تأثیر انواع پرایمینگ بر شاخص‌های جوانه‌زنی و آنزیم‌های بذر سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) ژنوتیپ SOR834 تحت سمیت کلرید و نیترات کادمیوم

عبدالحسین رضائی[۱]، حمیدرضا بلوچی[۲]*، محسن موحدی دهنوی[۳] و ابراهیم ادهمی[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و فناوری بذر، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

۲-***نویسنده مسئول:** دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران (balouchi@yu.ac.ir)

۳- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

۴- دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۲۷

چکیده

تأثیر سمیت فلزات سنگین از جمله کادمیوم بر موجودات زنده یک نگرانی بزرگ جهانی است، گیاهان نیز از اثرات مضر قرارگیری در معرض فلزات سنگین مستثنی نیستند. این مطالعه به منظور بررسی تأثیر انواع پرایمینگ بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر سورگوم تحت تنش کلرید و نیترات کادمیوم در آزمایشگاه اجرا گردید. آزمایش جوانه‌زنی به‌صورت فاکتوریل چند عاملی در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. فاکتور اول تیمار فلزات سنگین در ۷ سطح شامل محلول کلرید و نیترات کادمیوم هرکدام در چهار سطح (صفر، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ میکرومولار) و فاکتور دوم شامل ۹ سطح انواع پرایمینگ اسید جیبرلیک با غلظت‌های ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر، اسید سالیسیلیک در دو سطح ۰/۳ و ۰/۶ میلی مولار، نیترات پتاسیم با غلظت‌های ۱ و ۲ درصد و پلی اتیلن گلایکول با غلظت‌های ۳- و ۶- بار و تیمار بدون پرایمینگ بودند. نتایج بخش جوانه‌زنی نشان داد که بیشترین و کمترین سرعت و درصد جوانه‌زنی بذر به‌ترتیب در نیترات کادمیوم ۲۰۰ میکرومولار و کلرید و نیترات کادمیوم ۶۰۰ میکرومولار به دست‌آمد. هم‌چنین کاربرد اسید سالیسیلیک ۰/۳ و ۰/۶ میلی‌مولار سرعت جوانه‌زنی را افزایش داد. بیشترین و کمترین شاخص بنیه گیاهچه به‌ترتیب در تیمار بدون کادمیوم و تیمار کلرید کادمیوم ۶۰۰ میکرومولار مشاهده شد که کاربرد جیبرلیک اسید ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش شاخص بنیه شد. با افزایش غلظت کادمیوم میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در بذر سورگوم افزایش یافت در حالی‌که کاربرد پرایم‌های مختلف آن را کاهش داد.

کلید واژه‌ها: جوانه‌زنی، جیبرلیک اسید، سالیسیلیک اسید، سورگوم، فلزات سنگین

مقدمه

هنگامی‌که فلزات سنگین در سطوح بالا در محیط وجود داشته باشند، توسط ریشه گیاه بیش از اندازه جذب و به اندام‌های هوایی منتقل گشته و انباشته می‌شوند که منجر به صدمات متابولیسمی و کاهش رشد و عملکرد گیاه گردیده و از طرف دیگر این فلزات باعث کاهش فعالیت میکروبی و حاصلخیزی خاک می‌گردند (Jing *et al.*, 2007). در بررسی اثر کادمیوم بر جوانه‌زدن بذر و گیاهچه چهار رقم گندم مشاهده گردید که طول ریشه، ساقه، درصد جوانه‌زنی و شاخص جوانه‌زنی در غلظت ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر در مقایسه با غلظت صفر میلی‌گرم بر لیتر کاهش داشته است (Ahmad *et al.*, 2012). Bhardwaj *et al.* (2009) چنین گزارش دادند که در لوبیا درصد جوانه‌زنی در غلظت کم کادمیوم در مقایسه با شاهد تحت تأثیر قرار نگرفت؛ اما در غلظت بالاتر کادمیوم، یعنی غلظت ۳

گرم بر کیلوگرم، جوانه‌زنی به‌طور کامل بازداشته شد. غلظت‌های بالای کادمیوم موجب ایجاد سمیت در گیاه و به موجب آن ایجاد تنش‌های اکسیداتیو می‌شود. تنش‌های اکسیداتیو با تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن از جمله رادیکال‌های سوپراکسید (O^-)، پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و رادیکال‌های هیدروکسیل (OH) به سلول‌های گیاهی آسیب وارد می‌کنند. کاتالاز آنزیم مهمی در برابر تنش اکسیداتیو است این آنزیم می‌تواند پراکسید هیدروژن را که محصول عمده تولید شده به وسیله سوپراکسید دیسموتاز است پاک‌سازی کند (Asadi Aghbolaghi *et al.*, 2015).

عقیده بر این است تولید آلفا آمیلاز در لایه آلورون که به شدت توسط سنتز جیبرلین در جنین کنترل می‌شود. برای جوانه‌زنی بذر غلات ضروری است. در ابتدا، بیوسنتز جیبرلین فعال در جنین آغاز می‌شود. جیبرلین‌ها از جنین به لایه آلورون منتقل می‌شوند و آنزیم آلفا آمیلاز را بیان می‌کنند. سپس آلفا آمیلاز از لایه آلورون به آندوسپرم ترشح می‌شود تا فرآیند تجزیه مولکول‌های نشاسته ذخیره شده در آندوسپرم را سرعت ببخشد و انرژی لازم برای رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه را فراهم کند. در مقابل، آبسیزیک اسید از تولید آلفا آمیلاز جلوگیری کرده و جوانه‌زنی را متوقف می‌کند (Dehghanpour *et al.*, 2013).

پرایمینگ بذر یکی از ساده‌ترین روش‌هایی است که بنیه و استقرار جوانه‌ها و سپس کارایی گیاه را در مزرعه افزایش می‌دهد. پرایمینگ اجازه رونویسی اولیه DNA و سنتز RNA و پروتئین را می‌دهد که قسمت‌های تخریب شده بذور را ترمیم کرده و تراوش‌های متابولیکی را کاهش می‌دهد، که این عوامل می‌توانند خصوصیات جوانه‌زنی بذر و ظهور جوانه را بهبود بخشد (Ghassemi Golezani *et al.*, 2008).

با توجه به مطالب فوق و افزایش روزافزون جمعیت و صنعتی شدن جوامع و استفاده روزافزون از کودهای فسفره در بخش کشاورزی، تجمع عناصر سنگین اجتناب‌ناپذیر می‌باشد، لذا بررسی وضعیت کادمیوم در خاک و بذور تولیدی از نظر تعیین مدیریت فعلی و آتی سلامت جامعه و محیط‌زیست بسیار مهم است. بنابراین باید به دنبال راهکارهایی برای کاهش اثر سوء عناصر سنگین در گیاهان باشیم که استفاده از گیاهان مقاوم و انواع پرایمینگ یکی از راهکارهایی پیش‌رو می‌باشد. این مطالعه به منظور بررسی تأثیر انواع پرایمینگ بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر سورگوم تحت تنش کلرید و نیترات کادمیوم اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور بررسی اثر غلظت‌های مختلف کلرید و نیترات کادمیوم بر جوانه‌زنی بذر سورگوم ژنوتیپ SOR834 در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج در سال ۱۳۹۳ اجرا گردید. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. فاکتور اول در مجموع با ۷ سطح شامل محلول کلرید و نیترات کادمیوم هرکدام در سه سطح (۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ میکرومولار) و یک تیمار بدون فلز سنگین می‌باشد. فاکتور دوم در ۹ سطح انواع پرایمینگ شامل جیبرلیک اسید با غلظت‌های ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر (به مدت ۱۵ ساعت و در دمای ۱۵ درجه سلیسیوس)، سالیسیلیک‌اسید در دو سطح ۰/۳ و ۰/۶ میلی مولار (به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلیسیوس)، نیترات پتاسیم با غلظت‌های ۱ و ۲ درصد (به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۲۰درجه سلیسیوس) و پلی اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ با غلظت‌های ۳- و ۶- بار (به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۲۰ درجه سلیسیوس) و تیمار بدون پرایمینگ بود (Khan, 1992؛ Ramezani and Rezaei Sokht Abandani, 2013). ابتدا بذرهای سالم سورگوم با محلول قارچ‌کش کاربوکسین تیرام دو در هزار به مدت یک دقیقه ضدعفونی و با آب مقطر سه مرتبه شستشو داده شد، بعد از آن بذرها طبق تیمارهای آزمایش پرایمینگ شدند و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق خشک گردیدند و سپس ۲۵ عدد بذر در داخل پتریدیش‌های به قطر ۹ سانتی‌متر روی کاغذ صافی واتمن کشت و در هر پتری

حدود ۵ میلی‌لیتر از تیمارهای مختلف کادمیوم اعمال شد. برای تیمار بدون کادمیوم از آب مقطر استفاده گردید. پتری دیش‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد در یخچال قرار گرفت (به منظور شکستن خواب بذور) و سپس در ژرمیناتور در دمای ۲۰ درجه سلسیوس و روی کاغذ گذاشته شدند. پس از کشت بذور، روزانه تعداد بذور جوانه‌زده (معیار جوانه‌زنی، خروج ریشه‌چه به طول ۲ میلی‌متر می‌باشد) در هر واحد آزمایشی شمارش گردید. پس از ۱۰ روز، سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه و شاخص بنیه بذر اندازه‌گیری شد. وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه پس از خشک شدن در آون با دمای ۷۵ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت با ترازوی حساس با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد.

برای محاسبه درصد و سرعت تا ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی، یکنواختی جوانه‌زنی و زمان تا ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی بذور از برنامه جرمین[1] استفاده شد (Soltani and Maddah, 2010). در این برنامه D50 (مدت‌زمانی که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۵۰ درصد حداکثر خود برسد) و D90 (مدت‌زمانی که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۹۰ درصد حداکثر خود برسد) و Gu (یکنواختی جوانه‌زنی که حاصل تفاضل زمان تا ۹۰ درصد جوانه‌زنی و زمان تا ۱۰ درصد جوانه‌زنی است) را محاسبه می‌کند. این برنامه پارامترهای یادشده را برای هر تکرار و هر تیمار بذری از طریق درون‌یابی[2] منحنی افزایش جوانه‌زنی در مقابل زمان محاسبه می‌کند. درصد جوانه‌زنی با استفاده از رابطه $PG=(n/N)\times 100$ و سرعت تا ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی نیز از طریق فرمول $R50 = 1/D50$ محاسبه گردید. در این رابطه N: تعداد کل بذور کشت شده و n: تعداد بذرهای جوانه‌زده می‌باشد (Maguire, 1962).

سرعت جوانه‌زنی: $GR=\Sigma(\frac{Ni}{Ti})$

Ni: تعداد بذرهای جوانه‌زده در هر روز، Ti: تعداد روزها از زمان شروع آزمایش (Verma *et al*., 2005).

شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه: (Abdulbaki and Anderson, 1975)

شاخص طولی بنیه = (درصد جوانه‌زنی/۱۰۰) × طول گیاهچه

شاخص وزنی بنیه = (درصد جوانه‌زنی/۱۰۰) × وزن خشک گیاهچه

آنزیم آنتی‌اکسیدانت کاتالاز و آنزیم هیدرولیزکننده نشاسته آلفا آمیلاز بعد از آبنوشی بذر و قبل از خروج ریشه‌چه که طی آزمایش زمان آن محاسبه گردید (زمان آبنوشی برای اندازه‌گیری آنزیم کاتالاز ۳۶ ساعت و برای آنزیم آلفا آمیلاز ۲۴ ساعت به دست آمد)، اندازه‌گیری شد (Harinder *et al*., 2007؛ Aebi, 1984). اندازه‌گیری آنزیم‌ها در بهترین پرایم‌ها بر اساس برآورد بیشترین درصد و بنیه بذر از مرحله جوانه‌زنی آزمایش (چهار سطح) در هر سطح از کلرید و نیترات کادمیوم صورت گرفت.

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز در بذر سورگوم

۰/۱ گرم بذر در ۱/۵ میلی‌لیتر بافر استخراج شامل فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار با اسیدیته ۷/۸، EDTA ۰/۱ میلی‌مولار و PVP (پلی وینیل پیرولیدون) ۰/۱ مولار بر روی یخ همگن گردید. همگن‌های حاصل در ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. از بخش شناورویی برای سنجش فعالیت آنزیم‌ها استفاده گردید. جهت اندازه‌گیری آنزیم کاتالاز به ۲/۸ میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار، ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی و ۱۰۰ میکرولیتر آب اکسیژنه ۳۰ میلی مولار اضافه گردید و میزان کاهش جذب در مدت ۶۰ ثانیه در طول موج ۲۴۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر (Shimadzu –uv-160A) قرائت گردید. در محلول بلانک به جای عصاره از بافر استخراج استفاده شد. با افزودن آب اکسیژنه تجزیه آن شروع شده و موجب کاهش جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر می‌گردد. ضریب خاموشی برای کاتالاز ۰/۰۳۹۴ بر میلی‌مول بر سانتی‌متر می‌باشد. مقدار فعالیت آنزیم به صورت

1- Germin
2- Interpolation

میکرومول بر گرم بذر گزارش گردید (Aebi, 1984).

استخراج و اندازه گیری فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز

به منظور اندازه‌گیری فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز ۰/۵ گرم بذر بعد از اعمال پرایم و تیمارهای موردنظر و ۲۴ ساعت آبنوشی در هاون چینی در ۲ میلی‌لیتر از بافر فسفات ۰/۲ مولار با اسیدیته ۷/۲ خرد شد و عصاره حاصل در میکروتیوپ ریخته شد (تمام وسایل جهت ساییدن و محلول بافر بایستی در ظرف یخی نگه داشته شود). سپس میکروتیوپ‌های حاوی عصاره آنزیمی به مدت ۲۵ دقیقه در سانترفیوژ یخچال‌دار مدل Z200A- HERMLE Germany در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانترفیوژ شدند و بلافاصله محلول رویی جدا و تا زمان اندازه‌گیری فعالیت آنزیم، عصاره به دست آمده را در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد مورد نگهداری قرار گرفت. برای اندازه‌گیری فعالیت آلفاآمیلاز در عصاره بذرها، ۸۰۰ میکرولیتر از محلول نشاسته یک درصد به ۲۰۰ میکرولیتر از عصاره بذری اضافه شد، سپس به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم (بن‌ماری) قرار داده شد و پس از آن در انکوباتور در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفت. سپس ۴۰۰ میکرولیتر معرف دی نیترو سالیسیلیک اسید به محلول اضافه و به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم (بن‌ماری) قرار داده شد. پس از این مدت زمان، و بعد از این‌که عصاره آنزیمی به همراه محلول اضافه شده به آن در ظرف یخی کاملاً خنک شد، با اضافه نمودن ۱۴۰۰ میکرولیتر آب مقطر محلول رقیق و بعد از آن در طول موج ۵۴۰ نانومتر و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد با استفاده از اسپکتروفتومتر مدل Shimadzu –uv-160A میزان جذب آن قرائت گردید. مقدار فعالیت آنزیم به‌صورت واحد میلی‌گرم مالتوز بر گرم بذر گزارش گردید (Harinder *et al*., 2007؛ Dehghanpour *et al*., 2013).

محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزارهای SAS و Excel انجام و مقایسه میانگین اثرات اصلی با آزمون حداقل اختلافات معنی دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد و در صورت معنی‌دار شدن اثر متقابل، برش‌دهی انجام و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از رویه L.S.Means انجام گردید.

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی بذر سورگوم

نتایج اثر کادمیوم بر صفت درصد جوانه‌زنی نشان داد که تیمار کلرید کادمیوم ۶۰۰ میکرومولار حدود ۸/۸۱ درصد نسبت به تیمار بدون کادمیوم جوانه‌زنی را کاهش داد و با کلرید کادمیوم ۴۰۰ و نیترات کادمیوم ۶۰۰ میکرومولار اختلاف معنی‌داری نداشت. بیشترین درصد جوانه‌زنی در نیترات کادمیوم ۲۰۰ میکرومولار مشاهده شد که با کلرید کادمیوم ۲۰۰ میکرومولار، نیترات کادمیوم ۴۰۰ و تیمار بدون کادمیوم اختلاف معنی‌دار نداشت (جدول ۱).

جدول ۱- مقایسه میانگین اثر غلظت‌های مختلف کلرید و نیترات کادمیوم بر درصد و سرعت جوانه‌زنی در بذر سورگوم

Table 1. Mean comparison of different concentrations of cadmium chloride and nitrate on the percentage and rate of germination in seeds of sorghum

نوع کادمیوم Type cadmium	غلظت کادمیوم (میکرومولار) Cadmium concentration (mM)	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز) Germination rate (seed per day)
بدون کادمیوم no cadmium	0	96^{a}	4.53^{ab}
کلرید کادمیوم Cadmium chloride	200	95.44^{a}	4.57^{a}
	400	91.11^{bc}	4.42^{ab}
	600	88.22^{c}	4.30^{b}
نیترات کادمیوم Cadmium nitrate	200	97.11^{a}	4.67^{a}
	400	94.66^{ab}	4.53^{ab}
	600	89.55^{c}	4.29^{b}

در هر ستون وجود حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

There is at least one common letter in each column represents the lack of a statistically significant difference (LSD) test is based on the level of 5 percent.

یکی از دلایل اثر مثبت محرک‌های شیمیایی مانند نیترات پتاسیم بر جوانه‌زنی بذر گونه‌های گیاهی احتمالاً مربوط به به تعادل رسیدن نسبت هورمونی در بذر و کاهش مواد بازدارنده رشد نظیر آبسزیک اسید می‌باشد. این محرک‌های شیمیایی باعث شکستن خواب فیزیولوژیکی بذر می‌شوند (Shariati *et al*., 2003). Mousavi and Nabavi Kalat (2012) در بررسی تأثیر نیترات کادمیوم بر درصد جوانه‌زنی گیاه دارویی همیشه بهار نشان دادند که بیشترین درصد جوانه‌زنی در تیمار شاهد با ۵۵ درصد و کمترین درصد جوانه‌زنی در تیمار ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با ۲۱/۶۷ درصد بود که نشان‌دهنده کاهش ۶۰ درصدی جوانه‌زنی در تیمار ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات کادمیوم بود.

سرعت جوانه‌زنی بذر سورگوم

نتایج اثر پرایمینگ بر صفت سرعت جوانه‌زنی نشان داد که نیترات کادمیوم ۲۰۰ میکرومولار سرعت جوانه‌زنی را ۳ درصد نسبت به بدون کادمیوم افزایش داد که با کلرید کادمیوم ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرومولار و نیترات کادمیوم ۴۰۰ میکرومولار اختلاف معنی‌دار نداشت. تیمار نیترات کادمیوم ۶۰۰ میکرومولار سرعت جوانه‌زنی را ۵/۵۹ درصد نسبت به تیمار بدون کادمیوم کاهش داد که با کلرید ۴۰۰ و ۶۰۰ میکرومولار و نیترات کادمیوم ۴۰۰ اختلاف معنی‌دار نداشت. به‌طورکلی افزایش سطوح مختلف تنش کادمیوم بر سرعت جوانه‌زنی چشمگیر نبود (جدول ۱). پرایم با سالیسیلیک اسید ۰/۶ میلی‌مولار سرعت جوانه‌زنی را نسبت به تیمار بدون پرایمینگ ۲۰ درصد افزایش داد که با سالیسیلیک اسید ۰/۳ میلی‌مولار اختلاف معنی‌دار نداشت. پرایم با جیبرلیک اسید ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر و نیترات پتاسیم ۱ و ۲ درصد به‌ترتیب ۱۱/۷۲، ۹/۸۰، ۹/۲۱ و ۶/۹۶ درصد باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی نسبت به تیمار بدون پرایمینگ شدند. پرایم با پلی اتیلن گلیکول ۶- بار سرعت جوانه‌زنی را ۱۱/۸۹ درصد نسبت به تیمار بدون پرایمینگ کاهش داد که با پرایم پلی اتیلن گلیکول ۳- بار تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۲).

Jan Mohammadi *et al.* (2011) نشان دادند بکارگیری تیمار هیدروپرایمینگ در تمامی سطوح فلز کادمیوم (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) سرعت جوانه‌زنی را بهبود بخشید، این در حالی بود که تفاوت معنی‌داری بین اسمو پرایمینگ و عدم پرایمینگ مشاهده نشد. در رابطه با کاهش سرعت جوانه‌زنی تحت تنش کادمیوم احتمالا غشاء سلولی یکی از نقاط مهمی می‌باشد که به شدت آسیب می‌بیند که این امر با نشت مواد سلولی به بیرون و کاهش بنیه بذر همراه خواهد بود (Rahoui *et al*., 2010).

سرعت تا ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی

مقایسه میانگین اثر غلظت‌های مختلف انواع پرایم‌ها بر این صفت نشان داد که پرایم با سالیسیلیک اسید ۰/۶ میلی‌مولار ۱۳/۲ درصد نسبت به تیمار بدون پرایمینگ بیشتر بود که با جیبرلیک اسید ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر و سالیسیلیک اسید ۰/۳ میلی‌مولار اختلاف معنی‌دار نداشت. مقدار سرعت تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی در پرایم با پلی اتیلن گلیکول۶- بار کمتر از تیمار بدون پرایمینگ بود که با پلی اتیلن گلیکول ۳- بار و تیمار بدون پرایمینگ اختلاف معنی‌دار نداشت (جدول ۲). نتایج پژوهش‌ها نشان داد که پرایمینگ می‌تواند موجب افزایش سرعت جوانه‌زنی بذرهای آفتابگردان، بهبود استقرار گیاهچه‌های ذرت، تسریع در جوانه‌زنی بذر ذرت،کاهش تعداد روز تا رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی، کاهش میانگین زمان جوانه‌زنی و بهبود درصد نهایی جوانه‌زنی آفتابگردان شود (Bailly *et al*., 2000؛ Basra *et al*., 1989؛ Sadiq *et al*., 2003).

یکنواختی جوانه‌زنی

نتایج اثر پرایمینگ بر صفت یکنواختی جوانه‌زنی نشان داد که پرایم با جیبرلیک اسید ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر دارای بیشترین یکنواختی جوانه‌زنی بود که با پرایم جیبرلیک اسید ۸۰۰ میلی گرم در لیتر، سالیسیلیک اسید ۰/۳ و ۰/۶ میلی‌مولار اختلاف معنی‌دار نداشت. در حالی‌که تیمار بدون پرایمینگ دارای کمترین یکنواختی جوانه‌زنی بود که با پرایم نیترات پتاسیم ۱ و ۲ درصد و هم‌چنین پلی اتیلن گلیکول ۳- و ۶- بار تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر انواع پرایم‌ها برای سرعت جوانه‌زنی، سرعت تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی، یکنواختی جوانه‌زنی و مدت زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی در بذر سورگوم

Table 2. Mean comparison of different priming effects on germination rate, Rate to 50% germination, uniformity of germination and time to 50% germination in seeds of sorghum

انواع پرایم Type of priming	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز) Rate germination (seed /day)	سرعت تا ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی (بذر در روز) Rate to 50% germination (seed/day)	یکنواختی جوانه‌زنی (روز) Uniformity of germination (days)	مدت زمان تا ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی (روز) Time to 50% germination (days)
بدون پرایمینگ non priming	4.14^{c}	0.434^{de}	1.985^{a}	5.32^{b}
جیبرلیک اسید ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر Gibberellic acid 400 mg/l	4.69^{b}	0.465^{bc}	1.717^{c}	4.69^{d}
جیبرلیک اسید ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر Gibberellic acid 800 mg/l	4.59^{b}	0.495^{a}	1.724^{c}	4.63^{d}
سالیسیلیک اسید ۰/۳ میلی‌مولار Salicylic acid, 0.3 mM	5.00^{a}	0.492^{ab}	1.812^{bc}	4.15^{e}
سالیسیلیک اسید ۰/۶ میلی‌مولار Salicylic acid, 0.6 mM	5.20^{a}	0.5^{a}	1.752c	4.01^{e}
نیترات پتاسیم ۱ درصد Potassium nitrate 1%	4.56^{b}	0.457^{cd}	1.962^{ab}	4.80^{cd}
نیترات پتاسیم ۲ درصد Potassium nitrate 2%	4.45^{b}	0.450^{cd}	1.924^{ab}	4.99^{c}
پلی اتیلن گلایکول ۳- بار Polyethylene glycol -3 bar	4.93^{cd}	0.419^{e}	1.955^{ab}	5.72^{a}
پلی اتیلن گلایکول ۶- بار Polyethylene glycol -6 bar	3.70^{d}	0.411^{e}	1.949^{ab}	5.96^{a}

در هر ستون وجود حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

There is at least one common letter in each column represent no significant differences in the level of five percent is based on the LSD test.

پرایمینگ با مواد مختلف موجب افزایش یکنواختی جوانه‌زنی در ذرت شیرین شد، اما اثر پرایمینگ با نیترات پتاسیم منفی بود و تمام صفات را نسبت به شاهد کاهش داد (Mohseney *et al.*, 2010). جوانه‌زنی بذور ارزن پرایم شده و پرایم نشده در غلظت‌های مختلف محلول اسمزی پلی اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ بررسی شد. در همه سطوح PEG، بذور پرایم شده بالاترین درصد جوانه‌زنی وافزایش در سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی را در بذور پرایم شده نسبت به بذرهای پرایم نشده نشان دادندکه علت آن تغییرات در رشد محور جنینی و نمو بعدی جوانه‌های بذور پرایم شده اعلام شد. پرایمینگ بذر در محلول اسمزی موجب افزایش مقدار آب جذب شده توسط بذر می‌شود و در نهایت سرعت جوانه‌زنی بذر و رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه را افزایش می‌دهد (Michel, 1983).

مدت زمان تا ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی

مقایسه میانگین اثر غلظت‌های مختلف انواع پرایم‌ها بر این صفت نشان داد، سالیسیلیک اسید ۰/۶ و ۰/۳ میلی‌مولار دارای کمترین مدت زمان تا ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی هستند و تیمار بذرها با پلی اتیلن گلیکول ۶- و ۳- بار دارای بیشترین مدت زمان تا ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی می‌باشند (جدول ۲). Farooq *et al.* (2010) گزارش کردند D50

(یعنی مدت زمانی که طول می‌کشد تا سبز شدن به ۵۰ درصد حداکثر خود برسد) در بذور پرایم شده برنج با $CaCl_2$، KCl و بذور هیدروپرایم شده در مقایسه با بذور پرایم نشده کاهش یافت.

طول ریشه‌چه

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در سطح کلرید کادمیوم ۲۰۰ میکرومولار پلی اتیلن گلیکول ۳- بار بیشترین طول ریشه‌چه را داشت که با نیترات پتاسیم یک درصد و جیبرلیک اسید ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر، سالیسیلیک اسید ۰/۶ میلی‌مولار و تیمار بدون پرایمینگ تفاوت معنی‌دار نداشت. در سطح نیترات کادمیوم ۴۰۰ میکرومولار پلی اتیلن گلایکول ۳- بار بیشترین طول ریشه‌چه را داشت که با پلی اتیلن گلایکول ۶- بار، نیترات پتاسیم یک و دو درصد و تیمار بدون پرایمینگ تفاوت معنی‌دار نداشت.

در سطح نیترات کادمیوم ۶۰۰ میکرومولار پلی اتیلن گلایکول ۳- بار بیشترین طول ریشه‌چه را داشت و پرایم سالیسیلیک اسید ۰/۳ میلی‌مولار کمترین طول ریشه‌چه را داشت. در سطح بدون کادمیوم سالیسیلک اسید ۰/۶ میلی‌مولار بیشترین طول ریشه‌چه را داشت که با سالیسیلیک اسید ۰/۳ میلی‌مولار تفاوت معنی‌دار نداشت و کمترین طول ریشه‌چه مربوط به پلی اتیلن گلایکول ۳- و ۶- بار بود که با تیمار بدون پرایمینگ اختلاف معنی‌دار نداشت (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر انواع پرایمینگ در سطوح مختلف کلرید و نیترات کادمیوم برای طول ریشه‌چه در بذر سورگوم

Table 3. Mean comparison of priming types in various levels of cadmium chloride and nitrate for root length of sorghum seed

انواع پرایم Type of priming	کادمیوم Cadmium			
	بدون کادمیوم no cadmium	کلرید کادمیوم Cadmium chloride (200 mM)	نیترات کادمیوم Cadmium nitrate (400 mM)	نیترات کادمیوم Cadmium nitrate (600mM)
بدون پرایم non priming	1.98^{cd}	1.22^{a}	1.50^{ab}	0.93^{bc}
جیبرلیک اسید ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر Gibberellic acid 400 mg/l	2.20^{c}	1.07^{ab}	1.11^{de}	0.96^{abc}
جیبرلیک اسید ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر Gibberellic acid 800 mg/l	2.16^{c}	1.15^{a}	1.27^{abc}	0.75^{bcd}
سالیسیلیک اسید ۰/۳ میلی‌مولار Salicylic acid, 0.3 mM	2.47^{ab}	0.75^{b}	0.96^{c}	0.47^{bcd}
سالیسیلیک اسید ۰/۶ میلی‌مولار Salicylic acid, 0.6 mM	2.69^{a}	1^{ab}	0.95^{c}	0.60^{d}
نیترات پتاسیم ۱ درصد Potassium nitrate 1%	2.16^{c}	1.24^{a}	1.36^{abc}	0.98^{abc}
نیترات پتاسیم ۲ درصد Potassium nitrate 2%	2.22^{bc}	0.98^{ab}	1.24^{abc}	1.04^{ab}
پلی‌اتیلن گلایکول ۳- بار Polyethylene glycol -3 bar	1.80^{d}	1.28^{a}	1.54^{a}	1.35^{a}
پلی‌اتیلن گلایکول ۶- بار Polyethylene glycol -6 bar	1.80^{d}	0.73^{b}	1.45^{ab}	0.77^{bcd}

در هر ستون وجود حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس رویه Lsmeans می‌باشد.

In each column at least a same letter indicates the lack of statistically significant differences in the level of five percent based on the procedure L.S.Means.

افزایش در طول ریشه‌چه به واسطه پیش تیمار آبی احتمالاً به علت تحریک فعالیت‌های متابولیکی داخل جنین می‌باشد برای مثال در هنگام جذب آب همانندسازی DNA، تحریک فعالیت RNA و در نتیجه پروتئین‌سازی، ترمیم غشای سلولی و افزایش غلظت هورمون‌های محرک جوانه‌زنی از جمله اتیلن صورت گرفته که مجموع این عوامل مقدمات جوانه‌زنی را فراهم می‌آورند و زمانی که بذور پیش تیمار شده تحت شرایط جوانه‌زنی قرار می‌گیرند در مقایسه با شاهد عکس‌العمل مطلوب‌تری را به نمایش می‌گذارند (Chojnowski and Come, 1997).

طول ساقه‌چه

مقایسه میانگین سطوح مختلف کلرید و نیترات کادمیوم بر طول ساقه‌چه نشان داد که بیشترین طول ساقه‌چه مربوط به تیمار بدون کادمیوم و کمترین طول ساقه‌چه مربوط به کلرید کادمیوم ۶۰۰ میکرومولار بود که با کلرید کادمیوم ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرومولار و نیترات کادمیوم ۶۰۰ میکرومولار اختلاف معنی‌دار نداشت (جدول ۴).

مقایسه میانگین اثر پرایمینگ نشان داد پرایم با جیبرلیک اسید ۸۰۰ میلی گرم در لیتر، طول ساقه‌چه را ۳۱ درصد نسبت به تیمار بدون پرایمینگ افزایش داد و هم‌چنین پرایم با پلی‌اتیلن گلیکول ۳- و ۶- بار دارای کمترین بهبود در طول ساقه‌چه بودند که با نیترات پتاسیم ۲٪ و سالیسیلیک اسید ۰/۶ میلی‌مولار اختلاف معنی‌دار نداشت (جدول ۵). Moradi and Rezvani Moghaddam (2011) اسمو پرایمینگ بذرهای رازیانه با پلی اتیلن گلیکول نسبت طول ریشه به ساقه (R/S) افزایش داد. از علل احتمالی اثرات منفی اسمو پرایمینگ روی بذرهای رازیانه می‌توان گفت چون محلول‌های اسمزی از وسکوزیته بالاتری برخوردارند، لذا می‌توانند به عنوان یک مانع برای تبادل گازها عمل کنند. در طی تیمار با پلی اتیلن گلیکول، پوشاندن بذر با لایه این ماده بر تبادل گازها تأثیر می‌گذارد و ممکن است بذر با کمبود اکسیژن مواجه شود.

وزن خشک ریشه‌چه

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد در سطح نیترات کادمیوم ۲۰۰ میکرومولار پرایم با سالیسیلیک اسید ۰/۶ میلی‌مولار وزن خشک ریشه‌چه را ۴۱ درصد نسبت به تیمار بدون پرایمینگ افزایش داد که با نیترات پتاسیم ۱ و ۲ درصد، پلی اتیلن گلایکول ۳- و ۶- بار، سالیسیلیک اسید ۰/۳ میلی‌مولار و جیبرلیک اسید ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی گرم در لیتر اختلاف معنی‌دار نداشت. در سطح نیترات کادمیوم ۴۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید ۰/۳ میلی‌مولار وزن خشک ریشه‌چه را ۴۱ درصد نسبت به تیمار بدون پرایمینگ افزایش داد که با پلی‌اتیلن گلایکول ۳- بار اختلاف معنی‌دار نداشت. هم‌چنین در سطح بدون کادمیوم، نیترات پتاسیم ۱ درصد وزن خشک ریشه‌چه را ۱۹ درصد نسبت به تیمار بدون پرایمینگ افزایش داد که با پرایم سالیسیلیک اسید ۰/۶ میلی‌مولار و نیترات پتاسیم ۲ درصد تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۶). به‌طورکلی کادمیوم باعث کاهش وزن خشک ریشه‌چه نسبت به تیمار بدون کادمیوم شده است. Pour Mohammad *et al.* (2014) گزارش دادند کاربرد کلرید کادمیوم با غلظت ۲۰۰ میکرومولار باعث کاهش وزن خشک ریشه‌چه گیاهچه‌های گندم نسبت به تیمار صفر میکرومولار کلرید کادمیوم شد.

وزن خشک ساقه‌چه

مقایسه میانگین اثر غلظت‌های مختلف انواع پرایم بر این صفت نشان داد، پرایمینگ با جیبرلیک اسید ۸۰۰ میلی گرم در لیتر دارای بیشترین وزن خشک ساقه‌چه بود و تیمار پلی‌اتیلن گلیکول ۶- بار دارای کمترین وزن خشک ساقه‌چه بود که با پلی اتیلن گلیکول ۳- بار اختلاف معنی‌دار نداشت (جدول ۵).

شاخص طولی بنیه

مقایسه میانگین اثر غلظت‌های مختلف کلرید و نیترات کادمیوم نشان داد که کلرید کادمیوم ۶۰۰ میکرومولار شاخص طولی بنیه را ۶۴ درصد نسبت به تیمار بدون کادمیوم (دارای بیشترین شاخص طولی بنیه) کاهش داد که با کلرید کادمیوم ۴۰۰ میکرومولار و نیترات کادمیوم ۶۰۰ میکرومولار اختلاف معنی‌دار نداشت (جدول ۳). پرایم با جیبرلیک اسید ۸۰۰ میلی گرم در لیتر شاخص طولی بنیه را ۸/۵۴ درصد نسبت به تیمار بدون پرایمینگ افزایش داد که با جیبرلیک اسید ۴۰۰ میلی گرم در لیتر

اختلاف معنی‌دار نداشت. در حالی که پرایم با پلی‌اتیلن گلایکول ۶- بار ۱۳ درصد نسبت به تیمار بدون پرایمینگ باعث کاهش شاخص طولی بنیه شد که با تیمار پلی اتیلن گلایکول ۳- بار اختلاف معنی‌دار نداشت (جدول ۵).

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر غلظت‌های مختلف کلرید و نیترات کادمیوم بر طول ساقه‌چه و شاخص طولی و وزنی بنیه در بذر سورگوم

Table 4. Mean comparison of different concentrations of cadmium chloride and nitrate on shoot length and length and weight vigor index of the sorghum seed

نوع کادمیوم Type cadmium	غلظت کادمیوم (میکرومولار) Cadmium concentration (mM)	طول ساقه‌چه (سانتی‌متر) Shoot lengh (cm)	شاخص طولی بنیه Length vigor index	شاخص وزنی بنیه Weight Vigor index
بدون کادمیوم No cadmium	0	3.90^{a}	2.87^{a}	4.84^{a}
کلرید کادمیوم Cadmium chloride	200	3.14^{bcd}	2^{d}	4.02^{cd}
	400	2.97^{cd}	1.84^{e}	3.92^{d}
	600	2.94^{d}	1.75^{e}	3.88^{d}
نیترات کادمیوم Cadmium nitrate	200	3.41^{b}	2.33^{b}	4.35^{b}
	400	3.27^{bc}	2.16^{c}	4.25^{bc}
	600	3.01^{cd}	1.85^{e}	3.96^{d}

در هر ستون وجود حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

There is at least one common letter in each column represents the lack of a statistically significant difference (LSD) test based on the level of five percent.

جدول ٥- مقایسه میانگین اثر انواع پرایم‌ها بر طول و وزن خشک ساقه‌چه و شاخص طولی بنیه و وزنی در بذر سورگوم

Table 5. Mean comparison of different types of priming on the shoot length and dry weight and vigor index of sorghum seeds

پرایمینگ Priming	طول ساقه‌چه (سانتی‌متر) Shoot lengh (cm)	وزن خشک ساقه‌چه (میلی‌گرم) Shoot dry weight (mg)	شاخص طولی بنیه Length vigor index	شاخص وزنی بنیه weight Vigor index
بدون پرایمینگ Non priming	3.07^{cd}	15.64^{bc}	2.14^{bcd}	4.28^{b}
جیبرلیک اسید ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر Gibberellic acid 400 mg/l	4.04^{b}	17.46^{b}	2.28^{ab}	4.29^{b}
جیبرلیک اسید ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر Gibberellic acid 800 mg/l	4.46^{a}	22.46^{a}	2.34^{a}	4.74^{a}
سالیسیلیک اسید ۰/۳ میلی‌مولار Salicylic acid, 0.3 mM	3.07^{cd}	16.03^{bc}	2.05^{cd}	4.11^{bc}
سالیسیلیک اسید ۰/۶ میلی‌مولار Salicylic acid, 0.6 mM	2.92^{de}	15.57^{bc}	2.07^{cd}	4.13^{bc}
نیترات پتاسیم ۱ درصد Potassium nitrate 1%	3.35^{c}	16.17^{bc}	2.17^{bc}	4.26^{bc}
نیترات پتاسیم ۲ درصد Potassium nitrate 2%	2.85^{de}	16.46^{b}	2.09^{cd}	4.24^{bc}
پلی اتیلن گلایکول ۳- بار Polyethylene glycol -3 bar	2.67^{e}	14.10^{cd}	2.01^{de}	3.95^{c}
پلی اتیلن گلایکول ۶- بار Polyethylene glycol -6 bar	2.68^{e}	12.46^{d}	1.88^{e}	3.58^{d}

در هر ستون وجود حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

There is at least one common letter in each column represents the lack of a statistically significant difference (LSD) test based on the level of five percent.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر پرایمینگ‌های مختلف در سطوح نیترات کادمیوم برای وزن خشک ریشه‌چه در بذر سورگوم

Table 6. Mean comparisons of different priming levels in each cadmium nitrates level for root dry weight in seeds of sorghum

کادمیوم Cadmium			انواع پرایم Type of priming
کلرید کادمیوم Cadmium nitrate (400 mM)	نیترات کادمیوم Cadmium nitrate (200 mM)	بدون کادمیوم no cadmium	
1.50^{bcd}	1.18^{b}	2.66^{cd}	بدون پرایم Non priming
1.39^{cd}	1.28^{ab}	2.67^{cd}	جیبرلیک اسید ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر Gibberellic acid 400 mg/l
1.78^{bc}	1.59^{ab}	2.78^{bcd}	جیبرلیک اسید ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر Gibberellic acid 800 mg/l
2.57^{a}	1.92^{ab}	2.73^{cd}	سالیسیلیک اسید ۰/۳ میلی‌مولار Salicylic acid, 0.3 mM
1^{d}	2.02^{a}	3.18^{ab}	سالیسیلیک اسید ۰/۶ میلی‌مولار Salicylic acid, 0.6 mM
1.43^{cd}	1.99^{a}	3.29^{a}	نیترات پتاسیم ۱ درصد Potassium nitrate 1%
1.49^{bcd}	1.94^{a}	2.90^{abc}	نیترات پتاسیم ۲ درصد Potassium nitrate 2%
2.09^{ab}	1.80^{ab}	2.39^{de}	پلی اتیلن گلایکول ۳- بار Polyethylene glycol -3 bar
1.51^{bcd}	1.72^{ab}	2.17^{e}	پلی اتیلن گلایکول ۶- بار Polyethylene glycol -6 bar

در هر ستون وجود حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس رویه Lsmeans می‌باشد.

In each column at least a same letter indicates the lack of statistically significant differences in the level of five percent based on the procedure L.S.Means.

Mousavi and Nabavi Kalat (2012) در مطالعه بر روی گیاه همیشه بهار نشان دادند بیشترین بنیه بذر در تیمار بدون نیترات کادمیوم و کمترین بنیه بذر در تیمار ۴۰۰ و ۶۰۰ ppm نیترات کادمیوم می‌باشد. Jan Mohammadi *et al.* (2011) اظهار کردند شاخص بنیه گیاهچه‌های رشد یافته در تنش کادمیوم (۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بدون توجه به سطوح آن همگی در یک گروه قرار داشتند و به طور معنی‌داری در مقایسه با تیمار بدون کادمیوم از مقدار پایین‌تر برخوردار بودند.

شاخص وزنی بنیه

مقایسه میانگین اثر غلظت‌های مختلف کلرید و نیترات کادمیوم نشان داد که شاخص وزنی بنیه در کلرید کادمیوم ۶۰۰ میکرومولار کمتر از تیمار بدون کادمیوم بود که با کلرید کادمیوم ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرومولار و نیترات کادمیوم ۶۰۰ میکرومولار اختلاف معنی‌دار نداشت. این در حالی است که این صفت در تیمار بدون کادمیوم بیشتر بود (جدول ۴). پرایم با جیبرلیک اسید ۸۰۰ میلی گرم در لیتر ۱۰ درصد نسبت به تیمار بدون پرایمینگ شاخص وزنی بنیه را افزایش داد و در پرایم با پلی اتیلن گلیکول ۶- بار ۱۹ درصد نسبت به تیمار بدون پرایمینگ شاخص وزنی بنیه را کاهش داد (جدول ۵). Asadi Aghbolaghi *et al.* (2015) گزارش کردند با افزایش غلظت کادمیوم شاخص وزنی بنیه کاهش می‌یابد به‌طوری‌که بیشترین در عدم استعمال کادمیوم و

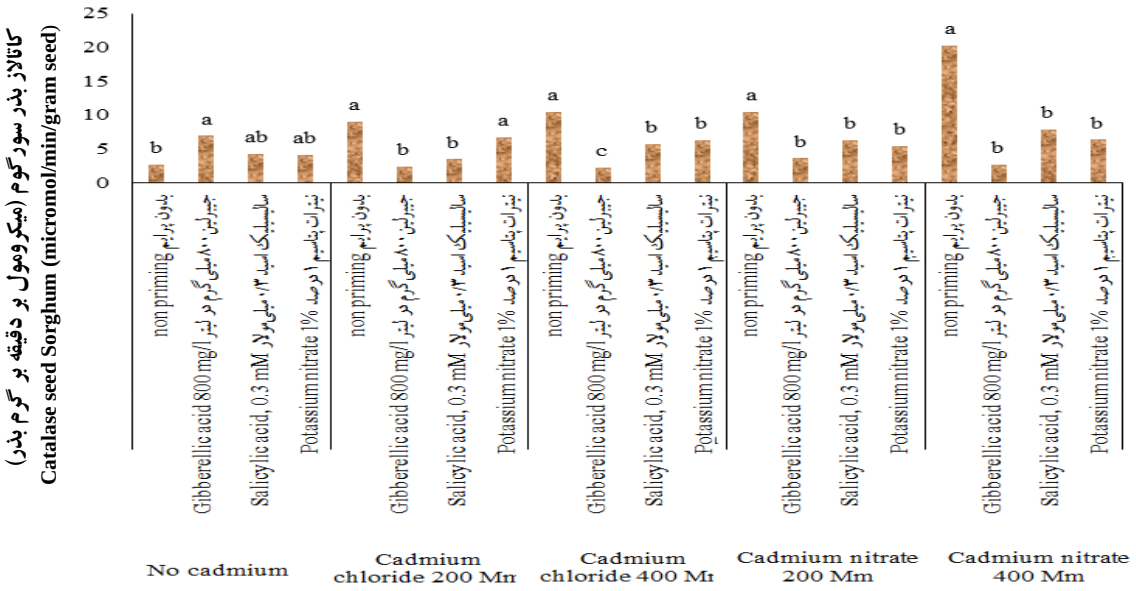
کمترین مقدار در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم مشاهده شد. آلودگی با فلزات سنگین سبب اختلال در فرآیندهای متابولیکی مثل فتوسنتز، ساخت DNA، تقسیم سلولی و فرآیندهای میتوزی می‌شود. فلزات سنگین میزان هورمون‌های گیاهی را تغییر می‌دهد. پرایمینگ با بازسازی سلول‌های آسیب‌دیده و کاهش موانع رشد جنین و افزایش کمی و کیفی سنتز پروتئین‌ها موجب افزایش قدرت نمو و تحمل به تنش‌های محیطی می‌شود (Ghassemi-Golezani *et al.*, 2008؛ Khan, 1992؛ McDonald, 2000).

بررسی فعالیت بیوشیمیایی آنزیم کاتالاز در بذر سورگوم تحت تنش کادمیوم

بر اساس مقایسه میانگین در سطح کلرید کادمیوم ۲۰۰ میکرومولار، میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار تیمار بدون پرایمینگ بیشتر بود که با نیترات پتاسیم یک درصد اختلاف معنی‌دار نداشت اما پرایم جیبرلیک اسید ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر و سالیسیلیک اسید ۰/۳ میلی‌مولار میزان فعالیت آنزیم کاتالاز را نسبت به تیمار بدون پرایمینگ کاهش دادند. در سطح کلرید کادمیوم ۴۰۰ میکرومولار، میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار بدون پرایمینگ بیشتر بود و پرایم‌ها میزان فعالیت آنزیم کاتالاز را کاهش دادند. در سطح نیترات کادمیوم ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرومولار، میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار بدون پرایم بیشتر بود و بقیه پرایم‌ها میزان فعالیت آنزیم کاتالاز را کاهش دادند و هم‌چنین در سطح بدون کادمیوم، پرایم با جیبرلیک اسید ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز را ۶۱ درصد افزایش داد که با سالیسیلیک اسید ۰/۳ میلی‌مولار و نیترات پتاسیم ۱ درصد اختلاف معنی‌دار نداشت (شکل ۱). لذا با توجه به نتایج بالا می‌توان نتیجه گرفت که در کل تیمار کادمیوم موجب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز و تیمار پرایمینگ موجب کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز می‌شود. Asadi Aghbolaghi *et al.* (2015) گزارش کردند کادمیوم موجب افزایش فعالیت کاتالاز و کاربرد جیبرلین موجب کاهش میزان فعالیت آن شد. نتایج آن‌ها نشان داد که غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم بیشترین فعالیت این آنزیم (۲۰/۳۳) و عدم کاربرد کادمیوم کمترین فعالیت (۱۸/۷۲ بر میلی‌گرم پروتئین) آن را موجب شد. هم‌چنین تیمارهای عدم کاربرد جیبرلین موجب بروز بیشترین (۲۰/۶۵) و غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلین موجب بروز کمترین میزان فعالیت این آنزیم (۱۸/۳۴ بر میلی‌گرم پروتئین) شدند. کادمیوم ضمن واکنش با گروه سولفیدریل موجود در ساختار آنزیم‌ها و پروتئین‌ها، بر روابط آبی گیاه و تبادلات گازی روزنه اثر منفی داشته و با تحت تأثیر قرار دادن فرآیندهای تنفس و فتوسنتز، افزایش تولید اکسیژن فعال (رادیکال سوپراکسید، پراکسید هیدروژن و رادیکال هیدروکسیل) را در سلول‌های گیاهی سبب می‌گردد. انواع اکسیژن فعال به دلیل میل الکترون خواهی بالا، به بیومولکول‌های اساسی سلول مانند لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک صدمه وارد می‌کنند (Pour Mohammad *et al.*, 2014).

آنزیم آلفا آمیلاز در بذر سورگوم

مقایسه میانگین اثر غلظت‌های مختلف انواع پرایمینگ بر آنزیم هیدرولیزکننده آلفا آمیلاز نشان داد که فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز در پرایم با سالیسیلیک اسید ۰/۳ میلی‌مولار بیشتر بود که با جیبرلیک اسید ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر و تیمار بدون پرایمینگ تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۷). Jamil and Rha (2007) بیان نمودند که مصرف تنظیم‌کننده رشد جیبرلیک اسید باعث افزایش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز در هنگام جوانه‌زنی جهت تجزیه نشاسته گردیده و این مسأله موجب تقویت بنیه بذر می‌شود که نتیجه آن، درصد سبزشدن یکنواخت‌تر خواهد بود. هم‌چنین آن‌ها گزارش کردند که پرایم‌ها با جیبرلیک اسید عملکرد چغندرقند را از طریق کاهش مدت زمان سبز شدن و افزایش یکنواختی سبز شدن مزرعه، افزایش می‌دهد. Noorbakhshian *et al.* (2011) گزارش دادند فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز در گیاه اسپرس در بذوری که به مدت ۲۴ ساعت هیدروپرایم شدند نسبت به بذور بدون پرایم بیشتر بود.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر انواع پرایمینگ در هر سطح از کلرید و نیترات کادمیوم برای میزان فعالیت آنزیم کاتالاز بذر سورگوم (در هر سطح از کادمیوم وجود حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس رویه L.S.Means می‌باشد)

Figure 1. Mean comparison of priming effect in each level of cadmium hloride and nitrate for the catalase activity in sorghum seed (At each level of cadmium at least a same letter showing no statistically significant difference in the level of five percent based on Lsmeans procedure)

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر انواع پرایمینگ بر آنزیم هیدرولیز کننده آلفا آمیلاز بذر سورگوم

Table 7. Mean comparison of priming effect on alpha-amylase hydrolysis enzyme in sorghum seed

پرایمینگ Priming	فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز (میلی‌گرم مالتوز بر گرم بذر) Alpha-amylase enzyme activity (maltose mg per gram of seed)
بدون پرایم Non priming	0.0063[ab]
جیبرلیک اسید ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر Gibberellic acid (800 mg/l)	0.0066[ab]
سالیسیلیک اسید ۰/۳ میلی‌مولار Salicylic Acid (0.3 Mm)	0.0078[a]
نیترات پتاسیم ۱ درصد Potassium nitrate (1%)	0.005[b]

وجود حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

At least a same letter showed no statistically significant difference in the level of five percent is based on the LSD test.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که اعمال غلظت‌های مختلف کادمیوم بر درصد جوانه‌زنی و شاخص بنیه طولی و وزنی معنی‌دار بود که سبب کاهش این صفات شدند. به‌طوری‌که کلرید کادمیوم ۴۰۰ و ۶۰۰ میکرومولار و نیترات کادمیوم ۶۰۰ میکرومولار درصد جوانه‌زنی و شاخص بنیه طولی و وزنی را کاهش داد. هم‌چنین اعمال سطوح مختلف پرایم‌ها بر سرعت جوانه‌زنی و بنیه طولی و وزنی معنی‌دار بود. پرایم با سالیسیلیک اسید ۰/۳ و ۰/۶ میلی‌مولار سرعت جوانه‌زنی را افزایش داد و هم‌چنین پرایم با جیبرلیک اسید ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر شاخص بنیه را افزایش داد. بنابراین استفاده از پرایم‌های جیبرلیک اسید و سالیسیلیک اسید در کاهش اثرات منفی کادمیوم مؤثر بودند. با افزایش غلظت کادمیوم میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در بذر سورگوم افزایش یافت

در حالی‌که کاربرد پرایم‌های مختلف آن را کاهش داد. هم‌چنین استفاده از اسید سالیسیلیک ۰/۳ میلی‌مولار و اسید جیبرلیک ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز را افزایش داد.

References

Abdulbaki, A. A. and J. D. Anderson. (1975). Vigour determination in soybean seed by multiple criteria. Crop Science, 13(6), 630-633.

Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. Methods in Enzymology, 105, 121-126.

Ahmad, I., Muhammad Javed, A., AhmadZahir, Z. and Jamil, A. (2012). Effect of cadmium on seed germination and seedling growth of four wheat (*Triticum aestivum*) cultivars. Pakistan Journal of Botany, 44(5), 1569-1574.

Asadi Aghbolaghi, M., Shakeri Chaleshtary, Z. and Abbasi Surki, A. (2015). Gibberellin effect on the activity of antioxidant enzymes under Cd stress on seed paper pumpkin seeds. Presented at the International Conference on Sustainable Development, Strategies and Challenges with a Focus on Agriculture, Natural Resources, Environment and Tourism, Tabriz. [In Farsi]

Bailly, C., Benamar, A. Corbineau, F. and Come, D. (2000). Antioxidant systems in sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds as affected by priming. Seed Science Research, 10(1), 35-42.

Basra, A., Dhillon, R. and Malik, C. (1989). Influence of seed pretreatment with plant growth regulators on metabolic alternations of germinating maize embryos under stressing temperature regimes. Annual Review of Botany, 64, 76-79.

Bhardwaj, P., Chaturvedi, A. K. and Prasad, P. (2009). Effect of Enhanced Lead and Cadmium in soil on Physiological and Biochemical attributes of *Phaseolus vulgaris* L. Nature and Science, 7(8), 63-66.

Chojnowski, F. C. and Come, D. (1997). Physiology and biochemical changes induced in sunflower seeds by osmopriming and drying, storage and aging. Seed Science Research, 7(4), 323-331.

Dehghanpour, H., Tavakol Afshari, R. and Sharif zadeh, F. (2013). The role of seed dormancy breaking treatments on germination and alpha-amylase and beta 1, 3-glucanase activity in different ecotypes of origanum vulgare. Iranian Journal of Field crop Science, 43(4), 611-619. [In Farsi]

Farooq, M., Wahid, A. Ahmad, N. and Asad, S. A. (2010). Camparative efficacy of surface drying and re-drying seed priming in rice: changes in emergence, seedling growth and associated metabolic events. Paddy Water Environ, 8(1), 15-22.

Ghassemi Golezani, K., Sheikhzadeh Mosaddeg, P. and Valizadeh, M. (2008). Effect of hydropriming duration and limited irrigation on field performance of Chickpea. Research Journal of Seed Science, 1(1), 34-40.

Ghassemi-Golezani, K., Aliloo, A. A. Valizadeh, M. and Moghaddam, M. (2008). Effects of different priming techniques on seed invigoration and seedling establishment of lentil (*Lens culinaris* Medik). Journal of Food Agriculture and Environment, 6(2), 222-226.

Harinder, P. S., Siddhuraju, P. and Becker, K. (2007). Plant Secondary Metabolites. New York: Humana Press.

Jamil, M. and E.S. Rha. (2007). Gibberllic acid (GA3) enhances seed water uptake, germination and early seedling growth in sugar beet under salt stress. Pakistan Journal of Biological Sciences 10(4), 654-658.

Jan Mohammadi, M., Sbbaghnia, N. and Saberian, V. (2011). The effect of treatments before planting on defuses tension of cadmium in the seeds germination of Gunera

(*Gundelia tournefortii* L.). Presented at the First National Conference on Economic Jihad in the Field of Agriculture and Natural Resources, Qom. [In Farsi]

Jing, Y. D., He, Z. L. and Yang, X. E. (2007). Role of soil rhizobacteria in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. Journal of Zhejiag University Science Biological, 8(3), 192-207.

Khan, A. A. (1992). Preplant physiological seed conditioning. Horticultural Reviews, 13, 131-181.

Maguire, J. D. (1962). Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. Crop Science, 2, 176-177.

McDonald, M. B. (2000). Seed priming. In M. Black, and J. D. Bewley (Eds), Seed Technology and Its Biological Basis (pp. 287-325). Sheffield, UK: Sheffield Academic Press.

Michel, B. E. (1983). Evaluation of the water potentials of solutions of polyethylene glycol 8000 both in the absence and presence of other solutes. Plant Physiology, 72(1), 66-70.

Mohseney, A., Rezaei Sokht Abandani, R., Ramezani, M. and Mobassar, H. R. (2010). The effect of osmopriming on germinating of corn seed characterization (variety 704 and 640 K.SC). Crop Physiology, 2(2), 25-44. [In Farsi]

Moradi, R., and Rezvani Moghaddam, P. (2011). The effects of seed pre-priming with salicylic acid under salinity stress on germination and growth characteristics of *Foeniculum vulgare* Mill (Fennel). Iranian Journal of Field Crops Research, 8(3), 489-500. [In Farsi]

Mousavi, S. J. and Nabavi Kalat, M. (2012). Effects of cadmium nitrate and mercury chloride on germination indices marigold (*Calendula officinalis* L.). Presented at the National Conference on Environment and Plant Production, Semnan. [In Farsi]

Noorbakhshian, S. J., Nabipour, M., Meskarbashee, M. and Amooaghaie, R. (2011). Effect of osmo and hydropriming on germination and α-amylase activity in sainfoin seed. Presented at the Second National Congress of Plant Physiology, Yazd. [In Farsi]

Pour Mohammad, A., Rostami, N., Noorain, M. and Esfandiari, A. (2014). Evaluation of wheat seedlings physiological changes in response to cadmium chloride. Presented at the First Conference on new Findings in Environmental and Agricultural Ecosystems, Tehran. [In Farsi]

Rahoui, S., Chaoui, A. and Ferjani, E. (2010). Membrane damage and solute leakage from germinating pea seed under cadmium stress. Journal of Hazardous Materials, 178(1-3), 1128-1131.

Ramezani, M. and Rezaei Sokht Abandani, R. (2013). The effect of osmopriming on the germination components of Lentil seed in arid areas. Plant and Ecosystem, 9(36), 31-42. [In Farsi]

Sadiq, M., Hassan, G., Khan, A. G., Hassan, N., Jamil, M., Goundal, M. R. and Sarfaraz, M. (2003). Performance of cotton varieties in saline sodic soil amended with sulphuric acid and gypsum. Pakistan Journal Agric Science, 40(3-4), 99-105.

Shariati, M., Asemaneh, T. and Modares Hashemi, S. M. (2003). Effect of dormancy breaking treatments on *Achillea millefolium*. Pajouhesh-va-Sazandegi: In Agronomy and Horticulture, 15(3-4), 2-8. [In Farsi]

Soltani, A. and Maddah, V. (2010). Simple, applied programs for education and research in agronomy. Tehran: Niak Press. [In Farsi]

Verma, S. K., Bjpai, G. C., Tewari, S. K. and Singh, J. (2005). Seedling index and yield as influenced by seed size in pigeon pea. Legume Research, 28(2), 143-145.

Effect of Different Priming on Seed Germination Indices and Enzyme of Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) SOR834 Genotype under Cadmium Chloride and Nitrate Toxicity

A. Rezai[1], H. Balouchi[2]*, M. Movahhedi Dehnavi[3] and I. Adhami[4]

1- M.Sc. Student of Seed Science and Technology, Faculty of Agriculture, Yasouj University Yasouj, Iran
2- ***Corresponding Author:** Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran (balouchi@yu.ac.ir)
3- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran
4- Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran

Received: 2 February, 2016 Accepted: 15 February, 2017

Abstract

Background and Objectives

The impact of toxicity of heavy metals such as cadmium in living organisms is a major global concern. Plant kingdom also is not exempted from the adverse effects to exposure of heavy metals. This study was conducted in order to investigate the effect of different priming on seed germination indices of sorghum under Cadmium chloride and nitrate stress condition in laboratory.

Materials and Methods

The germination experiment was carried out as factorial based on a completely randomized design with four replications. The first factor was heavy metal treatments including 7 levels of cadmium chloride and nitrate, each in four levels (0, 200, 400 and 600 mM) and the second factor included 9 levels: gibberellic acid priming at concentrations of 400 and 800 mg/l, salicylic acid in two levels 0.3 and 0.6 mM, potassium nitrate with concentrations of 1 and 2% and concentrations of -3 and -6 bar of PEG and non-priming.

Results

The results of the germination experiment showed that the highest and lowest seed germination rates and percentage were obtained in 200 mM of cadmium nitrate and 600 mM of cadmium nitrate and chloride treatment, respectively, while 0.3 and 0.6 mM of salicylic acid application increased the germination rate. The highest and lowest length and weight vigor index were observed in 0 mM cadmium and 600 mM of cadmium chloride respectively, that 800 mg/l of gibberellic acid application leads to increasing the vigor index. Catalase activity in seed sorghum was increased by increasing of cadmium concentrations but decreased by using different priming.

Discussion

In relation to the slow germination under stress cadmium cell membrane, probably one of the important points is that the severely damaged cells leak out and vigor will be reduced. Priming with the reconstruction of damaged cells, reduces barriers to the growth of the fetus, increases the quality and quantity of protein synthesis, and increases tolerance to environmental stresses. Cadmium also reacts to sulfhydryl groups in the structure of enzymes and proteins. Plant water relations and gas exchange pores have a negative effect on processes of respiration and photosynthesis and increase production of reactive oxygen species in plant cells causes. Active oxygen species due to the desire for high electron affinity, and the basic biomolecules such as lipids, cells, proteins and nucleic acids can cause damage.

Keywords: ***Germination, Gibberellic acid, Heavy metals, Salicylic acid, Sorghum***