-0AP
۴۱	Azeghar1/4/IcamorTA0462/3/Maamouri3//Vitron/Bidra1/5/Mgnl3/Ainzen1—ICD06-0230-BLMSD-0AP-12AP-0Tr-3AP-0Tr-11AP-0THT-0AP	۸۳	Ter1/3/Stj3//Bcr/Lks4/4/Icajihan18—ICD07-149-BLMSD-0AP-0Tr-4AP-0Tr-5AP-0THT-0AP
۴۲	Azeghar1/4/IcamorTA0462/3/Maamouri3//Vitron/Bidra1/5/Mgnl3/Ainzen1—ICD06-0230-BLMSD-0AP-12AP-0Tr-5AP-0Tr-4AP-0THT-0AP		

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در لاین‌های مختلف گندم در شرایط سمیت آلومینیوم

Table 2. Analysis of variance for studied traits in different wheat lines under Aluminum toxicity condition

منابع تغییر	df	میانگین مربعات						
		طول‌ریشه‌چه (cm)	وزن‌تر‌ریشه‌چه (gr)	وزن‌خشک‌ریشه‌چه (gr)	تعداد ریشه‌چه	طول‌ساقه‌چه (cm)	وزن‌ترساقه‌چه (gr)	وزن‌خشک ساقه‌چه (gr)	نسب‌طول ریشه‌چه به ساقه‌چه (cm)
تنش	۱	۳۹۲۸/۷۷**	۰/۱۰۵**	۰/۰۲۰**	۸۱/۳۷۱**	۶۵۴/۲۷۲**	۰/۰۲۹**	۰/۰۱۵**	۳۲/۵۰۱**
رقم	۸۲	۶/۷۹۹**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۱**	۱/۱۲۷**	۲/۵۷۶**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۱**	۰/۲۶۶**
تنش×رقم	۸۲	۱۰/۳۹۸**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۱**	۱/۰۴۰**	۲/۱۹۵**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۱**	۰/۲۵۱**
خطا	۱۶۴	۰/۷۶۴	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۴۱	۰/۱۹۹	۰/۴۴۷	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۶۷	۰/۰۶۱
CV %	–	۸/۳	۱۶/۳۹	۲۸	۸	۹/۷	۲۹/۳۴	۲۷/۷	۱۵/۷۷

ns و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

جدول ۳- مقایسه میانگین لاین‌های گندم دوروم از نظر صفات مورد بررسی (به دلیل زیاد بودن تعداد لاین‌ها در هر صفت تنها ۱۰ لاین با بیشترین و کمترین مقدار آورده شد)

Table 3. Mean comparison of durum wheat lines for studied traits (because of large number of lines, only ten lines whit large and least amounts were presented)

صفات	حداکثر صفت	حداقل صفت	لاین‌هایی با بیشترین مقدار	لاین‌هایی با کمترین مقدار
طول ریشه‌چه (cm)	۱۱/۱۳۵	۳/۸۰۰	۷۵،۶۴،۶۳،۷۶،۳۰،۷۲،۴۰،۷۷،۶۵،۱۴	۵۸،۳۴،۳۵،۴۶،۱۵،۳۶،۴۸،۸۱،۵۳،۱۳
وزن‌تر‌ریشه‌چه (gr)	۰/۰۷۴	۰/۰۲۰	۷۵،۳،۶۳،۶۴،۸۳،۲۸،۶۰،۶۱،۷۲،۸۲	۸۱،۲۲،۹،۵۸،۳۴،۳۵،۴۶،۱۵،۲۱،۴۷
وزن‌خشک‌ریشه‌چه (gr)	۰/۰۵۸	۰/۰۱۷	۷۵،۳۳،۶۳،۸۳،۴۹،۶۴،۳۰،۱۸،۷۶،۸۲	۲۷،۵۱،۳۴،۶۷،۴۶،۱۵،۳۵،۳۲،۳۸،۵۸
تعدادریشه‌چه	۳/۰۵	۳/۹۵	۶۳،۶۲،۶۴،۵۶،۷۲،۷۸،۷۱،۷۵،۸۲،۷۹	۳۴،۴۰،۵۸،۳۶،۱۵،۴۴،۲۱،۱۹،۲۵،۶۷
طول‌ساقه‌چه (cm)	۷/۳۵	۲/۹۰۰	۷۲،۸۲،۲۵،۷۴،۳،۱،۷۵،۸۳،۶۲،۶۹	۵۸،۵۷،۳۵،۳۳،۳۴،۴۹،۹،۴۶،۵۳،۸۱
وزن‌ترساقه‌چه (gr)	۰/۰۷۵	۰/۰۲۰	۸۲،۱۷،۸۳،۷۵،۵،۷۹،۱۸،۲۰،۶۳،۶۴	۵۸،۵۷،۵۹،۳۵،۳۴،۵۳،۳۸،۵۶،۴۶،۱۰
وزن‌خشک‌ساقه‌چه (gr)	۰/۰۶۹	۰/۰۲۱	۷۴،۷۵،۲۹،۱۸،۸۳،۸۲،۶۴،۲۳،۵،۶۳	۵۸،۵۷،۵۱،۶۷،۵۹،۳۵،۳۴،۵۰،۴۶،۲۷
نسب‌طول ریشه‌چه به ساقه‌چه (cm)	۲/۳۷۲	۰/۸۶۲	۵۷،۷۷،۴۹،۷۶،۳۳،۷۵،۶۳،۶۴،۵۹،۶۰	۲۵،۳۶،۱۵،۲،۴۴،۴۸،۸۰،۷۳،۲۷،۱۳

جدول ۴- میانگین سطوح تنش آلومینیوم از نظر صفات مورد مطالعه در گندم دوروم

Table 4. Aluminum stress level means for studied traits in durum wheat

تنش	طول ریشه‌چه (cm)	وزن تر ریشه‌چه (gr)	وزن خشک ریشه‌چه (gr)	تعداد ریشه‌چه	طول‌ساقه‌چه (cm)	وزن تر ساقه‌چه (gr)	وزن خشک ساقه‌چه (gr)	نسب طول ریشه‌چه به ساقه‌چه (cm)
شاهد	۱۰/۵۶	۰/۰۶۱	۰/۰۴۴	۵/۵۵۹	۶/۸۲۷	۰/۰۶۴	۰/۰۵۲	۱/۵۶۶
۲/۵mM	۳/۶۴۴	۰/۰۲۵	۰/۰۲۹	۴/۵۶۳	۴/۰۰۱	۰/۰۴۵	۰/۰۳۹	۰/۹۳۸
میانگین کل	۷/۱۰۲	۰/۰۴۳	۰/۰۳۶	۵/۰۶۱۸	۵/۴۱۴	۰/۰۵۵	۰/۰۴۶	۱/۲۵۲

جدول ۵- تجزیه واریانس شاخص Ti صفات مورد بررسی در ارقام مختلف گندم دوروم در شرایط سمیت آلومینیوم

Table 5. Analysis of variance for Ti index of studied traits in different durum wheat lines under aluminum toxicity condition

منابع تغییر	df	میانگین مربعات						
		طول ریشه‌چه (cm)	وزن تر ریشه‌چه (gr)	وزن خشک ریشه‌چه (gr)	تعداد ریشه‌چه	طول ساقه‌چه (cm)	وزن تر ساقه‌چه (gr)	وزن خشک‌ساقه‌چه (gr)	نسب‌طول ریشه‌چه به ساقه‌چه (cm)
لاین	۸۲	۰/۱۳۵**	۰/۱۸۵**	۰/۳۱۲**	۰/۰۷۷**	۰/۰۶۷**	۰/۱۰۲**	۰/۲۱۳**	۰/۱۹۴**
خطا	۸۳	۰/۰۰۹	۰/۰۳۰	۰/۰۷۱	۰/۰۱۲	۰/۰۱۳	۰/۰۳۵	۰/۰۷۳	۰/۰۲۹
CV%	–	۲۴/۴۱	۲۷/۴۳	۲۶/۷	۱۳/۱۹	۱۸/۸۶	۲۵/۶۳	۲۳/۳۶	۲۱/۷۳

ns و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

جدول ۶- میانگین لاین‌های گندم دوروم از نظر صفات مورد مطالعه در سطوح مختلف تنش آلومینیوم بر اساس شاخص Ti (به دلیل زیاد بودن تعداد لاین‌ها در هر صفت تنها ۱۰ لاین با بیشترین و کمترین مقدار آورده شد)

Table 6. Mean of durum wheat lines for studied traits in different levels of aluminum stress (because of large number of lines, only ten lines whit large and least amounts were presented)

صفات	حداکثر صفت	حداقل صفت	لاین‌هایی با بیشترین مقدار	لاین‌هایی با کمترین مقدار
طول ریشه‌چه (cm)	۱/۵۳۱	۰/۱۳۹	۸۲،۷۷،۵۸،۷۶،۸۳،۷۸،۳۵،۵۳،۷۲،۷۵	۲۶،۶۷،۱۹،۵۲،۱۱،۴۰،۹،۴۴،۲۵،۲۴
وزن‌تر‌ریشه‌چه (gr)	۱/۷۰۰	۰/۰۷۴	۸۲،۵۸،۳۵،۸۳،۷۸،۷۲،۷۷،۸۱،۴۵،۷۵	۲۵،۶۵،۶۶،۴۰،۷۳،۷۰،۳۸،۲۶،۵۵،۲۷
وزن‌خشک‌ریشه‌چه (gr)	۲/۵۹۷	۰/۱۴۴	۳۵،۵۸،۸۲،۷۶،۳۷،۷۷،۴۸،۷۸،۵۰،۲۲	۲۵،۶۸،۶۶،۷۳،۵۱،۶۷،۶۱،۶۵،۴۴،۳۸
تعدادریشه‌چه	۱/۷۰۰	۰/۴۳۱	۵۸،۳۵،۷۷،۶۲،۳۴،۵۹،۸۲،۷۵،۶۳،۳۳	۱۵،۶۷،۱۶،۴۴،۳۸،۶۶،۷۳،۳۲،۱۸،۱۷
طول‌ساقه‌چه (cm)	۱/۱۳۱	۰/۳۵۳	۸۲،۲۵،۸۳،۷۸،۴۶،۷۲،۳۵،۶۴،۶۲،۷۵	۱۶،۱۲،۲۴،۱۱،۱۸،۲۶،۱۷،۱۴،۲۲،۱۳
وزن‌ترساقه‌چه (gr)	۰/۳۹۷	۱/۵۹۵	۳۵،۵۸،۸۲،۸۳،۴۶،۷۲،۳۶،۳۴،۶۲،۸	۶۰،۷۷،۷۱،۵۶،۲۲،۶۱،۵۹،۱۶،۵۰،۲۹
وزن‌خشک‌ساقه‌چه (gr)	۲/۲۱۵	۰/۲۸۷	۳۵،۳۰،۵۸،۴۶،۳۴،۸۳،۶۲،۷۴،۸۲،۷۷	۶۸،۶۱،۴۵،۵۱،۶۷،۷۳،۲۹،۲۵،۶۶،۵۷
نسب‌طول ریشه‌چه به ساقه‌چه (cm)	۲/۰۶	۰/۱۳۰	۷۷،۵۸،۷۶،۸۲،۵۹،۵۳،۶۰،۲۲،۸۳،۷۸	۲۵،۴۴،۶۷،۸،۹،۴۰،۷،۳۲،۷۰،۶۵

جدول ۷- رتبه‌بندی لاین‌های متحمل و حساس به تنش آلومینیوم بر اساس شاخص SIIG. با توجه به تعداد زیاد لاین، تنها ۲۰ لاین با بالاترین رتبه (۱ تا ۲۰) و ۲۰۰ لاین با کمترین رتبه (۶۴ تا ۸۳) آورده شده است

Table 7. Ranking of tolerant and susceptible lines to aluminum stress based on SIIG index (because of large number of lines, only 20 lines whit the largest index (1-20) and 20 lines whit the least index (64-83) were presented)

شماره لاین	d+	d-	SIIG	رتبه
۳۵	۲/۱۹۸	۴/۰۸۱	۰/۶۴۹	۱
۵۸	۲/۳۲۷	۳/۶۷۲	۰/۶۱۲	۲
۸۲	۲/۸۵۸	۳/۴۶۶	۰/۵۴۸	۳
۷۷	۳/۱۸۷	۳/۱۱۹	۰/۴۹۴	۴
۸۳	۳/۲۵۵	۲/۸۰۰	۰/۴۶۲	۵
۷۶	۳/۴۱۳	۲/۶۰۷	۰/۴۳۳	۶
۷۸	۳/۴۸۹	۲/۵۸۹	۰/۴۲۵	۷
۷۲	۳/۵۴۳	۲/۴۷۴	۰/۴۱۱	۸
۳۴	۳/۶۳۳	۲/۳۱۲	۰/۳۸۸	۹
۶۲	۳/۷۴۶	۲/۲۲۷	۰/۳۷۲	۱۰
۴۸	۳/۸۲۱	۲/۰۳۵	۰/۳۴۷	۱۱
۷۵	۳/۹۰۲	۲/۰۵۴	۰/۳۴۴	۱۲
۳۰	۳/۹۴۸	۲/۰۶۷	۰/۳۴۳	۱۳
۴۶	۴/۱۲۸	۲/۰۲۳	۰/۳۲۸	۱۴
۳۷	۴/۰۱۶	۱/۹۰۹	۰/۳۲۲	۱۵
۵۰	۳/۹۷۷	۱/۸۸۵	۰/۳۲۱	۱۶
۷۹	۴/۰۸۰	۱/۸۶۴	۰/۳۱۳	۱۷
۵۳	۴/۱۲۲	۱/۸۸۱	۰/۳۱۳	۱۸
۲	۴/۰۷۷	۱/۸۴۵	۰/۳۱۱	۱۹
۷۴	۴/۱۵۴	۱/۷۸۵	۰/۳۰۰	۲۰
۲۵	۵/۲۹۳	۱/۲۵۳	۰/۱۹۱	۶۴
۱۱	۴/۷۵۲	۱/۱۱۳	۰/۱۸۹	۶۵
۱۹	۴/۸۵۸	۱/۱۱۲	۰/۱۸۶	۶۶
۶۷	۵/۱۰۷	۱/۱۵۲	۰/۱۸۴	۶۷
۲۱	۴/۸۴۶	۱/۰۸۷	۰/۱۸۳	۶۸
۲۴	۴/۸۲۳	۱/۰۷۴	۰/۱۸۱	۶۹
۶۵	۴/۹۶۵	۱/۰۹۹	۰/۱۸۱	۷۰
۱۷	۴/۸۸۱	۱/۰۶۸	۰/۱۷۹	۷۱
۵۵	۴/۹۱۶	۱/۰۷۱	۰/۱۷۸	۷۲
۴۴	۵/۰۳۱	۱/۰۶۹	۰/۱۷۵	۷۳
۵۱	۵/۰۰۵	۱/۰۵۸	۰/۱۷۴	۷۴
۵۲	۴/۹۰۳	۱/۰۳۱	۰/۱۷۳	۷۵
۹	۴/۸۸۷	۱/۰۲۳	۰/۱۷۳	۷۶
۱۶	۴/۸۸۵	۰/۹۷۲	۰/۱۶۶	۷۷
۷۳	۵/۱۱۸	۱/۰۰۰	۰/۱۶۳	۷۸
۳۸	۵/۰۰۷	۰/۹۷۴	۰/۱۶۲	۷۹
۶۱	۵/۰۳۱	۰/۹۷۲	۰/۱۶۲	۸۰
۲۶	۴/۹۱۵	۰/۹۴۶	۰/۱۶۱	۸۱
۶۸	۵/۱۸۲	۰/۹۱۲	۰/۱۴۹	۸۲
۶۶	۵/۱۵۴	۰/۸۴۶	۰/۱۴۱	۸۳

جدول ۸- میانگین صفات مورد مطالعه برای گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای بر اساس شاخص Ti

Table 8. Mean of studied traits for groups obtained from cluster analysis based on Ti index

گروه	لاین	صفات							
		طول ریشه‌چه (cm)	وزن تر ریشه‌چه (gr)	وزن خشک ریشه‌چه (gr)	تعداد ریشه‌چه	طول ساقه‌چه (cm)	وزن تر ساقه‌چه (gr)	وزن خشک ساقه‌چه (gr)	نسب‌طول ریشه‌چه به ساقه‌چه (cm)
گروه۱	۱،۲،۳،۶،۷،۸،۱۰،۱۲،۲۲،۲۷،۲۸،۳۰،۳۱، ۳۲،۳۳،۳۴،۳۶،۳۷،۳۹،۴۱،۴۲،۴۳،۴۶،۴۸ ۴۹،۵۰،۵۳،۵۴،۵۶،۵۷،۵۹،۶۰،۶۲،۶۳،۶۴ ۶۹،۷۰،۷۴،۷۵،۷۹،۸۰،۸۱	۰/۳۷	۰/۴۶۴	۰/۸۳۱	۰/۸۸	۰/۶۲	۰/۷۴۴	۰/۸۹۸	۰/۶۴۳
گروه۲	۴،۵،۹،۱۱،۱۳،۱۴،۱۵،۱۶،۱۷،۱۸،۱۹،۲۰ ۲۱،۲۳،۲۴،۲۵،۲۶،۲۹،۳۸،۴۰،۴۴،۴۵،۴۷ ۵۱،۵۲،۵۵،۶۱،۶۵،۶۶،۶۷،۶۸،۷۱،۷۳	۰/۲۲	۰/۲۸۶	۰/۴۱۸	۰/۶۹	۰/۵۱	۰/۶۴۶	۰/۵۸۰	۰/۴۶۹
گروه۳	۸۳،۸۲،۷۸،۷۶،۷۲،۵۸،۳۵	۱/۰۴	۱/۲۳۷	۱/۴۹۰	۱/۱۵	۰/۸۹	۱/۰۵۴	۱/۲۷۱	۱/۲۴۱
	میانگین کل	۰/۳۸	۰/۴۶۸	۰/۷۳۰	۰/۸۳	۰/۶۰	۰/۷۳۵	۰/۸۰۸	۰/۶۳۱

جدول ۹- تجزیه خوشه‌ای لاین‌ها براساس میانگین صفات در لاین‌ها در شرایط تنش آلومینیوم، شاخصTiمحاسبه شده از روی صفات اندازه‌گیری شده و رتبه‌بندی لاین‌ها بر مبنای شاخص SIIG

Table 9. Cluster analysis of lines based on trait means of lines under stress condition, Ti index of traits and ranking of lines based on SIIG index.

لاین‌ها	براساس میانگین صفات	براساس شاخص Ti	براساس شاخص SIIG
لاین‌های برتر قرار گرفته در گروه با میانگین بالا	۷۵،۸۲،۶۳،۶۴	۷۵،۷۲،۳۵،۷۸،۸۲،۵۸،۶۲،۴۶	۳۵،۷۵،۵۸،۸۲،۸۳،۷۷،۷۶،۷۲
لاین‌های قرار گرفته در گروه با میانگین پایین	۵۸،۳۵،۴۶،۳۴،۵۷	۲۵،۱۶،۶۶،۶۷،۱۱،۷۳،۶۵،۲۶	۶۶،۶۸،۲۶،۱۶،۲۵،۱۱،۷۳،۶۵،۲۱

منابع

1. Abdalla, M.M. 2008. Physiological aspects of Aluminum toxicity on some metabolic and hormonal contents of *Hordeum vulgare* seedlings. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 2: 549-560.
2. Ahn, S.J., M. Sivaguru, G.C. Chung, Z. Rengel and H. Matsumoto. 2002. Aluminum- induced growth inhibition is associated with impaired efflux and influx of H^+ across the plasma membrane in root apices of squash (*Cucurbita pepo*). Journal of Experimental Botany, 53: 1959-1966.
3. Anonymous. 2005. The State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agricultur. F.A.O., Rome, Italy,
4. Arzani, A. 2004. Breeding Field Crops (Translated). Isfahan University of Technology Publication. 606 pp.
5. Azevedo, A.A. and M.A. Oliva. 1989. Effect of aluminum on productivity and mineral elements in soybean. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 24: 1537-1546.
6. Barcelo, J. and C. Poshenrieder. 2002. Fast root growth responses, root exudates and internal detoxification as clues to the mechanism of aluminum toxicity and resistance: a review. Environmental and Experimental Botany, 48: 75-92.
7. Batista, M.A., J.C. Pintro, ACSD. Costa, C.A. Tormena, C.M. Bonato and M.F. Batista. 2009. Mineral composition and dry mass production of the corn plants in response tophosphorus sources and aluminum concentration. Brazilian Archives of Biology and Technology, 52: 541-548.
8. Batista, M.F., I.S. Moscheta, C.M. Bonato, M.A. Batista, O.J.G.D. Almeida and T.T. Inoue. 2013.Aluminum in corn plants: influence on growth and morpho-anatomy of root andleaf. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 37: 177-187.
9. Bhuja, P., K. Mclachlan, J. Stephens and G. Taylor. 2004. Accumulation of 1,3-β-D-glucans,in response to aluminum and cytosolic calcium in *Triticum aestivum*. Plant and Cell Physiology, 45: 543-549.
10. Carver, B.F. and J.D. Ownby. 1995. Acid soil tolerance in wheat. Academic Press, SanDiego,U.S.A, 350 pp.
11. Chen, L.S. 2006. Physiologicalresponses and tolerance of plant shoot to aluminum toxicity. Journal of Plant Physiology Molecular Biology, 32: 143-155.
12. FAO. 2013. FAOSTAT, http://faostat.fao.org/site/
13. Fargione, J., J. Hill, D. Tilman, S. Polasky, P. Hawthorne and X. Ianyong. 2010. Aluminum- induced changes in reactive oxygen species accumulation, lipid peroxidation and antioxidative capacity in root tips of two wheat genotypes differing in aluminum tolerance. National Natural Science Foundation of China, 4: 1-14.
14. Haluskova, L., K. Valentovicova, J. Huttova, I. Mistrik and L. Tamas. 2010. Effect of heavy metals on root growth and peroxidase activity in barley root tip. Acta Physiologiae Plantarum, 32: 59-65.
15. Harvey, P.J., B.F. Campanella and P.M.L. Castro. 2002. Phytoremediation:PAHs,Anilines, Phenols; Environmental Scienceand Pollution Reseach, 9: 29-47.
16. Horst, W.J., Y. Wang and D. Eticha. 2010. The role of the root apoplast in aluminum-induced inhibition ofroot elongation and in aluminum of plant: a review. Annlas of Botany, 106: 185-197.
17. Kollmeier, M. and W.J. Horst. 2000. Genotypical difference in aluminum resistance of maize are expressed in the distal parts of transition zone.Is reduced basipetal auxin flow involved in inhibition of root elongation by aluminum? Plant Physiology, 122: 945-956.
18. Matsumoto, H. 2000. Cell biology of aluminum toxicity and tolerance in higher plants. International Review of Cytology, 200: 1-46.
19. Meriga, B., I.H. Attitalla, M. Ramgopal, A. Ediga and PB. Kavikishor. 2010. Differential tolerance to Aluminum toxicity in rice cultivars:Involvement of antioxidative enzymes and possible role of Aluminum resistant locus. Academic Journal of Plant Science, 3: 53-63.
20. Okcu, G., M.D. Kaya and M. Atak. 2005. Effect of salt and drought stress on germination andseedling growth of pea (*Pisum sativum*). Turkish Journal of Agriculture, 29: 137-243.
21. Ouyang, C., S. Gao, LJ. Mei, TW. Chung, L. Tang, SH. Wang and F. Chen. 2014. Effectsof aluminum toxicity on the growth and antioxidant status in Jatropha curcas seedlings. Medicinal Plants Research, 8: 178-185.
22. Palma, J.M., L.M. SandalioJavier, F. Corpas, M.C. Romero- Puertas, I. McCarthy and L.A. DelRio. 2002. Plant proteases, protein degradation and oxidative stress: role of peroxisomes. Plant Physiology and Biochemistry, 40: 521-530.
23. Panda, S.K., L.B. Singha and M.H. Khan. 2003. Does of aluminium phytotoxicity induceoxidative stress in greengram (*Vigna radiata*). Bulgarian Journal of Plant Physiology, 29: 77-84.

24. Poot-Poot, W., T. Hernandez-Sotomayor and M. Soledad. 2011. Aluminum stress and its role in the phospholipid signaling pathway in plants and possible biotechnological applications. IUBMB life, 63: 864-872.
25. Rheinheimer, DS., C. Petry, J. Kaminski and HR. Bartz. 1994. Aluminum stress in tobacco plants: I. Effects on phosphorus and calcium uptake, root system and dry matterproduction. Revista Brasoleria de Ciência do solo, 18: 63-68.
26. Romero-Puertas, M.C., M. Rodriguez-Serrano, F.J. Corpas, M. Gomez, L.A. Delrio and L.M. Sandalio. 2004. Cadmium induced subcellular Accumulation of O^{2-} and H_2O_2 in pea leaves. Plant Cell Environmental, 27: 1122-1134.
27. Rout, G., S. Samantaray and P. Das. 2001. Enlarge-Alimunium toxicity in plants: A review. Agronomie, 21: 3-21.
28. Sun, P., Q.Y. Tian, J. Chen and W.H. zhang. 2010. Aluminium-induced inhibition of root elongation in Arabidopsis is mediated by ethylene and auxin. Journal of Experimental Botany, 61: 347-357.
29. Swarup, R., P. Perry, D. Hagenbeek, D.V.D. Straeten, S.T. Beemster, G. Sandberg, R. Bhalerao, K. Ljung and M.J. Bennett. 2007. Ethylene upregulates auxin biosynthesis in Arabidopsis seedlings to enhance inhibition of root cell elongation. The Plant Cell, 19: 2186-2196.
30. Vitorello, V.A., F.R. Capaldi and V.A. Stefanuto. 2005. Recent advances in aluminum toxicity and resistance in higher plants. Brazilian Journal of Plant Physiology, 17: 129-143.
31. Wang, J., H. Raman, G. Zhang, N. Mendham and M. Zhoum. 2006. Aluminium tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.): physiological mechanisms, genetics and screening methods. Journal of Zhejiang University Science, 7: 769-778.
32. Weston, L.A. 1996. Utilization of allelopathy for weed management in agro-ecosystems. Agronomy Journal, 88: 860-866.
33. Williams, L.E., J.K. Pittman and J.L. Hall. 2000. Emerging mechanisms for heavy metal transport in plants. Biochemica et Biophysica Acta, 1465: 104-126.
34. Wrigley, C. 2004. Encyclopedia Grain Science, ElsevierAcademic Press, Oxford, vol. 1 Cereals, 187-201.
35. Yakimova, E.T., V.M.W. Kapchina-Toteva and E.J. Oltering. 2007. Signal transduction events in aluminum-induced cell deathin tomato suspension cells. Journal ofPlant Physiology, 164: 702-708.
36. Yamamoto, Y., Y. Kobayashi, S.R. Devi, S. Rikiishi and H. Matsumoto. 2003. Oxidative stress triggered by aluminum in plant roots. In: Roots, The Dynamic Interface betweenPlants and the Earth Springer Netherlands, 239-243.
37. Yin, L., J. Mano, S. Wang, W. Tsuji and K. Tanaka. 2010. The involvement of lipid peroxide-derivedaldehydes in aluminum toxicity of Tobacco roots. Plant Physiology, 152: 1406-1417.
38. Zali, H., O. Sofalian, T. Hasanloo, A. Asghari and S.M. Hoseini. 2015. Appraising of drought tolerance relying on stability analysis indices in canola genotypes simultaneously, using selection index of ideal genotype (SIIG) technique: Introduction of new method. Biological Forum–An International Journal, 7: 703-711.
39. Zali, H., O. Sofalian, T. Hasanloo, A. Asghari and M. Zeinalabedini. 2016. Appropriate Strategies for Selection of Drought Tolerant Genotypes in Canola. Journal of Crop Breeding, 8(20): 77-90 (In Persian).

Investigation of Durum wheat (*Triticum turgidum* L. subsp. *durum* Desf) Lines for Tolerance to Aluminum Stress Condition

Elnaz Ramzi[1], Ali Asghari[2], Saeid Khomari[3] and Hamidreza Mohammaddoust Chamanabad[4]

1, 3 and 4- M.Sc. Student, Assistant Professor and Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Mohaghegh Ardabili

2- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Mohaghegh Ardabili (Corresponding author: ali_asgharii@yahoo.com)

Receive: April 30, 2016 Accepted: February 7, 2017

Abstract

Aluminum is one of the most abundant elements in soil that become soluble form as Al^{+3} in high acidic soils, absorbed through the roots and affect on plants growth. Evaluating plant tolerance to environmental stresses in seedling stage is an important factor for selecting plant to cultivate in different conditions. In order to evaluate tolerance of 83 durum wheat advanced line at aluminum toxicity conditions in seedling stage, a factorial experiment based on Completely Randomized Design with two replications was performed. Stress levels were control and 2.5 mM Al^{3+} and studied traits were number of roots, root and shoot fresh weight, root and shoot length, root and shoot dry weight and root and shoot ratio. Results showed that stress levels had significant effects on all studied traits. Also, between durum wheat lines had significant difference and interaction of lines and stress levels were significant for all studied traits. The lines were evaluated using SIIG index. The 35, 58, 72, 75, 76, 77, 82 and 83 lines with higher SIIG index were tolerant to aluminum stress and the 11, 16, 21, 25, 26, 65, 66, 68 and 73 lines with lower SIIG index were suseptable to aluminum stress. Results of lines ranking based on SIIG index had full compliance with results of cluster analysis based on Ti idices.

Keywords: Aluminum, Seedling, SIIG, Stress, Wheat