تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد چهاردهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۰
۱۵۷-۱۷۰
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.2658.1696

مقاله پژوهشی

تأثیر اسید سالیسیلیک بر جوانه‌زنی دو ژنوتیپ گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* willd.) تحت تنش خشکی

شکوفه غلامی[1*]، طیبه رستمی[2]، خدیجه احمدی[1]، مجید امینی دهقی[3]، محمود باقری[4]
۱. دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه اگرواکولوژی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد
۳. دانشیار و هیئت‌علمی گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد
۴. استادیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۴/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۹/۰۴

چکیده

خشکی یکی از شایع‌ترین تنش‌های زیست‌محیطی است که در رشد و توسعه گیاهان نقش دارد و یکی از عوامل مهم کاهش تولید محصولات است. پرایمینگ تکنیک ساده‌ای است که قدرت استقرار گیاهچه‌ها و کارایی گیاه در مزارع را بهبود می‌بخشد. اسید سالیسیلیک نقش مهمی را در تنش‌های غیرزنده ایفا می‌کند منفعت بیشتر SA به دلیل توانایی آن برای حفاظت از گیاه تحت شرایط نامطلوب محیطی است. بدین ترتیب به‌منظور بررسی اثر پیش تیمار اسید سالیسیلیک بر شاخص‌های جوانه‌زنی گیاه دارویی کینوا تحت تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه شاهد در سال ۱۳۹۷ انجام گرفت. فاکتورهای آزمایشی شامل اسید سالیسیلیک در چهار سطح (صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی مولار) و تنش خشکی. ناشی از پلی‌اتیلن گلایکول در چهار سطح (صفر، ۴-، ۸-، ۱۲- بار) و ارقام گیاه کینوا رقم Giza1 و Titicaca بودند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که پیش تیمار اسید سالیسیلیک، تنش خشکی و اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های جوانه‌زنی و میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی ارقام گیاه دارویی کینوا در سطح احتمال یک درصد داشتند. به‌طوری‌که با افزایش تنش خشکی خصوصیات جوانه‌زنی گیاه کینوا کاهش یافت و کاربرد اسید سالیسیلیک باعث بهبود ویژگی‌های جوانه‌زنی بذور کینوا شد. بالاترین درصد جوانه‌زنی (۹۸٪) و صفات مؤثر بر آن از تیمار خیساندن بذر با اسید سالیسیلیک با حداکثر غلظت (۱/۵ میلی‌مولار) و سطوح پایین تنش خشکی به دست آمد. شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه در غلظت‌های بالای اسید سالیسیلیک و سطوح بالای تنش خشکی کاهش یافت. از طرف دیگر، مصرف یک و یک و نیم میلی‌مولار اسید سالیسیلیک باعث افزایش مقدار کلروفیل و کاروتنوئید و افزایش تحمل این گیاه در برابر تنش خشکی شد. بر اساس نتایج استنباط می‌شود که گیاه کینوا به سطوح بالای خشکی در مرحله جوانه‌زنی مقاوم بوده و با اعمال مدیریت مناسب در مزرعه، استقرار این گیاه را در شرایط وجود خشکی تضمین می‌شود.

واژه‌های کلیدی: **اسید سالیسیلیک، تنش خشکی، درصد جوانه‌زنی، رنگیزه‌های فتوسنتزی**

مقدمه

گیاهان اغلب با شرایط نامساعد محیطی مواجه هستند که رشد و باروری آن‌ها را مختل می‌کند. از بین تنش‌های زیستی مختلف، خشکی عامل اصلی محدودیت تولید محصولات کشاورزی در سراسر جهان است (Tardieu et al., 2014). امروزه خشکی یکی از مخرب‌ترین محدودیت‌ها جهت کاهش تولید محصولات در سراسر جهان است (Farooq et al., 2014). گستره‌ی مناطق خشک و نیمه‌خشک در ایران که بیش از ۱/۵ میلیون کیلومترمربع است نشان می‌دهد خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زیستی در این منطقه است (Aboulhasani et al., 2006). در آزمایش خاکسار

* نگارنده پاسخگو: شکوفه غلامی. پست الکترونیک: shocofehgholmi@gmail.com

(Khaksar et al., 2013) تنش اعمال‌شده بر گیاهان مادری ارقام کلزا سبب کاهش کیفیت جوانه‌زنی و قدرت گیاهچه بذر آن‌ها گردید.

یکی از مؤثرترین و اقتصادی‌ترین راهکارها برای کاهش اثر ناشی از تنش خشکی، استفاده از راهکارهای مناسب در مراحل مختلف نمو گیاه است (Wojtyla et al., 2016). مرحله جوانه‌زنی بذر شامل سه مرحله جذب آب، کمون و خروج ریشه‌چه است. برای افزایش جوانه‌زنی بذر، بایستی اعمال تیمارها در مراحل اول و دوم جوانه‌زنی که تحت تأثیر آنزیم‌هاست انجام شود (Makizadeh Tafti et al., 2011). با توجه به اینکه مرحله جوانه‌زنی یکی از مراحل حساس در چرخه رشدی گیاهان به‌حساب می‌آید، استفاده از ترکیباتی که باعث بهبود فعالیت‌های متابولیکی گیاه شوند، موجب مقاومت گیاه در آن مرحله به شرایط تنش‌زا می‌گردند. در چنین شرایطی پرایمینگ بذر با افزایش قدرت بذر و افزایش رشد گیاهچه در شرایط تنش نقش مفیدی را ایفا می‌کند (Foti et al., 2008). یکی از این ترکیبات اسید سالیسیلیک است (Munns, 2002). اسید سالیسیلیک نقش مهمی را در تنظیم فرآیندهای رشد و نمو در گیاه تحت استرس‌های غیرزنده دارد (Iqbal et al., 2013). کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی، کاهش طول ساقه‌چه و ریشه‌چه در اثر تنش خشکی، در آزمایش‌های متعدد نشان داده شده است (Halima et al., 2014). گیاهانی که با اسید سالیسیلیک تیمار شده‌اند، باعث تحریک جوانه‌زنی، افزایش محتوی رطوبت نسبی آب، وزن خشک، فعالیت کربوکسیلازی روبیسکو و افزایش میزان کلروفیل شده است (Singh and Usha, 2003). خیساندن دانه‌های گندم و جو در اسید سالیسیلیک منجر به افزایش درصد جوانه‌زنی دانه‌ها و رشد گیاهچه‌ها شده است؛ زیرا اسید سالیسیلیک باعث افزایش تقسیم سلولی و اتساع سلول‌های ریشه می‌شود (Shakirova et al.,2003). تأثیر کاربرد اسید سالیسیلیک در تخفیف تنش خشکی در گوجه‌فرنگی (Hayat et al., 2008) و گندم (Hussein et al., 2007) مطالعه شده است.

کشت گیاهان مقاوم به خشکی مانند کینوا یکی از بهترین راهکارها برای جلوگیری از کاهش عملکرد گیاهان زراعی است (Vega-Gálvez et al., 2010). کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) گیاهی دولپه‌ای، آلوتتراپلوئید (2n=4X=36)، از خانواده Amaranthaceae، سه کربنه و هالوفیت اختیاری است که جزو شبه‌غلات دسته‌بندی می‌شود (Adolf et al., 2012). گیاهی است یک‌ساله، بومی مناطق آمریکای جنوبی و ارتفاعات آند می‌باشد (Martinez et al., 2015). کینوا تنها گیاهی است که کل آمینواسیدهای ضروری بدن را تأمین می‌کند. بذر این گیاه غنی از پروتئین و میزان پروتئین بذر این گیاه بین ۸/۱۳ تا ۲۱/۹ درصد است (PROINPA, 2011). کینوا به‌عنوان محصولی مستعد برای استفاده در سفرهای طولانی‌مدت فضایی توصیه می‌شود که هدف آن یافتن بهترین گیاهانی است که CO_2 را از اتمسفر زدوده و غذا، اکسیژن و آب موردنیاز برای مأموران در سفرهای درازمدت فضایی را فراهم کند (James, 2006). کینوا خاصیت‌های دیگری هم دارد که می‌توان به آن‌ها نیز اشاره کرد ازجمله اینکه یک رژیم غذایی کامل و متعادل برای همه به‌خصوص برای گیاه‌خواران است با توجه به اینکه سرشار از پروتئین است یک جایگزین عالی برای برنج محسوب می‌شود (Oelk et al., 1992). کینوا بدون گلوتن است و غذای مناسبی برای افراد مبتلا به خود ایمنی روده باریک (سلیاک) است (Hager et al., 2012). گیاه کینوا همچنین به دلیل داشتن فیتواستروژن از ایجاد سرطان، بیماری‌های قلبی و عروقی و پوکی استخوان جلوگیری می‌کند (Jacobsen, 2003)؛ بنابراین هدف این آزمایش، یافتن ژنوتیپ مقاوم به خشکی و یافتن بهترین غلظت اسید سالیسیلیک جهت مقاومت به تنش خشکی است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تکرار در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه شاهد در سال ۱۳۹۷ انجام گرفت. فاکتورهای آزمایش شامل سطوح پرایمینگ با محلول اسید سالیسیلیک در چهار سطح (صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار) و تنش خشکی در چهار سطح (صفر، ۴-، ۸-، ۱۲- بار) و دو ژنوتیپ Giza 1 و Titicaca در سه تکرار بود.. ازآنجایی‌که بذر این دو رقم ازلحاظ جوانه‌زنی و خصوصیات جوانه‌زنی دارای تفاوت زیادی می‌باشند. از بذر این دو رقم برای کار آزمایشگاهی استفاده شد. قبل از اعمال پرایمینگ، ابتدا بذرهای دو ژنوتیپ مختلف کینوا با هیپوکلریت سدیم ۵ درصد به مدت ۳۰ ثانیه ضدعفونی و سپس سه بار با آب مقطر شسته شدند. برای پیش تیمار بذر با محلول سالیسیلیک اسید، بذرها به مدت ۶ ساعت در تاریکی و در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد درون محلول قرار گرفتند (Senaranta et al.,

2002)، سپس نمونه‌ها از محلول‌ها خارج و در دمای اتاق به مدت ۲۴ ساعت خشک گردیدند. در هر تکرار از هر تیمار ۲۵ بذر در پتری‌هایی که قبلاً ضدعفونی شده بودند قرار داده شد و پتری‌ها به ژرمیناتور با دمای ۱±۲۵ درجه سانتی‌گراد انتقال یافتند. به مدت ۵ روز بازدید به‌طور روزانه از بذرها صورت گرفت و بذرهای جوانه‌زده (خروج ریشه‌چه به میزان ۲ میلی-متر) یادداشت گردید. در این آزمایش، وزن خشک گیاهچه پس از قرار دادن نمونه‌ها در درون آون با دمای ۶۰ درجه به مدت ۴۸ ساعت تعیین گردید (Fatheiamirkhiz et al., 2012). شاخص‌های بنیه گیاهچه (SVI1: شاخص طولی بنیه گیاهچه، SVI۲: شاخص وزنی بنیه گیاهچه) به ترتیب از روابط شماره ۱ و ۲ محاسبه شد (ISTA, 2009).

SVI1 = (میانگین طول ریشه‌چه + میانگین طول ساقه‌چه) × درصد جوانه‌زنی نهایی [۱]

SVI2 = (درصد جوانه‌زنی نهایی × وزن خشک گیاهچه) [۲]

با شمارش روزانه بذرهای جوانه‌زده، درصد جوانه‌زنی، میانگین مدت‌زمان جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و همچنین ضریب جوانه‌زنی کـه عکس میانگین مدت‌زمان جوانه‌زنی است طبق روابط ۳، ۴، ۵ و ۶ تعیـین گردیـدند. متوسط مدت‌زمان جوانه‌زنی مرتبط با مدت‌زمانی (روز) اسـت کـه ریشه‌چه خارج می‌شود، هرچه مقدار عددی آن کوچک‌تر باشد نشان از جوانه‌زنی سریع‌تر است که شاخصی از سرعت و شتاب جوانه‌زنی محسوب می‌گردد (Bajji et al., 2002).

$$GP = S/T\times100 \quad [۳]$$

$$MGT= (\sum Ti\ Ni) / \sum Ni) \quad [۴]$$

$$GR=\Sigma Ni/Ti \quad [۵]$$

$$GC= (1/MGT)*100 \quad [۶]$$

که در این معادلات S: تعداد بذرهای جوانه‌زده، T: تعداد کل بذرها، Ti: تعداد بذرهای جوانه‌زده در هرروز، Ni: تعداد روزهـا از ابتدای جوانه‌زنی و $\sum Ni$: نیز کل تعداد بذرهای جوانه‌زده هستند.

اندازه‌گیری میزان کلروفیل و کارتنوئید بافت برگ

میزان کلروفیل با استفاده از روش آرنون (Arnon, 1949)، میزان کارتنوئید با استفاده از روش گو (Gu et al., 2008) پس از مرحله ۴ برگی انجام گرفت. 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 میزان کلروفیل در طول‌موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر و میزان کارتنوئید در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر قرائت شد. غلظت کلروفیل‌های a،b و کل از فرمول‌های شماره ۱ تا ۳ محاسبه شد:

$$Chl_a=12.7(A_{663})-2.69(A_{645}) \times V/1000W \quad [۷]$$

$$Chl_b=22.9(A_{645})-2.69(A_{663}) \times V/1000W \quad [۸]$$

$$CT=20.2(A_{645}) + 8.02(A_{663})\times V/1000W \quad [۹]$$

که در آن C: میزان غلظت برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ، V: حجم عصاره برحسب میلی‌لیتر و W: وزن نمونه برحسب گرم هستند.

میزان کاروتنوئید از رابطه شماره ۱۰ محاسبه شد:

$$Car=7.6(A_{470})–14.9(A_{510})\times VD/1000W \quad [۱۰]$$

که در آن A: میزان جذب نوری، V: حجم عصاره، D: نسبت رقت و W: وزن نمونه هستند.

تجزیـه آمـاری داده‌ها شامل تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین صفات مورد ارزیابی با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

درصد و سرعت جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که پرایم با سالیسیلیک اسید، تنش خشکی و ارقام گیاه کینوا و اثر برهمکنش دوگانه و سه‌گانه آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر صفت درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی را نشان دادند. ولی اثر برهمکنش تنش خشکی×ارقام کینوا برای صفت درصد جوانه‌زنی معنی‌دار نشد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بین تیمار شاهد با تنش‌های ۴-، ۸- و ۱۲- بار تفاوت معنی‌داری وجود داشت به‌طوری‌که با افزایش سطوح تنش خشکی درصد جوانه‌زنی روندی کاهشی را نشان داد. کاربرد اسید سالیسیلیک باعث افزایش درصد جوانه‌زنی شد به‌طوری‌که با افزایش سطوح اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی درصد جوانه‌زنی افزایش یافت. بیشترین درصد جوانه‌زنی در

شرایط عدم تنش خشکی مشاهده شده و تفاوت معنی‌داری بین سطوح اسید سالیسیلیک وجود نداشت. مقایسه میانگین برهمکنش تنش خشکی، اسید سالیسیلیک و ارقام مختلف کینوا نشان داد که بیشترین درصد جوانه‌زنی با میانگین ۹۸/۳۳٪ مشاهده شد ولی درعین‌حال با تیمارهای ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار در یک گروه آماری قرار دارد. همچنین بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی با میانگین ۹/۷ بذر در روز در رقم جیزا ۱ و پرایم با ۱/۵ میلی مولار اسید سالیسیلیک در شرایط عدم تنش مشاهده شد و کم‌ترین درصد جوانه‌زنی (۴۴/۳۳٪) و کم‌ترین سرعت جوانه‌زنی ۴/۳ در رقم تی‌تی کاکا و عدم پرایم با اسید سالیسیلیک و تنش ۱۲- بار مشاهده شد (شکل ۱- A و B). در سطوح تنش خشکی می‌توان اثر سرعت جوانه‌زنی با کاربرد اسید سالیسیلیک اسید را مشاهده کرد. در حقیقت پلی‌اتیلن گلایکول باعث کاهش آبکافت (هیدرولیز) ماده اندوخته‌ای دانه و درنتیجه کاهش درصد جوانه‌زنی می‌شود (Everitt et al., 1983). در بررسی واکنش جوانه‌زنی کینوا تحت تأثیر تنش خشکی درصد جوانه‌زنی در شرایط بدون تنش (شاهد) با تنش‌های ۴- و ۸- بار تفاوت معنی‌داری نداشت ولی با افزایش پتانسیل اسمزی از ۸- به ۱۲- بار، درصد جوانه‌زنی از ۹۶ درصد به صفر درصد جوانه‌زنی کاهش یافت (Mamedi et al., 2016). با افزایش تنش خشکی توان جذب آب توسط بذرها کاهش‌یافته و مدت‌زمان موردنیاز برای جذب آب افزایش می‌یابد و درنتیجه آغاز فرآیندهای جوانه‌زنی با تأخیر رخ می‌دهد (Gill et al., 2002). همچنین کاهش جوانه‌زنی تحت تأثیر تنش خشکی به کاهش رطوبت سلول و تأثیر آن بر ساخت پروتئین‌ها و ترشح هورمون‌ها نسبت داده شد (Kaboli and Sadeghi, 2001). در مطالعه تنش خشکی بر گیاه کینوا، سرعت جوانه در شرایط بدون تنش خشکی بیشترین میزان را نشان داد ولی با افزایش پتانسیل اسمزی سرعت جوانه‌زنی روندی کاهشی را نشان داد (Mamedi et al., 2016). در بررسی اثر سالیسیلیک اسید بر جوانه‌زنی گیاه گندم بهاره نتایج نشان داد که اسید سالیسیلیک می‌تواند درصد جوانه‌زنی را در گیاه گندم بهاره افزایش دهد (Afzal et al., 2006). شکاری و همکاران (Shekari et al., 2010) گزارش کردند که پرایمینگ بذرهای گاوزبان با اسید سالیسیلیک موجب گردید تا سرعت و درصد جوانه‌زنی افزایش یابد. در تنش خشکی اعمال‌شده بر گیاهان مادری چهار رقم نخود (*Cicer arietinum* L.) درصد و سرعت جوانه‌زنی، میانگین مدت جوانه‌زنی و شاخص بنیه گیاهچه بذر حاصل از آن کاهش یافت (Warmazyaryan et al., 2015).

میانگین مدت‌زمان جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی

اثر ساده تیمارهای پرایمینگ، سطوح تنش و اثر رقم بر صفات میانگین مدت جوانه‌زنی و ضریب سرعت جوانه‌زنی به ترتیب در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). میانگین مدت جوانه‌زنی بذر صفت بسیار مهمی در استقرار گیاهچه و استفاده مفید و مؤثر از شرایط محیطی است. نتایج مقایسه میانگین حاکی از این مسئله بود که عدم پیش تیمار با اسید سالیسیلیک و تنش خشکی ۱۲- بار و رقم تی‌تی‌کاکا دارای بیشترین (۲/۵۳ روز) و کاربرد ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و عدم تنش خشکی و رقم جیزا ۱ دارای کمترین (۱/۵۳ روز) میانگین مدت‌زمان جوانه‌زنی می‌باشند (شکل ۱- C). با افزایش سطوح تنش خشکی به دلیل کاهش فشار اسمزی و کاهش جذب آب موجب کاهش درصد جوانه‌زنی و افزایش مدت‌زمان لازم برای جوانه‌زنی شد. همچنین بیش‌ترین و کمترین ضریب سرعت جوانه‌زنی به ترتیب مربوط به پرایمینگ اسید سالیسیلیک ۱/۵ میلی‌مولار در شرایط عدم تنش خشکی با میانگین (۶۵/۳۲) و رقم جیزا ۱ و عدم پرایمینگ در سطح تنش ۱۲- بار با میانگین (۳۸/۵) و رقم تی‌تی‌کاکا مشاهده شد (شکل ۱-D). در پرایمینگ با اسید سالیسیلیک در گیاه بالنگو شهری تحت تنش خشکی بیش‌ترین میانگین مدت‌زمان جوانه‌زنی در عدم کاربرد اسید سالیسیلیک و تنش ۹- بار مشاهده شد (Ahmadi et al., 2018). در آزمایش دانشمند و همکاران (Daneshmand et al., 2014) تنش خشکی درصد، سرعت و متوسط زمان جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و وزن خشک گیاهچه ذرت را تحت تأثیر قرار داد، ولی تیمار ۰/۱ میل مولار اسید سالیسیلیک باعث افزایش معنی‌دار کلیه صفات و کاهش متوسط زمان جوانه‌زنی گردید.

طول ریشه‌چه، ساقه‌چه

اثر کاربرد اسید سالیسیلیک، تنش خشکی و ارقام کینوا و اثر برهمکنش دوگانه و سه‌گانه آن‌ها تأثیر خیلی معنی‌داری بر صفات طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و نسبت بین آن‌ها داشت (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین اثرات برهمکنش نشان داد که بیشترین طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و نسبت این دو مربوط

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف اسید سالیسیلیک و ارقام مختلف کینوا روی برخی صفات مطالعه شده تحت تنش خشکی

Table 1. Analysis of variance of the effect of different levels of salicylic acid and different varieties of Quinoa on some studied traits under drought stress

S.O.V منابع تغییر	درجه آزادی df	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی germination Rate	ضریب سرعت جوانه‌زنی Germination rate coefficient	میانگین مدت‌زمان جوانه‌زنی Mean Time Germination	طول ریشه‌چه Root Length
رقم Variety (V)	1	204.166**	0.517**	63.704*	0.183**	2.300**
سالیسیلیک اسید Salicylic acid (S)	3	.32.291**	1.248**	56.138**	0.077**	9.244**
تنش خشکی Drought stress (D)	3	2408.68**	34.030**	256.758**	0.287**	4.089**
رقم ×سالسیلیک‌اسید V × S	3	406.250**	2.178**	296.53**	0.427**	4.448**
رقم ×تنش خشکی V × D	3	17.361**	2.3178**	131.768**	0.203**	8.634**
سالیسیلیک اسید×تنش خشکی S × D	9	32.532**	0.6477**	66.090**	0.111**	2.297**
رقم×سالیسیلیک اسید×تنش‌خشکی V × S × D	9	25.925**	1.043**	132.692**	0.181**	8.644**
خطا Error	64	7.03	0.057	11.274	0.015	0.007
ضریب تغییرات CV(%)		*3.193*	*3.188*	*6.438*	*6.378*	*2.136*

Table 1. Continued

جدول ۱. ادامه

S.O.V منابع تغییر	درجه آزادی df	طول ساقه‌چه Shoot Length	وزن تر ریشه‌چه Root fresh weight	وزن تر ساقه‌چه Stem fresh weight	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight	شاخص طولی بنیه گیاهچه Seedling vigor Longitudinal
رقم Variety (V)	1	12.767**	0.0002**	0.003**	0.000**	3504.890**
سالیسیلیک اسید Salicylic acid (S)	3	0.686**	0.0001**	0.005**	0.000**	4181.450**
تنش خشکی Drought stress (D)	3	6.585**	0.0003**	0.002**	0.000**	17932.41**
رقم×سالسیلیک‌اسید V × S	3	0.525**	0.0033**	0.000**	0.000**	415.401**
رقم× تنش خشکی V × D	3	0.4930**	0.0001**	0.000**	0.000**	3100.475**
سالیسیلیک اسید×تنش‌خشکی S × D	9	0.6727**	0.0003**	0.000**	0.000**	853.315**
رقم×سالیسیلیک اسید×تنش-خشکی V × S × D	9	1.289**	0.0002**	0.000**	0.000**	3877.361**
خطا Error	64	0.012	0.00005	0.00008	0.00001	22.326
ضریب تغییرات CV(%)		*4.262*	*2.340*	*2.111*	*3.803*	*4.164*

Table 1. Continued **جدول ۱. ادامه**

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	شاخص وزنی بنیه گیاهچه Seedling vigor Weight	کلروفیل a Content Chlorophyll a	کلروفیل b Content Chlorophyll b	کلروفیل کل Content Total Chlorophyll	کارتنوئید Content Carotenoids
Variety (V)	رقم	1	0.200**	0.541**	4.612**	155.360**	255.990**
Salicylic acid (S)	سالیسیلیک اسید	3	0.442**	0.063**	0.588*	16.090**	14.286**
Drought stress (D)	تنش خشکی	3	0.285**	0.933**	1.066**	44.979**	197.825**
V * S	رقم* سالیسیلیک اسید	3	0.501**	0.150*	0.040**	2.007**	40.143**
V * D	رقم* تنش خشکی	3	0.707**	0.215*	1.170**	38.738**	62.144**
S * D	سالیسیلیک اسید*تنش خشکی	9	0.111**	0.839**	1.758**	67.245**	181.276**
V * S * D	رقم* سالیسیلیک اسید* تنش خشکی	9	0.196*	0.490**	0.773**	29.876**	64.970**
Error	خطا	64	0.00156	0.00059	0.0083	0.240	0.022
CV(%)	ضریب تغییرات		*5.152*	*1.939*	*6.180*	*5.167*	*0.821*

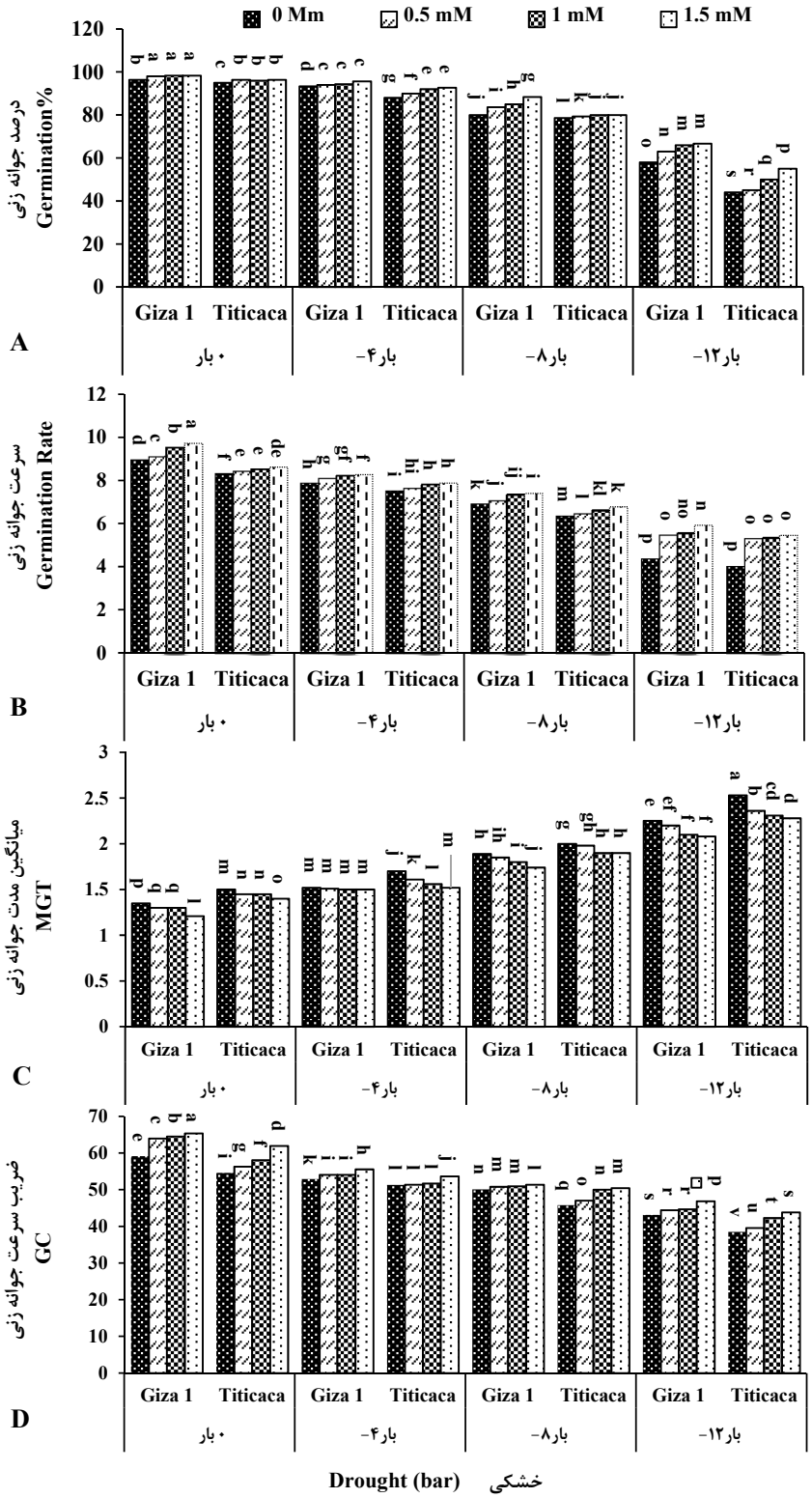
ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ درصد و یک درصد

**,* and ns denote significant differences at 0.05 and 0.01% levels, and not significant respectively.

به مقدار بالای اسید سالیسیلیک و عدم تنش خشکی مشاهده شد. بیشترین طول ریشه‌چه با میانگین ۶/۵ سانتی‌متر مربوط به عدم تنش خشکی و ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و رقم Titicaca و کمترین طول ریشه‌چه (۱/۴ سانتی‌متر) در تنش ۱۲- بار و عدم پرایمینگ با اسید سالیسیلیک و رقم Giza 1 مشاهده شد (شکل ۲-A). بیشترین طول ساقه‌چه با میانگین ۵/۷ سانتی‌متر مربوط به کاربرد اسید سالیسیلیک ۱/۵ میلی‌مولار و عدم تنش خشکی و رقم تی‌تی‌کاکا و کم-ترین رشد ساقه‌چه در هر دو رقم جیزا ۱ و تی‌تی‌کاکا به میزان ۱/۱۱ و ۱/۱۲ سانتی‌متر و تنش ۱۲- با مشاهده شد (شکل ۲- B). به نظر می‌رسد در مراحل اولیه تنش، سرعت رشد ریشه‌چه به دلیل حساسیت کمتر به تنش خشکی و به‌منظور جذب بیشتر آب بالاتر بوده اما با کاهش پتانسیل آب به دلیل کاهش جذب آب توسط بذر و کاهش ترشح هورمون‌ها و فعالیت آنزیم‌ها اختلال در رشد گیاهچه (ریشه‌چه و ساقه‌چه) به وجود آمد (Sharafizadeh, 2018). در آزمایش سید احمدی (Seyed Ahmadi, 2013) در اثر تنش خشکی اعمال‌شده بر گیاهان مادری کلزا طول ساقه‌چه، ریشه‌چه بذر آن‌ها کاهش یافت. تیمار گیاه گندم با اسید سالیسیلیک، میزان تقسیم سلولی را در مریستم رأسی ریشه‌های اولیه و به دنبال آن، رشد طولی ریشه را افزایش داد (Shakirova and Sahabutdinova, 2003).

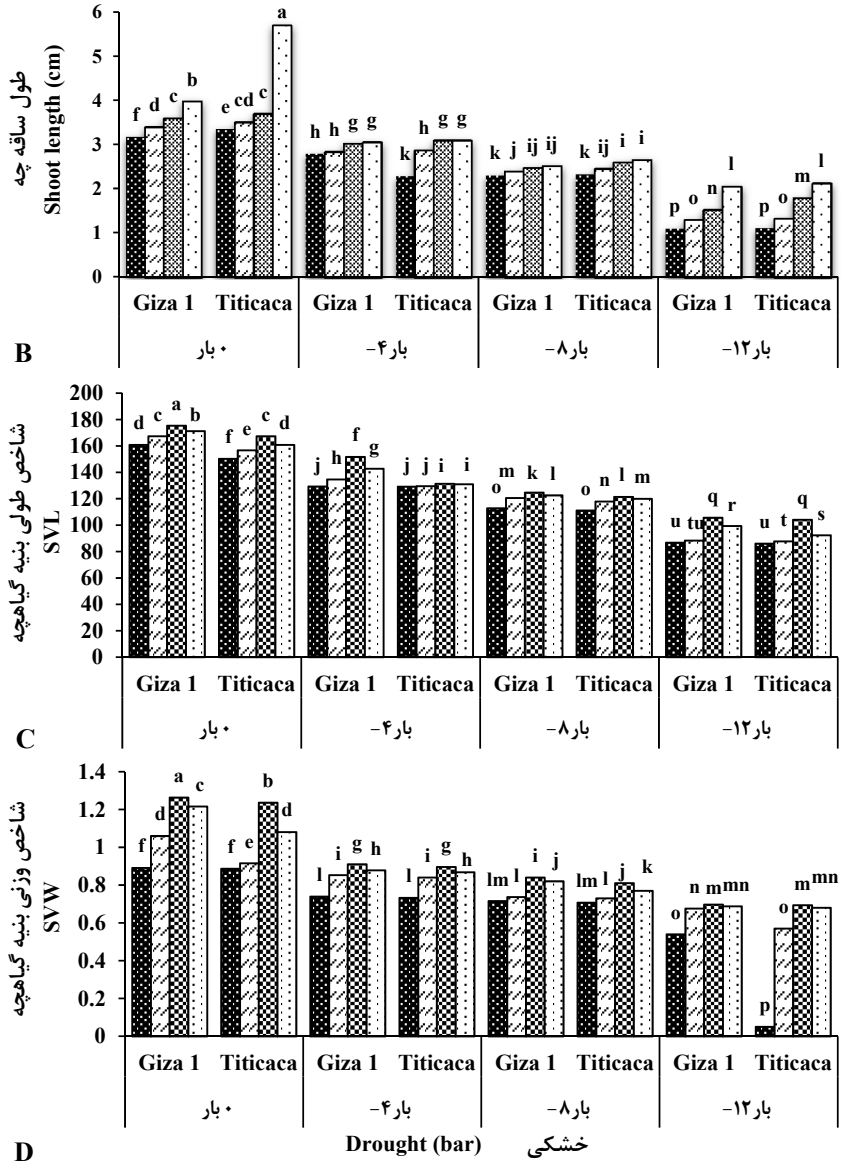
شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه

اثر پرایمینگ با اسید سالیسیلیک، تنش خشکی و رقم و برهمکنش تیمارها بر صفات شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). با کاهش پتانسیل آب و افزایش غلظت اسید سالیسیلیک شاخص طولی بنیه بذر کاهش یافت. به‌طوری‌که بیش‌ترین شاخص طولی بنیه گیاهچه (۱۷۵/۴۶) در کاربرد ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و رقم جیزا ۱ و عدم تنش خشکی مشاهده شد (شکل ۲- C). مقایسه میانگین شاخص وزنی بنیه گیاهچه نشان داد که بیشترین میزان شاخص وزنی بنیه (۱/۲۶) در عدم تنش خشکی، کاربرد ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و رقم جیزا ۱ و عدم تیمار و تنش ۱۲- بار و رقم تی‌تی‌کاکا با



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل رقم ×پرایم با سالیسیلیک اسید× تنش خشکی بر درصد جوانه‌زنی (A)، بر سرعت جوانه‌زنی (B)، میانگین مدت جوانه‌زنی (C)، ضریب سرعت جوانه‌زنی (D) دو رقم گیاه کینوا

Fig. 1. Comparison of the average interactions of cultivar × Prime with salicylic acid × drought stress on germination percentage(A), germination rate(B), average germination time (MGT)(C), germination rate coefficient (D) Tow genotypes quinoa.



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل رقم ×پرایم با سالیسیلیک اسید× تنش خشکی بر طول ریشه‌چه (A)، طول ساقه‌چه (B)، شاخص طولی بنیه گیاهچه (C)، شاخص وزنی بنیه گیاهچه (D) در دو رقم کینوا

Fig. 2. Comparison of the average interactions of cultivar×Prime with salicylic acid×drought stress on Root length(A), shoot length(B), Seedling vigor Longitudinal index(C), Seedling vigor Weighted index(D)Tow genotypes quinoa.

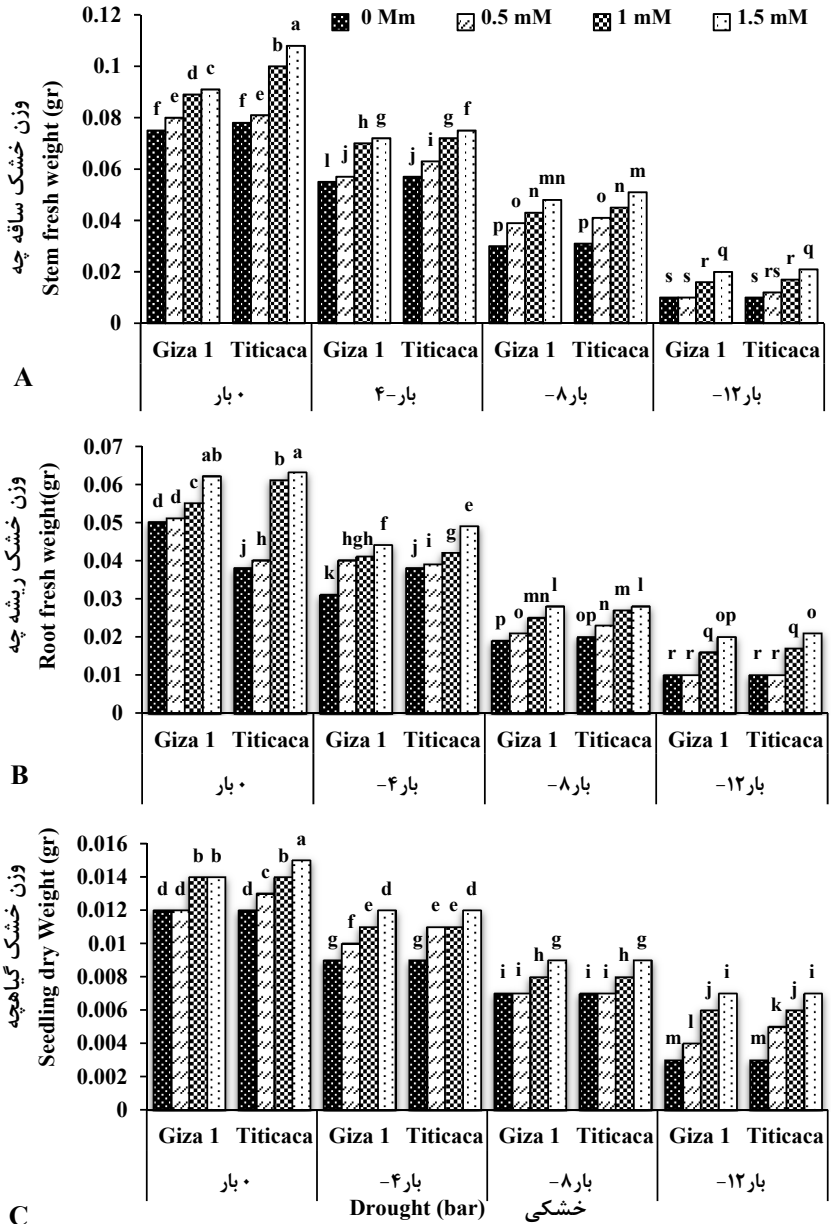
میانگین (۰۸۰/۰) کمترین میزان شاخص وزنی بنیه گیاهچه مشاهده شد (شکل ۲- D). عوامل زیادی بر شاخص بنیه بذر اثر دارند که مهم‌ترین آن‌ها ساختار ژنتیکی، محیط و تغذیه گیاه مادری و ذخایر بذر می‌باشند. بنیه بذر که نشان‌دهنده میزان توان یک بذر برای تولید گیاهچه‌های سالم و به‌عنوان یک شاخص مهم در جوانه‌زنی و قدرت گیاهچه است، تحت تأثیر تنش قرار می‌گیرد (Hasstrup Pedersen et al., 1993). تنش خشکی از طریق کاهش ضریب آلومتریک باعث کاهش بنیه بذر می‌شود. به نظر می‌رسد پرایمینگ بذر با آب مقطر و یا غلظت کم مواد اسمزی مثل اسید سالیسیلیک به دلیل فعال نمودن متابولیک لازم برای جوانه‌زنی و افزایش سنتز RNA ریبوزومی و DNA میتوکندری و افزایش فعالیت آنزیم‌های آلفا و بتا آمیلاز سبب بهبود کیفیت جوانه‌زنی بذر از طریق آغاز مراحل اولیه جوانه‌زنی باعث افزایش ویگور (بنیه) بذر شد.

وزن تر ساقه‌چه، ریشه‌چه و وزن خشک گیاهچه

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، اثرات ساده پرایمینگ با اسید سالیسیلیک، تنش خشکی و ارقام مختلف کینوا و اثرات برهمکنش دوگانه و سه‌گانه آن‌ها بر صفات وزن تر ساقه‌چه و ریشه‌چه و وزن خشک گیاهچه در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری را نشان داد (جدول ۱). بر اساس نتایج مقایسه میانگین بیشترین وزن تر ساقه‌چه (۰/۱۰۸ گرم) و ریشه‌چه (۰۶۳/۰ گرم) در شرایط عدم تنش خشکی و پرایم ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و رقم Titicaca مشاهده شد (شکل ۳- A و B). همچنین طبق نتایج مقایسه میانگین، بیشترین وزن خشک گیاهچه با میانگین ۰۱۵/۰ گرم در رقم Titicaca و پرایم ۱/۵ میلی مولار اسید سالیسیلیک و عدم تنش خشکی مشاهده شد (شکل ۳- C). در آزمایش سید احمدی (Seyed Ahmadi, 2013) نیز در اثر تنش خشکی وزن خشک گیاهچه کاهش یافت. کمبود ذخایر غذایی و کاهش کارایی تبدیل ذخایر به بافت گیاهچه ازجمله دلایل عمده کاهش وزن گیاهچه در چنین شرایطی است (Soltani et al., 2006). پرایمینگ بذر برنج با اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی، سبب افزایش قوه نامیه بذر گردید (Farooq et al., 2006). گزارش شده استفاده از این روش باعث جوانه‌زنی یکنواخت و سریع بذرهای تیمار شده گردید و طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و وزن تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه را در شرایط تنش خشکی افزایش داد.

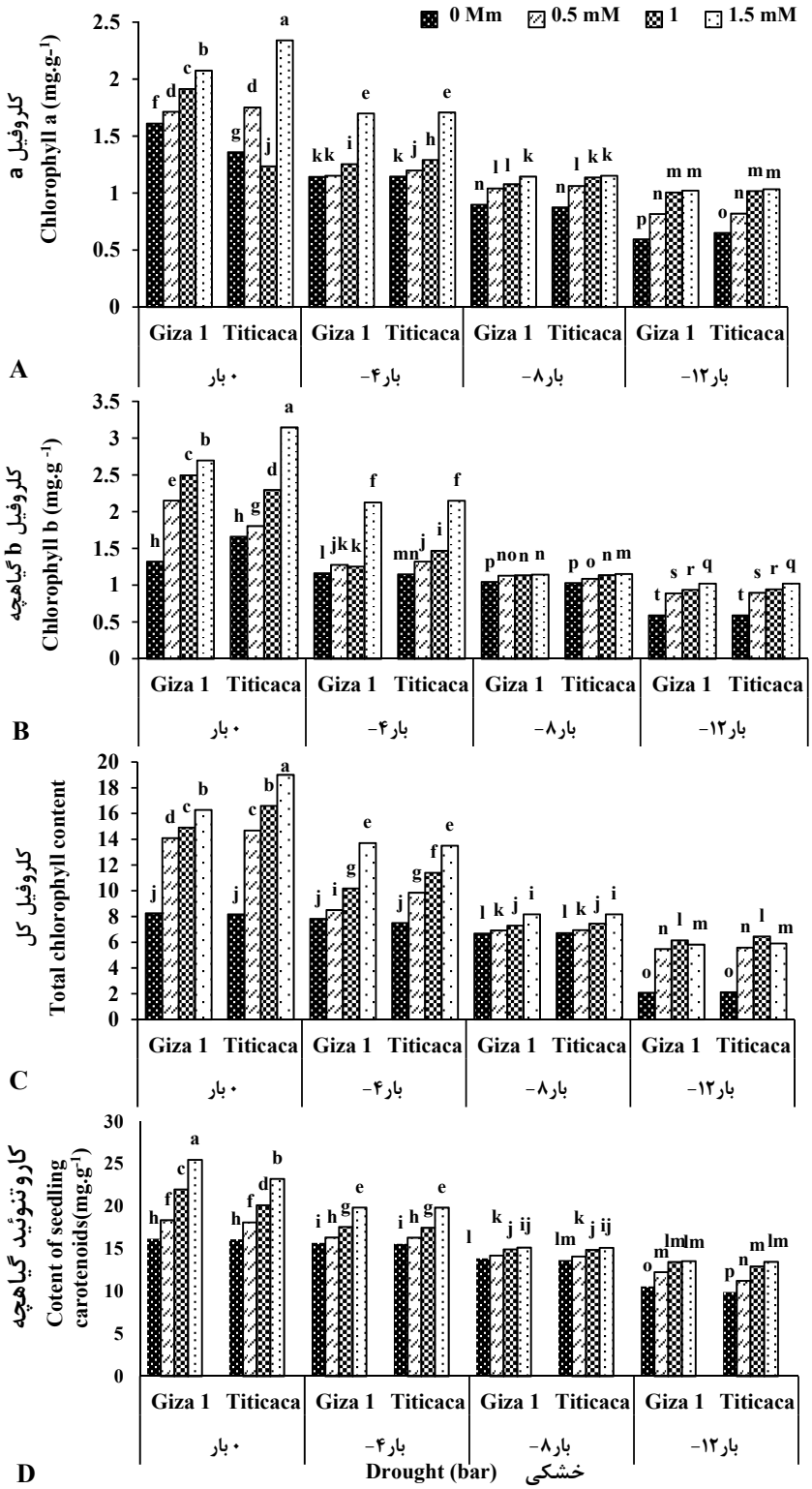
تغییر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر اسید سالیسیلیک، تنش خشکی و ارقام کینوا بر صفات کلروفیل a، کلروفیل کل و کاروتنوئید در سطح احتمال ۱٪ و اثر اسید سالیسیلیک بر روی کلروفیل b هم در سطح ۵٪ معنی‌دار شد. همچنین اثرمتقابل رقم در اسید سالیسیلیک و رقم در خشکی بر صفات کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل و کاروتنوئید در سطح ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۱). مقدار کلروفیل a و b با افزایش سطوح تنش خشکی روندی کاهشی را نشان داد به‌طوری‌که بیشترین میزان کلروفیل (a34/2 میلی‌گرم در گرم برگ) (شکل ۴- A) و کلروفیل b با میانگین ۳/۱۴ میلی-گرم در گرم برگ (شکل ۴- B)، در عدم تنش خشکی و غلظت ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و رقم تی‌تی‌کاکا مشاهده شد. همچنین نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و پرایم با اسید سالیسیلیک بر میزان کلروفیل کل نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل کل با میانگین ۱۹ میلی‌گرم مربوط به تیمار بدون اعمال تنش و اسید سالیسیلیک با غلظت ۱/۵ میلی‌مولار در رقم تی‌تی‌کاکا می-باشد (شکل ۴- C). ارقامی از کینوا که دارای میزان بیشتری کلروفیل بودند، به‌عنوان ارقام مقاوم‌تر به تنش‌های محیطی، شناسایی شدند. کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی از اثر تنش‌های محیطی نظیر شوری و خشکی است و این کاهش بستگی به نوع گیاه، مدت و شدت تنش و مرحله نموی گیاه دارد. به‌طورکلی، در شرایط تنش خشکی رقابت آنزیم گلوتامات لیگاز (اولین آنزیم مسیر بیوسنتز کلروفیل) در مقایسه با آنزیم گلوتامیل کیناز (آنزیم کاتالیز کننده پرولین) کاهش پیدا می‌کند و این باعث می‌شود که پیش ساز گلوتامات، بیشتر به مصرف پرولین برسد و درنتیجه بیوسنتز کلروفیل با محدودیت مواجه شود (Ramak et al., 2014). افزایش غلظت کلروفیل a توسط اسید سالیسیلیک در بررسی حاضر با یافته‌های سینگ و اوشا (Singh and Usha, 2003) در گیاه گندم که افزایش غلظت رنگیزه‌ها را تحت تأثیر اسید سالیسیلیک در شرایط خشکی نشان دادند، منطبق بود. پوپووا و همکاران (Popva et al., 2009) گزارش کردند که اسید سالیسیلیک باعث افزایش مقدار کلروفیل در گیاه عدسک آبی شد که نتایج ما نیز این مورد را تائید نمود. کاهش میزان کلروفیل در پاسخ به خشکی، در آفتابگردان نیز گزارش شده است (Kiani et al., 2008). بر اساس نتایج تیمار با اسید سالیسیلیک و تنش خشکی سبب بهبود غلظت کاروتنوئید گیاهچه‌های کینوا در شرایط تنش خشکی در مقایسه با گیاهانی شد که تحت تأثیر تیمار اسید سالیسیلیک قرار نگرفتند. به‌طوری‌که بیشترین میزان کاروتنوئید (۲۵/۴۸ میلی‌گرم در گرم برگ) در عدم تنش خشکی اسید سالیسیلیک ۱/۵ میلی‌مولار و رقم جیزا ۱ مشاهده شد (شکل ۴). اسید سالیسیلیک در گیاه ذرت (Khodary, 2004)، آفتابگردان (Mahdavian, et al., 2017) و گوجه‌فرنگی (Szepesi, 2006) نیز موجب افزایش کاروتنوئید شد. به نظر می‌رسد افزایش میزان ترکیبات کاروتنوئیدی در اثر استفاده از اسید سالیسیلیک باعث افزایش مقاومت گیاه در برابر خسارت اکسیداتیو شود. مهرکار و همکاران Moharekar et al., 2003) نیز گزارش کردند که اسید سالیسیلیک باعث فعال شدن تولید ترکیبات کاروتنوئیدی در گیاهچه‌های گندم می‌شود.



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل رقم ×پرایم با سالیسیلیک اسید× تنش خشکی بر وزن تر ساقه‌چه (A)، بر وزن تر ریشه‌چه (B)، وزن خشک گیاهچه (C) در دو ژنوتیپ کینوا

Fig. 3. Comparison of the average interactions of cultivar × Prime with salicylic acid × drought stress on Stem fresh weight (A), Root fresh weight (B), Seedling dry weight (C) Tow genotypes quinoa



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل رقم ×پرایم با سالیسیلیک اسید× تنش خشکی بر مقدار کلروفیل a (A)، کلروفیل b (B)، کلروفیل کل (C)، کاروتنوئید گیاهچه (D) در دو رقم کینوا

Fig. 4. Comparison of the average interactions of cultivar × Prime with salicylic acid × drought stress on amount of chlorophyll a (A), chlorophyll b (B), Total chlorophyll content(C), Cotent of seedling carotenoids(D) Tow genotypes quinoa

نتیجه‌گیری نهایی

به‌طورکلی نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تنش خشکی تأثیر مثبت و معنی‌داری بر سرعت، درصد جوانه‌زنی و سایر خصوصیات رشدی هر دو ژنوتیپ کینوا داشت. پرایمینگ با هورمون اسید سالیسیلیک سبب بهبود مؤلفه‌های جوانه‌زنی و رشد اولیه بذور گیاه کینوا شد. تنش خشکی سبب کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه کینوا شد ولی این کاهش شاخص‌ها در بذور پرایم شده کمتر از بذور شاهد بود. به‌طوری‌که در صفات اندازه‌گیری شده موردمطالعه، کمترین مقدار مربوط به سطوح شاهد یا عدم پرایم در سطوح تنش خشکی ۱۲- بار مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مختلف گیاه کینوا ازنظر تحمل به تنش خشکی تفاوت معنی‌داری وجود دارد. به‌طورکلی ازآنجایی‌که جوانه‌زنی و سبز شدن، فرآیندهایی متأثر از شرایط مختلف اقلیمی و خاکی هستند، ازاین‌رو انجام مطالعات مزرعه‌ای و آزمایشگاه بیشتری در این راستا در مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود.

منابع

Aboulhasani, M., Lakzian, A., Haghnia, G.H., Sarcheshmehpoor, M., 2006. The study of salinity and drought tolerance of Sinorhizobium meliloti isolated from province of Kerman in -vivo condition. Iranian Journal of Field Crops Research. 4,183-193. [In Persian with English summary].

Adolf, V.I., Jacobsen S.E., Shabala, S., 2012. Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Environmental and Experimental Botany. 92, 43-54.

Afzal, I., Basra, S. M. A., Faroog, M., Nawaz, A., 2006. Alleviation of salinity stress in spring wheat by hormonal priming with ABA, salicylic acid and ascorbic acid. Int Journal Agriculture Biology. 1, 23-28.

Ahmadi, Kh., Shojaeian, A. Karimi, T., Hajibarat, Z., 2018. The effect of salicylic acid pretreatment on germination characteristics of Lallemantia iberica under drought stress. Iranian Journal seed Gorgan Research. 8, 38-48. [In Persian with English Summary].

Arnon, D.I., 1949. Copper enzyme in isolated chlroplasts; polyphenol-oxidase in Beta vulgaris. Plant Physiology. 24, 1-15.

Bajji, M., Kinet, J.M., Lutts, S., 2002. Osmotic and ionic effects of NaCl on germination, early seedling growth, and ion content of Atriplex halimus (*Chenopodiaceae*). Canadian Journal of Botany. 80, 297-304.

Daneshmand, F., Arvin, M.J., Keramat, B., Momeni, N., 2014. Interactive effects of salt stress and salicylic acid on germination and plant growth parameters of maize (*Zea mays* L.) under field conditions. Iranian Journal of Plant Process and Function. 1, 56-70. [In Persian with English Summary].

Everitt, J.H., Alaniz, A., Lee, J.B., 1983. Seed germination characteristic of Kochia scoparia. Journal of Range Management. 36, 646-648.

Farooq, M., Hussain, M., Siddique, K.H.M., 2014. Drought stress in wheat during flowering and grain-filling periods. Critical Reviews in Plant Science. 33, 331-349.

Farooq, M., Basra, S.M.A., Tabassum, R., Ahmed, N., 2006. Evaluation of seed vigor enhancement techniques on physiological and biochemical basis in coarse rice (*Oryza sativa* L.). Seed Science and Technology. 34,741-750.

Fatheiamirkhiz, K., Omidi, H., Heshmati, S., Jafarzadeh, L., 2012. Evaluate the effect of accelerating on seed vigor and germination characteristics of medicinal plant Nigella sativa under salt stress. Iranian Journal of Field Crops Research. 10, 299-310. [In Persian with English Summary].

Foti, R., Abureni, K., Tigere, A., Gotos, J., Gere, J., 2008. The efficacy of different seed priming osmotica on the establishment of maize (*Zea ma*ys L.) caryopses. Journal of Arid Environment. 72, 1127–1130.

Gill, P.K., Shama, A.D., Singh, P., Singh Behullar, S., 2002. Osmotic stress induced changes in germination, growth and soluble sugar content of *Sorgum bicolor* L. seeds. Bulgarian Journal of Plant Physiology. 28, 12-25.

Gu, Z., Chen, D., Han, Y., Chen, Z., Gu, F., 2008. Optimization of carotenoids extraction from *Rhodobacter sphaeroides*. LWT - Food Science and Technology. 41, 1082-1088.

Hager, A.S., Wolter, A., Jacob, F., Zannini, E., Arendt, E.K., 2010. Nutritional properties and ultra structure ofcommercial glutenfree flours from different botanical sources compared to wheatflours. Journal of Cereal Science. 562, 247-239.

Halima, N.B., Ben Saad, R., Ben Slima, A., Khemakhem, B., Fendri, I., Abdelkafi, S., 2014. Effect of salt stress on stress-associated genes and growth of *Avena sativa* L. Isesco Journal of Science and Technology. 10, 73-80.

Hasstrup Pedersen, L., Jorjensen, P.E., Poulsen, I., 1993. Effect of seed vigour and dormancy on field emergence, development and grain yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and winter barley (*Hordeum vulgare* L.). Seed Science and Technology. 21, 159 -178.

Hayat, S., Hasan, S.A., Fariduddin, Q., Ahmad, A., 2008. Growth of tomato (*Lycopersicon esculentum*) in response to salicylic acid under water stress. Journal of Plant Interactions. 3, 297-304.

Hussein, M.M., Balbaa, L.K., Gaballah, M.S., 2007. Salicylic acid and salinity effects on growth of maize plants. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences. 3, 321-328.

Iqbal, M., Khan, R., Khan, N.A., 2013. Salicylic acid and jasmonates: approaches in abiotic stress tolerance. Plant Biochemistry and Physiology. 1(4). 1000e113

ISTA (International Seed Testing Association), 2009. International Rules for Seed Testing International Seed Testing Association. Bassersdorf, Switzerland.

Jacobsen SE., 2003. The worldwide potential for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Food Reviews International.19, 167-177

James, L.E.A., 2009. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): composition, chemistry, nutritional, and functional properties. Advances in Food and Nutrition Research. 58, 1-31.

Kaboli, M., Sadeghi, M., 2001. Effect of drought stress on germination of three Onobrochis species. Pajohesh and Sazandegi. 64, 51-57. [In Persian with English Summary].

Khaksar, K., Badrooj, H.R., Hamidi, A., Shiranirad, A.H., 2013. Effect of drought stress and normal irrigation on mother plant of some canola spring cultivars seedling emergence and establishment in field. Crop Production in Environmental Stress. 4. 63-71. [In Persian with English Summary].

Khodary, S.E. ., 2004. Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt-stressed maize plants. Journal of Agriculture and Biology. 6. 5-8.

Kiani, S. P., Maury, P., Sarrafi, A., Grieu, P., 2008. QTL analysis of chlorophyll fluorescence parameters in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under well-watered and water-stressed conditions. Plant Science. 175. 565-573.

Mahdavian, K., 2017. Effect of different concentrations of salicylic acid on modifying the effects of sodium chloride stress on growth parameters and photosynthetic pigments in sunflower. Journal of Plant Environmental Physiology. 47, 106-93.

Mamedi, A., Tavakkol Afshar, R., Sepahvand, N., 2016. Quantification of reaction germination of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) under different temperature regimes and drought. Journal of Iranian Crop Science. 48(3), 615-623. [In Persian with English Summary].

Martinez, E.A., Fuentes, F.F., Bazile, D., 2015. History of quinoa: Its origin, Chilean context. quinoa: Improvement and Sustainable Production: 19-24.

Moharekar, S.T., Lokhande, S.D., Hara, T., Tanaka, R., Tanaka, A., Chavan, P.D., 2003. Effect of salicylic acid on chlorophyll and carotenoid contents of wheat and moong seedlings. Photosynthetica. 41, 315-317.

Munns, R., 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell and Environment. 25, 239-250.

Oelke, E.A., Putnam, D.H., Teynor, T.M., Oplinger, E.S., 1992. Alternative field crops manual. University of Wisconsin Cooperative Extension Service, University of Minnesota Extension Service, Centre for Alternative Plant and Animal Products.

Popova, L.P., Maslenkova, L.T., Yordanova, R.Y., Ivanova, A.P., Krantev, A.P., Szalai, G., 2009. Exogenous treatment with salicylic acid attenuates cadmium toxicity in Pea seedlings. Plant Physiology and Biochemistry. 47, 224-231.

PROINPA, 2011. Quinoa: An ancient crop to contribute to world food security. Santiago de

Chile: FAO, Regional Office for Latin America and the Caribbean. 63p.

Ramak, M., Khavrain Nejad, R., Heydari Sharifabad, H., Rafiei, M., Khademi, K., 2014. Effect of water stress on dry matter and photosynthetic pigments in two sainfoin species. Iranian Journal of Research in Genetics and Plant Breeding of Pasture and Forest. 14(2), 91- 80. [In Persian with English Summary].

Senaranta, T., Touchell, D., Bum, M.E., Dixon, K., 2002. Acetylsalicylic (aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. Plant Growth Regulation. 30, 157-161.

Seyed Ahmadi, S.A., 2013. Evaluation of germination components and vigor of parent seeds canola produced from of heat and drought stress in end of the growing season. Crop Physiology Journal. 17, 61 -75.

Shakirova, F.M., Sakhabutdinova, A.R., Bozrutkova, M.V., Fatkhutdinova R.A., Fatkhutdinova, D.R., 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. Plant Science. 164, 317-322.

Shakirova, F.M., Sahabutdinova, D.R., 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. Plant Science. 164, 317-322.

Sharafizadeh, M., 2018. The effect of salicylic acid and drought stress on seed germination of barley. Iranian Journal of Seed Science and Technology. 6(2), 161-169. [In Persian with English Summary].

Shekari, F., Baljani, R., Saba, J., Afsahi, K., 2010. Effect of seed priming with salicylic acid on growth characteristics of borage (*Borago officinalis*) plants seedlings. Journal of New Agricultural Science. 6, 47-53. [In Persian with English summary].

Singh, B., Usha, K., 2003. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. Plant Growth Regulation. 39. 137-141.

Soltani, A., Gholipoor, M., Zeinali, E., 2006. Seed reserve utilization and seedling growth of wheat as affected by drought and salinity. Environmental and Experimental Botany. 55(1-2), 195-200.

Szepesi, A., 2006. Salicylic acid improves the acclimation of *Lycopersicon esculentum* Mill. L. to high salinity by approximating its salt-stress response to that of the wild species L. pennellii. Acta Biologica Szegediensis. 50(3-4), 177.

Tardieu, F., Parent, B., Caldeira, C. F., Welcker, C., 2014. Genetic and physiological controls of growth under water deficit. Plant Physiology. 164, 1628–1635,

Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L., Martínez, E.A., 2010. Nutrition facts and functional potential of (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain: a review. Journal of the Science of Food and Agriculture. 90, 2541-2547.

Warmazyaryan, Kh., Sohrabi, Y., Weisani, W., 2015. Germination characteristics of seeds obtained from four chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under different irrigation levels. Iranian Journal Plant Production Technology. 15, 87 -98. [In Persian with English Summary].

Wojtyla, L., Lechowska, K., Kubala, S., Garnczarska, M., 2016. Molecular processes induced in primed seeds − increasing the potential to stabilize crop yields under drought conditions. Journal of Plant Physiology. 203, 116-12.