Archive of SID

نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد هفتم، شماره چهارم، زمستان ۹۳
۶۱-۸۰
http://ejcp.gau.ac.ir

ارزیابی تحمل ژنوتیپ‌های لوبیا نسبت به تنش کادمیوم در مرحله جوانه‌زنی

رامین بهمنی[۱]، *محمدرضا بی‌همتا[۳] و داود حبیبی[۲]

[۱و۲] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استادیار گروه اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج،
[۳] استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران،
تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/٤/۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۷/۲

چکیده

آلودگی خاک‌ها با فلزات سنگین از جمله کادمیوم در سالیان اخیر روند رو به رشدی داشته است و تولید محصولات کشاورزی در مناطق آلوده را با مشکلات جدی مواجه کرده است. به‌منظور بررسی تأثیر تنش کادمیوم بر صفات رشدی و بیوشیمیایی و گزینش ژنوتیپ‌های متحمل با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش در مرحله جوانه‌زنی، ۲۵ ژنوتیپ لوبیا در غلظت‌های ۰ (شاهد) و ٤ میلی‌گرم در لیتر کلرید کادمیوم به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در محل آزمایشگاه بیوتکنولوژی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج در سال ۱۳۹۰ مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که تنوع ژنتیکی بالایی در اکثر صفات مورد بررسی وجود داشت. در اثر تنش کادمیوم صفات طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، نسبت طول ریشه به ساقه، درصد جوانه‌زنی و وزن تر گیاهچه کاهش و میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، محتوای پرولین و میزان هورمون آبسزیک‌اسید افزایش معنی‌داری نشان دادند. شاخص‌های متوسط محصول‌دهی (MP) و میانگین هندسی محصول‌دهی (GMP)، همبستگی مثبت و معنی‌داری با وزن تر گیاهچه در شرایط نرمال و تنش کادمیوم داشتند. به‌منظور ارزیابی دقیق‌تر، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و رسم نمودار بای پلات انجام گرفت و ژنوتیپ‌های G-11867، Taylor، Emerson و D-81083 به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل شناسایی شدند.

واژه‌های کلیدی: تنوع ژنتیکی، جوانه زنی، کادمیوم، لوبیا

*مسئول مکاتبه: mrghanad@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

آلودگی‌های محیطی ناشی از فلزات سنگین یکی از مشکلات عمده جوامع بشری محسوب می‌شود و اثرات زیان بار بر زیست بوم، سلامت انسان و نیز محصولات کشاورزی دارد (انصاری و مالیک، ٢٠٠٧). فلزات سنگین از منابع مختلفی به‌طور طبیعی وارد محیط‌زیست می‌شوند اما در این میان آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های بشری نظیر احداث کارخانجات صنعتی، سوخت‌های فسیلی، فاضلاب‌های صنعتی و استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی و آلی از اهمیت به‌سزایی برخوردار می‌باشند (گروپا و همکاران، ٢٠٠٧). کادمیوم یکی از سمی‌ترین عناصر در میان فلزات سنگین است. این عنصر دوام بیولوژیکی بالایی داشته و سبب لوله‌ای شدن برگ‌ها، کلروز و کاهش رشد ریشه و ساقه می‌شود (میشرا و دوبی، ٢٠٠٦). کادمیوم اگرچه یک عنصر غذایی ضروری نیست اما به سهولت از طریق ریشه‌های گیاه جذب و با غلظت‌هایی که برای زنجیره غذایی خطرناک است، در گیاه اندوخته می‌شود. مطالعات نشان داده است که کادمیوم فرآیند جوانه‌زنی و رشد و توسعهٔ گیاهچه ذرت را محدود می‌نماید (راسکیو و همکاران، ١٩٩٣). سیروکا و همکاران (٢٠٠٤) گزارش کردند که تیمار کادمیوم (١ میکرو مولار به‌مدت ٢٤ ساعت) میزان رشد ریشه ذرت را ٣٠ درصد کاهش داد و این بازدارندگی همبستگی مثبتی با کاهش بقای سلول‌های ریشه داشت. همچنین مطالعات گذشته مشخص نموده است که کادمیوم با تأثیر بر روی کلروپلاست و میتوکندری سلول باعث کاهش فتوسنتز و تنفس سلولی می‌شود (لامورئوکس و چنی، ١٩٧٨). یکی از آسیب‌های مهم بافتی که در اثر قرارگیری گیاهان در معرض فلزات سنگین از جمله کادمیوم رخ می‌دهد افزایش تولید اکسیژن واکنش‌گر و ایجاد تنش اکسیداتیو است (چو و پارک، ٢٠٠٠) که نتیجه آن افزایش پراکسیداسیون لیپیدها و در نهایت زوال غشاها می‌باشد (ژانگ و همکاران، ٢٠٠٣). تحقیقات نشان داد که تحمل به آسیب‌های تنش‌های محیطی با افزایش ظرفیت سمیت‌زدایی گونه‌های فعال اکسیژن در گیاه سویا همبستگی داشت (لی و همکاران، ١٩٧٦). گیاهان دارای سیستم‌های تدافعی آنزیمی و غیرآنزیمی برای مقابله با سمیت گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشند. یکی از این سیستم‌های تدافعی، فعال شدن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از جمله آنزیم‌های پرکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز است که در قسمت‌های مختلف سلولی قرار دارد (بارسلو و

www.SID.ir

Archive of SID

پوشنریدر، ۱۹۹۰). لی و همکاران (۱۹۷٦) اظهار داشتند که کادمیوم با غلظت ۵ میکرو مولار سبب پراکسیداسیون لیپید و کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در گیاه لوبیا شد.

تجمع پرولین به‌عنوان یک شاخص از تنش‌های محیطی پذیرفته شده است و نقش مهمی را به‌عنوان یک محافظت کننده دارا می‌باشد نقش پرولین در هنگام بروز تنش‌های محیطی جلوگیری از تخریب آنزیم‌ها می‌باشد (شاه و همکاران، ۲۰۰۱).

کمبود پروتئین یا عدم توازن بین مصرف پروتئین و هیدرات کربن از مشخصات رژیم غذایی کشورهای در حال توسعه از جمله ایران است. بنابراین یکی از نیازهای اساسی کشور در زمینه تولید محصولات کشاورزی تأمین پروتئین گیاهی است (کوچکی و بنایان اول، ۲۰۰۲). لوبیا یکی از مهم‌ترین حبوبات است که در ایران سطح کشتی بالغ بر ۱۵ هزار هکتار دارد (غفاری خلیق، ۲۰۰۰). ارزش بالای این محصول شامل ۲۵ درصد پروتئین و ٦۰ درصد کربوهیدرات سبب شده است تا سهم عمده‌ای را در جیرهٔ غذایی انسان به خود اختصاص دهد. در ایران گسترش اماکن صنعتی اطراف شهرهایی نظیر ورامین، اراک و خمین و استفاده از پساب‌های صنعتی حاوی عناصر سنگین باعث آلودگی خاک در این مناطق که از مناطق مهم کشت لوبیا هستند، شده است. لذا انتخاب گیاه زراعی مناسب و تولید ژنوتیپ‌های جدید که در این شرایط بتوانند رشد نمایند و بازده اقتصادی مناسبی را داشته باشند از اهداف کشاورزی است و شناخت ارقام متحمل و مطالعه مکانیسم‌های تحمل به تنش عناصر سنگین امری ضروری می‌باشد. مطالعه حاضر به‌منظور ارزیابی تأثیر کلرید کادمیوم بر پارامترهای رشدی و بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های مختلف گیاه لوبیا با هدف بررسی تنوع ژنتیکی و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل انجام گرفته است. در نگاه اول به‌نظر می‌رسد که این ارقام به واسطه تفاوت‌های ژنتیکی می‌بایست از لحاظ واکنش به کادمیوم متفاوت باشند و مطالعه بر روی این ارقام می‌تواند بستر مناسبی را برای مطالعات بعدی در این زمینه فراهم آورد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر تنش کادمیوم بر صفات رشدی و بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های مختلف گیاه لوبیا جهت شناسایی و تشخیص ژنوتیپ‌های متحمل، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۳

www.SID.ir

Archive of SID

تکرار در محل آزمایشگاه بیوتکنولوژی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج در سال ۱۳۹۰ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل فلز سنگین کادمیوم در ۲ سطح عدم مصرف (شاهد) و مصرف ٤ میلی‌گرم در لیتر کلرید کادمیوم (حقیقی، ۲۰۰۸) و ۲۵ ژنوتیپ لوبیا بودند. بذرهای ۲۵ ژنوتیپ لوبیا (جدول ۱) از بانک ژن حبوبات مرکز تحقیقات کشاورزی (خمین) تهیه شده و بذرهای یکسان از نظر اندازه و شکل انتخاب، با کمک هیپوکلرید سدیم ضد عفونی، سپس با آب مقطر شست و شو داده شدند. تعداد ۱۲ عدد بذر از هر ژنوتیپ روی کاغذ کشت به فواصل یکسان گذاشته شد. سپس یک کاغذ کشت به همان ابعاد روی آن قرار داده و در مرحلهٔ بعد نمونه‌ها به دقت به شکل رول درآورده و داخل ظروف مخصوص کشت محتوی محلول کلرید کادمیوم و آب مقطر (شاهد) قرار گرفت. سطح محلول و آب مقطر بر روی ظروف علامت‌گذاری شد و بازبینی روزانه جهت کاهش احتمالی این سطح انجام گرفت. برای مهیا کردن درجه حرارت اپتیمم مورد نیاز رشد گیاه لوبیا، میانگین دمای روزانه در طول این آزمایش ٢٤ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد. بعد از ۸ روز صفات موردنظر برای گیاهچه‌های هر تیمار به‌طور جداگانه مورد آزمایش و بررسی قرار گرفت. صفات مورد اندازه‌گیری شامل طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، نسبت طول ریشه به ساقه، درصد جوانه‌زنی، وزن تر گیاهچه، میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (میسرا و فریدوویچ، ۱۹۷۲)، محتوای پرولین (بیتس و همکاران، ۱۹۷۳) و میزان هورمون آبسزیک اسید (زو و همکاران، ۲۰۰۳) بودند.

جهت اندازه‌گیری آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز، ابتدا محلول بافر تریس به‌همراه ۱/۳ میلی‌مول EDTA[1] و ۰/۱ میلی‌مول کربنات منو سدیک تهیه گردید و سپس از اپی نفرین با غلظت ۰/۲۵ میلی‌مول به‌عنوان سوبسترا استفاده شد. در مرحله بعد محلول تهیه شده به آن اضافه شده و تغییرات جذب نوری حاصله از اکسیداسیون اپی نفرین به‌عنوان فعالیت آنزیمی در نظر گرفته شد. از آنزیم استاندارد و خالص جهت استاندارد نمودن نتایج استفاده گردید که واحد آن قادر به اکسیداسیون ۰/۵ میلی‌مول اپی نفرین در یک دقیقه باشد.

1- Ethylene Diamine Tetra Acetic Acid

www.SID.ir

Archive of SID

برای اندازه‌گیری محتوای پرولین، نمونه‌های تازهٔ برگی پس از نمونه‌برداری، به کمک نیتروژن مایع، پودر شد و ۰/۵ گرم از نمونهٔ برگ به لوله‌های آزمایش ۱۵ میلی‌لیتری منتقل گردید. سپس ۱۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوسالیسیلیک ۳/۳ درصد به آن‌ها اضافه شد. پس از ٤٨ ساعت، نمونه‌ها از کاغذ صافی عبور داده شده و از محلول‌های صاف شده جهت اندازه‌گیری میزان پرولین با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر استفاده گردید.

جهت اندازه‌گیری آبسزیک اسید، ابتدا بر روی ۰/۳ گرم بافت گیاه مقدار ۰/۷۵ میلی‌لیتر محلول شامل استن، آب و اسیداستیک، به‌ترتیب با نسبت ۱:۱۹:۸۰ اضافه و هموژن گردید. محلول حاصل به‌مدت ۲ دقیقه با دور ۱۰۰۰۰ سانتریفیوژ شد. سپس محلول رویی برداشت شد و مجدداً توسط ۷۵۰ میکرولیتر از محلول فوق استخراج انجام گرفت. محلول روئی جدا شده از دومین استخراج در حرارت معمولی خشک شد. سپس بر روی قسمت خشک شده ۲۰۰ میکرولیتر محلول استونیتریل و آب با نسبت ۸۵:۱۵ حجمی اضافه شد و به آن ۱۲ میلی‌مول استیک‌اسید اضافه گردید و بعد مقدار ۱۵-۱۰ میکرولیتر از محلول به‌دست آمده وارد دستگاه کرماتوگرافی مایع[1] شد. از استانداردهای اسیدآبسزیک با غلظت ۲۰۰-۱۰ جهت استاندارد نمودن نتایج استفاده گردید.

کلیه اندازه‌گیری‌ها بر اساس میانگین ۱۲ گیاهچه انجام و ارائه گردیده است. میزان تغییرات ناشی از تنش کادمیوم بر روی کلیه صفات مورد ارزیابی با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید:

$$\text{درصد تغییرات صفت} = \frac{\text{مقدار صفت در شرایط تنش کادمیوم} - \text{مقدار صفت در شرایط نرمال}}{\text{مقدار صفت در شرایط نرمال}} \times ۱۰۰$$

تجزیه واریانس داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) انجام و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد صورت گرفت. میزان تحمل به تنش با استفاده از ضرایب همبستگی ساده بین شاخص‌ها و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش برآورد شد (فرناندز، ۱۹۹۲؛ روسیلی و هامبلین، ۱۹۸۱؛ فیشر و مورر، ۱۹۷۸). پس از اطمینان از

1- High Performance Liquid Chromatography

www.SID.ir

Archive of SID

یکنواختی داده‌ها، برای ارزیابی دقیق‌تر ژنوتیپ‌های متحمل به تنش، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و ترسیم نمودار بای پلات برای ژنوتیپ‌ها و شاخص‌های محاسبه شده با استفاده از نرم‌افزار Minitab (نسخه ١٦) انجام شد.

جدول ١- کد ژنوتیپ‌های لوبیا مورد مطالعه در این تحقیق.

ردیف	کد لاین	ردیف	کد لاین	ردیف	کد لاین	ردیف	کد لاین	ردیف	کد لاین
١	G-11867	٦	ks_21198	١١	jules	١٦	ks-41124	٢١	Daneshkade
٢	Shokofa	٧	G-01437	١٢	Zodras	١٧	Goli	٢٢	D-81083
٣	And-1007	٨	Taylor	١٣	Akhtar	١٨	ks_41126	٢٣	G-14088
٤	Sayyad	٩	Pak	١٤	ks_21191	١٩	Derakhshan	٢٤	ks_21193
٥	Cos_16	١٠	Emerson	١٥	Vs-31169	٢٠	Naz	٢٥	wa4502_1

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که تنوع ژنتیکی خوبی برای تمامی صفات در شرایط نرمال و تنش کادمیوم وجود داشت. معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ و کادمیوم بیانگر این مطلب است که عکس‌العمل ژنوتیپ‌های لوبیا در شرایط نرمال و تنش کادمیوم متفاوت بوده که این امر نیز موید وجود تنوع ژنتیکی کافی جهت شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل می‌باشد (جدول ٢).

تأثیر تنش کادمیوم بر صفات مورد ارزیابی: نتایج مربوط به درصد تغییرات صفات نشان داد که بیشترین میزان تغییرات مربوط به صفت طول ریشه‌چه (٨٣/٩٦ درصد) و کمترین مربوط به صفت درصد جوانه‌زنی (٩/٠٢ درصد) بود (جدول ٣). در اثر تیمار با کادمیوم، صفات طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه، درصد جوانه‌زنی و وزن تر گیاهچه کاهش معنی‌داری در مقایسه با شاهد نشان دادند. در اثر تیمار با کادمیوم میزان طول ریشه‌چه و ساقه‌چه به‌ترتیب ٧/٩٦ و ٧/٢٨ سانتی‌متر در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافت. همچنین نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه در تیمار کادمیوم ٠/٤٦ نسبت به تیمار شاهد کاهش نشان داد (جدول ٣). نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که کادمیوم به‌عنوان یک عامل بازدارنده بر روی رشد طولی ریشه و ساقه مؤثر بوده و اثر کادمیوم بر روی

www.SID.ir

Archive of SID

رشد طولی ریشه مشهودتر از اندام هوایی بوده است. کاهش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در این تحقیق با یافته‌های سایر محققان بر روی گیاه لوبیا (چائویی و همکاران، ۱۹۹۷؛ بهاردواج و همکاران، ۲۰۰۹)، گندم (وسلوو و همکاران، ۲۰۰۳)، یونجه (آیدنالپ و مارنووا، ۲۰۰۹) و ذرت (میهالسکو و همکاران، ۲۰۱۰) همسو بود. یک دلیل برای کاهش رشد گیاهچه‌ها در اثر تیمار با فلزات سنگین که در این تحقیق نیز بارز بود، می‌تواند در نتیجه کاهش سلول‌های مریستمی در ناحیه غشای سلولی و برخی آنزیم‌ها در کوتیلدون و آندوسپرم باشد. در شرایط طبیعی سلول‌ها فعال شده و شروع به ذخیره غذا می‌کنند. این غذا به فرم محلول تبدیل شده و به واسطه آنزیم آمیلاز، که نشاسته را به قند تبدیل می‌کند و عمل پروتئازی بر روی پروتئین‌ها دارد، به ریشه‌های اولیه و نوک ریشه‌ها منتقل می‌شود. بنابراین وقتی فعالیت آنزیم‌های هیدرولیتیک به واسطه عناصر سنگین تحت تأثیر قرار می‌گیرند غذا به ریشه‌های اولیه و اندام هوایی نمی‌رسد و در نتیجه طول گیاهچه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند (کبیر و همکاران، ۲۰۰۸). این در حالی است که بعضی از محققان دیگر بیان کردند که کاهش در طول ریشه در اثر فلزات سنگین ممکن است به‌دلیل دخالت این عناصر در فرآیند تقسیم سلولی و در ادامه آن انحراف کروموزومی و میتوز غیرطبیعی باشد (رادها و همکاران، ۲۰۱۰). با توجه به نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، درصد جوانه‌زنی بذور در شرایط تنش کادمیوم ۷/۸۹ درصد در مقایسه با تیمار شاهد کاهش نشان داد (جدول ۳). بر طبق نظر شفیق و همکاران (۲۰۰۸) کاهش جوانه‌زنی بذور می‌تواند به‌دلیل تجزیه مواد غذایی ذخیره شده در دانه در اثر کاربرد کادمیوم باشد. همچنین رحمان و همکاران (۲۰۱۰) کاهش جوانه‌زنی را در حضور نیکل و کبالت گزارش کرده‌اند. نتایج این بررسی نشان داد وزن تر گیاهچه در اثر تیمار با کادمیوم ۸/۳۷ گرم در مقایسه با شاهد کاهش یافت (جدول ۳). رشد یکی از بهترین شاخص‌ها برای ارزیابی پاسخ گیاه به تنش‌های محیطی می‌باشد. نتایج این تحقیق در رابطه با کاهش وزن تر گیاهچه‌ها در راستای نتایج بهاردواج و همکاران (۲۰۰۹) بود. ایشان کاهش در وزن کل و وزن تر گیاه لوبیا را در شرایطی که در خاک حاوی ۱/۵، ۲، ۲/۵ گرم کادمیوم در کیلوگرم رشد کرده بود را گزارش کردند. نتایج نشان داد فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در گیاهچه‌های لوبیا تحت شرایط تنش کادمیوم ۵/۹ واحد بر گرم پروتئین در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت (جدول ۳). سمیت کادمیوم منجربه تغییر در سطح

www.SID.ir

Archive of SID

اکسیدانت‌های گیاه و تولید رادیکال‌های آزاد و گونه‌های اکسیژن فعال در گیاه می‌شود که در نتیجه آن تنش اکسیداتیو در گیاه رخ می‌دهد. به‌منظور ترمیم آسیب‌های ایجاد شده به‌وسیله گونه‌های اکسیژن فعال، گیاهان دارای سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانتی نظیر سوپراکسید دیسموتاز می‌باشند. سوپراکسید دیسموتاز یک آنزیم کلیدی در بحث پاکسازی گونه‌های اکسیژن فعال است. بنابراین افزایش این آنزیم در سلول‌های گیاهی نشان دهنده نقش مؤثر آن در فرآیند پاکسازی سطح سلولی از گونه‌های اکسیژن فعال و ترمیم آسیب‌های اکسیداتیو می‌باشد (میلر و همکاران، ٢٠٠٨). افزایش در فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در اثر تنش فلزات سنگین توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (اسکبا و همکاران، ٢٠٠٦؛ مبین و خان، ٢٠٠٧).

یافته‌های این تحقیق نشان داد محتوای پرولین در اثر تیمار با کادمیوم به‌میزان ٤/٠٣ نانو مول بر گرم در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت (جدول ٣). تجمع پرولین در گیاهچه‌های تحت تیمار کادمیوم ممکن است در ارتباط با پاسخ به کمبود آب و تنش اسمزی ایجاد شده باشد (اشرف و هریس، ٢٠٠٤). به‌علاوه پرولین می‌تواند به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدانت عمل کرده و خسارات ناشی از رادیکال‌های آزاد را به‌وسیله جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدها و حفظ تمامیت غشاء کاهش دهد. یافته‌های این تحقیق در خصوص افزایش محتوای پرولین در راستای نتایج به‌دست آمده توسط دیگر محققان است (کاستا و مورل، ١٩٩٤؛ میشرا و دوبی، ٢٠٠٦). نتایج این بررسی نشان داد که محتوای هورمون آبسزیک اسید در گیاهچه‌های تحت تنش کادمیوم در مقایسه با تیمار شاهد ٣/٨٥ پی‌پی‌ام افزایش یافت (جدول ٣). افزایش در محتوای هورمون آبسزیک‌اسید با نتایج عمر و همکاران (٢٠٠٨) مطابق بود. وی بیان داشت که افزایش در هورمون آبسزیک‌اسید در اثر تنش فلزات سنگین ممکن است در نتیجه اختلال در فرآیند جذب آب از ریشه و انتقال آن به ساقه باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- میانگین مربعات به‌دست آمده از تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های لوبیا تحت تنش کادمیوم.

منابع تغییرات	درجه آزادی	طول ریشه‌چه	طول ساقه‌چه	نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه	جوانه‌زنی	وزن تر	سوپر اکسید دیسموتاز	پرولین	اسید آبسزیک
تکرار	۲	۱۱/۸۳**	۱/۸۵^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۵۹/۷۱^{ns}	۰/۳۹^{ns}	۴۰/۰۷*	۶۱/۶۰*	۳۸/۵۵*
کادمیوم	۱	۲۳۷۶/۲۰**	۲۰۱۳/۴۰**	۸/۰۵**	۲۳۳۴/۴۰**	۲۶۲۵/۷۰**	۱۳۰۵/۷۰**	۶۱۰/۳۱**	۵۵۶/۱۰**
ژنوتیپ	۲۴	۸/۵۱**	۶/۹۸**	۰/۰۶**	۷۴۸/۴۰**	۶۰/۹۳**	۱۷۸/۹۰**	۱۲۷/۹۰**	۲۷/۹۴**
کادمیوم × ژنوتیپ	۲۴	۱۰/۳۱**	۷/۲۳**	۰/۰۶**	۱۷۴/۲۰^{ns}	۲۳/۰۲**	۱۹/۳۷**	۱۴/۷۵**	۱۰/۴۵**
خطا	۹۸	۰/۷۵	۱/۰۹	۰/۰۱	۱۳۹/۰۹	۲/۴۹	۵/۲۰	۱/۷۴	۲/۵۹
درصد ضریب تغییرات		۱۵/۷۹	۱۳/۵۸	۱۹/۳۹	۱۴/۱۲	۱۰/۱۳	۷/۲۸	۶/۱۵	۱۴/۴۱

* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ^{ns} غیرمعنی‌دار.

جدول ۳- میانگین و درصد ضریب تغییرات برای صفات مختلف لوبیا در شرایط نرمال و تنش کادمیوم.

درصد تغییرات صفت	میانگین		
	شرایط تنش کادمیوم	شرایط نرمال	
۸۳/۹۶	۱/۵۲^{b}	۹/۴۸^{a}	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر)
۶۵/۸۲	۳/۷۸^{b}	۱۱/۰۶^{a}	طول ساقه‌چه (سانتی‌متر)
۴۷/۷۲	۰/۴۲^{b}	۰/۸۸^{a}	نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه
۹/۰۲	۷۹/۵۵^{b}	۸۷/۴۴^{a}	درصد جوانه‌زنی
۴۲/۳۳	۱۱/۴۰^{b}	۱۹/۷۷^{a}	وزن تر گیاهچه (گرم)
-۲۰/۷۹	۳۴/۲۷^{b}	۲۸/۳۷^{a}	سوپراکسید دیسموتاز (واحد/گرم پروتئین)
-۲۰/۷۰	۲۳/۴۹^{b}	۱۹/۴۶^{a}	پرولین (نانومول بر گرم)
-۴۱/۵۷	۱۳/۱۱^{b}	۹/۲۶^{a}	آبسزیک‌اسید (قسمت در میلیون)

همبستگی ساده میان صفات: از آن‌جایی که افزایش محتوای سوپراکسید دیسموتاز، پرولین و آبسزیک‌اسید باعث افزایش تحمل و رشد بهتر گیاهچه (افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه) در شرایط تنش شده و در

www.SID.ir

Archive of SID

نهایت منجربه افزایش وزن تر گیاهچه می‌گردند، بنابراین در این پژوهش صفت وزن تر گیاهچه به‌عنوان برآیندی از سایر صفات مورد بررسی در نظر گرفته شد و از این صفت برای بررسی‌های بعدی استفاده گردید. به‌این منظور پس از اندازه‌گیری وزن تر گیاهچه در دو محیط نرمال (YP) و تنش کادمیوم (YS) و محاسبه شاخص‌های تحمل به تنش، همبستگی میان وزن تر گیاهچه و این شاخص‌ها به‌دست آمد (جدول ٤). همان‌طور که ملاحظه می‌شود وزن تر گیاهچه در شرایط نرمال و تنش کادمیوم همبستگی مثبت معنی‌داری داشت ($r = ٠/٤٣٤^{*}$). همچنین شاخص‌های متوسط محصول‌دهی[١]، تحمل به تنش[٢]، حساسیت به تنش[٣] و میانگین هندسی محصول‌دهی[٤] همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری با وزن تر گیاهچه در شرایط نرمال دارند. در شرایط تنش شاخص‌های MP و GMP دارای همبستگی مثبت معنی‌دار با وزن تر گیاهچه و شاخص SSI نیز با وزن تر گیاهچه همبستگی منفی معنی‌داری داشت. به طور کلی با توجه به نتایج ضرایب همبستگی میان شاخص‌ها، همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال ١ درصد بین شاخص‌های MP و GMP و وزن تر گیاهچه در هر دو شرایط تنش و عدم تنش دیده شد (جدول ٤).

جدول ٤- ضرایب همبستگی برای شاخص‌های تحمل به تنش.

	YP	YS	MP	TOL	SSI	GMP
YP	١					
YS	٠/٤٣٤*	١				
MP	٠/٨٧٧**	٠/٧٨١**	١			
TOL	٠/٩٩٥**	٠/٢٣٨^{ns}	٠/٩١٦**	١		
SSI	٠/٩٩٤**	-٠/٥٣٧*	٠/٨٢٦**	٠/٩٨٠**	١	
GMP	٠/٧٥٨**	٠/٥١٨**	٠/٣٥٩**	٠/٦٩٤**	٠/٨٢١**	١

1- Mean Productivity (MP)
2- Tolerance Index (TOL)
3- Stress Susceptibility Index (SSI)
4- Geometric Mean Productivity (GMP)

www.SID.ir

Archive of SID

انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل براساس شاخص‌های تحمل به تنش: نتایج حاصل از بررسی تحمل ژنوتیپ‌های لوبیا در شرایط تنش کادمیوم در جدول (۵) آورده شده است. با توجه به رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌ها، چهار ژنوتیپ برتر بر اساس هر کدام از این شاخص‌ها انتخاب شدند.

بر اساس شاخص پتانسیل عملکرد (YP) ژنوتیپ‌های ۱، ۸، ۱۰، ۲۲ به‌عنوان ژنوتیپ‌های با وزن تر گیاهچه بیشتر در شرایط تنش کادمیوم انتخاب شدند. همچنین بر مبنای شاخص عملکرد در شرایط تنش (YS) ژنوتیپ‌های ۱، ۸، ۱۰، ١٤ به‌عنوان ژنوتیپ‌های با وزن تر گیاهچه بیشتر در شرایط تنش کادمیوم انتخاب شدند. از لحاظ شاخص متوسط محصول‌دهی (MP) نیز ژنوتیپ‌های ۱، ۸، ۱۰، ۲۲ به‌عنوان ژنوتیپ‌های با وزن تر گیاهچه بیشتر در شرایط تنش کادمیوم انتخاب شدند. بر اساس شاخص تحمل به تنش (TOL) ژنوتیپ‌های ۲۵، ٢٤، ۲۳ و ۱۸ به‌عنوان ژنوتیپ‌های با وزن تر گیاهچه بیشتر در شرایط تنش کادمیوم انتخاب شدند. از لحاظ شاخص حساسیت به تنش (SSI) ژنوتیپ‌های ۲۰، ۱۱، ۹ و ۳ به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس و ژنوتیپ‌های ۲۵، ۲۳، ١٤ و ۸ به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل در شرایط تنش کادمیوم انتخاب شدند و بر اساس شاخص میانگین هندسی محصول‌دهی نیز (GMP) ژنوتیپ‌های ۱، ۸، ۱۰، ۲۲ به‌عنوان ژنوتیپ‌های با وزن‌تر گیاهچه بیشتر در شرایط تنش کادمیوم انتخاب شدند.

نتایج حاصل از ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از شاخص‌های MP و GMP و همچنین پتانسیل عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش که مقادیر عددی بالای آن‌ها بیانگر تحمل بالای ژنوتیپ به تنش می‌باشد (روزیل و هامبیل، ۱۹۸۱؛ فرناندز، ۱۹۹۲) نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های ۲۲، ۱۰، ۸ و ۱ متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها می‌باشند. از سویی دیگر از نظر شاخص‌های TOL و SSI که مقادیر عددی پایین آن‌ها نشان دهنده مقاومت بالای ژنوتیپ نسبت به تنش می‌باشد (چوگان و همکاران، ۲۰۰٦) به‌ترتیب ژنوتیپ‌های ۲۵، ٢٤، ۲۳ و ۱۸ و ژنوتیپ‌های ۲۵، ۲۳، ١٤ و ۸ متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش می‌باشند. از آن‌جایی که صرفاً پایین بودن مقادیر عددی شاخص‌های TOL و SSI برای یک ژنوتیپ به منزله مناسب بودن آن ژنوتیپ در شرایط تنش نیست. زیرا ژنوتیپ‌هایی یافت می‌شوند که دارای حساسیت کمی به تنش می‌باشند، اما عملکرد پایینی نیز دارند (روزیل و هامبیل، ۱۹۸۱). برای نمونه مقایسه عملکرد ژنوتیپ‌های ۲۵ و ۲۳ (که بر اساس هر دو شاخص متحمل شناخته شده‌اند) در شرایط تنش و عدم تنش نشان می‌دهد که انتخاب این ژنوتیپ‌ها توسط

www.SID.ir

Archive of SID

شاخص TOL به‌دلیل تولید عملکرد بالا در شرایط تنش نمی‌باشد، بلکه همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود این ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش دارای عملکرد پایینی بوده‌اند و در شرایط تنش نیز با افت عملکرد کمتری مواجه شده‌اند که این امر باعث کوچک‌تر شدن این شاخص و در نهایت منجربه معرفی این ژنوتیپ‌ها به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل می‌گردد (مقدم و هادی‌زاده، ۲۰۰۲). بسیاری از محققان معتقدند که مناسب‌ترین شاخص برای ارزیابی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش، شاخصی است که دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و غیر تنش باشد (فرشادفر و همکاران، ۲۰۰۱؛ خلیل‌زاده و کربلایی، ۲۰۰۲). نتایج به‌دست آمده از میزان همبستگی میان شاخص‌ها (جدول ٤) نشان داد که شاخص‌های MP و GMP دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با وزن تر گیاهچه در هر دو محیط بدون تنش و تنش بودند و به‌عنوان شاخص‌های برتر معرفی می‌شوند. بنابراین شاخص‌های مذکور می‌توانند برای تخمین پایداری و عملکرد و نیز دست‌یابی به ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو محیط مورد استفاده قرار بگیرند. بر اساس این شاخص‌ها ژنوتیپ‌های ۲۲، ۱۰، ۸ و ۱ با متوسط وزن تر گیاهچه بالاتر در شرایط تنش و غیرتنش به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها در نظر گرفته شدند.

انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش کادمیوم با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و ترسیم نمودار بای پلات: تجزیه به مؤلفه‌های اصلی یکی از انواع روش‌های آماری چند متغیره است که غالباً برای کاهش ابعاد مجموعه داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی می‌توان تعداد زیادی متغیر مستقل همبسته را با تعداد محدودی متغیر مستقل جدید که مؤلفه‌های اصلی نامیده می‌شوند و ناهمبسته‌اند، جایگزین نمود. مؤلفه‌های اصلی در حقیقت همان‌بردار ویژه‌های ماتریس کوواریانس داده‌ها هستند. در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انتظار می‌رود که واریانس‌های بسیاری از مؤلفه‌ها آن قدر کم باشد که بتوان از آن‌ها صرف‌نظر کرد و به این ترتیب مؤلفه‌هایی از مجموعه داده را که بیشترین تأثیر در واریانس را دارند حفظ می‌شوند. در این حالت تغییرات در مجموعه داده‌ها می‌تواند با تعداد کمی از مؤلفه‌ها که دارای واریانس قابل توجیه می‌باشند، توضیح داده شوند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- رتبه‌بندی میزان تحمل زنوتیپ‌ها به تنش کادمیوم با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش.

GMP		SSI		TOL		MP		YS		YP		
رتبه	مقدار	رتبه	مقدار	رتبه	مقدار	رتبه	مقدار	رتبه	مقدار	رتبه	مقدار	ژنوتیپ
۲	۲۰/۷۷	۲۱	۱/۱۱۸	۲۵	۱۳/۶۳	۱	۲۱/۸۶	۲	۱۵/۰۵	۱	۲۸/۶۸	۱
۱۷	۱۳/۱۳	۱٤	۱/۰۷۲	۹	۸/۱۱	۱۷	۱۳/۷٤	۱۸	۹/۶۹	۱۷	۱۷/۸۰	۲
۱۳	۱٤/۶۳	۲۵	۱/۳۱۰	۲۳	۱۲/۲۳	۱۱	۱۵/۸۵	۱۷	۹/۷٤	۸	۲۱/۹۷	۳
۲۳	۱۱/٤۹	۱۹	۱/۰۹۳	۶	۷/۳۰	۲۱	۱۲/۰۶	۲٤	۸/٤۱	۲۱	۱۵/۷۱	٤
۵	۱۷/۸۷	۱۷	۱/۰۷۶	۲۱	۱۱/۰۹	۵	۱۸/۷۱	۸	۱۳/۱۷	۵	۲٤/۲۶	۵
۸	۱۷/٤۳	۹	۱/۰۰۵	۱۹	۹/۸٤	۶	۱۸/۱۱	۷	۱۳/۱۹	۶	۲۳/۰۳	۶
۱۰	۱۵/۵۱	۱۲	۱/۰۵۲	۱۷	۹/۳۲	۱۰	۱۶/۱۹	۱۱	۱۱/۵۳	۱۱	۲۰/۸۵	۷
۱	۲۰/۷۸	۳	۰/۷۷٤	۱۳	۸/۳۵	۲	۲۱/۱۹	۱	۱۷/۰۲	۳	۲۵/۳۷	۸
۱۹	۱۲/۷۹	۲۳	۱/۲٤۲	۱۸	۹/۳۸	۱۸	۱۳/۷۰	۲۲	۸/۷۹	۱۶	۱۸/۶۲	۹
۳	۲۰/۲۳	۱۵	۱/۰۷۳	۲٤	۱۲/٤۹	۳	۲۱/۱۷	۳	۱٤/۹۲	۲	۲۷/٤۲	۱۰
۲۰	۱۲/۱۰	۲۲	۱/۱٤۳	۱۰	۸/۲۱	۲۰	۱۲/۷۸	۲۳	۸/۶۸	۲۰	۱۶/۸۸	۱۱
۶	۱۷/۵۰	۶	۰/۸۸۱	۱۲	۸/۲۸	۷	۱۷/۹۸	۵	۱۳/۸٤	۷	۲۲/۱۲	۱۲
۱۱	۱۵/۰۲	۱۳	۱/۰۶۰	۱۵	۹/۱۲	۱۲	۱۵/۶۹	۱۳	۱۱/۱۳	۱۲	۲۰/۲۶	۱۳
۷	۱۷/٤۵	٤	۰/۷۷۹	۵	۷/۰۶	۸	۱۷/۸۰	٤	۱٤/۲۷	۹	۲۱/۳۳	۱٤
۱٤	۱٤/۵۱	۱۸	۱/۰۸۸	۱۶	۹/۱٤	۱٤	۱۵/۲۱	۱٤	۱۰/۶٤	۱٤	۱۹/۷۹	۱۵
۱۶	۱۳/۱۸	۱۰	۱/۰٤۹	۷	۷/۸۹	۱۶	۱۳/۷۵	۱۶	۹/۸۱	۱۸	۱۷/۷۰	۱۶
۱۲	۱٤/۹۶	۷	۰/۹۶۷	۸	۸/۰۱	۱۳	۱۵/٤۸	۱۲	۱۱/٤۸	۱۵	۱۹/٤۹	۱۷
۲٤	۱۰/۹۹	۱۱	۱/۰۵۱	٤	۶/۶۰	۲٤	۱۱/٤۷	۲۵	۸/۱۷	۲۲	۱٤/۷۷	۱۸
۹	۱۶/۰۵	۸	۰/۹۹۲	۱٤	۸/۸۹	۹	۱۶/۶۶	۹	۱۲/۲۱	۱۰	۲۱/۱۱	۱۹
۱۵	۱۳/۸۰	۲٤	۱/۲٤۳	۲۰	۱۰/۶۱	۱۵	۱٤/۷۸	۱۹	۹/٤۸	۱۳	۲۰/۰۹	۲۰
۱۸	۱۲/۸۱	۲۰	۱/۱۰۳	۱۱	۸/۲۳	۱۹	۱۳/٤۶	۲۰	۹/۳٤	۱۹	۱۷/۵۸	۲۱
٤	۱۸/۵۲	۱۶	۱/۰۷٤	۲۲	۱۱/٤۶	٤	۱۹/۳۹	۶	۱۳/۶۶	٤	۲۵/۱۲	۲۲
۲۱	۱۱/۵٤	۱	۰/۰۰۲	۲	۰/۰۱	۲۳	۱۱/۵٤	۱۰	۱۱/۵٤	۲٤	۱۱/۵۵	۲۳
۲۲	۱۱/۵۰	۵	۰/۸۰۵	۳	٤/۸٤	۲۲	۱۱/۷۵	۲۱	۹/۳۳	۲۳	۱٤/۱۸	۲٤
۲۵	۱۰/۲۹	۲	۰/۱۵۹	۱	۰/۷۲	۲۵	۱۰/۳۰	۱۵	۹/۹٤	۲۵	۱۰/۶۶	۲۵

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج مربوط به تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که فقط مؤلفه اول و دوم دارای مقادیر ویژه بالای یک می‌باشند و در مجموع دو مؤلفه اول ٩٩/٤ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه نمودند (جدول ٦). سهم مؤلفه اول در تبیین تغییرات کل شاخص‌ها برابر با ٧٥/٧ درصد بود (جدول ٦). مقادیر نسبی ضرایب بردارهای ویژه (جدول ٦) نشان‌دهنده وجود یا عدم وجود همبستگی مثبت یا منفی شاخص‌ها با هر یک از مؤلفه‌ها می‌باشد. با توجه به این ضرایب، مؤلفه اول با عملکرد در هر دو شرایط نرمال و تنش کادمیوم و همچنین شاخص‌های MP و GMP همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت و به‌عنوان مؤلفه تحمل به تنش کادمیوم نامیده شد. با توجه به‌این که مقادیر بالای این شاخص‌ها مطلوب می‌باشد، اگر بر روی بای‌پلات حاصله به مقادیر بالای این مؤلفه توجه شود می‌توان ژنوتیپ‌های متحمل و دارای پتانسیل عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش و نیز مقادیر بالای شاخص‌های MP و GMP را انتخاب نمود. مؤلفه دوم که حدود ٢٤ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کرده است (جدول ٦) همبستگی منفی بالا با عملکرد در شرایط تنش و همبستگی مثبت با شاخص TOL نشان داد. بنابراین مؤلفه مذکور را می‌توان به‌عنوان مؤلفه حساسیت به تنش کادمیوم در نظر گرفت. از آن‌جایی که مقادیر کم شاخص تحمل به تنش مطلوب است، بنابراین اگر در بای‌پلات نواحی با میزان پایین این مؤلفه در نظر گرفته شود، می‌توان ژنوتیپ‌های با YS بالا و شاخص تحمل پایین را انتخاب کرد. برای مطالعه روابط بین سه متغیر (به‌عنوان مثال YP، YS و GMP) می‌توان از نمودار سه بعدی استفاده نمود ولی در مواردی که بررسی روابط بیش از سه متغیر به‌صورت هم زمان مدنظر باشد، ترسیم گرافیکی بای پلات سودمند است. بنابراین تجزیه بای پلات ابزار مفیدی به‌منظور بررسی هم زمان کلیه شاخص‌های تحمل به تنش و عملکرد در شرایط معمول و تنش و همچنین بررسی تحمل به تنش ژنوتیپ‌ها می‌باشد (گابریل، ١٩٧١). با توجه به مستقل بودن مؤلفه‌ها و اهمیت دو مؤلفه اول در تبیین تغییرات کل داده‌ها، بای پلات مربوطه بر اساس این دو مؤلفه ترسیم گردید (شکل ١). با توجه به توضیحات ارایه شده در فوق، مقادیر بیشتر از مؤلفه اول (تحمل به تنش کادمیوم) و مقادیر کمتر از مؤلفه دوم مطلوب‌ترین حالت را نشان خواهد داد. در مجموع با توجه به رابطه مؤلفه‌ها و شاخص‌های مورد بررسی ژنوتیپ‌هایی که در ناحیه پایین سمت راست در نمودار بای پلات قرار گرفته‌اند به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش کادمیوم مشخص شده‌اند (شکل ١). با توجه به زوایای خطوط شاخص‌ها (شکل ٢) در نمایش گرافیکی بای پلات، ملاحظه می‌شود که شاخص‌های MP و GMP با عملکرد در هر دو شرایط نرمال و تنش کادمیوم همبستگی مثبت نشان دادند. بنابراین با کمک بای پلات نیز شاخص‌های MP و GMP به‌عنوان

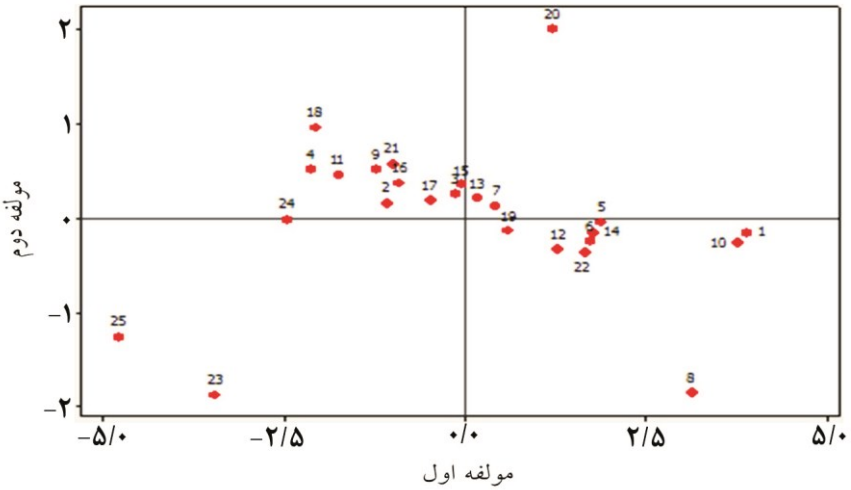
www.SID.ir

Archive of SID

شاخص‌های برتر شناخته شدند (شکل ۲). در نهایت با بررسی مقادیر به‌دست آمده از این شاخص‌ها راجع به هر یک از ژنوتیپ‌ها و نیز نتایج حاصل از شکل ۱، ژنوتیپ‌های شماره ۱ (G-11867)، ۸ (Taylor)، ۱۰ (Emerson) و ۲۲ (D-81083) به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل‌تر در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها انتخاب شدند.

جدول ٦- تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شاخص‌های تحمل به تنش در ژنوتیپ‌های مختلف لوبیا.

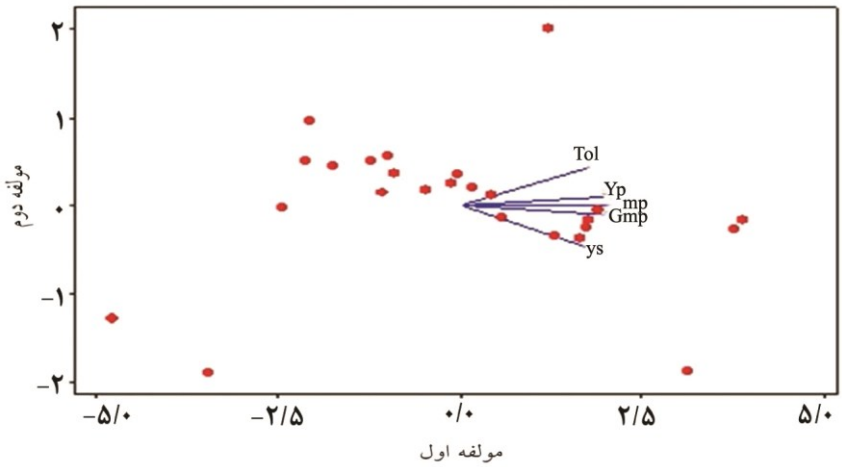
نام شاخص	مؤلفه اول	مؤلفه دوم
	ضرایب بردارهای ویژه	
YP	۰/٤٥	۰/۰۲٥
YS	۰/۳۹	-۰/۷۱
MP	۰/٤٥	-۰/۱٥
TOL	۰/۳۸	۰/٦٥
SSI	۰/۳۷	۰/۰۱
GMP	۰/٥۱	۰/۱٦
مقدار ویژه	٤/٥٤	۱/٤۲
درصد واریانس	۰/۷٥	۰/۲۳
درصد واریانس تجمعی	۷٥/۷۰	۹۹/٤۱



شکل ۱- نمودار دو بعدی جهت تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به تنش کادمیوم.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- نمودار دو بعدی جهت تعیین شاخص‌های برتر در ژنوتیپ‌های لوبیا.

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که تنش کادمیوم بر روی رشد و توسعه گیاهچه‌های لوبیا اثر منفی داشته و پاسخ‌های رشدی و بیوشیمیایی گیاهچه‌های لوبیا به‌طور قوی به تنوع ژنتیکی میان ژنوتیپ‌ها بستگی داشت. ژنوتیپ‌های G-11867، Taylor، Emerson و D-81083 در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها متحمل‌تر بودند و می‌توان از آن‌ها در یافتن منابع مقاومت برای استفاده در برنامه‌های به نژادی و تولید واریته‌های جدید متحمل به تنش کادمیوم بهره گرفت. همچنین نتایج این بررسی می‌تواند شاخص‌های مفیدی برای کشت این ژنوتیپ‌ها در مناطق آلوده فراهم آورد.

منابع

1.Ansari, M.I., and Malik, A. 2007. Biosorption of nickel and cadmium by metal resistant bacteria isolates from agricultural soil irrigated with industrial wastewater. Bioresource Technol., 98: 3149-3153.
2.Ashraf, M., and Harris, P. 2004. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. Plant Sci., 166: 3-16.

www.SID.ir

Archive of SID

3.Aydinalp, C., and Marinova, S. 2009. The effects of heavy metals on seed germination and plant growth on alfalfa plant (*Medicago sativa*). Bulg. J. Agric. Sci., 15: 347-350.
4.Barcelo, J., and Poschenrieder, C. 1990. Plant water relations as affected by heavy metal stress: A Rev. J. Plant Nut., 13: 1-37.
5.Bates, L.S., Waldren, R.P., and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant Soil, 39: 205-207.
6.Bhardwaj, P., Chaturvedi, A.K., and Prasad, P. 2009. Effect of enhanced lead and cadmium in soil on physiological and biochemical attributes of *Phaselous vulgaris* L. Nat. Sci., 7:63-75.
7.Chaoui, A., Ghorbal, M.H., and Ferjani, E. 1997. Effects of Cadmium-zinc interactions on hydroponically grown bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Plant Sci., 126: 21-28.
8.Cho, U.H., and Park, J.O. 2000. Mercury-induced oxidative stress in tomato seedlings. Plant Sci., 156: 1-9.
9.Chougan, R., Taherkhani, T., Ghannadha, M.R., and Khodarahmi, M. 2006. Evaluation of drought tolerance in grain maize inbred lines using drought tolerance indices. Iran. J. Agric. Sci., 8: 79-89.
10.Costa, G., and Morel, J.L. 1994. Water relations, gas exchange and amino acid content in cadmium treated lettuce. Plant Physiol. Biochem, 32: 561-570.
11.Farshadfar, E.A., Zamani, M.R., Matlabi, M., and Emam-Jome, E.E. 2001. Selection for drought resistance chickpea lines. Iran. J. Agric. Sci., 32: 65-77.
12.Fernandez, G.C. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Int. Symp. Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress, Kuo, C.G., Ed., Tainan, Taiwan: AVRDC Publ. Pp: 257–270.
13.Fisher, R.A., and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivar. I. grain yield responses. Aust. J. Agric. Res., 29: 897-912.
14.Gabriel, K.R. 1971. The biplot graphical display of matrices with applications to principal component analysis. Biometrika, 58: 453-467.
15.Ghafari Khaligh, H. 2000. Transmittance of Bean in Iran, promotive journal, production and promotive office and technical publications, adjutancy of promotive of Agriculture Jahad Ministry. Pp: 27-31.
16.Groppa, M.D., Tomaro, M.L., and Benarides, M.P. 2007. Polyamines and heavy metal stress: the antioxidant behavior of spermine in cadmium and copper treated wheat leaves. Bimetals, 20: 185-195.

www.SID.ir

Archive of SID

17. Haghighi, M. 2008. Effect of cadmium stress on physiological, antioxidant and enzymatic change of lettuce in presence of humic acid. Ph.D. thesis of horticulture. University of Tehran. 174p.
18. Kabir, M., Iqbal, M.Z., Shafigh, M., and Faroogi, Z.R. 2008. Reduction in germination and seedling growth of *Thespesia populnea* L. caused by lead and cadmium treatments. Pakistan J. Bot., 40: 2419-2426.
19. Khalilzade, G.H., and Karbalai-Khiavi, H. 2002. Investigation of drought and heat stress on advanced lines of durum wheat. In: Proc of the 7th Iranian Congress of Crop Sciences. Guilan, Iran, Pp: 563-564.
20. Kochaki, A., and Banayan Aval, M. 2002. Legum Culture. Jahad Daneshgahi of Mashhad. 236p.
21. Lamoreaux, J.R., and Cheney, W.D. 1978. The effect of cadmium on net photosynthesis, transpiration and dark respiration of eased silver maple leaves. Physiologia Planta., 43: 231-236.
22. Lee, K.C., Cunningham, B.A, Paulsen, G.M., Liang, G.H., and Moore, R.B. 1976. Effect of Cd on respiration rate and activity of several enzymes in soybean seedlings. Physiologia Planta., 36: 4-6.
23. Mihalescu, L., Mare-Rosca, O.E., Marian, M., and Blidar, C.F. 2010. Research on growth intensity of the *Zea mays* L. plantlets aerial parts under Cadmium treatment. Analele Universitatii din Oradea, Ed. Universitatii din Oradea, Tom. Pp: 147-151.
24. Miller, G., Shulaev, V., and Mitter, R. 2008. Reactive oxygen signaling and abiotic stress. Physiologia Planta., 133: 481-489.
25. Mishra, S., and Dubey, R.S. 2006. Inhibition of ribonuclease and protease activities in arsenic exposed rice seedlings: Role of proline as enzyme protectant. J. Plant Physiol, 163: 927–936
26. Misra, H.P., and Fridovich, I. 1972. The generation of superoxide radical during auto oxidation. J. Bio. Chem., 247:6960-6966.
27. Mobin, M., and Khan, N.A. 2007. Photosynthetic activity, pigment composition and antioxidative response of two mustard cultivars differing in photosynthetic capacity subjected to cadmium stress. J. Plant Physiol., 164:601–610.
28. Moghaddam, A., and Hadizade, M.H. 2002. Response of corn (*Zea mays* L.) hybrids and their parental lines to drought using different stress tolerance indices. Plant Seed J., 3: 255-272.
29. Omar, M.N.A., Osman, M.E.H., Kasim, W.A., and Abd El-Daim, L.A. 2008. Improvement of Salt Tolerance Mechanisms of Barely Cultivated Under Salt Stress Using *Azospirillum brasilense*. Springer Netherlands. Pp: 133-147

www.SID.ir

Archive of SID

30. Radha, J., Srivastava, S., Solomon, S., Shrivastava, A.K., and Chandra, A. 2010. Impact of excess zinc on growth parameters cell division, nutrient accumulation, photosynthetic pigments and oxidative stress of sugarcane (*Saccharum* spp). Acta Physiologiae Planta., 32: 979-986.
31. Rahman Khan, M., and Mahmud Khan, M. 2010. Effect of varying concentration of nickel and cobalt on the plant growth and yield of chickpea. Aust. J. Basic Appl. Sci., 4: 1036-1046.
32. Rascio, N., Vecchia, F.D., Ferretti, M., Merlo, L., and Ghisi, R. 1993. Some effects of cadmium in maize plants. Arch. Environ. Con. Tox., 25: 244-249.
33. Rosielle, A.A., and Hamblin, J. 1981. The cortical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Sci., 21: 943-946.
34. Scebba, F., Arduini, I., Ercoli, L., and Sebastiani, L. 2006. Cadmium effects on growth and antioxidant enzymes activities in Miscanthus sinensis. Biologia Planta., 50: 688–692.
35. Shah, K., Kumar, R.G, Verma, S., and Dubey, R.S. 2001. Effect of cadmium on lipid peroxidation, superoxideanion generation and activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. Plant Sci., 161: 1135–1144.
36. Shafiq, M., Iqbal, M.Z., and Athar, M. 2008. Effect of lead and cadmiumgermination and seedling growth of *Leucaena leucocephala*. J. Appl. Sci. Environ. Manage., 12: 61-66.
37. Siroka, B., Huttova, J., Tamas, L., Simonoviva, M., and Mistrik, I. 2004. Effect of cadmium on hydrolytic enzymes in maize root and coleoptile. Biologia, 59:513–517.
38. Veselov, D., Kudoyarova, G., Symonyan, M., and Veselov, St. 2003. Effect of Cadmium onion uptake transpiration and cytokinin content in wheat seedlings. Blug. J. Plant physiol. Special issue. 353-359.
39. Zhang, F., Shi, W., Jim, Z., and Shen, Z. 2003. Response of antioxidative enzymes in cucumber chloroplasts to cadmium toxicity. J. Plant Nutr., 26: 1779-1788.
40. Zhou, R., Squires, T.M., Ambrose, S.J., Abrams, S.R., Ross, A.R.S. and Cutler, A.J. 2003. Rapid extraction of abscisic acid and its metabolites for liquid chromatography–tandem mass spectrometry. J. Chromatogr A. 1010:75–85.

www.SID.ir

Archive of SID

EJCP., Vol. 7 (4): 61-80
http://ejcp.gau.ac.ir

Evaluation of common bean genotypes tolerance in response to cadmium stress at germination stage

R. Bahmani[1], D. Habibi[2] and *M.R. Bihamta[3]

[1،2] M.Sc. Graduate, Dept. of Plant Breeding, Islamic Azad University, Karaj Branch, Karaj, Iran
[3] Professor, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture and Natural Resources of Tehran University, Karaj, Iran,
Received: 15-7-2012 ; Accepted: 12-10-2014

Abstract

In recent years, soil pollution with heavy metals such as cadmium had a progressive trend and causes serious problem in production of crops in polluted zones. In order to study the effect of cadmium stress on growth and biochemical traits and selection of tolerant genotypes using stress tolerance indices, 25 bean genotypes at 0 (as control) and 4 mg L^{-1} concentration of cadmium chloride were evaluated as factorial arrangement based on randomized complete design with three replications, in Biotechnology Laboratory of College of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University, Karaj branch in 2011. Results showed that there was high genetic variation for most of evaluated traits. Cadmium stress decreased root length, shoot length, root to shoot ratio, germination percentage and fresh weight while superoxide dismutase activity, Proline and Abscisic acid content were significantly increased. MP (mean productivity) and GMP (Geometric mean productivity) indices had positive correlation with fresh weight in both normal and cadmium stress conditions. In order to precise evaluation, principal component analysis and biplot was done and four genotypes including G-11867, Taylor, Emerson, D-81083 were identified as tolerant genotypes.

Keywords: Genetic variation, Germination, Cadmium, Bean

*Corresponding author; mrghanad@ut.ac.ir

www.SID.ir