

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 به صورت 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 هر کدام در چهار سطح (صفر، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ میکرومولار) و فاکتور دوم شامل ۹ سطح انواع پرایمینگ اسید جیبرلیک با غلظت‌های ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی گرم 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 گلابکول 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 به ترتیب در نیترات کادمیوم ۲۰۰ میکرومولار و کلرید و نیترات کادمیوم ۶۰۰ میکرومولار به دست آمد. هم‌چنین کاربرد اسید سالیسیلیک ۰/۳ و ۰/۶ میلی مولار سرعت جوانه‌زنی را افزایش داد. بیشترین و کمترین شاخص بنیه گیاهچه به ترتیب در تیمار بدون کادمیوم و تیمار کلرید کادمیوم ۶۰۰ میکرومولار مشاهده شد که کاربرد جیبرلیک اسید ۸۰۰ میلی گرم در لیتر باعث افزایش شاخص بنیه شد. با افزایش غلظت کادمیوم میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در بذر سورگوم افزایش یافت در حالی که کاربرد پرایم‌های مختلف آن را کاهش داد.

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

مقدمه

هنگامی که 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 میلی گرم بر لیتر در مقایسه با غلظت صفر میلی گرم 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

خاک و بذور تولیدی از نظر تعیین مدیریت فعلی و آبی سلامت جامعه و محیط زیست 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 پیش رو می باشد. این مطالعه به منظور بررسی تأثیر انواع پرایمینگ بر شاخص های جوانه زنی بذر سورگوم تحت تنش کلرید و نترات کادمیوم اجرا گردید.

مواد و روش ها

این پژوهش به منظور بررسی اثر غلظت های مختلف کلرید و نترات کادمیوم بر جوانه زنی 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 نترات کادمیوم هر کدام در سه سطح (۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ میکرومولار) و یک تیمار بدون فلز سنگین می باشد. فاکتور دوم در ۹ سطح انواع پرایمینگ شامل جیرلیک اسید با غلظت های ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی گرم در لیتر (به مدت ۱۵ ساعت و در دمای ۱۵ درجه سلیسیوس)، سالیسیلیک اسید در دو سطح ۰/۳ و ۰/۶ میلی مولار (به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلیسیوس)، نترات پتاسیم با غلظت های ۱ و ۲ درصد (به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۲۰ درجه سلیسیوس) و پلی اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ با غلظت های 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 بذرها را سالم سورگوم با محلول قارچ کش کاربوکسین تیرام دو در هزار به مدت یک دقیقه ضد عفونی 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 پتری دیس های به قطر ۹ سانتی متر روی کاغذ صافی واتمن کشت و در هر پتری

گرم بر کیلوگرم، جوانه زنی به طور کامل باز داشته شد. غلظت های بالای کادمیوم موجب ایجاد سمیت در گیاه و به موجب آن ایجاد تنش های اکسیداتیو می شود. تنش های اکسیداتیو با تولید رادیکال های آزاد اکسیژن از جمله رادیکال های سوپراکسید (O_2^-)، پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و رادیکال های هیدروکسیل (OH) به سلول های گیاهی آسیب وارد می کنند. کاتالاز آنزیم مهمی در برابر تنش اکسیداتیو است این آنزیم می تواند پراکسید هیدروژن را که محصول عمده تولید شده به وسیله سوپراکسید دیسموتاز است پاک سازی کند (Asadi Aghbolaghi et al., 2015).

عقیده بر این است تولید آلفا آمیلاز در لایه آلورون که به شدت توسط سنتز جیرلین در جنین کنترل می شود. برای جوانه زنی بذر غلات ضروری است. در ابتدا، بیوستتر جیرلین فعال در جنین آغاز می شود. جیرلین ها از جنین به لایه آلورون منتقل می شوند و آنزیم آلفا آمیلاز را بیان می کنند. سپس آلفا آمیلاز از لایه آلورون به آندوسپرم ترشح می شود تا فرآیند تجزیه مولکول های نشاسته ذخیره شده در آندوسپرم را سرعت ببخشد و انرژی لازم برای رشد ریشه چه و ساقه چه را فراهم کند. در مقابل، آبسزیک اسید از تولید آلفا آمیلاز جلوگیری کرده و جوانه زنی را متوقف می کند (Dehghanpour et al., 2013).

پرایمینگ بذر یکی از ساده ترین روش هایی است که بنیه و استقرار جوانه ها و سپس کارایی گیاه را در مزرعه افزایش می دهد. پرایمینگ اجازه رونویسی اولیه DNA و سنتز RNA و پروتئین را می دهد که قسمت های تخریب شده بذور را ترمیم کرده و تراوش های متابولیکی را کاهش می دهد، که این عوامل می توانند خصوصیات جوانه زنی 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 اجتناب ناپذیر می باشد، لذا بررسی وضعیت کادمیوم در

Ni: تعداد بذرهاى جوانه زده در هر روز، Ti: تعداد روزها از زمان شروع آزمایش (Verma et al., 2005).
شاخص طولی و وزنی بینه گیاهچه: (Abdulbaki and Anderson, 1975)

طول گیاهچه $\times (100/100)$ درصد جوانه زنی = شاخص طولی بینه
وزن خشک گیاهچه $\times (100/100)$ درصد جوانه زنی = شاخص وزنی بینه
آنزیم آنتی اکسیدانت کاتالاز و آنزیم هیدرولیز کننده نشاسته آلفا آمیلاز بعد از آبنوشی بذر و قبل از خروج ریشه چه که طی آزمایش زمان آن محاسبه گردید (زمان آبنوشی برای اندازه گیری آنزیم کاتالاز ۳۶ ساعت و برای آنزیم آلفا آمیلاز ۲۴ ساعت به دست آمد)، اندازه گیری شد (Aebi, 1984; Harinder et al., 2007). اندازه گیری آنزیم ها در بهترین پرایم ها بر اساس برآورد بیشترین درصد و بینه بذر از مرحله جوانه زنی آزمایش (چهار سطح) در هر سطح از کلرید و نترات کادمیوم صورت گرفت.

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز در بذر سورگوم

۰/۱ گرم بذر در ۱/۵ میلی لیتر بافر استخراج شامل فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی مولار با اسیدیته ۷/۸، EDTA ۰/۱ میلی مولار و PVP (پلی وینیل پیرولیدون) ۰/۱ میلی مولار بر روی یخ همگن گردید. همگن های حاصل در ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی گراد به مدت ۳۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. از بخش شناور رویی برای سنجش فعالیت آنزیم ها استفاده گردید. جهت اندازه گیری آنزیم کاتالاز به ۲/۸ میلی لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی مولار، ۱۰۰ میکرو لیتر عصاره آنزیمی و ۱۰۰ میکرو لیتر آب اکسیژنه ۳۰ میلی مولار اضافه گردید و میزان کاهش جذب در مدت ۶۰ ثانیه در طول موج ۲۴۰ نانومتر توسط اسپکترو فوتمتر (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 می گردد. ضریب خاموشی برای کاتالاز ۰/۰۳۹۴ بر میلی مول بر سانتی متر می باشد. مقدار فعالیت آنزیم به صورت

حدود ۵ میلی لیتر از تیمارهای مختلف کادمیوم اعمال شد. برای تیمار بدون کادمیوم از آب مقطر استفاده گردید. پتری دیش ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۵ درجه سانتی گراد 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 جوانه زده (معیار جوانه زنی، خروج ریشه چه به طول ۲ میلی متر می باشد) در هر واحد آزمایشی شمارش گردید. پس از ۱۰ روز، سرعت جوانه زنی، درصد جوانه زنی، طول ساقه چه، طول ریشه چه و شاخص بینه بذر اندازه گیری شد. وزن خشک ساقه چه و ریشه چه پس از خشک شدن در آون با دمای ۷۵ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت با ترازوی حساس با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم اندازه گیری شد.

برای محاسبه درصد و سرعت تا ۵۰ درصد حداکثر جوانه زنی، یکنواختی جوانه زنی و زمان تا ۵۰ درصد حداکثر جوانه زنی بذور از برنامه جرمین^۱ استفاده شد (Soltani and Maddah, 2010). در این برنامه D50 (مدت زمانی که طول می کشد تا جوانه زنی به ۵۰ درصد حداکثر خود برسد) و D90 (مدت زمانی که طول می کشد تا جوانه زنی به ۹۰ درصد حداکثر خود برسد) و Gu (یکنواختی جوانه زنی که حاصل تفاضل زمان تا ۹۰ درصد جوانه زنی و زمان تا ۱۰ درصد جوانه زنی است) را محاسبه می کند. این برنامه پارامترهای یاد شده را برای هر تکرار و هر تیمار بذری از طریق درون یابی^۲ منحنی افزایش جوانه زنی در مقابل زمان محاسبه می کند. درصد جوانه زنی با استفاده از رابطه $PG = (n/N) \times 100$ و سرعت تا ۵۰ درصد حداکثر جوانه زنی نیز از طریق فرمول $R50 = 1/D50$ محاسبه گردید. در این رابطه N: تعداد کل بذور کشت شده و n: تعداد بذرهاى جوانه زده می باشد (Maguire, 1962).

$$GR = \sum \left(\frac{Ni}{Ti} \right)$$

- 1- Germin
2- Interpolation

۱۴۰۰ میکرولیتر آب مقطر محلول رقیق و بعد از آن در طول موج ۵۴۰ نانومتر و در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد با استفاده از اسپکتروفتومتر مدل Shimadzu -uv-160A میزان جذب آن قرائت گردید. مقدار فعالیت آنزیم به صورت واحد میلی گرم مالتوز بر گرم بذر گزارش گردید (Dehghanpour et al., 2013; Harinder et al., 2007). محاسبات آماری با استفاده از نرم افزارهای SAS و Excel انجام و مقایسه میانگین اثرات اصلی با آزمون حداقل اختلافات معنی دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد و در صورت معنی دار شدن اثر متقابل، برش دهی انجام و مقایسه میانگین ها با استفاده از رویه L.S.Means انجام گردید.

نتایج و بحث

درصد جوانه زنی بذر سورگوم

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

میکرومول بر گرم بذر گزارش گردید (Aebi, 1984).
استخراج و اندازه گیری فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز
 به منظور اندازه گیری فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز ۰/۵ گرم بذر بعد از اعمال پرایم و تیمارهای مورد نظر و ۲۴ ساعت آبنوشی در هاون چینی در ۲ میلی لیتر از بافر فسفات ۰/۲ مولار با اسیدیت ۷/۲ خرد شد و عصاره حاصل در میکروتیوب ریخته شد (تمام وسایل جهت ساییدن و محلول بافر بایستی در ظرف یخی نگه داشته شود). سپس میکروتیوب های حاوی عصاره آنزیمی به مدت ۲۵ دقیقه در سانتریفیوژ یخچال دار مدل Z200A- HERMLE Germany در دمای ۴ درجه سانتی گراد با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند و بلافاصله محلول رویی جدا و تا زمان اندازه گیری فعالیت آنزیم، عصاره به دست آمده را در دمای ۸۰- درجه سانتی گراد مورد نگهداری قرار گرفت. برای اندازه گیری فعالیت آلفا آمیلاز 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 (بن ماری) قرار داده شد و پس از آن در انکوباتور در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد 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 (بن ماری) قرار داده شد. پس از این مدت زمان، و بعد از این که عصاره آنزیمی به همراه محلول اضافه شده به آن در ظرف یخی کاملاً خنک شد، با اضافه نمودن

جدول ۱- مقایسه میانگین اثر غلظت های مختلف کلرید و نیترات کادمیوم بر درصد و سرعت جوانه زنی 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

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

در هر ستون وجود حداقل یک حرف مشترک نشان دهنده عدم تفاوت آماری معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD می باشد.

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 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 گلیکول ۶-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 میلی‌گرم در لیتر، سالیسیلیک اسید ۰/۳ و ۰/۶ میلی‌مولار اختلاف معنی‌دار نداشت. در حالی که 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).

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. به‌طور کلی 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 به ترتیب 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).

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. به‌طور کلی 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 به ترتیب 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).

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

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

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

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 و افزایش در سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی را در بذور پرایم شده نسبت به بذرهای پرایم نشده نشان دادند که علت آن تغییرات در رشد محور جنینی و نمو بعدی جوانه‌های بذور پرایم شده اعلام شد. پرایمینگ

ریشه چه را داشت که با پلی اتیلن گلایکول ۶-بار، نترات پتاسیم یک و دو درصد و تیمار بدون پرایمینگ تفاوت معنی دار نداشت.

در سطح نترات کادمیوم ۶۰۰ میکرومولار پلی اتیلن گلایکول ۳-بار بیشترین طول ریشه چه را داشت و پرایم سالیسیلیک اسید ۰/۳ میلی مولار کمترین طول ریشه چه را داشت. در سطح بدون کادمیوم سالیسیلیک اسید ۰/۶ میلی مولار بیشترین طول ریشه چه را داشت که با سالیسیلیک اسید ۰/۳ میلی مولار تفاوت معنی دار نداشت و کمترین طول ریشه چه مربوط به پلی اتیلن گلایکول ۳- و ۶- بار بود که با تیمار بدون پرایمینگ اختلاف معنی دار نداشت (جدول ۳).

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

طول ریشه چه

مقایسه میانگین داده ها نشان داد که در سطح کلرید کادمیوم ۲۰۰ میکرومولار پلی اتیلن گلایکول ۳-بار بیشترین طول ریشه چه را داشت که با نترات پتاسیم یک درصد و جیبرلیک اسید ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی گرم در لیتر، سالیسیلیک اسید ۰/۶ میلی مولار و تیمار بدون پرایمینگ تفاوت معنی دار نداشت. در سطح نترات کادمیوم ۴۰۰ میکرومولار پلی اتیلن گلایکول ۳-بار بیشترین طول

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر انواع پرایمینگ در سطوح مختلف کلرید و نترات کادمیوم برای طول ریشه چه در بذور سورگوم
Table 3. Mean comparison of priming types in various levels of cadmium chloride and nitrate for root length of sorghum seed

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

در هر ستون وجود حداقل یک حرف مشترک نشان دهنده عدم تفاوت آماری معنی دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس رویه Lsmeans می باشد.

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.

میلی مولار وزن خشک ریشه چه را ۴۱ درصد نسبت به تیمار بدون پرایمینگ افزایش داد که با نیترات پتاسیم ۱ و ۲ درصد، پلی اتیلن گلیکول ۳- و ۶- بار، سالیسیلیک اسید ۰/۳ میلی مولار و جیبرلیک اسید ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی گرم در لیتر اختلاف معنی دار نداشت. در سطح نیترات کادمیوم ۴۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید ۰/۳ میلی مولار وزن خشک ریشه چه را ۴۱ درصد نسبت به تیمار بدون پرایمینگ افزایش داد که با پلی اتیلن گلیکول ۳- بار اختلاف معنی دار نداشت. هم چنین در سطح بدون کادمیوم، نیترات پتاسیم ۱ درصد وزن خشک ریشه چه را ۱۹ درصد نسبت به تیمار بدون پرایمینگ افزایش داد که با پرایم سالیسیلیک اسید ۰/۶ میلی مولار و نیترات پتاسیم ۲ درصد تفاوت معنی دار نداشت (جدول ۶). به طور کلی کادمیوم باعث کاهش وزن خشک ریشه چه 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 ریشه چه گیاهچه های گندم نسبت به تیمار صفر میکرومولار کلرید کادمیوم شد.

وزن خشک ساقه چه

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

شاخص طولی بنیه

مقایسه میانگین اثر غلظت های 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 معنی دار 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

افزایش در طول ریشه چه به واسطه پیش تیمار آبی احتمالاً به علت تحریک فعالیت های متابولیکی داخلی جنین می باشد برای مثال در هنگام جذب آب همانندسازی DNA، تحریک فعالیت RNA و در نتیجه پروتئین سازی، ترمیم غشای سلولی و افزایش غلظت هورمون های محرک جوانه زنی از جمله اتیلن صورت گرفته که مجموع این عوامل مقدمات جوانه زنی را فراهم می آورند و زمانی که بذور پیش تیمار شده تحت شرایط جوانه زنی قرار می گیرند در مقایسه با شاهد عکس العمل مطلوب تری را به نمایش می گذارند (Chojnowski and Come, 1997).

طول ساقه چه

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

مقایسه میانگین اثر پرایمینگ نشان داد پرایم با جیبرلیک اسید ۸۰۰ میلی گرم در لیتر، طول ساقه چه را ۳۱ درصد نسبت به تیمار بدون پرایمینگ افزایش داد و هم چنین پرایم با پلی اتیلن گلیکول ۳- و ۶- بار دارای کمترین بهبود در طول ساقه چه بودند که با نیترات پتاسیم ۲/ و سالیسیلیک اسید ۰/۶ میلی مولار اختلاف معنی دار نداشت (جدول ۵). Moradi and Rezvani Moghaddam (2011) اسمو پرایمینگ بذرها را رازبانه با پلی اتیلن گلیکول نسبت طول ریشه به ساقه (R/S) افزایش داد. از علل احتمالی اثرات منفی اسمو پرایمینگ روی بذرها رازبانه می توان گفت چون محلول های اسمزی از وسکوزیته بالاتری برخوردارند، لذا می توانند 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 می گذارد و ممکن است بذر با کمبود اکسیژن مواجه شود.

وزن خشک ریشه چه

مقایسه میانگین داده ها نشان داد در سطح نیترات کادمیوم ۲۰۰ میکرومولار پرایم با سالیسیلیک اسید ۰/۶

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

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر غلظت های مختلف کلرید و نیترات کادمیوم بر طول ساقه چه و شاخص طولی و وزنی بینه 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

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

در هر ستون وجود حداقل یک حرف مشترک نشان دهنده عدم تفاوت آماری معنی دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD می باشد.
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 ۵- مقایسه میانگین اثر انواع پرایم ها بر طول و وزن خشک ساقه چه و شاخص طولی 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

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

در هر ستون وجود حداقل یک حرف مشترک نشان دهنده عدم تفاوت آماری معنی دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD می باشد.
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 ۶- مقایسه میانگین اثر پرایمینگ های مختلف در سطوح نترات کادمیوم برای وزن خشک ریشه چه 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)	نترات 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 میلی گرم در لیتر Gibberellic acid 400 mg/l
1.78 ^{bc}	1.59 ^{ab}	2.78 ^{bcd}	جیبرلیک اسید ۸۰۰ میلی گرم در لیتر Gibberellic acid 800 mg/l
2.57 ^a	1.92 ^{ab}	2.73 ^{cd}	سالیسیلیک اسید ۰/۳ میلی مولار Salicylic acid, 0.3 mM
1 ^d	2.02 ^a	3.18 ^{ab}	سالیسیلیک اسید ۰/۶ میلی مولار Salicylic acid, 0.6 mM
1.43 ^{cd}	1.99 ^a	3.29 ^a	نترات پتاسیم ۱ درصد Potassium nitrate 1%
1.49 ^{bcd}	1.94 ^a	2.90 ^{abc}	نترات پتاسیم ۲ درصد Potassium nitrate 2%
2.09 ^{ab}	1.80 ^{ab}	2.39 ^{de}	پلی اتیلن گلیکول ۳-بار Polyethylene glycol -3 bar
1.51 ^{bcd}	1.72 ^{ab}	2.17 ^e	پلی اتیلن گلیکول ۶-بار Polyethylene glycol -6 bar

در هر ستون وجود حداقل یک حرف مشترک نشان دهنده عدم تفاوت آماری معنی دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس رویه Lsmeans می باشد.

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.

کادمیوم ۶۰۰ میکرومولار کمتر از تیمار بدون کادمیوم بود که با کلرید کادمیوم ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرومولار و نترات کادمیوم ۶۰۰ میکرومولار اختلاف معنی دار 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 می یابد به طوری که بیشترین در عدم استعمال کادمیوم و

Mousavi and Nabavi Kalat (2012) در

مطالعه بر روی گیاه همیشه بهار نشان دادند بیشترین بنیه بذر در تیمار بدون نترات کادمیوم و کمترین بنیه بذر در تیمار ۴۰۰ و ۶۰۰ ppm نترات کادمیوم می باشد.
Jan Mohammadi *et al.* (2011) اظهار کردند شاخص بنیه گیاهچه های رشد یافته در تنش کادمیوم (۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر) بدون توجه به سطوح آن همگی در یک گروه قرار داشتند و به طور معنی داری در مقایسه با تیمار بدون کادمیوم از مقدار پایین تر برخوردار بودند.

شاخص وزنی بنیه

مقایسه میانگین اثر غلظت های مختلف کلرید و نترات کادمیوم نشان داد که شاخص وزنی بنیه در کلرید

نشان داد که غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر کادمیوم بیشترین فعالیت این آنزیم (۲۰/۳۳) و عدم کاربرد کادمیوم کمترین فعالیت (۱۸/۷۲ بر میلی گرم پروتئین) آن را موجب شد. هم چنین تیمارهای عدم کاربرد جیبرلین موجب بروز بیشترین (۲۰/۶۵) و غلظت ۵۰۰ میلی گرم در لیتر جیبرلین موجب بروز کمترین میزان فعالیت این آنزیم (۱۸/۳۴) بر میلی گرم 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).

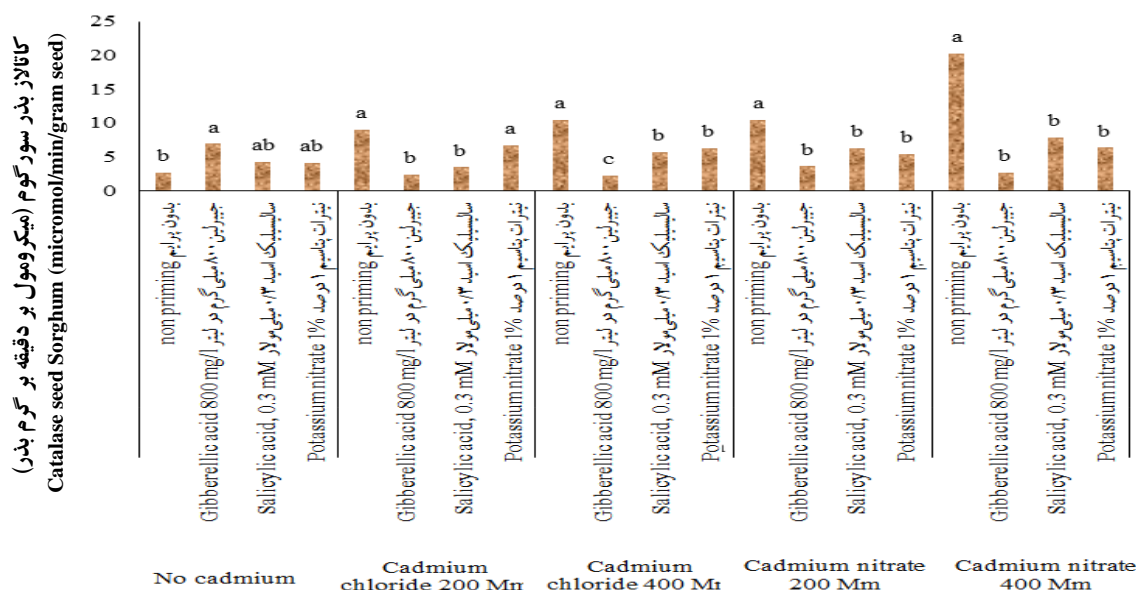
آنزیم آلفا آمیلاز در بذر سورگوم

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 میلی مولار بیشتر بود که با جیبرلیک اسید ۸۰۰ میلی گرم در لیتر و تیمار بدون پرایمینگ تفاوت معنی دار نداشت (جدول ۷). Jamil and Rha (2007) بیان نمودند که مصرف تنظیم کننده رشد جیبرلیک اسید باعث افزایش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز در هنگام جوانه زنی جهت تجزیه نشاسته گردیده و این مسأله موجب تقویت بنیه بذر می‌شود که نتیجه آن، درصد سبزشدن یکنواخت تر خواهد بود. هم چنین آن‌ها گزارش کردند که پرایم‌ها با جیبرلیک اسید عملکرد چغندر قند را از طریق کاهش مدت زمان سبز شدن و افزایش یکنواختی سبز شدن مزرعه، افزایش می‌دهد. Noorbakhshian *et al.* (2011) گزارش دادند فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز در گیاه اسپرس در بذوری که به مدت ۲۴ ساعت هیدروپرایم شدند نسبت به بذور بدون پرایم بیشتر بود.

کمترین مقدار در غلظت ۳۰۰ میلی گرم 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 آسیب دیده 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; McDonald, 2000; Khan, 1992).

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 نترات پتاسیم یک درصد اختلاف معنی دار نداشت اما پرایم جیبرلیک اسید ۸۰۰ میلی گرم در لیتر و سالیسیلیک اسید ۰/۳ میلی مولار 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 نترات 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 هم چنین در سطح بدون کادمیوم، پرایم با جیبرلیک اسید ۸۰۰ میلی گرم در لیتر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز را ۶۱ درصد افزایش داد که با سالیسیلیک اسید ۰/۳ میلی مولار و نترات پتاسیم ۱ درصد اختلاف معنی دار 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



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 نشان دهنده عدم تفاوت آماری معنی دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس رویه L.S.Means می باشد)

Figure 1. Mean comparison of priming effect in each level of cadmium chloride 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

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

وجود حداقل یک حرف مشترک نشان دهنده عدم تفاوت آماری معنی دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD می باشد.

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

بر سرعت جوانه زنی و بنیه طولی و وزنی معنی دار بود. پرایم با سالیسیلیک اسید ۰/۳ و ۰/۶ میلی مولار سرعت جوانه زنی را افزایش داد و هم چنین پرایم با جیبرلیک اسید ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی گرم در لیتر شاخص بنیه را افزایش داد. بنابراین استفاده از پرایم های 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

نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که اعمال غلظت های مختلف کادمیوم بر درصد جوانه زنی و شاخص بنیه طولی و وزنی معنی دار بود که سبب کاهش این صفات شدند. به طوری که کلرید کادمیوم ۴۰۰ و ۶۰۰ میکرومولار و نیترات کادمیوم ۶۰۰ میکرومولار درصد جوانه زنی و شاخص بنیه طولی و وزنی را کاهش داد. هم چنین اعمال سطوح مختلف پرایم ها

در حالی که کاربرد پرایم‌های مختلف آن را کاهش داد. جیبرلیک ۸۰۰ میلی گرم در لیتر فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز را هم چنین استفاده از اسید سالیسیلیک ۰/۳ میلی مولار و اسید 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., Ahmad Zahir, 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). Comparative 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). Gibberlic 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. Rezaei¹, H. Balouchi^{2*}, M. Movahhedi Dehnavi³ and I. Adhami⁴

- 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