



اثر غلظت‌های مختلف سلیوم بر خصوصیات جوانه‌زنی و محتوای پرولین گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa willd*) تحت تنش خشکی

شکوفه غلامی^۱، مجید امینی دهقی^{۲*}، علیرضا رضازاده^۳

۱. دانشجوی دکتری زراعت، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران
۲. دانشیار و هیئت‌علمی گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران
۳. استادیار و عضو هیئت‌علمی گروه گیاهپزشکی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۳/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۷/۰۶

چکیده

پرایمینگ بذر روشی مؤثر جهت افزایش عملکرد بذر و بهبود تحمل محصولات زراعی نسبت به تنش‌های غیر زیستی به‌ویژه خشکی است. به‌منظور بررسی غلظت‌های مختلف سلیوم (Na_2SeO_3) در شرایط تنش خشکی آزمایشی به‌صورت فاکتوریل با ۵ سطح پرایمینگ با سلیوم از منبع سلنیت سدیم (۰/۵، ۱/۵، ۳، ۴/۵، ۶ میلی‌گرم در لیتر) و دو سطح هیدروپرایمینگ و بدون پرایمینگ و سه سطح تنش خشکی با استفاده از پلی‌اتیلن گلیکول (PEG) (۰/۴، ۰/۸، ۱/۲ مگاپاسگال) با سه تکرار در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه شاهد در سال ۱۳۹۸ انجام گرفت. نتایج نشان داد که پرایم با سلیوم و اعمال تنش خشکی اثر معنی‌داری بر اکثر صفات جوانه‌زنی و رنگیزه‌های فتوسنتزی، میزان پرولین و آنزیم کاتالاز داشت. پرایم با سلیوم در غلظت مناسب آن منجر به ظهور سریع‌تر گیاهچه در شرایط تنش خشکی شد ولی با افزایش غلظت سلیوم و همچنین افزایش سطوح تنش خشکی اثر بازدارنده‌ای را نشان داد. پیش‌تیمار با سلیوم در غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر بیشترین درصد جوانه‌زنی (۹۴٪) را با افزایش ۵۸ درصدی نسبت به تیمار عدم پرایمینگ و تنش شدید نشان داد. همچنین گیاهچه‌های که با سلیوم پرایم شده بودند رنگیزه‌ی فتوسنتزی بیشتری را نسبت به عدم پرایمینگ و هیدروپرایم در شرایط تنش داشتند. بیشترین میزان پرولین و کاتالاز را در شرایط تنش شدید به ترتیب با غلظت ۰/۵ و ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد؛ بنابراین جهت بهبود جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه کینوا می‌توان با پرایمینگ بذر با استفاده از سلیوم به نتیجه بهتری رسید.

واژه‌های کلیدی: آنزیم کاتالاز، پرایمینگ با سلیوم، تنش خشکی، درصد جوانه‌زنی، کلروفیل

مقدمه

داشته باشند ولی پاسخگوی کمبود مواد غذایی باشند بسیار مهم است (Oelke et al., 2012). تنش خشکی باعث اختلال در جوانه‌زنی و رشد گیاهچه (Ashraf and Shakra, 1978)، رشد گیاه و همچنین کاهش سازگاری و عملکرد گیاهان می‌شود (Xu et al., 2007).

هدف از راهبردهای مدرن در کشاورزی افزایش بازده برداشت در هر هکتار و کاهش خسارت‌های قبل از برداشت و پس از برداشت ناشی از عوامل غیرزنده زیان‌آور است (Gust

تنش‌های غیرزنده محدودیت‌های عمده‌ای را برای همه موجودات زنده با چالش‌های بیشتری برای به دلیل عدم تحرک گیاهان ایجاد می‌کنند (Gupta et al., 2013). از بین تنش‌های غیرزیستی، خشکی عامل اصلی محدودکننده تولید محصولات کشاورزی در سراسر جهان است (Tardieu et al., 2014). افزایش جمعیت نیاز به افزایش تولید مواد غذایی همراه با تغییر به سمت کشاورزی پایدار از نظر زیست‌محیطی دارد؛ بنابراین انتخاب محصولاتی که نیاز به نهاده کمتری

2015). جنبه‌هایی مانند کیفیت تغذیه‌ای استثنایی، ژنتیکی، تنوع‌پذیری، سازگاری به شرایط نامطلوب آب‌و‌خاک و هزینه تولید پایین باعث شد کینوا یک محصول استراتژیک دارای پتانسیل کمک به امنیت غذایی باشد (Oelke et al., 2012). هدف این مطالعه تعیین نقش ترکیب سلیوم در بهبود ظهور و رشد گیاهچه کینوا انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر غلظت‌های مختلف سلیوم بر خصوصیات جوانه‌زنی و پرولین گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa willd*) تحت تنش خشکی آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۸ در آزمایشگاه علوم و تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد انجام گرفت. فاکتورهای آزمایشی شامل غلظت‌های مختلف سلیوم از منبع سلیوم سدیم (۰/۵، ۱/۵، ۳، ۴/۵ و ۶ میلی‌گرم در لیتر)، هیدروپرایمینگ و بدون پرایمینگ و سه سطح تنش خشکی با پلی‌اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ در سه سطح (۰/۴، ۰/۸ و ۱/۲ مگاپاسگال) با سه تکرار در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه شاهد در سال ۱۳۹۸ انجام گرفت. منبع سلیوم مورد استفاده، از سلیوم سدیم (Na_2SeO_3) تهیه‌شده از شرکت مرک آلمان بود. بذر رقم Giza 1 از موسسه اصلاح و نهال بذر کرج تهیه شد. ایجاد تنش خشکی بر پایه روش (Michel and Kaufman, 1973) با استفاده از PEG 6000 اعمال شد. در ابتدا بذرهای کینوا با هیپوکلریت سدیم ۵ درصد به مدت ۳۰ ثانیه ضدعفونی و سپس سه بار با آب مقطر شسته شدند. جهت اعمال پرایمینگ بذر با محلول سلیوم سدیم، بذرها به مدت‌زمان ۲۴ ساعت در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد درون محلول قرار گرفتند (Nawaz et al., 2013). را پس از خشک شدن کامل بذرهای پرایم شده ۵۰ عدد بذر سالم و خالص کینوا را درون پتری سترون (استریل) ۲۰ سانتی‌متری قرار داده و به هر پتری دیش ۱۰ میلی‌لیتر محلول‌های مربوطه اضافه شد؛ و پتری‌ها به ژرمیناتور با دمای 25 ± 1 درجه سانتی‌گراد انتقال یافتند. نخستین شمارش بذرهای جوانه‌زده ۲۴ ساعت پس از انتقال آن‌ها به ژرمیناتور صورت گرفت و بذرهایی که ریشه‌چه آن‌ها قابل‌رؤیت بود، به‌عنوان جوانه‌زده شمارش و از پتری خارج می‌شوند. این کار در هر ۲۴ ساعت و تا ۷ روز که جوانه‌زنی کامل می‌شود ادامه یافت. در پایان دوره ۷ روزه درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، متوسط

جهت افزایش پتانسیل تحمل به تنش خشکی یکسری تکنیک‌ها در گیاهان اتخاذ شده است که پاسخ آن‌ها به تنش، با توجه به گونه‌های گیاهی، نوع و ارقام متفاوت است (Reddy et al., 2004). روش پرایمینگ بذر جهت بهبود جوانه‌زنی و قدرت بذور جهت کاربردهای کشاورزی معرفی شده است (Paparella et al., 2015). پرایمینگ بذر یک روش آسان، کم‌هزینه، کم‌خطر و مؤثر جهت بهبود تحمل گیاه تحت محیط‌های استرس‌زا است (Ashraf and Foolad, 2005). نوتری‌پرایمینگ (Nutripriming) روشی جدید از پرایمینگ است که در آن بذر با استفاده از عناصر غذایی میکرو و ماکرو پیش‌تیمار می‌شود (Mirshekari, 2012; Rehman et al., 2012). سلیوم یک عنصر شبه‌فلز (White et al., 2004) است که به دو فرم آلی و معدنی وجود دارد که فرم معدنی به‌صورت سلناید شکل عنصری (Se^0)، سلنات (Se^{2-}O_4) و سلیت (Se^{2-}O_3) دیده می‌شود (El-Ramady et al., 2014). از آنجایی که سلیوم یک ماده مغذی ضروری است، کمبود آن در مواد غذایی عواقب مستقیم و غیرمستقیمی بر سلامت انسان دارد که از جمله اختلالات مستقیم می‌توان به بی‌ثباتی سیستم ایمنی بدن و کم‌کاری تیروئید اشاره کرد (Combs et al., 2011; Rayman, 2012). سلیوم تحمل گیاه را در برابر تنش‌های غیرزنده افزایش می‌دهد (Hasanuzzaman et al., 2012). پاسخ انواع مختلف محصولات در کاربرد غلظت‌های مختلف سلیوم و روش‌های مختلف کاربرد سلیوم هنوز کاملاً شناخته نشده است (Li et al., 2015). مولیک و همکاران (Moulick et al., 2017) گزارشی درباره اثرات مثبت پرایم بذر برنج با سلیوم در جوانه‌زنی و رشد گیاهچه ارائه داده‌اند. پرایم با سلیوم باعث جوانه‌زنی و افزایش واکنش‌های آنتی‌اکسیدانی در کدو تلخ شد (Ullah et al., 2019).

کینوا (*Chenopodium quinoa*) گیاهی دولپه‌ای، آلوتتراپلوئید ($2n=4X=36$)، از خانواده Amaranthaceae، یک‌ساله، سه کربنه و هالوفیت اختیاری است که جزو شبه غلات (Adolf et al., 2012) و بومی مناطق آمریکای جنوبی و ارتفاعات آند است (Martinez et al., 2015). کینوا منبع غنی از کربوهیدرات (۷۷/۶ درصد)، پروتئین (۲۱/۹ درصد)، منیزیم، فیبر، فسفر، ویتامین‌های B1، B2، B6، پتاسیم، آهن و لیپید است (Konishi et al., 2004). آرد حاصل از این گیاه فاقد گلوتن بوده و برای افراد مبتلا به خود ایمنی روده باریک (سلیاک) غذای مناسبی است (Bilgiçli et al.,

شد. غلظت کلروفیل‌های a, b و کل و کاروتنوئید از فرمول‌های شماره ۱ تا ۴ محاسبه شد:

$$Ca (mg.g^{-1}FW) = 12.7 (A663) - 2.69 (A645) \times V/1000W \quad [1]$$

$$Cb (mg.g^{-1}FW) = 22.9 (A645) - 2.69 (A663) \times V/1000W \quad [2]$$

$$CT (mg.g^{-1}FW) = 20.2 (A645) + 8.02 (A663) \times V/1000W \quad [3]$$

$$Carotenoid (mg.g^{-1}FW) = 7.6 (A470) - 14.9 (A510) \times VD/1000W \quad [4]$$

جوانه‌زنی روزانه، شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه طبق روابط ارائه‌شده در جدول ۱ محاسبه گردید. پس از مرحله ۲ برگی شدن گیاهچه‌ها اندازه‌گیری میزان کلروفیل از روش آرنون (Arnon, 1949) و کارتنوئید از روش (Gu et al., 2008) انجام شد. به‌این‌ترتیب که ۰/۲ گرم بافت تازه برگ را با ۴ میلی‌لیتر استن ۸۰٪ به‌طور کامل عصاره‌گیری نموده سپس عصاره‌ی حاصل را با کاغذ صافی صاف کرده و آن را به حجم ۸ میلی‌لیتر رسانده، به مدت ۵ دقیقه با ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد؛ و به‌وسیله اسپکتروفوتومتر مدل-UV Vis Cary 60 میزان کلروفیل در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر و میزان کاروتنوئید در طول موج ۴۷۰ نانومتر قرائت

جدول ۱. روابط محاسباتی صفات مورد مطالعه در آزمایش

Table 1. The computing relation of the parameters studied in the experiment

Traits	صفات	Equation	رابطه	Reference	منابع
Germination Percentage	درصد جوانه‌زنی	GP = (N×100) / M		Liopa-Tsakalidi et al., 2012	
Germination Rate	سرعت جوانه‌زنی	GR=ΣNi/Ti		Pagter et al., 2009	
Mean germination time	میانگین زمان جوانه‌زنی	(MGT) = Σ(Ni Di) / ΣN		Ranal and Santana, 2006	
Mean daily germination	متوسط جوانه‌زنی روزانه	MDG = GP/T		Hunter, Glasbey and Naylor, 1984	
Seed length vigor index (SLV)	شاخص طولی بنیه گیاهچه	(SLV) = GP × Seedling length (SL)		Abdul-Baki and Anderson, 1973	
Seed weight vigor index (SWV)	شاخص وزنی بنیه گیاهچه	(SWV) = GP × Seedling dry weight (SDW)		Abdul-Baki and Anderson, 1973	

N= مجموع کل بذرهای جوانه‌زده در پایان آزمایش، M= کل بذرهای کاشته شده، T= طول دوره جوانه‌زنی، Ti= تعداد روزهای پس از جوانه‌زنی، n= تعداد بذرهای جوانه‌زده در Ti، Mcgr= ماکزیمم درصد جوانه‌زنی جمعی، Ni= مجموع بذرهای کاشته شده، SL= طول گیاهچه، Di= زمان از شروع آزمایش تا زمان نام

N= sum of germinated seeds at the end of the experiment, M= total planted seeds, T= period of germination, Ti= number of days after germination, n= number of germinated seeds in Ti, Mcgr= maximum cumulative germination percentage, Ni= Total seeds sown, SL= Seedling Length, Di: The time from the start of the experiment to the ith observation

برای اندازه‌گیری پرولین، ابتدا ۰/۵ گرم از هر بافت (اندام هوایی)، برداشت گردید. سپس بافت گیاهی در هاون چینی کاملاً سائیده شد. بعد از این مرحله ۱۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک آبدار سه درصد به آن اضافه و محتوای هاون به هم زده شد و در نهایت با کاغذ صافی صاف گردید. ۲ میلی-لیتر از محلول حاصل، به دو میلی‌لیتر معرف ناین هیدرین (۱۲۵ میلی‌گرم ناین هیدرین + ۲۰ میلی‌لیتر اسید فسفریک ۶ مولار + ۳۰ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال) اضافه شد و به مدت یک ساعت در حمام آب جوش در دمای ۱۰۰ درجه

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT)

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز با محاسبه کاهش جذب H₂O₂ در ۲۴۰ نانومتر و با روش موتو و دینسا (Motowe and dhinsa, 1981) انجام شد. میزان H₂O₂ موجود در مخلوط واکنش پس از ۱ دقیقه با استفاده از ضریب خاموشی (ε=۰/۲۸ mMol⁻¹cm⁻¹) و فرمول A=εbc محاسبه شد که نشان‌دهنده میزان فعالیت آنزیم کاتالاز است.

سنجش میزان پرولین محلول

میانگین همچنین نشان داد که غلظت ۴/۵ میلی‌گرم در لیتر سلیت سدیم در شرایط تنش ۰/۴ مگاپاسگال بیشترین سرعت جوانه‌زنی بذر را نشان داد و با افزایش سطوح تنش روندی نزولی را شاهد بودیم (شکل ۱. A و B).

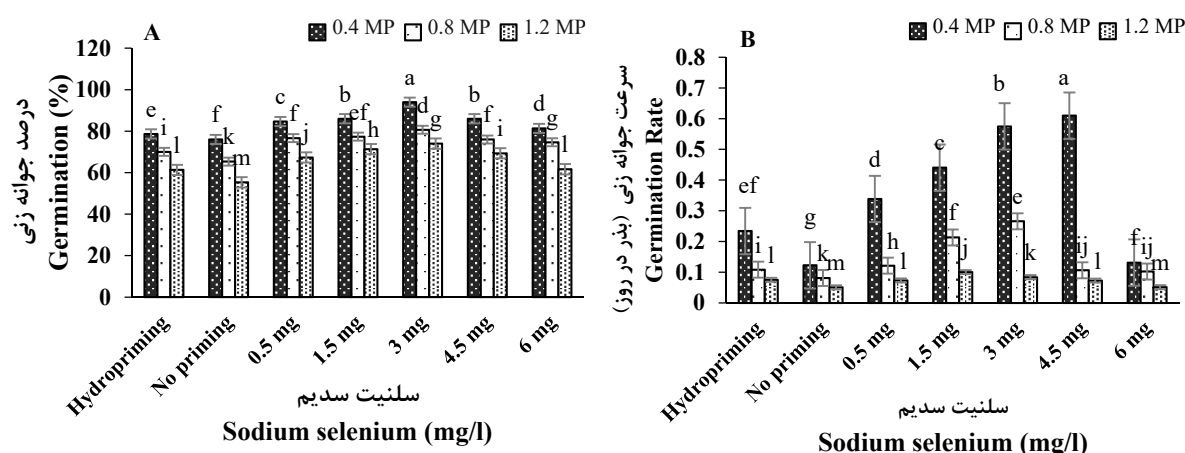
اگر فرآیند جذب آب توسط بذر دچار اختلال شود، سرعت فعالیت‌های سوخت و سازی (متابولیکی) جوانه‌زنی درون بذر کند شده، در نتیجه مدت‌زمان خروج ریشه‌چه از بذر افزایش و از این رو سرعت جوانه‌زنی کاهش خواهد یافت (Nonogak et al., 2010). کاهش رشد گیاهچه گندم در شرایط تنش خشکی ناشی از کاهش جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه است (Kaya et al., 2006). کاربرد سلیوم در غلظت کم، اثر مثبت بر جوانه‌زنی و کیفیت فیزیولوژیکی بذرها در چندین محصول مانند جو، کلزای روغنی و برنج داشت (Molnárová and Fargačová 2009; Khaliq et al. 2015, Moulick et al. 2016). اثر بازدارندگی سلیوم در غلظت بالا در گیاه گاوآینه به دلیل مهار فعالیت آنزیم‌هایی است که متابولیت‌های موردنیاز برای رشد جنین را هیدرولیز می‌کنند (Khaliq et al. 2015). در پرایمینگ بذر گیاه استویا با سلیوم گزارش شده که بیشترین درصد و سرعت جوانه‌زنی در بالاترین غلظت سلیوم (۲ درصد) در مقایسه با شاهد به دست آمد (Aghighi and omidi, 2017).

سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس لوله‌های محتوای محلول حاصل در یخ قرار گرفت تا سرد شدند. پس از ایجاد تعادل با دمای محیط به هر کدام از لوله‌ها چهار میلی‌لیتر تولوئن اضافه گردید و به مدت ۳۰ ثانیه با دستگاه ورتکس به شدت هم زده شد. استانداردهای پرولین در مقادیر ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ میکروگرم در میلی‌لیتر تهیه شد. نمونه‌ها و استانداردها در طول موج ۵۲۰ نانومتر با اسپکتروفتومتر خوانده شد. به وسیله رسم منحنی استاندارد مقدار پرولین بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر محاسبه شد (Bates, 1973).

نتایج و بحث

درصد و سرعت جوانه‌زنی

اثر ساده تنش خشکی و پرایم با غلظت‌های مختلف سلیت سدیم و اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر صفات درصد و سرعت جوانه‌زنی نشان دادند (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که با افزایش سطوح تنش خشکی درصد جوانه‌زنی روند کاهشی را نشان داد. بیشترین درصد جوانه‌زنی با میانگین ۹۴ درصد در پرایم با ۳ میلی‌گرم در لیتر سلیت سدیم و تنش ۰/۴ مگاپاسگال بود که افزایشی ۵۸ درصدی نسبت به عدم پرایمینگ و تنش شدید داشت. در این آزمایش با افزایش غلظت سلیت سدیم به بالاتر از ۳ میلی‌گرم در لیتر درصد جوانه‌زنی روندی نزولی داشت. مقایسات



شکل ۱. مقایسه میانگین تأثیر غلظت‌های مختلف سلیوم بر درصد جوانه‌زنی (A)، بر سرعت جوانه‌زنی (B) در شرایط تنش خشکی در کینوا

Fig. 1. A- Comparison of the average effect of different selenium concentrations on germination percentage (A), germination rate (B), in drought stress conditions in quinoa plant

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف سلنیوم روی برخی صفات مطالعه شده گیاه کینوا تحت تنش خشکی

Table 2. Variation analysis of the effect of different selenium levels on some studied traits of quinoa under drought stress

S.O.V	منابع تغییر	df	درصد	سرعت	متوسط مدت	متوسط جوانه-	طول	شاخص طولی بنبه
			جوانه‌زنی	جوانه‌زنی	جوانه‌زنی	زنی روزانه	گیاهچه	گیاهچه
			Germination Percentage	Germination Rate	Mean Germination Time	Mean Delay Germination	Seedling Length	Seedling vigor Longitudinal
Drought stress(D)	تنش خشکی	2	1112.63**	0.15421**	843.33**	5.676**	25.415**	77543.51**
Se concentration(C)	غلظت‌های سلنیوم	6	195.95**	0.0620**	28.705**	0.9997**	4.333**	12682.2**
D * C	تنش*غلظت	12	8.338**	0.0647**	34.285**	0.04354**	0.19295**	723.314**
Error	خطا		2.4126	0.0000001	0.0000001	0.01230	0.1036	117.02
	ضریب تغییرات CV(%)		2.060	0.1486	4.454	2.0636	4.5457	4.3263

Table 2. Continued

جدول ۲. ادامه

S.O.V	منابع تغییر	df	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید	محتوای	آنزیم
			Chlorophyll a	Chlorophyll b	Content Total Chlorophyll	Content Carotenoids	پرو لین	کاتالاز
			a	b	Chlorophyll	Content	Prolin	Catalase
Drought stress(D)	تنش خشکی	2	0.08272**	0.04109**	0.1772**	0.4652**	7.6231**	5.726**
Se concentration(C)	غلظت‌های سلنیوم	6	0.03789**	0.04932**	0.1373**	0.1131**	0.5274**	0.3897**
D * C	تنش*غلظت	12	0.0215**	0.06077 ^{ns}	0.1076**	0.06088**	0.32216**	0.5574**
Error	خطا		0.0015	0.04718	0.04446	0.00392	0.1055	0.04687
	ضریب تغییرات CV(%)		2.905	17.914	10.453	3.820	5.873	4.543

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی، معنی‌داری در سطح ۵ درصد و معنی‌داری در سطح یک درصد

** , * and ns denote significant differences at 5%, 1% levels, and not significant respectively

مقدار آن در تنش شدید ۱/۲ مگاپاسگال و ۶ میلی‌گرم در لیتر سلنیت سدیم مشاهده شد (شکل ۲-A و B). پرایمینگ بذر سبب جذب بهتر آب و در نتیجه فعال شدن فرآیندهای فیزیولوژیکی داخل بذر و در نتیجه افزایش سرعت جوانه‌زنی و کاهش مدت‌زمان لازم برای جوانه‌زنی می‌شود (Balochi, 2013). گزارش شده که پرایمینگ بذر استویا با سلنیوم در غلظت ۲ درصد بیشترین متوسط جوانه‌زنی را نشان داد (Aghighi and omidi, 2017).

طول گیاهچه و شاخص طولی بنبه گیاهچه

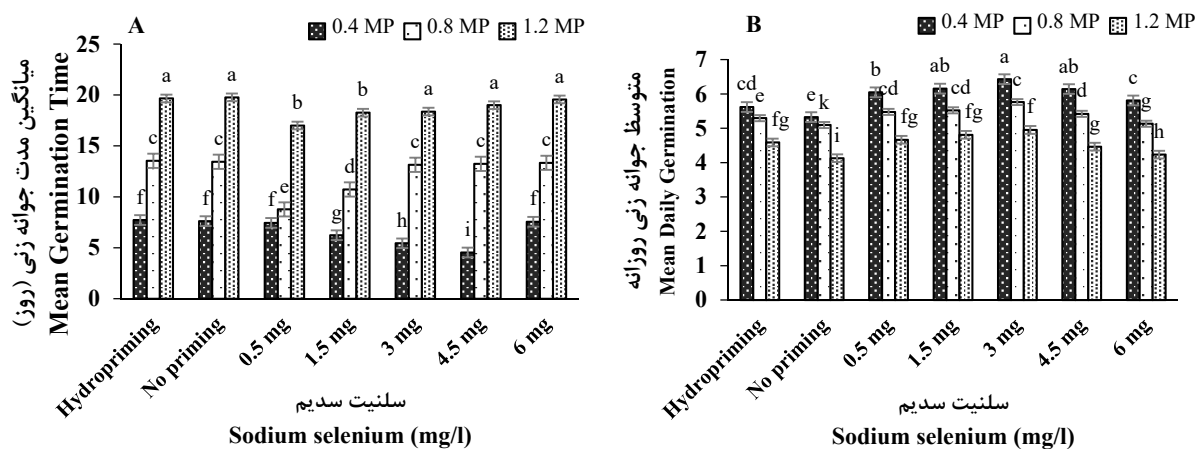
تنش خشکی، پرایمینگ با سلنیت سدیم و برهمکنش بین این دو تیمار بر طول گیاهچه و شاخص وزنی بنبه گیاهچه

متوسط زمان جوانه‌زنی و متوسط جوانه‌زنی روزانه

بر اساس جدول تجزیه واریانس اثر ساده تیمارهای تنش خشکی و پرایمینگ با غلظت‌های مختلف سلنیت سدیم و اثر متقابل این تیمارها برای صفات متوسط زمان جوانه‌زنی و متوسط جوانه‌زنی روزانه اثر معنی‌داری را نشان داد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات برهمکنش پرایمینگ با سلنیت سدیم و تنش خشکی نشان داد که بیشترین میانگین مدت جوانه‌زنی (۱۹/۷۶ روز) در عدم پرایمینگ و تنش ۱/۲ مگاپاسگال مشاهده شد و بین این سطح و تنش شدید و غلظت ۶ میلی‌گرم در لیتر سلنیت سدیم تفاوت زیادی وجود نداشت. بیشترین متوسط جوانه‌زنی روزانه (۵/۷۶) در تنش ۰/۴ مگاپاسگال و ۳ میلی‌گرم در لیتر سلنیت سدیم و کمترین

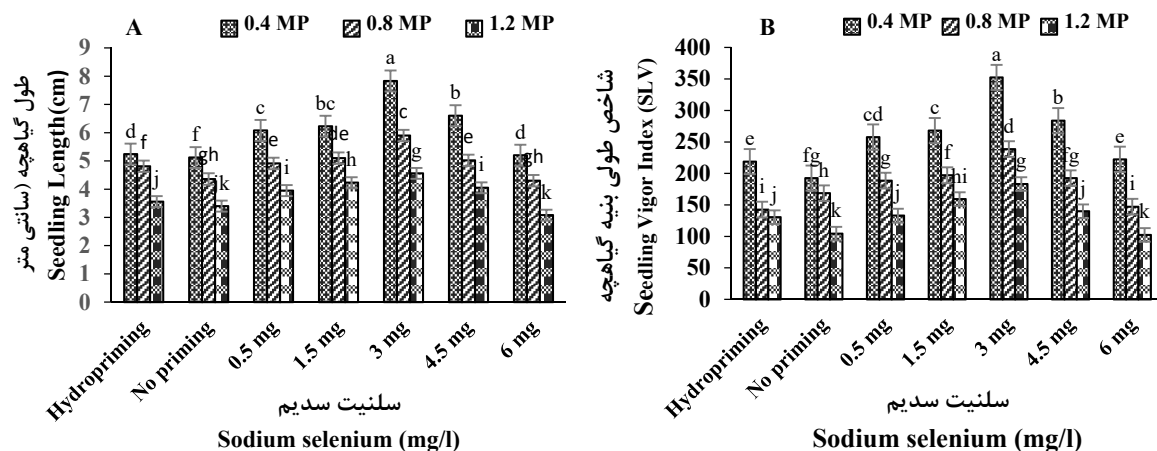
بنیه گیاهچه در شرایط عدم پرایمینگ و پرایمینگ با ۶ میلی-مولار سلنیت سدیم و تنش شدید مشاهده شد (شکل ۳-A و B). پرایمینگ با مواد مغذی می‌تواند سبب افزایش قابل توجهی در طول و وزن گیاهچه و جوانه‌زنی بذر و در نتیجه افزایش شاخص بنیه بذر به دلیل نقش عناصر در تقسیم سلولی و رشد گیاه شود (Mouhtaridou et al., 2004; Khan et al., 2006; Memon et al., 2013). نتایج همچنین نشان داده که خیساندن بذر با سبب افزایش طول گیاهچه در گندم می‌شود (Ajirloo et al., 2014).

تأثیر معنی‌داری را نشان داد (جدول ۲). بیشترین میانگین طول گیاهچه (۷/۸۳ سانتی‌متر) در تنش ۰/۴ مگاپاسگال و ۳ میلی‌گرم در لیتر سلنیت سدیم و کمترین طول گیاهچه در شرایط تنش شدید و غلظت ۶ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد. همچنین حداکثر بنیه گیاهچه در ترکیب ۳ میلی‌گرم در لیتر سلنیت سدیم و تنش ۰/۴ مگاپاسگال به‌دست‌آمده و هم‌زمان با افزایش غلظت سلنیت سدیم روندی کاهشی در بنیه گیاهچه مشاهده شد. به‌طوری‌که کمترین شاخص طولی



شکل ۲. مقایسه میانگین تأثیر غلظت‌های مختلف سلنیوم بر میانگین مدت جوانه‌زنی (A)، متوسط جوانه‌زنی روزانه (B) در شرایط تنش خشکی در گیاه کینوا

Fig. 2. A- Comparison of the average effect of different selenium concentrations on the average germination duration (A), average daily germination (B) in drought stress conditions in Quinoa plant



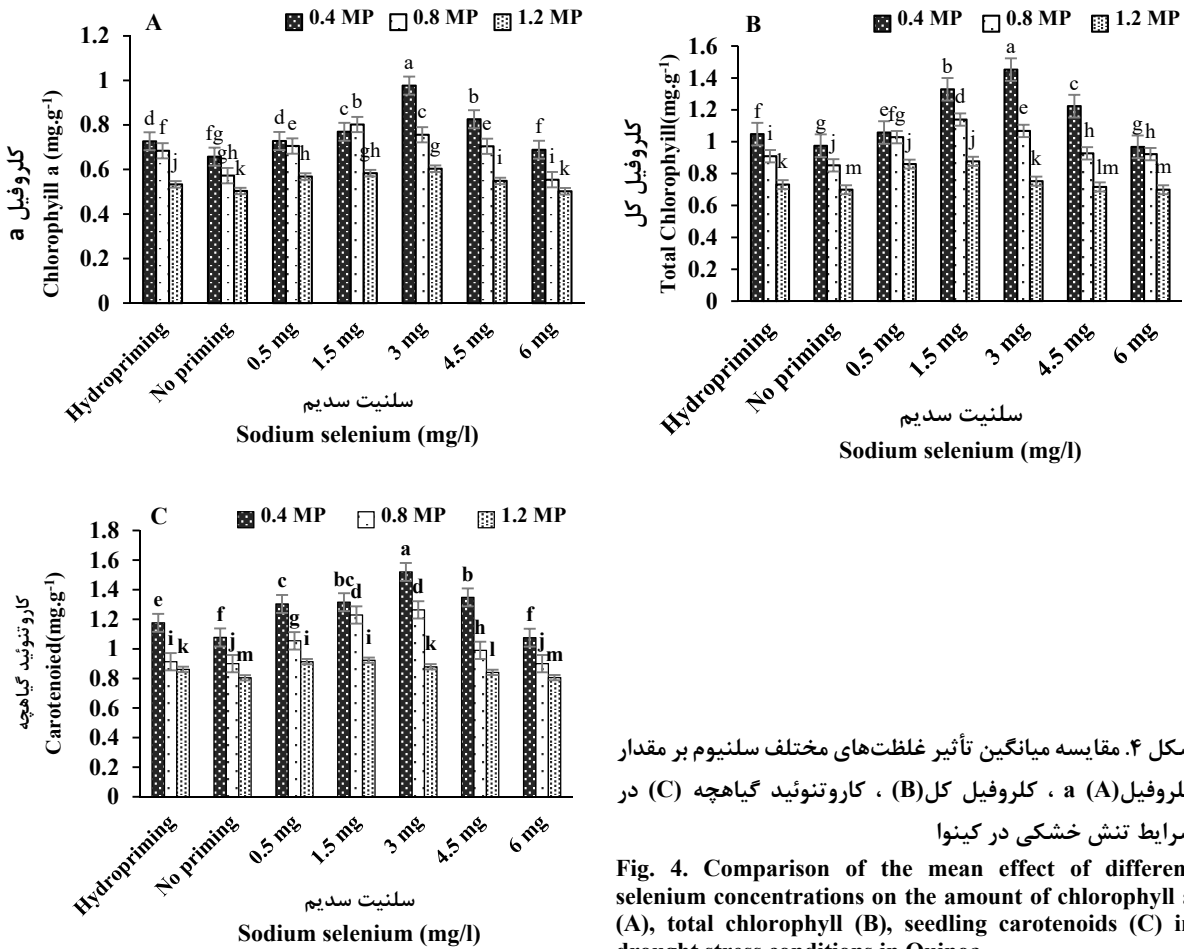
شکل ۳. A- مقایسه میانگین تأثیر غلظت‌های مختلف سلنیوم بر طول گیاهچه (A)، شاخص طولی بنیه گیاهچه (B) در شرایط تنش خشکی در کینوا

Fig. 3. A- Comparison of the average effect of different selenium concentrations on seedling length (A), longitudinal index of seedling vigor (B) in drought stress conditions in Quinoa

کرده‌اند که کاربرد سلنیوم تأثیر مثبتی بر رنگ‌دانه‌های گیاهی داشته است. سلنیوم برای تعدادی از گیاهان مفید است و تحمل گیاه را در برابر تنش محیطی افزایش می‌دهد (Djanaguiraman et al., 2005). افزایش محتوای کلروفیل a و کلروفیل b ممکن است به دلیل اثر محافظتی سلنیوم بر آنزیم‌های کلروپلاست و بیوسنتز رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی باشد (Pennanen et al., 2002). صفریازدی و همکاران (Saffaryazdi et al., 2012) گزارش کردند که استفاده از سلنیت سدیم در غلظت کم سبب افزایش کلروفیل a و کلروفیل کل در گیاه اسفناج شد اما در غلظت‌های بالاتر کلروفیل a و b را نسبت به شاهد کاهش داد. تأثیر مثبت سلنیوم بر محتوای کاروتنوئید، کلروفیل a، کلروفیل b توسط اوراقی اردبیلی و همکاران (Ardebili et al., 2014) گزارش شده است.

رنگیزه‌های فتوسنتزی

اثر ساده پیش‌ تیمار با سلنیت سدیم و تیمار تنش خشکی با PEG و اثر برهمکنش این تیمارها بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی از جمله کلروفیل a و کلروفیل کل و کاروتنوئید اثر معنی‌داری را نشان داد. نتایج همچنین نشان داد که اثر برهمکنش تیمار سلنیت سدیم و تنش خشکی برای کلروفیل b اثر معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۲). مقایسات میانگین نشان داد که میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی با افزایش سطوح تنش خشکی روندی کاهشی را نشان داد همچنین با افزایش سطوح پرایم با سلنیت سدیم تا غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر در محتوای رنگیزه‌ها از جمله کلروفیل a، کلروفیل کل و کاروتنوئید روندی افزایشی مشاهده شد ولی با افزایش غلظت سلنیت سدیم در میزان رنگیزه‌های ذکر شده روندی نزولی را شاهد بودیم (شکل ۴، A و B و C). مطالعات مختلفی گزارش



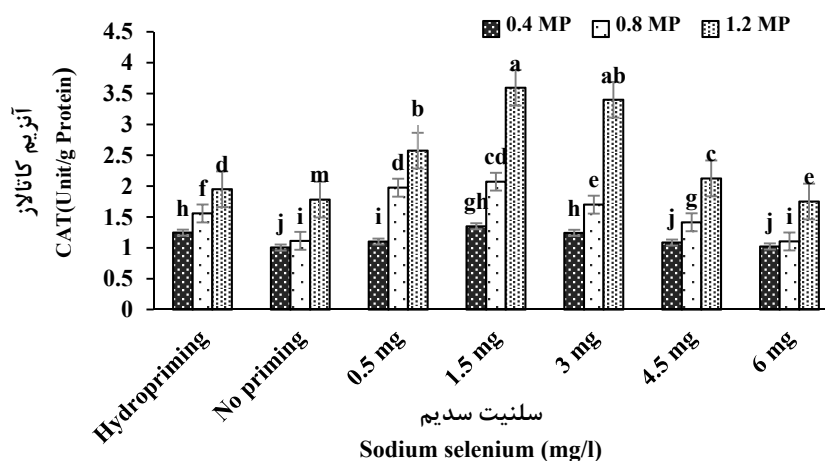
شکل ۴. مقایسه میانگین تأثیر غلظت‌های مختلف سلنیوم بر مقدار کلروفیل (A)، کلروفیل کل (B)، کاروتنوئید گیاهچه (C) در شرایط تنش خشکی در کینوا

Fig. 4. Comparison of the mean effect of different selenium concentrations on the amount of chlorophyll a (A), total chlorophyll (B), seedling carotenoids (C) in drought stress conditions in Quinoa

آنزیم کاتالاز

تنش خشکی و پرایمینگ با سلنیت سدیم و اثر برهمکنش این دو تیمار افزایش معنی‌داری را در فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان کاتالاز نشان داد (جدول ۲). معمولاً افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان به‌عنوان یک مکانیسم جهت القا تحمل گیاهان در برابر تنش‌ها است (Shi et al., 2006; Szollosi, 2014). با افزایش سطح تنش خشکی میزان آنزیم کاتالاز افزایش پیدا می‌کند به‌طوری‌که بیشترین میزان آنزیم کاتالاز در تنش شدید ۱/۲ مگاپاسگال و غلظت ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر سلنیت سدیم مشاهده شد. کمترین میزان این آنزیم در پرایم با ۶ میلی‌گرم در لیتر سلنیت سدیم و تنش خفیف ۰/۴ مگاپاسگال به دست آمد و بین آن با شرایط عدم

پرایمینگ تفاوت چندانی وجود نداشت (شکل ۵). غلظت بالای سلنیوم سبب تولید بالای گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر مانند پراکسید هیدروژن می‌شود که ممکن است برای گیاه سمی باشد و سبب پراکسیداسیون لیپیدهای غشا سلولی شود (Mostofa et al. 2017; Reis et al. 2018). ترکیب تنش خشکی و سلنیوم به‌طور معنی‌داری فعالیت آنزیم کاتالاز را در گیاه گندم افزایش داد (Rabieian et al., 2014). در واقع کاربرد سلنیوم می‌تواند با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی بر رشد و تحمل به تنش گیاهان تأثیر داشته باشد (Rios et al., 2009) و از این طریق باعث کاهش تولید بیش‌ازحد رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود (Feng et al., 2013).



شکل ۵. مقایسه میانگین تأثیر غلظت‌های مختلف سلنیوم بر میزان آنزیم کاتالاز در شرایط تنش خشکی در گیاه کینوا
Fig. 5. Comparison of the mean effect of different selenium concentrations on the amount of catalase enzyme in drought stress conditions in quinoa

محتوای آب می‌شود (Giri, 2011)؛ بنابراین، تجمع پرولین ارتباط مستقیمی با میزان مقاومت در برابر تنش خشکی دارد (Mwenye et al., 2016). کاربرد سلنیوم در شرایط تنش خشکی سبب افزایش تجمع پرولین در گیاه گندم شد (Yao et al., 2009). افزایش میزان پرولین برگ در گیاه سویا تحت تأثیر سلنیوم افزایش معنی‌داری را نشان داد (Djanaguiraman et al., 2005).

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج نشان داد که تیمار تنش خشکی و پرایمینگ با سلنیوم بر صفات مورد مطالعه اثر معنی‌داری را نشان داد؛ و هرچه سطح تنش خشکی بالا رفت. در صفاتی مثل درصد جوانه‌زنی

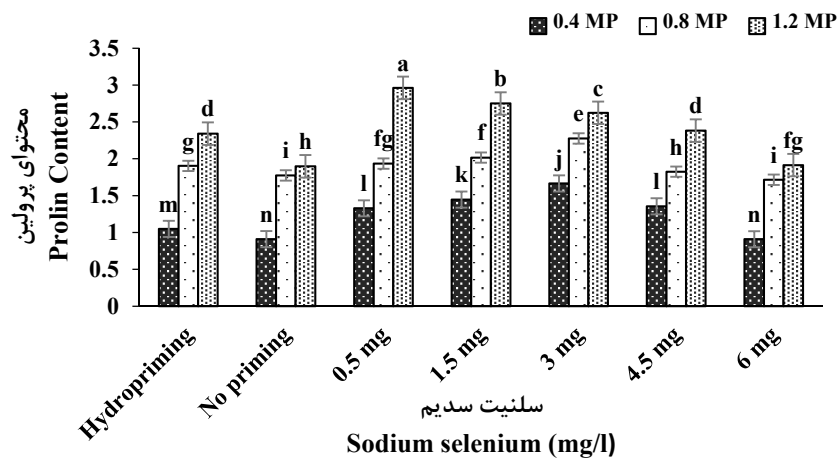
محتوای پرولین

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که محتوای پرولین تحت تأثیر تنش خشکی و پرایمینگ با سلنیت سدیم قرار گرفته و همچنین اثر متقابل این تیمارها هم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). با افزایش سطح تنش خشکی میزان پرولین افزایش پیدا کرد به‌طوری‌که بیشترین محتوای پرولین در تنش ۱/۲ مگاپاسگال و غلظت ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر سلنیت سدیم مشاهده شد و کمترین محتوای پرولین در شرایط عدم پرایمینگ و تنش خفیف مشاهده شد (شکل ۶). تحت تنش‌های محیطی مانند خشکی، گیاهان بسیاری از ترکیبات با وزن مولکولی کم مانند پرولین شده که باعث کاهش پتانسیل آب بدون کاهش واقعی

افزایش غلظت سلنیوم در غلظت‌های بالا برای برخی صفات اثری منفی را نشان داد. هرچند گیاه کینوا گیاهی متحمل به تنش خشکی است ولی می‌تواند تا حدی خشکی را تحمل کند. پس ما بایستی یکسری راهکارها از جمله کاربرد عناصری مانند سلنیوم که سبب افزایش تحمل به تنش خشکی و کاهش رادیکال‌های آزاد اکسیژن ناشی از این تنش می‌باشند به کار ببریم تا سبب افزایش مقاومت به تنش بخصوص در مراحل اولیه جوانه‌زنی در این گیاه شویم و به مناسب‌ترین غلظت جهت بهترین نتیجه دستیابی پیدا کنیم.

و سرعت جوانه‌زنی با افزایش روندی کاهش را نشان دادند؛ و پریم با سلنیت سدیم تا حدی توانست مقاومت به تنش را بالابرد و اثر تعدیل‌کنندگی در تنش داشت.

با افزایش تنش خشکی خاصیت آنتی‌اکسیدانی کاتالاز به دلیل تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن افزایش پیدا کرد. همچنین با افزایش تنش جهت مقاومت به تنش خشکی تولید پرولین روندی افزایشی را نشان داد؛ و کاربرد سلنیت سدیم در شرایط تنش خشکی توانست تا حدودی تولید پرولین را افزایش دهد. نتایج همچنین نشان داد که اثر پریمینگ با سلنیت سدیم بستگی به غلظت سلنیوم هم دارد در واقع با



شکل ۶. مقایسه میانگین تأثیر غلظت‌های مختلف سلنیوم بر محتوای پرولین در شرایط تنش خشکی در گیاه کینوا

Fig. 6. Comparison of the mean effect of different selenium concentrations on proline content in drought stress conditions in quinoa plant

منابع

- Adolf, V.I., Jacobsen, S.E., Shabala, S., 2012. Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Environmental and Experimental Botany*. 92, 43-54.
- Aghighi Shahverdi, M., Omid, H., 2017. Determination of optimum concentration and time of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) seed priming by selenium. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 4, 39-51. DOI: 10.22124/jms.2017.2506. [In Persian with English summary].
- Ajirloo, A.R., M. Shaban, G.D. Moghanloo and. Ahmadi, 2013. Effect of priming on seed germination characteristics of wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 5, 1670-1674.
- Ardebili, N.O., Saadatmand, S., Niknam, V., Khavari-Nejad, R.A., 2014. The alleviating effects of selenium and salicylic acid in salinity exposed soybean. *Acta Physiologiae Plantarum*. 36(12), 3199-3205.
- Arif, M., Ali, S., Shah, A., Javed, N., Rashid A., 2005. Seed priming maize for improving emergence and seedling growth. *Sarhad Journal Agriculture*. 21, 239-243.
- Arnon, D.I., 1949. Copper enzyme in isolated chloroplasts; polyphenol-oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*. 24, 1-15.
- Ashraf, C. M., Abu-Shakra, S., 1978. Wheat seed germination under low temperature and moisture stress. *Agronomy Journal*. 70(1), 135-139.

- Ashraf, M., Foolad, M. R., 2005. Pre-sowing seed treatment - A shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions. *Advances in Agronomy*. 88, 223-271.
- Bates, L.S., Waldern, R.P., Tear, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies, *Plant and Soil*. 39, 205-207.
- Bilgiçli, N., İbanoğlu, Ş., 2015. Effect of pseudo cereal flours on some physical, chemical and sensory properties of bread. *Journal of Food Science and Technology*. 52, 7525-7529.
- Balochi, H.R., 2013. Effect of seed priming on germination and seedling growth in pumpkin seeds paper (*Cucurbita pepo*) under salt stress. *Journal of Crop Production and Processing*. 3, 169-179. [In Persian with English summary].
- Combs, GF. Jr., Watts, J., Jackson, M., Johnson, L., Zeng, H., Scheett, A.J., Uthus, E.O., Schomburg, L., Hoeg, A., Hoefig, C.S., Davis, C.D., Milner, J.A., 2011. Determinants of selenium status in healthy adults. *Nutrition Journal*. 10, 75-82
- Dhindsa, R.S., Motowe, W., 1981. Drought tolerance in two mosses: correlation with enzymatic defense against lipid peroxidation. *Journal of Experimental Botany*. 32, 79-91.
- Djanaguiraman, M., Devi, D.D., Shanker, A.K., Sheeba, J.A., Bangarusamy, U., 2005. Selenium—an antioxidative protectant in soybean during senescence. *Plant and Soil*. 272, 77-86.
- Djanaguiraman, M., Devi, D.D., Shanker, A.K., Sheeba, J.A., Bangarusamy, U., 2005. Selenium—an antioxidative protectant in soybean during senescence. *Plant and Soil*. 272(1), 77-86.
- El-Ramady, H. R., Domokos-Szabolcsy, É., Abdalla, N. A., Alshaal, T. A., Shalaby, T. A., Sztrik, A., Fári, M., 2014. Selenium and nano-selenium in agroecosystems. *Environmental Chemistry Letters*. 12(4), 495-510.
- Feng, R., Wei, C., Tu, S., 2013. The roles of selenium in protecting plants against abiotic stresses. *Environmental and Experimental Botany*. 87, 58-68.
- Giri, J., 2011. Glycinebetaine and abiotic stress tolerance in plants. *Plant Signaling & Behavior*. 6(11), 1746-1751.
- Gupta, B., Sengupta, A., Saha, J., Gupta, K., 2013. Plant abiotic stress: 'Omics' approach. *Journal of Plant Biochemistry & Physiology*. 1:3. <http://dx.doi.org/10.4172/2329-9029.1000e108>
- Gupta, U.C., Gupta, S.C., 2000. Selenium in soils and crops, its deficiencies in livestock and humans: implications for management. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 31(11-14), 1791-1807.
- Gust, A.A., Brunner, F., Nürnberger, T., 2010. Biotechnological concepts for improving plant innate immunity. *Current Opinion in Biotechnology*. 21(2), 204-210.
- Gu, Z., Deming, C., Yongbin, H., Zhigang, C., Feirong, G., 2008. Optimization of carotenoids extraction from *Rhodobacter sphaeroides*. *LWT-Food Science and Technology*. 41(6), 1082-1088.
- Hartikainen, H., 2005. Biogeochemistry of selenium and its impact on food chain quality and human health. *Journal of Trace elements in Medicine and Biology*. 18(4), 309-318.
- Hasanuzzaman, M.M., Hossain, A., Fujita, M., 2012. Exogenous selenium pretreatment protects rapeseed seedlings from cadmium-induced oxidative stress by upregulating antioxidant defense and methylglyoxal detoxification systems. *Biological Trace Element Research*. 149, 248-261.
- Kaya, M.D., Okçu, G., Atak, M., Cıkılı, Y., Kolsarıcı, Ö., 2006. Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *European Journal of Agronomy*. 24(4), 291-295.
- Khalid, A., Aslam, F., Matloob, A., Hussain, S., Geng, M., Wahid, A., Rehman, H., 2015. Seed priming with selenium: consequences for emergence, seedling growth, and biochemical attributes of rice. *Biological Trace Element Research*, 166, 236-244. <https://doi.org/10.1007/s12011-015-0260-4>
- Khan, R., Gurmani, A.H., Gurmani, A.R., Zia, M.S., 2006. Effect of boron application on rice yield under wheat rice system. *International Journal of Agriculture and Biology*. 8: 805-808. https://www.fspublishers.org/published_paper_s/44772_.pdf.
- Konishi, Y., Hirano, S., Tsuboi, H., Wada, M., 2004. Distribution of minerals in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*. 68, 231-234.

- Li, J., Liang, D., Qin, S., Feng, P., Wu, X., 2015. Effects of selenite and selenite application on growth and shoot selenium accumulation of pak choi (*Brassica chinesis* L.) during successive planting conditions. *Environmental Science and Pollution Research*. 22, 11076-11086.
- Martínez, E.A., Fuentes, F., Bazile, D. 2015. History of quinoa: its origin, domestication, diversification, and cultivation with particular reference to the Chilean context. In: Murphy, K., Matanguihan J. (eds.), *Quinoa: Improvement and Sustainable Production*. Hoboken: Wiley-Blackwell, p. 19-24. (World Agriculture Series).
- Menon, N.N., Gandahi, M.B., Pahoja, V.M., Sharif, N., 2013. Response of seed priming with Boron on germination and seedling sprouts of Broccoli. *International Journal of Agriculture Science and Research*. 3(2), 183-194.
- Michel, B.E., Kaufmann, M.R., 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*. 51(5), 914-916.
- Mirshekari, B., 2012. Seed priming with iron and boron enhances germination and yield of dill (*Anethum graveolens*). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 36, 27-33.
- Molnarova, M., Fargašova, A., 2009. Se (IV) phytotoxicity for monocotyledonae cereals (*Hordeum vulgare* L., *Triticum aestivum* L.) and dicotyledonae crops (*Sinapis alba* L., *Brassica napus* L.). *Journal of Hazardous Materials*. 172, 854-861. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.07.096>
- Mostofa, M.G., Hossain, M.A., Siddiqui, M.N., Fujita, M., Tran, L.S.P., 2017. Phenotypical, physiological and biochemical analyses provide insight into selenium-induced phytotoxicity in rice plants. *Chemosphere*. 178, 212-223.
- Mouhtaridou, G.N., Sotiropoulos, T.E., Dimassi, K.N., Therios, I.N., 2004. Effects of boron on growth, and chlorophyll and mineral contents of shoots of the apple rootstock MM 106 cultured in vitro. *Biologia Plantarum*. 48, 617-619.
- Moullick, D., Ghosh, D., Santra, S.C., 2016. Evaluation of effectiveness of seed priming with selenium in rice during germination under arsenic stress. *Plant Physiology and Biochemistry*. 109, 571-578.
- Moullick, D., Santra, S. C., Ghosh, D., 2017. Seed priming with Se alleviate as induced phytotoxicity during germination and seedling growth by restricting as translocation in rice (*Oryza sativa* L cv. IET-4094). *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 145, 449-456.
- Mwenye, O.J., Van Rensburg, L., Van Biljon, A., Van der Merwe, R., 2016. The role of proline and root traits on selection for drought-stress tolerance in soybeans: a review. *South African Journal of Plant and Soil*. 33, 245-256.
- Nawaz, F., Ashraf, M.Y., Ahmad, R., Waraich E.A., 2013. Selenium (Se) seed priming induced growth and biochemical changes in wheat under water deficit conditions. *Biological Trace Element Research*. 151, 284-293.
- Nonogaki, H., Bassel, G.W., Bewley, J.D., 2010. Germination- Still a mystery. *Plant Science*. 179, 574-581.
- Oelke, E.A., Putnam, D.H., Teynor, T.M., Oplinger, E.S., 2012. Quinoa. In: *Alternative field crop manual*. Dated on 27-08- 2016 retrieved from <https://hort.purdue.edu/newcrop/afcm/quinoa.html>.
- Paparella, S., Araujo, S.S., Rossi, G., Wijayasinghe, M., Carbonera, D., Balestrazzi, A., 2015. Seed priming: state of the art and new perspectives. *Plant Cell Reports*. 34, 1281-1293.
- Pennanen, A., Xue, T., Hartikainen, H., 2002. Protective role of selenium in plant subjected to severe UV irradiation stress. *Journal of Applied Botany*. 76, 66-76.
- Rabieian, A., Jiriaie, M., Aynaband, A., 2014. Effects of selenium in decreasing effects of salinity negative and seed low storage in germination of Rice. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 7, 53-63. [In Persian with English summary].
- Reddy, A.R., Chaitanya, K.V. and Vivekanandan, M., 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*. 161, 1189-1202.
- Rehman, A., Farooq, M., Cheema, Z. A., Wahid, A., 2012. Role of boron in leaf elongation and tillering dynamics in fine grain aromatic rice. *Journal of Plant Nutrition*. 36(1), 42-54, DOI: 10.1080/01904167.2012.733048.

- Reis, H.P.G., Barcelos, J.P.Q., Furlani Junior, E., Santos, E.F., Silva, V.M., Moraes, M.F., Putti, F.F., Reis, A.R., 2018. Agronomic bio fortification of upland rice with selenium and nitrogen and its relation to grain quality. *Journal. Cereal Science*. 79, 508–515.
- Saffaryazdi, A., Lahouti, M., Ganjeali, A., Bayat, H., 2012. Impact of selenium supplementation on growth and selenium accumulation on Spinach (*Spinacia oleracea* L.) plants. *Notulae Scientia Biologicae*. 4(4), 95-100.
- Shi, Q., Bao, Z., Zhu, Z., Ying, Q., Qian, Q., 2006. Effects of different treatments of salicylic acid on heat tolerance, chlorophyll fluorescence, and antioxidant enzyme activity in seedlings of *Cucumis sativa* L. *Plant Growth Regulation*. 48, 127–135.
- Szollosi, R., 2014. Superoxide dismutase (SOD) and abiotic stress tolerance in plants: an overview. *Oxidative. Damage to Plants* 89–129.
- Tardieu, F., Parent, B., Caldeira, C., Welcker, C., 2014. Genetic and physiological controls of growth under water deficit. *Plant Physiology*. 164(4), 1628-1635.
- Ullah, A., Shahzad, B., Tanveer, M., Nadeem, F., Sharma, A., Lee, D. J., Rehman, A., 2019. Abiotic stress tolerance in plants through pre-sowing seed treatments with mineral elements and growth regulators. In *Priming and Pretreatment of Seeds and Seedlings* (pp. 427-445). Springer, Singapore.
- White, P.J., Bowen, H.C., Parmaguru, P., Fritz, M., Spracklen, W.P., Spiby, R.E., Meacham, M.C., Mead, A., Harriman, M., Trueman, L.J., Smith, B.M., Thomas, B., Broadley, M.R., 2004. Interactions between selenium and sulphur nutrition in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Experimental Botany*. 55, 404.
- Xu, H., Biswas, D.K., Li, W.D., Chen, S.B., Zhang, S.B., Jiang, G.M., Li, Y.G., 2007. Photosynthesis and yield responses of ozone-polluted winter wheat to drought. *Photosynthetica*. 45, 582–588.
- Yao, X.Q., Chu, J.Z., Wang, G.Y., 2009. Effects of drought stress and selenium supply on growth and physiological characteristics of wheat seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum*. 31, 1031-1036. DOI: 10.1007/s11738-009-0322-3.