علوم و تحقیقات بذر ایران
سال ششم/ شماره اول/ ۱۳۹۸ (۱۰۵ - ۹۳)

DOI: 10.22124/jms.2019.3590

بهبود جوانه‌زنی بذر سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) با عناصر کلسیم و روی تحت تنش شوری

سعید خماری[۱]، مسلم مددی[۲]، احمد جوادی*[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۸/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۲۷

چکیده

پرایمینگ بذر به‌منظور بهبود جوانه‌زنی و افزایش قدرت گیاهچه در محصولات زراعی، به‌خصوص در شرایط وقوع تنش‌های محیطی به کار گرفته می‌شود. پژوهش حاضر جهت ارزیابی سودمندی پرایمینگ با عناصر کلسیم و روی بر شاخص‌های جوانه-زنی بذر و رشد گیاهچه سیاه دانه تحت تنش شوری طراحی گردید. بدین منظور، آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. عوامل آزمایشی شامل پنج سطح پرایمینگ (شاهد، پرایمینگ با نانو اکسید روی، نیترات کلسیم، نیترات کلسیم+نانو اکسید روی و پرایمینگ با آب مقطر) و سه سطح شوری (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار NaCl) بود. در این آزمایش شاخص‌های جوانه‌زنی بذر، محتوای سدیم، پتاسیم و کلسیم گیاهچه‌ها و فعالیت آنزیم پراکسیداز گیاهچه‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که، پرایمینگ بذر با افزایش میانگین شاخص‌های جوانه‌زنی بذر اثرات سوء ناشی از تنش شوری را تا حدود زیادی رفع نمود. با افزایش غلظت نمک در محیط جوانه‌زنی بذور، مقادیر پتاسیم و کلسیم گیاهچه‌ها کاهش و میزان سدیم و فعالیت آنزیم پراکسیداز به طور معنی داری افزایش یافت. کاربرد روش‌های مختلف پرایمینگ بذر، موجب افزایش محتوای پتاسیم و کلسیم و فعالیت آنزیم پراکسیداز و نیز کاهش مقدار سدیم گیاهچه تحت تنش شوری گردید. از بین تیمارهای به کار رفته، پرایمینگ نیترات کلسیم+نانو اکسید روی بیشترین کارآیی و بهترین عملکرد را در کاهش اثرات سوء ناشی از تنش شوری بر صفات مورد اندازه گیری در گیاه دارویی سیاه‌دانه داشت.

واژه‌های کلیدی: پرایمینگ بذر، تنش شوری، روابط یونی، سیستم آنتی اکسیدان، سیاه دانه

۱- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۳- دانشجوی دکترای علوم و تکنولوژی بذر، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
* نویسنده مسئول: s.maleki_kh@yahoo.com

مقدمه

شوری به عنوان تنشی که اثرهای سوء فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و در نهایت اقتصادی بر گیاهان زراعی دارد یکی از مشکلات اساسی در کشاورزی است (Yamaguchi and Blumwald, 2005). بیش از ۹۰۰ میلیون هکتار از اراضی کل جهان در معرض شوری قرار دارد که این مقدار بیش از شش درصد خشکی‌ها را شامل می‌شود (Kafi *et al.,* 2009). تنش شوری، مراحل اولیه رشد گیاه شامل جوانه‌زنی بذر و استقرار گیاهچه را از طریق ایجاد اختلال در جذب موثر آب توسط بذر از محیط حاوی نمک و نیز به واسطه اثرات سمی یون‌های سدیم و کلر تحت تأثیر قرار می‌دهد (Khajeh-Hosseini *et al.,* 2003). بنابراین، یافتن راه حلی جهت کاهش اثرات سوء ناشی از تنش شوری در مرحله جوانه‌زنی و سبز شدن گیاهچه به‌منظور بهبود استقرار مزرعه‌ای و در نهایت تضمین تولید محصول، ضروری به نظر می‌رسد (Fischer and Turner, 1978). در این راستا، پرایمینگ بذر به عنوان یک روش فیزیولوژیک می‌تواند راه‌کاری مفید برای افزایش قابلیت جوانه‌زنی بذر گیاهان اقتصادی به‌ویژه دارویی تحت تنش‌های محیطی در نظر گرفته شود (Gholamalipoor, 2010). پرایمینگ یک تیمار قبل از کاشت است که به واسطه آن بذر به صورت کنترل شده، آب جذب کرده و فرآیندهای متابولیکی پیش از خروج ریشه‌چه انجام می‌پذیرد. انواع پرایمینگ دارای محاسن و معایبی هستند و بسته به گونه گیاهی، مرحله نموی گیاه، غلظت عامل پرایمینگ و مدت زمان اعمال تیمار اثرات متفاوتی بر جا خواهند گذاشت (Nascimento, 2003; Armin *et al.,* 2010).

عناصر غذایی نقش‌های متعددی را در گیاه ایفا می‌کنند و وجود این عناصر در حد کفایت برای کامل کردن چرخه زندگی و رشد گیاه لازم است، که در این بین عنصر روی به عنوان یک ریز مغذی و کلسیم به عنوان عنصر پر مصرف از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند (Zarinkafsh, 1992). سیستم‌های کشاورزی کوچک همانند سیستم‌های کشاورزی بزرگ، قادر به تامین منابع مالی لازم نیستند و از این رو نیازمند روش‌های کم هزینه می‌باشند. پرایمینگ بذر یکی از این روش‌های کم هزینه به شمار می‌رود که ممکن است علاوه بر بهبود جوانه‌زنی در شرایط محدودیت عناصر روی و کلسیم، مزایایی برای گیاهان از جهت افزایش استقرار مزرعه‌ای و عملکرد دانه در بر داشته باشند. در مجموع عناصر درشت مغذی کلسیم و ریز مغذی روی نقش مهمی در پروتئین سازی، عملکرد غشا، طویل‌شدن سلول و مقاومت به تنش‌های محیطی ایفا می‌کنند. از سوی دیگر، این عناصر با ایجاد یک سیستم دفاع سلولی در برابر رادیکال‌های آزاد اکسیژن (ROS) به تحمل گیاه به تنش‌های محیطی کمک می‌کنند (Murray, 1989). همچنین، کلسیم و روی نقش اساسی در حفظ پایداری غشاهای زیستی خواهند داشت (Welch *et al.,* 1982; Cakmak *et al.,* 1999). از طرفی بنا به نظر محققان، کمبود عنصر روی رشد اولیه گیاهچه‌ها را به تاخیر انداخته و باعث حساسیت آن‌ها به تنش‌های بعدی می‌شود (Jones and Wahbi, 1992; Bort *et al.,* 1998). در این راستا، موراتا و همکاران (Murata *et al.,* 2003) اثر مثبت پرایمینگ بذر بادام زمینی با نیترات کلسیم بر افزایش سرعت جوانه‌زنی و سبز شدن گیاهچه‌ها را گزارش کردند. پوشش‌دادن سطحی بذرهای گندم با روی، باعث افزایش معنی‌دار عملکرد شد (Yilmaz *et al.,* 1998). در خاک‌های دچار کمبود روی، ماده خشک گیاهچه‌های حاصل از بذرهای حاوی روی بالا افزایش یافت و همچنین در مراحل بعدی رشد نیز این عنصر را با کارایی بیشتری جذب نمودند (Graham and Rengel, 1993). هریس و همکاران (Harris *et al.,* 2008) به اثرات مثبت پرایمینگ بذر ذرت با عنصر ریز مغذی روی (به شکل سولفات روی) اشاره داشته و افزایش پارامترهای جوانه‌زنی و رشد گیاهچه در مقایسه با شاهد (عدم پرایمینگ) را گزارش نمودند.

در ایران، در سال‌های اخیر کشت گیاهان دارویی از جمله سیاه دانه (*Nigella sativa* L.) به خاطر روغن و سایر ترکیبات زیستی فعال موجود در بذور آن مورد توجه خاصی قرار گرفته است. سیاه دانه گیاهی است که به‌طور طبیعی در نقاط مختلف ایران به‌ویژه در مراتع و نقاط نیمه خشک کشور رشد می‌کند و می‌توان از آن به عنوان یک گیاه ارزشمند جهت کشت در مناطق نیمه‌خشک کشور یاد کرد. به‌طورکلی گیاه سیاه دانه جزء گیاهان حساس به خاک‌های ضعیف و شور می‌باشد (Emami and Majnoon Hosseini, 2007). لذا تنش شوری در مراحل اولیه جوانه‌زنی بذرهای سیاه دانه، می‌تواند موجب تاخیر در جوانه‌زنی بذر و استقرار گیاهچه و همچنین

جوانه‌زنی غیر یکنواخت گردد. در این راستا پژوهشگران متعددی اعلام کردند که پرایمینگ بذر سیاه دانه موجب بهبود جوانه‌زنی بذر و تحمل تنش‌های محیطی در مراحل ابتدایی رشد می‌گردد (Ahmadpour and Balouchi, 2013; Gholami *et al.,* 2015; Fallah *et al.,* 2017). با در نظر گرفتن مسائل ذکر شده، هدف از انجام این تحقیق ارائه‌ی راه حلی در جهت کاهش آسیب‌های ناشی از تنش شوری بر جوانه‌زنی بذر و استقرار گیاهچه سیاه دانه بود. در همین راستا، پرایمینگ بذور با نانو اکسید روی و نیترات کلسیم در شرایط وقوع تنش شوری بر شاخص‌های قدرت بذر و گیاهچه مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

بذرهای سیاه‌دانه از سازمان جنگل‌ها و مراتع استان اردبیل تهیه گردید. در راستای اجرای این تحقیق، آزمایش اصلی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در آزمایشگاه فیزیولوژی و تکنولوژی بذر دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل پنج روش پرایمینگ (شاهد، هیدرو پرایمینگ، پرایمینگ با نانو اکسید روی، نیترات کلسیم و نانو اکسید روی+نیترات کلسیم) و سه سطح شوری (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) بود. دراین آزمایش، از نانواکسید روی و نیترات کلسیم به ترتیب به‌عنوان منابع عناصر روی و کلسیم استفاده گردید. به‌منظور بهینه‌سازی غلظت عناصر و مدت زمان اعمال پرایمینگ، آزمایش‌های مقدماتی در قالب آزمون جوانه‌زنی استاندارد ترتیب داده شد و در نهایت با ملحوظ داشتن حداکثر درصد و سرعت جوانه‌زنی و رشد گیاهچه، غلظت ۰/۰۵ میلی‌مولار (از بین غلظت‌های ۰/۰۱، ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۱۵ میلی‌مولار) برای نانو اکسید روی و غلظت ۰/۱ میلی مولار (از بین غلظت‌های ۰/۰۲، ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ میلی مولار) برای نیترات کلسیم و مدت زمان ۴۸ ساعت (از بین دوره‌های ۱۲، ۲۴، ۳۶، ۴۸ و ۶۰ ساعت) برای پرایمینگ بذور سیاه‌دانه تعیین شد. از طرف دیگر به‌منظور ایجاد سطوح شوری، از نمک NaCl (نمک غالب در خاک‌های زراعی شور) استفاده گردید.

بذرها پس از ۱۰ دقیقه ضدعفونی سطحی با محلول یک درصد هیپوکلریت سدیم، بین چند لایه کاغذ صافی کاملاً مرطوب در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد جهت انجام تیمارهای پرایمینگ قرار داده شدند. تیمار بدون پرایمینگ نیز به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد. بذور پرایمینگ شده، در دمای آزمایشگاه تدریجا خشک گردیده و میزان رطوبت آن‌ها به مقدار اولیه (با کنترل وزن نمونه‌ها) رسانده شد. در ادامه، آزمون جوانه‌زنی استاندارد مطابق با روش ایستا (ISTA) به‌صورت چهار تکرار ۵۰ بذری در پتری‌دیش و در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. شمارش تعداد بذور جوانه‌زده (خروج دو میلی‌متری ریشه‌چه) به‌طور مرتب و روزانه صورت گرفت و تا پایان روز چهاردهم از شروع آزمایش ادامه یافت. در پایان آزمایش، درصد جوانه-زنی استاندارد و شاخص طولی قدرت گیاهچه در هر واحد آزمایشی تعیین گردید. سرعت جوانه‌زنی نیز با استفاده از فرمول زیر (Ellis and Roberts, 1981) محاسبه شد:

$$\text{سرعت جوانه‌زنی} = \frac{\sum n}{\sum Dn}$$

n= تعداد بذور جوانه زده در هر روز، D= تعداد روز از آغاز آزمایش

میانگین طول گیاهچه (cm) × جوانه‌زنی استاندارد(٪)= شاخص طولی قدرت

به‌منظور اندازه‌گیری مقادیر عناصر سدیم، پتاسیم و کلسیم گیاهچه، نیم گرم ماده خشک جهت تهیه خاکستر در کوره الکتریکی با دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت چهار ساعت قرار داده شدند. در ادامه ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک یک نرمال به خاکستر به دست آمده اضافه گردید و محلول حاصل پس از عبور از کاغذ صافی به درون یک بالن ریخته شد. در نهایت حجم بالن با استفاده از آب مقطر دیونیزه به ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. بعد از کالیبره‌کردن دستگاه فلیم فتومتر (مدل SEAC) با محلول‌های استاندارد، مقادیر سدیم، پتاسیم و کلسیم گیاهچه سیاه دانه تعیین گردید (Khomari and Javadi, 2015).

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز گیاهچه‌های سیاه‌دانه به روش اسپکتروفتومتری با استفاده از روش مک‌آدام و همکاران (MacAdam *et al.,* 1992) انجام گرفت. به منظور استخراج آنزیم پراکسیداز، ۱۰۰ میلی‌گرم از نمونه گیاهی در یک میلی‌لیتر بافر استخراج (بافر فسفات +KCl+PVP)، در دمای چهار درجه سانتی‌گراد (با استفاده از هاون چینی سرد) ساییده شد. خمیر (هموژنای) تهیه شده پس از انتقال به لوله اپندورف در

۱۲۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۱۵ دقیقه و در دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. در ادامه سه میلی‌لیتر بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار، ۵۰ میکرولیتر گوایاکول ۲۰۰ میلی‌مولار و ۴۰ میکرولیتر محلول ۳۰ میلی‌مولار آب اکسیژنه با هم مخلوط گردید. سپس ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی به آن اضافه شد و بعد از پنج دقیقه از شروع واکنش در دمای آزمایشگاه، جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکترو فتومتر (Eppendorf) اندازه‌گیری شد. اعداد مربوط به جذب بر عدد ضریب خاموشی تتراگوایاکول (۲۶/۶ $\mu M^{-}.cm^{-1}$) تقسیم شدند و فعالیت ویژه آنزیم پراکسیداز بر اساس میکرومول تتراگوایاکول تولید شده در دقیقه بیان شد. پس از اندازه گیری صفات و جمع آوری داده، تجزیه‌ی واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه-ای دانکن با استفاده از نرم افزار آماری SAS صورت گرفت و رسم نمودارها توسط برنامه رایانه‌ای EXCEL انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، درصد جوانه-زنی استاندارد، سرعت جوانه‌زنی، شاخص طولی قدرت، غلظت سدیم، پتاسیم، کلسیم و فعالیت آنزیم پراکسیداز گیاهچه‌های سیاه دانه از نظر روش پرایمینگ، شوری بستر کشت و اثرات متقابل پرایمینگ×شوری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نشان دادند (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثرات روش‌های مختلف پرایمینگ بذر و تنش شوری بر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه و برخی خصوصیات بیوشیمیایی گیاهچه سیاه‌دانه

Table 1. Analysis of variance for effects of seed priming and salinity stress on seed germination and seedling growth and some biochemical characteristics of black cumin seedling

منابع تغییر Sources of variance	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square: درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	شاخص قدرت Vigour Index	سدیم گیاهچه Na^+	پتاسیم گیاهچه K^+	کلسیم گیاهچه Ca^+	فعالیت آنزیم پراکسیداز Activity of peroxidase in seedling
بلوک Block	3	17.244^{ns}	0.000026^{ns}	0.624**	18.53**	8.713^{ns}	0.001ns	0.001^{ns}
پرایمینگ Priming	4	169.1**	0.018**	9.375**	264.69**	103.569**	0.291**	0.189**
شوری Salinity	2	640.467**	0.048**	110.235**	2591.47**	446.087**	0.616**	0.964**
پرایمینگ×شوری Priming×Salinity	8	40.8**	0.001**	0.452**	16.671**	20.699**	0.008**	0.108**
خطا Error	42	16.483	0.00001	0.0612	5.605	3.185	0.0014	0.007
ضریب تغییرات (٪) CV (%)	-	5.0	10.6	3.3	7.9	10.6	15.0	13.8

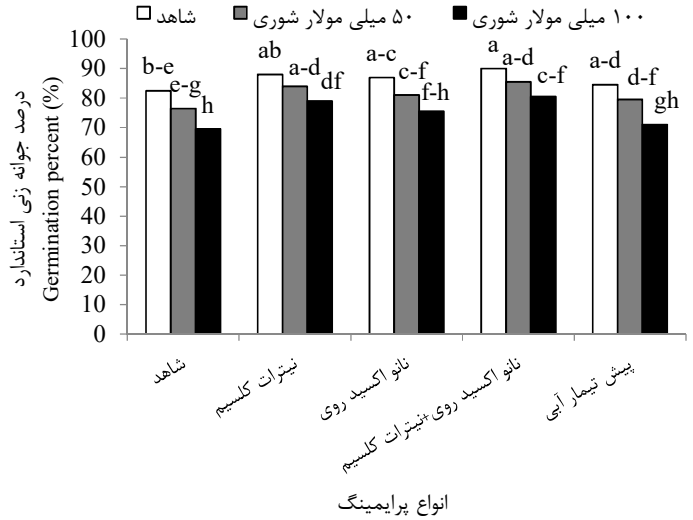
ns، ** و * به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

ns, **, * Respectively non-significant and significant $P\leq 0.01$and $P\leq 0.05$

قابلیت جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه

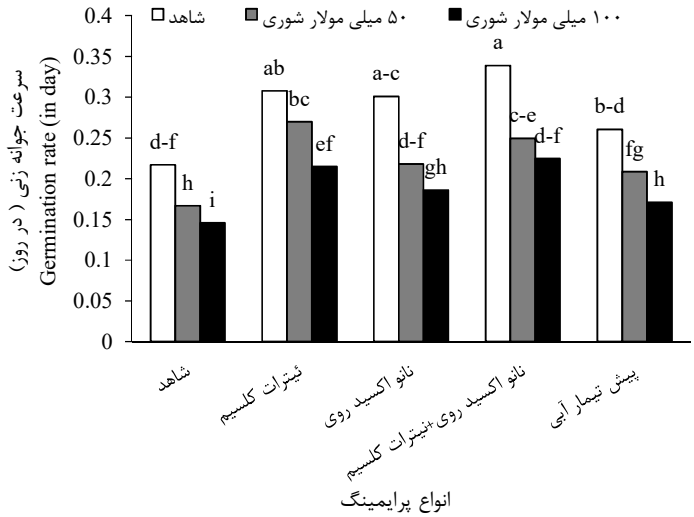
با افزایش تنش شوری در بستر کشت، درصد و سرعت جوانه‌زنی بذور سیاه دانه به‌طور قابل توجهی کاهش یافت. پرایمینگ بذور با ترکیب نیترات کلسیم+نانو اکسید روی موجب کاهش معنی‌دار اثرات سوء ناشی از تنش شوری شد، به‌طوری‌که در هر دو سطح شوری، پرایمینگ بذور با ترکیب نیترات کلسیم+نانو اکسید روی باعث افزایش حدود ۳۳ درصدی سرعت و درصد جوانه‌زنی نسبت به شاهد (عدم پرایمینگ بذر در سطوح شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) گردید. البته پرایمینگ با نیترات کلسیم و نانو اکسید روی به‌صورت مجزا و همچنین پرایمینگ آبی (هیدرو-پرایمینگ) بذور نیز اثرات سوء تنش شوری بر سرعت و درصد جوانه‌زنی را تعدیل نمودند و تا حدودی اثر مثبت بر قابلیت جوانه‌زنی بذور سیاه دانه نسبت به شاهد داشتند (شکل ۱و ۲).

شاخص طولی گیاهچه سیاه‌دانه تحت تاثیر تنش شوری به-طور قابل ملاحظه‌ای در مقایسه با شاهد (محیط غیر شور) کاهش یافت (شکل ۳). کمترین شاخص طولی گیاهچه درشوری ۱۰۰ میلی‌مولار به دست آمد. در مجموع، روش‌های مختلف پرایمینگ موجب افزایش معنی‌دار شاخص طولی گیاهچه سیاه‌دانه نسبت به شاهد(عدم پرایمینگ) شدند. از طرف دیگر، پرایمینگ بذور



شکل ۱- درصد جوانه‌زنی استاندارد بذر سیاه‌دانه متاثر از روش‌های مختلف پرایمینگ و تنش شوری

Figure 1. Germination percentage of black cumin seed affected by different priming methods and salinity stress

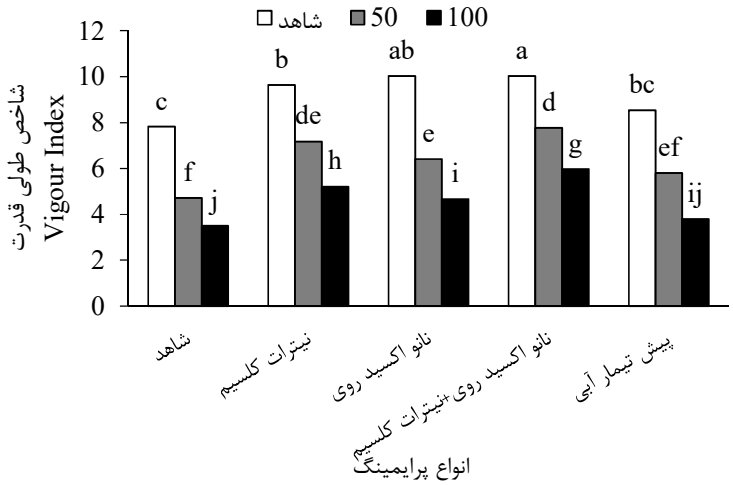


شکل ۲- میانگین سرعت جوانه‌زنی بذر سیاه‌دانه متاثر از روش‌های مختلف پرایمینگ و تنش شوری

Figure 2. Germination rate of black cumin seed affected by different priming methods and salinity stress

با عناصر کلسیم و روی در مقایسه با هیدرو-پرایمینگ به‌طور متوسط گیاهچه‌هایی با شاخص طولی بالاتر ایجاد نمود. پرایمینگ بذور با استفاده از انواع روش‌های پرایمینگ تا حدودی باعث رفع اثرات سوء ناشی از تنش شوری شد، به‌طوری‌که بیشترین افزایش در شاخص طولی گیاهچه‌ها در پرایمینگ نانواکسید روی+نیترات کلسیم در شرایط تنش شوری مشاهده گردید.

با توجه به نتایج به دست آمده، حضور نمک در بستر کشت بذور سیاه‌دانه وقایع اولیه جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه را به‌طور منفی متاثر ساخت و استفاده از تکنیک پرایمینگ بذر تا حدود قابل توجهی موجب افزایش مقاومت به شوری در مراحل اولیه رشد گیاهچه سیاه‌دانه گردید این چنین اثرات بازدارنده شوری بر استقرار اولیه گیاهچه گیاه دارویی سیاه‌دانه با یافته‌های قبلی برخی



شکل ۳- شاخص طولی گیاهچه سیاه‌دانه متاثر از روش‌های مختلف پرایمینگ و تنش شوری

Figure 3. Vigour index of black cumin seedling affected by different priming methods and salinity stress

محققان (Harris *et al.,* 1999; Ajouri *et al.,* 2004; Kaya *et al.,* 2007) که روی بذر انواع گیاهان اقتصادی از جمله گیاهان دارویی پژوهش نموده‌اند مطابقت داشت. تنش شوری جوانه‌زنی و رشد گیاهچه را از طریق مداخله اسمزی و ممانعت از جذب آب توسط بذر و نیز سمیت یون‌های سدیم و کلر جذب شده تحت تأثیر قرار می‌دهد (Ghoulam and Fares, 2001; Khajeh-Hosseini *et al.,* 2003). رحیمی و همکاران (Rahimi *et al.,* 2007) در مطالعه‌ای روی سیاه‌دانه گزارش نمودند که افزایش تنش شوری منجر به کاهش سرعت و درصد جوانه‌زنی بذور و افزایش تعداد گیاهچه‌های غیر عادی سیاه‌دانه گردید. از طرف دیگر، در شرایط تنش شوری علاوه بر این‌که درصد و سرعت جوانه‌زنی بذور کاهش می-یابد، به دلیل تاخیر در جوانه‌زنی، شروع رشد گیاهچه نیز ممکن است به کندی انجام شود، که این فرآیند سبب کاهش شاخص قدرت گیاهچه می‌گردد (Gulzar and Khan, 2001).

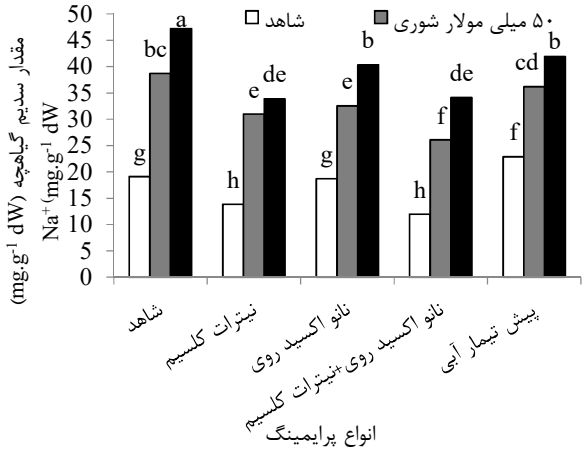
با وجود این، استفاده از روش‌های مختلف پرایمینگ در این مطالعه اثرات سودمندی در جهت رفع آسیب‌های ناشی از تنش شوری در مراحل اولیه جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه سیاه دانه داشتند. به‌طوری‌که پرایمینگ بذر با استفاده از ترکیب نیترات کلسیم+ نانو اکسید روی به لحاظ همه شاخص‌های اندازه‌گیری شده در این آزمایش، اثرات مثبت معنی‌داری را نشان داد. البته، سایر روش‌های پرایمینگ بذر نیز در مقایسه با شاهد تا حدود زیادی سبب تعدیل اثرات منفی تنش نمک بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گردیدند. در این راستا، محمدی (Mohammadi, 2009) اثرات مثبت پرایمینگ بذر بر جوانه‌زنی و سبز شدن گیاهچه کلزا را مورد تاکید قرار داد. نتایج مطالعات متعدد نشان می‌دهد که، پرایمینگ بذر موجب خروج سریع‌تر گیاهچه، تحمل بهتر گیاه به تنش، گلدهی زودتر و افزایش عملکرد گیاهان اقتصادی می‌گردد (Harris *et al.,* 1999; Moosavi *et al.,* 2009). اسمول و همکاران (Smol *et al.,* 1993) عنوان نمودند که بذر برای جوانه‌زنی می‌بایست به اندازه کافی آب جذب نماید، چنانچه جذب آب دچار اختلال گردد و یا به کندی صورت گیرد مدت زمان خروج ریشه‌چه افزایش و فرآیند جوانه‌زنی به تاخیر می‌افتد. بررسی‌ها نشان داده است که تاثیر کلسیم بر بهبود جوانه‌زنی بذر ممکن است به دلیل اثر محرک آن بر فعالیت‌آلفا-آمیلاز و در ادامه، تسریع تجزیه ذخایر نشاسته باشد (Marschner, 2011). کلسیم به‌عنوان پیک ثانوی در پاسخ به هورمون ABA تولید شده در شرایط تنش‌های محیطی عمل می‌کند (Sanders *et al.,* 2003). از طرف دیگر، افزایش یون کلسیم در هنگام فعال‌سازی راه انداز ژن‌های مسئول تنش (Sheen, 1996)، از جمله مدارکی هستند که نقش محرک و بهبود دهندگی عنصر کلسیم بر جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه سیاه دانه در شرایط تنش شوری را تایید می-

نمایند. سودمندی نسبی پرایمینگ بذر با عنصر ریز مغذی روی بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و توسعه گیاهچه، اعم از سرعت و درصد جوانه‌زنی، طول و وزن خشک گیاهچه و شاخص قدرت گیاهچه در سرخارگل (Babaeva *et al.*, 1999)، جو (Ajouri, 2004)، لوبیا (Kaya *et al.*, 2007) و نخود و گندم (Harris *et al.*, 2008) گزارش شده است. احتمال می‌رود که عنصر روی از طریق تأثیر بر سیستم‌های آنزیمی و نیز تنظیم سرعت واکنش‌های متابولیکی، بتواند اثرات مثبت خود را اعمال کند (Price, 1970).

روابط یونی گیاهچه

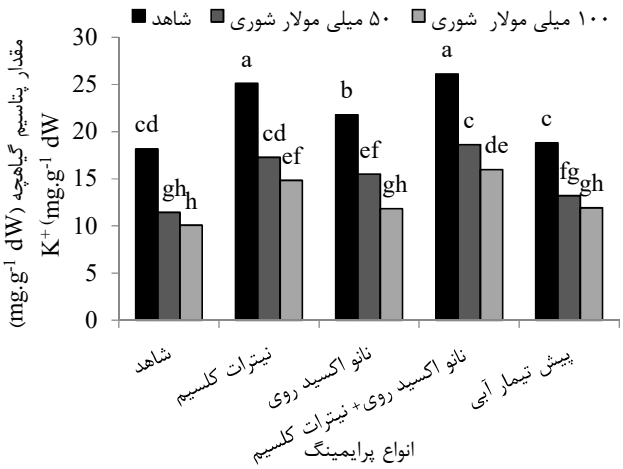
با شورتر شدن بستر کشت، محتوای سدیم گیاهچه‌های سیاه‌دانه به‌طور قابل توجهی افزایش یافت (شکل ۴). بالاترین مقدار سدیم در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار نمک کلرید سدیم مشاهده شد. میزان سدیم گیاهچه‌های حاصل از بذور پرایم شده در مقایسه با شاهد کاهش قابل توجهی را نشان داد. از بین انواع مختلف روش‌های پرایمینگ بذر، پرایمینگ با نانو اکسید روی+نیترات کلسیم در هر دو سطح تنش شوری سبب تولید گیاهچه‌هایی با کمترین محتوای سدیم گردید، به‌طوری‌که محتوای سدیم این گیاهچه‌ها نسبت به شاهد (بدون پرایمینگ)، در شوری ۵۰ میلی‌مولار ۳۱ درصد و در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار ۲۷ درصد کاهش نشان داد. دو روش پرایمینگ بذور سیاه‌دانه با نیترات کلسیم و نیترات کلسیم+نانو اکسید روی، در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار نتاج مشابهی از نظر مقادیر سدیم گیاهچه‌ها نشان دادند. با افزایش غلظت نمک NaCl در بستر کشت، کاهش معنی‌داری در مقادیر پتاسیم گیاهچه‌های سیاه‌دانه ملاحظه شد، به‌طوری‌که کمترین میزان (۱۲/۹۲) به شوری ۱۰۰ میلی‌مولار تعلق داشت (شکل ۵). در مقایسه با پرایمینگ شاهد، روش‌های گوناگون پرایمینگ بذر اثرات سودمندی به لحاظ محتوای پتاسیم گیاهچه‌ها داشت. پرایمینگ با نیترات کلسیم+نانو اکسید روی و همچنین پرایمینگ نیترات کلسیم سبب تولید گیاهچه‌هایی با بیش‌ترین میزان پتاسیم گردیدند. گیاهچه‌های حاصل از بذرهای پرایم شده با نیترات کلسیم+نانو اکسید در شوری ۵۰ میلی‌مولار ۳۸ درصد و در شوری ۱۰۰ میلی مولار ۳۶ درصد پتاسیم بیش‌تری نسبت به شاهد (بدون پرایمینگ) داشتند.

پرایمینگ آبی بذور و نانو اکسید روی نیز روی هم رفته اثرات مثبتی در افزایش مقدار پتاسیم گیاهچه‌های سیاه‌دانه تحت تنش شوری بر جا گذاشتند. میزان کلسیم گیاهچه‌ها تحت تاثیر تنش شوری به‌طورقابل ملاحظه‌ای نسبت به شاهد کاهش یافت (شکل ۶). گیاهچه‌های رشد یافته در بستر کشت حاوی غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار نمک، کم‌ترین (۰/۶۱۳) مقدار کلسیم را داشتند. به‌طورکلی، پرایمینگ بذور اثرات بهبود دهنده‌ای بر محتوای کلسیم گیاهچه‌ها در شرایط تنش شوری داشت. به‌طوری‌که، بیش‌ترین مقدار کلسیم (۰/۹۶۷) در پرایمینگ بذور با نیترات کلسیم+نانو اکسید روی و نیز پرایمینگ نیترات



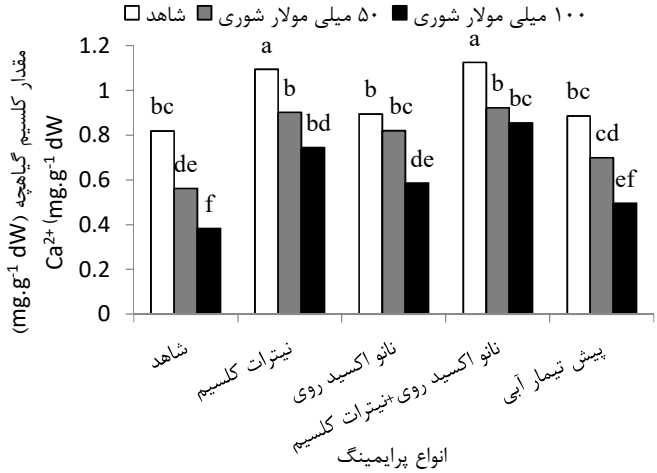
شکل ۴- مقدار سدیم گیاهچه سیاه دانه متأثر از روش‌های مختلف پرایمینگ و تنش شوری

Figure 4. Sodium of black cumin seedling affected by different priming methods and salinity stress



شکل ۵- مقدار پتاسیم گیاهچه سیاه دانه متأثر از روش‌های مختلف پرایمینگ و تنش شوری

Figure 5. Potassium of black cumin seedling affected by different priming methods and salinity stress



شکل ۶- مقدار کلسیم گیاهچه سیاه‌دانه متأثر از روش‌های مختلف پرایمینگ و تنش شوری

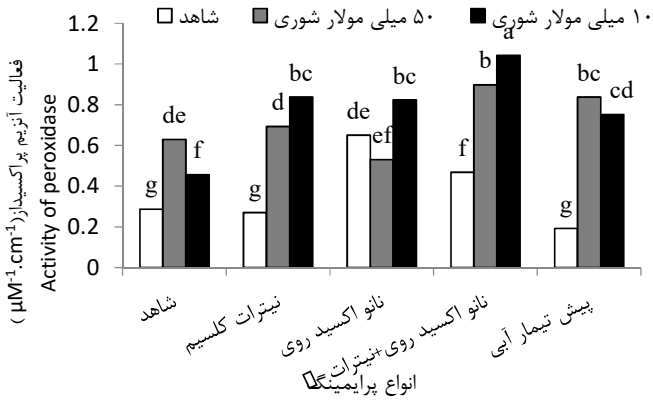
Figure 6. Calcium of black cumin seedling affected by different priming methods and salinity stress

کلسیم مشاهده شد. پرایمینگ بذرهای سیاه‌دانه با این ترکیب (نیترات کلسیم+نانو اکسید روی) موجب تولید گیاهچه‌هایی شد که در شوری ۵۰ میلی‌مولار ۳۹ درصد و در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار ۵۵ درصد نسبت به شاهد (بدون پرایمینگ) محتوای کلسیم بالاتری داشتند. هیدرو-پرایمینگ بذر و پرایمینگ نانو اکسید روی سبب بهبود جزئی اثرات سوء ناشی از تنش شوری بر میزان کلسیم گیاهچه سیاه‌دانه شدند، ولی این سودمندی در مقایسه با شاهد (عدم پرایمینگ بذر) از نظر آماری چندان قابل توجه نبود. با احتساب نتایج به دست آمده برای سیاه‌دانه، به‌طور کلی افزایش غلظت نمک NaCl در محیط کشت سبب افزایش غلظت عنصر سدیم و کاهش غلظت عناصر پتاسیم و کلسیم در گیاهچه‌ها می‌گردد. تنش شوری جذب یون‌ها توسط گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد و باعث اختلال در جذب عناصر غذایی به‌ویژه پتاسیم و کلسیم گردیده و در نهایت سبب بروز ناهنجاری‌های فیزیولوژیک در گیاه می‌گردد. به‌طورکلی، کمبود K^+ یکی از عوارضی است که در اثر رقابت Na^+ با K^+ برای جذب در ریشه‌ها پیش می‌آید (Ashraf *et al.*, 2004). گزارش شده است که به دلیل انتقال کاتیون‌های Na^+ و K^+ با یک پروتئین

مشترک، Na^+ برای شارش به درون سلول با K^+ رقابت می‌نماید (Hasegawa *et al.*, 2000). غلظت زیاد سدیم در اندام هوایی دامنه‌ای از مشکلات اسمزی و متابولیک گیاه را موجب شده و سمیت احتمالی ناشی از تجمع بیش از حد این یون در اندام گیاهی و کاهش تولید ماده خشک گیاه را به دنبال خواهد داشت (Tester and Davenport, 2003). از دیگر سو، فعالیت آنزیم‌های موجود در سیتوپلاسم حساسیت زیادی به نمک دارند و لذا حفظ نسبت زیاد پتاسیم به سدیم در سیتوسول، یک نیاز اساسی برای رشد گیاه در شرایط شوری است (Apse and Blumwald, 2002). مارشنر (Marschner, 2011) گزارش نمود که جذب و تجمع یون کلسیم در اثر شوری کاهش می‌یابد. با در نظر گرفتن این امر که زیاد بودن نسبت‌های پتاسیم به سدیم و کلسیم به سدیم در گیاه تحت شرایط شور به‌عنوان یکی از معیارهای مهم برای مقاومت به شوری به شمار می‌رود (Ashraf and Orooj, 2005)، بنابراین می‌توان گفت که تکنیک پرایمینگ بذر از طریق برقراری تعادل در نسبت غلظت عناصر سدیم، پتاسیم و کلسیم گیاهچه‌های سیاه دانه سبب مقاومت نسبی در برابر شوری گردید. در همین رابطه گزارش شده است که در شرایط شوری، کاربرد یون کلسیم موجب کاهش جذب سدیم و افزایش جذب پتاسیم و کلسیم می‌گردد (Mokhtari *et al.*, 2010). همچنین آلپاسلان و همکاران (Alpaslan *et al.*, 1999) اعلام نمودند که افزایش بیرونی غلظت عنصر روی می‌تواند اثر منفی NaCl را با محدود کردن جذب سدیم و کلر و یا انتقال آن‌ها در گیاه تخفیف دهد. در نتیجه در حضور عناصر روی و کلسیم، اثرات سوء ناشی از تنش شوری بر جذب عناصر غذایی ضروری می‌تواند تقلیل پیدا کند.

فعالیت آنزیم پراکسیداز

با شدت یافتن تنش شوری، فعالیت آنزیم پراکسیداز گیاهچه افزایش یافت (شکل ۷). بیش‌ترین فعالیت این آنزیم به سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار تعلق داشت. استفاده از تکنیک پرایمینگ بذر، موجب شد تا روند افزایشی فعالیت آنزیم پراکسیداز با شیب تندتری صورت گیرد. در شرایط بدون شوری (شاهد) و شوری ۵۰ میلی مولار، پرایمینگ بذور با نیترات کلسیم+نانو اکسید روی بیش‌ترین فعالیت آنزیم پراکسیداز را در پی داشت. در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار نیز حداکثر فعالیت این آنزیم آنتی اکسیدان در پرایمینگ نانو اکسید روی مشاهده گردید که با پرایمینگ نیترات کلسیم+نانو اکسید روی اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. هیدرو-پرایمینگ بذر نیز در مقایسه با شاهد سبب افزایش جزئی در فعالیت آنزیم پراکسیداز گیاهچه سیاه‌دانه شد. در شرایط وقوع تنش‌های محیطی نظیر شوری، عدم توازن بین فرآیندهای جذب انرژی و مصرف آن توسط سلول‌های گیاهی ممکن است موجب افزایش تولید انواع اکسیژن فعال (ROS) و ناتوانی سلول در مهار آن گردد که در نتیجه این امر بروز تنش اکسیداتیو اجتناب ناپذیر خواهد بود. در این شرایط محتوای آنتی اکسیدانی افزایش یافته و فعالیت آنزیم‌های مهار کننده ROSها در جهت کاهش اثرات منفی تنش



شکل ۷- فعالیت آنزیم پراکسیداز گیاهچه سیاه‌دانه متأثر از روش‌های مختلف پرایمینگ و تنش شوری

Figure 7. Activity of peroxidase in black cumin seedling affected by different priming methods and salinity stress

اکسیداتیو ناشی از نمک، افزایش پیدا می‌کنند (Bor *et al.*, 2003). در این پژوهش، با شدت یافتن تنش شوری، فعالیت آنزیم پراکسیداز گیاهچه سیاه‌دانه افزایش یافت. این روند افزایشی با استفاده از تکنیک پرایمینگ بذر سیر صعودی‌تری به خود گرفت. دلیل افزایش مقدار و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان تحت تنش‌های محیطی در اثر پرایمینگ، می‌تواند به واسطه بهبود و تسریع ساخت DNA در بافت‌ها جنینی در طی دوره پرایمینگ باشد (Gholamalipoor, 2010). لذا با توجه به اثر عنصر روی بر فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان (Murray, 1989) و همچنین ضرورت حضور عنصر کلسیم جهت فعال‌سازی پروموتورهای ژن‌های تنشی (Sheen, 1996)، بهبود فعالیت آنزیم پراکسیداز گیاهچه‌های سیاه‌دانه تحت تاثیر پرایمینگ بذر با ترکیبات نانواکسید روی و نیترات کلسیم قابل توجیه است.

نتیجه‌گیری

پرایمینگ بذور با نانو اکسید روی، افزایش قابلیت جوانه‌زنی بذر و توسعه گیاهچه در شرایط غیر تنش (شاهد) را باعث شد. از طرف دیگر، در تنش شوری از سودمندی پرایمینگ با نانو اکسید روی در مقایسه با شاهد (عدم اعمال شوری) به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاسته شد. در کل، پرایمینگ بذور با نیترات کلسیم و نیترات کلسیم+نانو اکسید روی موجب بهبود شاخص‌های جوانه-زنی و رشد گیاهچه سیاه‌دانه در شرایط وقوع تنش شوری گردید. با توجه به گزارش‌های متعدد مبنی بر اثرات مثبت و محرک عنصر کلسیم در رفع آسیب‌های ناشی از تنش شوری و در نتیجه القای تحمل به تنش در گیاهان، می-توان کاربرد انواع ترکیبات معدنی کلسیم دار نظیر نیترات کلسیم را به‌منظور پرایمینگ بذور گیاه سیاه دانه توصیه نمود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی خود را از حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی در راستای تامین هزینه‌های اجرای این تحقیق ابراز می‌دارند.

منابع

Ahmadpour, D.S. and Balouchi, H.R. 2013. Effect of seed priming on antioxidant enzymes and lipids peroxidation of cell membrane in Black cumin (*Nigella sativa*) seedling under salinity and drought stress. Electronic Journal of Crop Production, 5(4): 63-85. (In Persian)**(Journal)**

Ajouri, A., Asgedom, H. and Becker, M. 2004. Seed priming enhances germination and seedling growth of barley under conditions of P and Zn deficiency. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 167: 630–636. **(Journal)**

Alpaslan, M., Inal, A., Gunes, A., Cikili,Y. and Ozcan, H. 1999. Effect of zinc treatment on the alleviation of sodium and chloride injury in tomato (*Lycopersicom Esculentum* L. Mill. C.V. lale) grown under salinity. Turkish Journal of Botany, 23: 1-6. **(Journal)**

Apse, M.P. and Blumwald, A. 2002. Engineering salt tolerance in plant. Journal of Biotechnology, 13: 146-150. **(Journal)**

Armin, M., Asgharipour, M. and Razavi-Omrani, M. 2010. The Effect of Seed Priming on Germination and Seedling Growth of Watermelon (*Citrullus Lanatus* L.). Advances in Environmental Biology, 4(3): 501-505. **(Journal)**

Ashraf, M. and Orooj, A. 2005. Salt stress effects on growth, ion accumulation and seed oil concentration in an arid zone traditional medicinal plant ajwain (*Trachyspermum ammi* L. Sprague). Department of Botany, University of Agriculture, Faisalabad 38040, Pakistan. **(Thesis)**

Ashraf, M., Mukhtar, N., Rehman S. and Rha, E.S. 2004. Salt induced changes in photosynthetic activity and growth in a potential medicinal plant Bishop`s weed (*Ammi majus* L.). Photosynthetica, 42(4): 543-550. **(Journal)**

Babaeva, E.Y., Volobueva, V.F., Yagodin B.A. and Klimakhin, G.I. 1999. Sowing quality and productivity of *Echinacea purpurea* in relation to soaking the seed in manganese and zinc solutions. News of the Timiryazev Agricultural Academy, 4: 73–80. **(Journal)**

Bor, M.O., Zdemir, F. and Turkan, I. 2003. The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in leaves of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and wild beet (*B. maritime* L.). Plant Science, 164: 77–84. **(Journal)**

Bort, J., Araus, J.L., Hazzam, H., Grando, S. and Ceccarelli, S. 1998. Relationships between early vigor, grain yield, leaf structure and stable isotope composition in field grown barley. Plant Physiology and Biochemistry, 36: 889- 897. **(Journal)**

Cakmak, I., Kalayci, M., Ekiz, H., Braun, H.J. and Yilmaz, A. 1999. Zinc deficiency as an actual problem in plant and human nutrition in Turkey: NATO-Science for Stability Project. Field Crops Research, 60: 175-188. **(Journal)**

Ellis, R.H. and Roberts, E.H. 1981. The quantification of aging and survival in orthodox seeds. Seed Science and Technology, 9: 373-409. **(Journal)**

Emami, S. and Majnoon Hosseini, N. 2007. The cultivation and production of some medicinal and spices plants. Tehran University Press. (In Persian)**(Book)**

Fallah, S., Malekzadeh, S. and Pessarakli, M. 2017 Seed priming improves seedling emergence and reduces oxidative stress in Nigella sativa under soil moisture stress. Journal of Plant Nutrition, 41(1):.29-40. **(Journal)**

Fischer, R.A. and Turner, N.C. 1978. Plant productivity in the arid and semiarid zones. Annual Review. Plant Physiology, 29: 277-317. **(Journal)**

Gholamalipoor, R. 2010. Effect of seed priming on growth and salinity tolerance of Cucurbita pepo under salt stress. Journal of Agronomy and Plant Breeding, 6(2): 42-53. (In Persian)**(Journal)**

Gholami, M., Mokhtarian, F. and Baninasab, B. 2015. Seed halopriming improves the germination performance of black seed (Nigella sativa) under salinity stress conditions. Journal of Crop Science and Biotechnology, 18(1): 21-26. **(Journal)**

Ghoulam, C. and Fares, K. 2001. Effect of salinity on seed germination and early seedling growth of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). Seed Science Technology, 29: 357-364. **(Journal)**

Graham, R.D. and Rengel, Z. 1993. Genotypic variation in zinc uptake and utilization by plants, in A. D. Robson: Zinc in soils and plants. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, 3: 107-118. **(Book)**

Gulzar, S. and Khan, M.A. 2001. Seed germination of a halophytic grass *Aeluropuslagopoides.* Annals of Botany, 87: 319- 324. **(Journal)**

Harris, D., Rashid, A., Miraj, G., Arif, M. and Yunas, M. 2008. 'On-farm' seed priming with zinc in chickpea and wheat in Pakistan. Plant Soil, 306: 3-10. **(Journal)**

Harris, D., Joshi, A., Khan, P.A., Gothkar, P. and Sodhi, P.S., 1999. On-farm seed priming in semi-arid agriculture: Development and evaluation in maize, rice and chickpea in India using participatory methods. Experimental Agriculture, 35: 15-29. **(Journal)**

Hasegawa, P.M., Bressan, R.A., Zhu, J.K. and Bohnert, H.J. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. Annual Review of Plant Physiology and plant Molecular Biology, 51: 463–499. **(Journal)**

Jones, M.J. and Wahbi, A. 1992. Site-factor influence on barley response to fertilizer in on-farm trials in northern Syria: descriptive and predictive models. Experimental Agriculture, 28: 63- 87. **(Journal)**

Kafi, M., Borzoei, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoomi, A. and Nabati, J. 2009. Physiology of environmental steress in plants. Jahad Danesgahi Mashhad, 502p. (In Persian)**(Book)**

Kaya, M., Atak, M., Khawar, K.M., Çiftçi, C.Y. and Ozcan, S. 2007. Effect of pre-sowing seed treatment with zinc and foliar spray of humic acids on yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). International Journal of Agriculture and Biology, 7: 875-878. **(Journal)**

Khajeh-Hosseini, M., Powell, A.A. and Bingham, I.J. 2003. The interaction between salinity stress and seed vigour during germination of soybean seeds. Seed Science and Technology, 31: 715-725. **(Journal)**

MacAdam, J.W., Nelson, C.J. and Sharp, R.E. 1992. Peroxidase Activity in the Leaf Elongation Zone of Tall Fescue. Plant Physiology, 99: 872-878. **(Journal)**

Marschner, H. 2011. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed., Academic Press. **(Book)**

Mohammadi, G.R. 2009. The influence of NaCl priming on seed germination and seedling growth of canola (*Brassica napus* L.) under salinity conditions. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental, 5(5): 696-700. **(Journal)**

Mokhtary I., Abrishamchi P. and Ganjali A. 2010. Ameliorative effects of $CaCl_2$ and $CaSO_4$ on growth,content of solouble proteins, solouble sugars, proline and some mineral nutrients (Na+,K+) in leaves of *Lycopersicon esculentom* var Mobile under salt stress. Iranian Journal of Biology, 23(1): 62-72. (In Persian)**(Journal)**

Moosavi, A., Tavakkol Afshari, R., Sharif-Zadeh, F. and Aynehband, A. 2009. Effect of seed priming on germination characteristics, polyphenol oxidase and peroxidase activities of four amaranth cultivars. Journal of Food, Agriculture and Environment, 7(3-4): 353 – 358. **(Journal)**

Murata, M.R., Zharare, G.E. and Hammes, P.S. 2008. Pelleting or priming seed with calcium improves groundnut seedling survival in acid soils. Journal of Plant Nutrition, 31: 1736-1745. **(Journal)**

Murray, D.R. 1989. Biology of food irradiation. Res. St. Press. U.K. **(Book)**

Nascimento, W.M. 2003. Muskmelon seed germination and seedling development in response to seed priming. Scientia Agricola, 60(1): 71-75. **(Journal)**

Price, G. 1970. Molecular Approaches to plant physiology. Me Grow Hill book co., NewYork, 338 p. **(Book)**

Rahimi, A., Shamsaldin, M. and Etemadi, F. 2007. Effect of salinity stress on germination, vegetative growth and ionic values of Nigella Sativa. Journal of Dry Region, 1(2): 20-30. (In Persian)**(Journal)**

Sanders, D., Pelloux. J., Brownlee, C. and Harper, J.F. 2002. Calcium at the crossroads of signaling. Plant Cell, 14: 401–417. **(Journal)**

Sheen, J. 1996. Ca^{2+}-dependent protein kinases and stress signal transduction in plants. Science, 274: 1900–1902. **(Journal)**

Smol, M.A., Chojnowoski, M. and Come, D. 1993. Effect of osmotic treatment on sunflower seed germination in relation with-temperature and oxygen. Basic and Applied Aspects of Seed Biology, 3: 1033-1038. **(Journal)**

Tester, M. and Davenport, R. 2003. Na^+ tolerance and Na transport in higher plants. Annals of Botany, 91: 503-527. **(Journal)**

Welch, R.M., Webb, M.J. and Lonegaran, J.E. 1982. Zinc in membrane function and its role in phosphorus toxicity. In: Scaife A, (ed.) Proc. 9th Plant. Nutr. Colloquium, Warwickshire, England. Slough: Commonwealth Agricultural Bureaux, pp. 710-715. **(Conference)**

Yamaguchi, T. and Blumwald, E. 2005. Developing salt-tolerant crop plants: challenges and opportunities. Trends in Plant Science, 10: 12-22. **(Journal)**

Yilmaz, A., Ekiz, H., Gültekin, I., Torun, B., Barut, H., Karanlik, F. and Cakmak, I. 1998. Effect of seed zinc content on grain yield and zinc concentration of wheat grown in zinc-deficient calcareous soils. Journal of Plant Nutrition, 21: 2257- 2264. **(Journal)**

Khomari, S. and Javadi, A. 2015. Effect of calcium and boron on germination of differentially aged oilseed rape seeds under salinity. International Journal of Biosciences (IJB), 6(5): 261-272. **(Journal)**

Zarinkafsh, M. 1992. Soil fertility and production. Tehran University Press. (In Persian)**(Book)**

Black cumin seed germination enhancement by calcium and zinc under salinity stress

Saeid Khomari[1], Moslem Madadi[2], Ahmad Javadi[3*]

Received: November 21, 2017 Accepted: January 17, 2018

Abstract

Seed priming has been used to improve germination and to enhance seedling vigour of field crops especially under environmental stresses. The present research was designed in order to evaluate the advantage of seed priming with calcium and zinc on seed germination indices and seedling growth of black cumin under salt stress. For this purpose, a factorial experiment was carried out based on RCB design with four replicates. Experimental factors included five priming methods (non-priming control, priming with calcium nitrate, nano zinc oxide, calcium nitrate+nano zinc oxide and hydro-priming) and three salinity levels (0, 50 and 100 mM NaCl). In this experiment, seed germination indices, sodium, potassium and calcium content of seedlings and peroxidase activity of seedlings were measured. The results of the present research indicated that despite the inhibitory effect of salinity on black cumin seed germination and seedling growth characteristics, seed priming substantially alleviated the deleterious impacts of salt due to enhancement of prescribed parameters. When NaCl concentration increased, K and Ca contents of seedling was reduced and Na amount and guaiacol peroxidase activity was increased, while seed priming caused increase of K and Ca and decrease of Na under salinity. Among the applied priming methods, seed priming with calcium nitrate+nano zinc oxide had the highest efficacy and the best performance in ameliorating inhibition of measured parameters of black cumin induced by salt.

Keywords: Antioxidant system; Black cumin; Ionic relations; Salt stress; Seed priming

How to cite this article

Khomari, S., Madadi, M. and Javadi, A. 2019. Black cumin seed germination enhancement by calcium and zinc under salinity stress. Iranian Journal of Seed Science and Research, 6(1): 93-105. (In Persian)**(Journal)**

DOI: 10.22124/jms.2019.3590

COPYRIGHTS

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to the Iranian Journal of Seed Science and Research

The content of this article is distributed under Iranian Journal of Seed Science and Research open access policy and the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY4.0) License. For more information, please visit http://jms.guilan.ac.ir/

1. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2. MSc. of Seed Science and Technology, Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
3. Ph.D of Seed Science and Technology, Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

*Corresponding author: Ahmadjavadi55@gmail.com