بهبود رفتار جوانه‌زنی و خصوصیات گیاهچه دو رقم کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) تحت تأثیر اسید سالیسیلیک و تنش شوری

راضیه کرمی[۱]، فاطمه ابراهیمی[۱]، حمید رضا بلوچی[۲*]، محمد جواد بابایی‌زارچ[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج. یاسوج، ایران

[۲]دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

[۳]دکتری، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱/۲

چکیده

کینوا گیاهی بسیار ارزشمند با خاصیت دارویی و غذایی بالا است. به‌منظور بررسی سطوح مختلف شوری و پرایمینگ بذر بر جوانه‌زنی کینوا آزمایشی فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۷ در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشگاه یاسوج اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل دو رقم کینوا (Titicaca و Giza 1)، سه غلظت پرایمینگ بذور با اسید سالیسیلیک (صفر، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) و چهار سطح تنش شوری (صفر، ۱۵۰، ۳۰۰ و ٤٥٠ میلی‌مولار NaCl) بود. صفات مورد ارزیابی در این آزمایش شامل درصد جوانه زنی، سرعت جوانه‌زنی، یکنواختی جوانه‌زنی ، مدت زمان جوانه‌زنی، طول گیاهچه، وزن گیاهچه، شاخص بنیه طولی و شاخص بنیه بذری گیاهچه بودند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش شوری، پرایمینگ اسید سالیسلیک، رقم کینوا و کلیه اثرات دوگانه و سه‌گانه بین تیمارهای آزمایش روی تمام صفات آزمایش معنی‌داری بود ($P<0.01$). نتایج نشان داد که تا شوری ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl کاهش معنی‌داری در جوانه‌زنی هر دو رقم کینوا مشاهده نشد، اما برای رقم G جوانه‌زنی بذور در تمام سطوح پرامینگ اسید سالیسیلیک در شوری ٤٥٠ میلی‌مولار NaCl به صفر رسید. پرایمینگ بذور با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسلیک در شوری ٤٥٠ میلی‌مولار NaCl باعث ٦٠ درصد جوانه‌زنی در رقم T شد. به‌طورکلی نتایج نشان داد که سرعت و درصد جوانه‌زنی بذور پرایم شده ارقام T و G کینوا با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک نسبت به دیگر سطوح پرایمینگ در شوری پایین بهتر از سطوح شوری بالا خصوصیات جوانه‌زنی را بهبود می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: پرایمینگ، شاخص بنیه، شبه‌هورمون‌ها، شوری، کینوا

مقدمه

شوری یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده بهره‌برداری اقتصادی و تولید پایدار در بخش‌های وسیعی از مناطق خشک و نیمه خشک جهان است و گزارش شده است که بیش از ٦ درصد از زمین‌های جهان و بیش از ۲۰ درصد از کشت‌های آبی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Qadir et al., 2014). تنش شوری با ایجاد تنش اسمزی (Flowes and Colmer, 2015)، عدم تعادل یونی (Munns and Tester, 2008)، تنش اکسیداتیو (Rafiq et al., 2017) فرآیندهای رشد گیاه را کاهش می‌دهد اما میزان خسارت ناشی از شوری به میزان و نوع نمک درگیر، مدت زمان قرار گرفتن در معرض تنش شوری، مرحله رشد گیاه و از همه مهم‌تر ژنوتیپ‌های محصول بستگی دارد (Shabala et al., 2013؛

*نویسنده مسئول: balouchi@yu.ac.ir

Hu et al., 2017). علاوه وجود تنش شوری در بسیاری از مناطق جهان، در حال حاضر کشاورزی عمده‌ترین مصرف-کننده‌ی منابع آب شیرین است به گونه‌ای که حدود ٨٤ درصد از منابع آبی دنیا صرف مصارف کشاورزی می‌شود (Adolf et al., 2012). بنابراین لازم است تا با جایگزین کردن گیاهان مناسب در الگوی کشت مناطق مواجع با بحران آب، از منابع آبی نامتعارف و بسیار شور برای کشاورزی استفاده نمود.

کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) یک گیاه شوردوست اختیاری است و قادر است در خاک‌هایی با درجه شوری بسیار بالا (شوری بالای ۵۲ دسی زیمنس بر متر) رشد کرده (Garcia et al., 2015) و حتی به تنش خشکی نیز مقاومت دارد (Razzaghi et al., 2011). با وجود رشد در محیط‌های بسیار آلوده و پر تنش قادر به تولید دانه با کیفیت غذایی بالا است (Vega-Gálvez et al., 2010; Ruiz-Carrasco et al., 2011; Stikic et al., 2012).

اما جوانه‌زنی، سبز شدن و استقرار بذور کینوا همانند بسیاری از گیاهان زراعی و علف‌های هرز به علت شوری آب به تأخیر می‌افتد، با این وجود تحمل و یا حساسیت به شوری بستگی بسیار زیادی به رقم مورد استفاده دارد (Adolf et al., 2012). در این رابطه گزارش شده است که جوانه‌زنی چهار رقم کینوا متعلق به شیلی در سطوح شوری ۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار NaCl، فقط در شوری ۳۰۰ میلی‌مولار و در یکی از ارقام کاهش معنی‌داری داشته است (Ruiz- Carrasco et al., 2011). در بررسی دیگری اثر شوری بر جوانه‌زنی بذر ارقام کینوای کشور بولیوی گزارش شد که در غلظت بالاتر از ٤۰۰ میلی‌مولار NaCl بازدارندگی جوانه‌زنی برای همه ارقام وجود داشته است اما رقم Robura بیشترین حساسیت را به شوری با غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl داشت (Hariadi et al., 2011).

بنابراین لازم است با استفاده از روش‌های موجود، جوانه‌زنی کینوا تحت تنش شوری بهبود یابد. یکی از روش‌هایی که امروزه توجه ویژه‌ای به آن شده، پرایمینگ بذور با هورمون‌ها و شبه هورمون‌های گیاهی است که می‌توان از بین آن‌ها به اسید سالیسیلیک اشاره نمود. اسید سالیسیلیک به عنوان یک ماده شبه هورمون شناخته می‌شود که نقش مهمی در تنظیم تعدادی از فرآیندهای فیزیولوژیکی ایفا کرده و از گیاهان در مقابل تنش‌های زیستی و غیرزیستی حفاظت می‌کند و گزارش شده است که پرایمینگ بذر با اسید سالیسیلیک سبب افزایش جوانه‌زنی و یکنواختی سبز شدن در بذور گیاهان مختلف می‌شود (Gunes et al., 2007).

از آن‌جایی که در ایران هنوز ارقام وارداتی کینوا مورد کشت و کار قرار می‌گیرد، این تحقیق به منظور بررسی اثر تنش شوری و پیش تیمار اسید سالیسیلیک روی جوانه‌زنی و رشد گیاهچه بذور دو رقم کینوا تحت تنش شوری طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه علوم و تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج در سال ۱۳۹۷ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل دو رقم کینوا (Titicaca, Giza1) و سه سطح مختلف پرایمینگ بذر با اسید سالیسیلیک (صفر، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) و چهار سطح تنش شوری (صفر، ۱۵۰، ۳۰۰ و ٤۵۰ میلی‌مولار NaCl) بود.

در ابتدا بذور سالم از هر رقم کینوا انتخاب و با محلول هیپوکلریت ۳ درصد به‌مدت ۳۰ ثانیه ضدعفونی شد و سپس بذور ضدعفونی شده سه مرتبه با آب مقطر شستشو داده شد. در ادامه بذور ضد عفونی شده به مدت ۳ ساعت محلول‌های اسید سالیسیلیک غوطه‌ور گردید. در نهایت بذور پرایم شده سه مرتبه با آب مقطر شسته داده شد و به‌مدت ٢٤ ساعت در دمای آزمایشگاه (۲۰ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شد تا خشک شوند.

به منظور کشت بذرها از ظروف پتری با قطر دهانه ۹ سانتی‌متر حاوی دو لایه کاغذ صافی واتمن ضدعفونی شده استفاده شد. سپس ۲۵ عدد از بذور تیمار شده داخل پتری قرار داده و به هر پتری ٤ میلی‌لیتر از تیمارهای تنش شوری اضافه گردید و درب پتری‌ها با کشیدن پارافیلم دور آن‌ها به منظور کاهش میزان تبخیر آب مسدود شد. پتری‌ها به ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و تناوب نوری ۱۲ ساعت منتقل شدند. شمارش بذرهای جوانه‌زده در هر ۲٤ ساعت براساس خروج ۲ میلی‌متر ریشه‌چه از بذر بود. آزمون جوانه‌زنی بذور در روز هفتم با اطمینان از اینکه دیگر بذری جوانه نخواهد زد به اتمام رسید و درصد نهایت سبز شدن با استفاده از رابطه (۱) تعیین گردید.

$$GP = \frac{n}{N} \times 100 \qquad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه n نشان‌دهنده تعداد گیاهچه‌های سبز شده و N نشان دهنده تعداد کل بذور کشت شده در هر پتری– می‌باشد. در این تحقیق مدت زمان لازم برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی از طریق دورن یابی منحنی افزایش جوانه‌زنی در مقابل زمان محاسبه گردید (رابطه ۲).

$$D50 = t_i + \left[\left(\frac{N}{2} - n_i\right)(t_j - t_i)/(n_j - n_i)\right] \qquad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه فوق N جوانه‌زنی نهایی، ni و nj نیز تعداد بذور جوانه‌زده در مدت زمان بین tj-ti می‌باشد (Coolbear, 1984). برای محاسبه سرعت جوانه‌زنی (بر ساعت)، پس از ثبت جوانه‌زنی روزانه بذور و محاسبه مدت زمان لازم برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی از طریق رابطه (۳) محاسبه گردید (Soltani et al., 2001).

$$R50 = \frac{1}{D50} \qquad \text{رابطه (۳)}$$

یکنواختی سبز شدن (EU) مدت زمانی است که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی از ۱۰ درصد حداکثر خود به ۹۰درصد حداکثر خود بر واحد زمان برسد (رابطه ٤) (Soltani et al., 2001). هر چقدر مقدار این مدت زمان کمتر باشد نشان دهنده جوانه‌زنی یکنواخت‌تر بذور می‌باشد.

$$EU = D90 - D10 \qquad \text{رابطه (٤)}$$

در این رابطه D90 و D10 به‌ترتیب نشان دهنده مدت زمان لازم برای ۹۰ و ۱۰ درصد جوانه‌زنی می‌باشد که از طریق دورن‌یابی منحنی افزایش جوانه‌زنی در مقابل زمان محاسبه گردید (Coolbear,1984). پس از گذشت ۷ روز و پایان آزمایش جوانه‌زنی، در هر پتری ۵ گیاهچه انتخاب و طول گیاهچه اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه قرار داده شد. پس از اطمینان از خشک شدن نمونه، با ترازویی با دقت ۰/۰۰۱ وزن شدند. برای اندازه‌گیری مقدار شاخص وزنی و طولی بنیه بذر از روابط ۵ و ٦ استفاده شد (Abdul-baki and Anderson, 1973).

$$Vwi = (GP \times SDW)/100 \qquad \text{رابطه (۵)}$$

$$Vsi = (GP \times SS)/100 \qquad \text{رابطه (٦)}$$

در روابط فوق GP نشان از درصد جوانه‌زنی و SDW و SS نیز به‌ترتیب نشان از وزن خشک و طول گیاهچه می‌باشد. در پایان آزمایش آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت. دیگر محاسبات و رسم اشکال نیز با استفاده از نرم افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه وایانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی تنش شوری، پرایمینگ بذور با اسید سالیسیلیک ، اثر رقم و کلیه اثرات دوگانه و سه‌گانه بین تیمارهای آزمایش برای همه صفات مورد بررسی معنی‌دار بود ($P<0.01$) (جدول ۱).

جدول ۱: تجزیه واریانس (میانگین مربعات) خصوصیات جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه در بذرهای دو رقم کینوا

منابع تغییرات	SOV	df درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)							
			درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	یکنواختی جوانه‌زنی	مدت زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی	طول گیاهچه	وزن گیاهچه	شاخص بنیه طولی گیاهچه	شاخص بنیه بذری گیاهچه
شوری	Salinity (S)	3	32245.5**	0.017**	14099.72**	500.13**	22117.6**	88.21**	22353.84**	76.07**
پرایمینگ	Priming (P)	2	578.67**	0.0007**	1762.32**	117.65**	712.27**	5.63**	553.19**	4.81**
رقم	Cultivar (C)	1	1530.89**	0.0024**	1389.04**	14.83**	7879.31**	36.01**	7720.61**	51.41**
پرایمینگ×شوری	S×P	6	513.78**	0.0001**	1825.15**	383.25**	320.21**	3.08**	315.65**	2.29**
رقم × شوری	S×C	3	444.07**	0.0003**	3420.86**	487.20**	897.52**	1.28**	968.88**	8.88**
رقم×پرایمینگ	P×C	2	579.56**	0.00004*	389.31^{ns}	553.12**	292.09**	0.57*	352.38**	1.88**
پرایمینگ × شوری رقم×	S×P×C	6	515.85**	0.0004**	2579.54**	280.19**	370.49**	3.20**	287.14**	0.84**
خطای آزمایش	Residual	48	9.33	0.00001	183.49	1.94	10.91	0.17	10.15	0.13
ضریب تغییرات (درصد)	CV (%)		4.13	6.42	27.15	9.37	7.05	11.65	7.08	15.73

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال خطای ۵ درصد و ۱ درصد

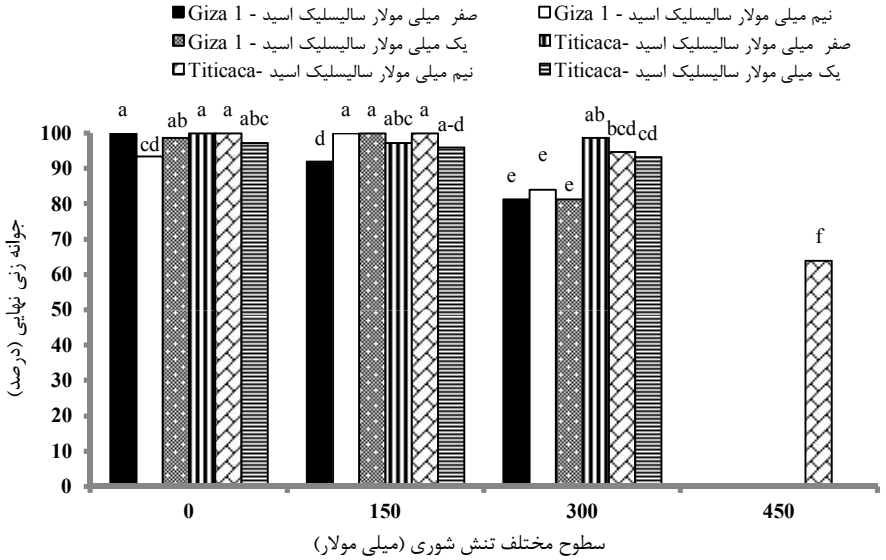
درصد جوانه‌زنی: هر چند گزارشاتی وجود دارد که نشان می‌دهد جوانه‌زنی ارقام مختلف کینوا به شوری بسیار متفاوت است (Koyro and Eisa, 2008; Arshadullah et al., 2016) و برخی ارقام توانایی سبز شدن تا شوری ۵۰ دسی زیمنس بر متر را دارند (Hariadi et al., 2011) اما کاهش جوانه‌زنی با افزایش تنش شوری امری اجتناب ناپذیر است. نتایج این تحقیق نیز نشان داد با افزایش تنش شوری کاهش درصد جوانه‌زنی بذور هر دو کینوا مشاهده شده است و در شوری ٤٥٠ میلی‌مولار جوانه‌زنی هر دو رقم به صفر رسید، اما این کاهش در سطوح مختلف پرایمینگ بذور تفاوت معنی‌داری داشت. بدین‌صورت که در پرایمینگ بذور با غلظت صفر، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در سطوح شوری صفر و ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl درصد جوانه‌زنی بذور رقم T تغییر معنی‌داری نداشت اما پرایمینگ بذور رقم G با غلظت ۰/۵ و ۱ اسید سالیسیلیک باعث افزایش درصد جوانه‌زنی بذور در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl نسبت به صفر میلی‌مولار NaCl شد و در دیگر سطوح تنش شوری کاهش جوانه‌زنی را به همراه داشت. نتایج همچنین نشان داد که پرایمینگ بذور رقم T با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در سطوح شوری ٤٥٠ میلی‌مولار NaCl باعث افزایش ٦٤ درصدی جوانه‌زنی بذور شد، اما در دیگر سطوح پرایمینگ در این سطح شوری برای هر دو رقم کینوا جوانه‌زنی مشاهده نشد (شکل ۱). بنابراین علاوه بر اینکه پاسخ هر رقم به پرایمینگ اسید سالیسلیک بسیار متفاوت می‌باشد گزارش شده است که نقش تحریک‌کنندگی اسید سالیسیلیک بستگی زیادی به غلظت آن (Rajjou et al., 2006) دارد که با نتایج این تحقیق نیز هم‌خوانی دارد و می‌تواند علاوه بر بهبود درصد جوانه‌زنی (El-Tayeb, 2005) منجر به کاهش درصد جوانه‌زنی نیز شود (Cakmakci et al., 2007).

.سرعت تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی (R50): نتایج مقایسه میانگین نتایج نشان داد مقدار R50 در تمام سطوح پرایمینگ بذور با اسید سالیسیلیک برای هر دو رقم کینوای مورد بررسی در تیمار شوری صفر میلی‌مولار NaCl بیش از دیگر شوری‌های آزمایش بود. همچنین صرف نظر از پرایمینگ بذور با اسید سالیسیلیک مقدار شاخص R50 در تمام سطوح تنش شوری برای رقم T بیش از رقم G بود. نتایج نشان داد که افزایش غلظت پرایمینگ بذور از صفر به ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک منجر به افزایش معنی‌دار مقدار R50 برای رقم T در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl به میزان ۱۵ درصد شد، همچنین با افزایش مقدار R50 برای رقم G در شوری‌های ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار و افزایش غلظت پرایمینگ بذور از صفر به ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید، افزایش میزان ۵/۵ و ٨٦ درصد در مقدار R50 مشاهده شد. در این تحقیق کمترین میزان R50 بذور جوانه‌زده برای رقم T در تیمار بذور پرایم شده با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شوری ٤٥٠ میلی‌مولار NaCl حاصل شد این در حالی است که در همین تیمار، بذور رقم G توانایی جوانه‌زدن نداشتند. همچنین نتایج نشان داد که بذور پرایم شده کینوا رقم G با غلظت ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شوری ۳۰۰ میلی مولار NaCl کمترین مقدار سرعت جوانه‌زنی را برای این رقم به همراه داشته است (شکل ۲).

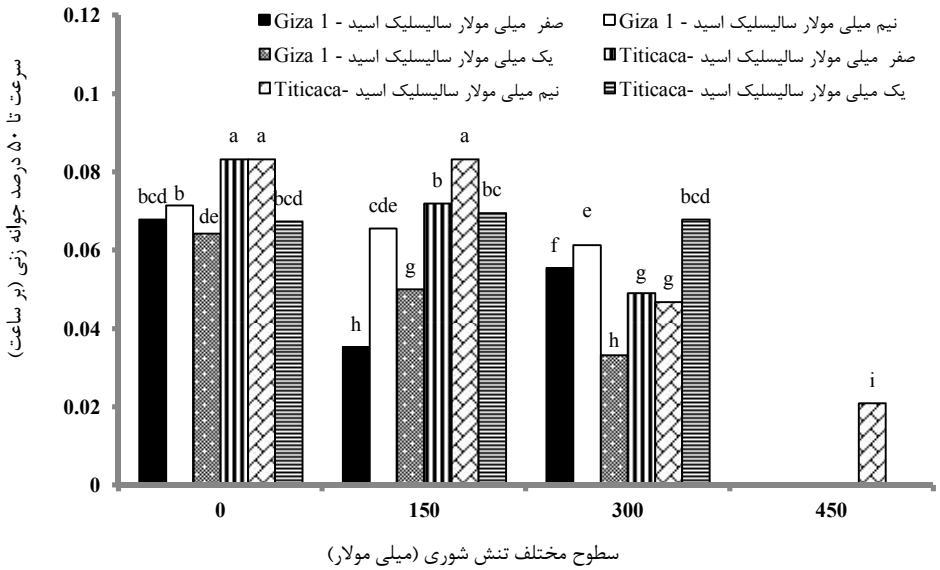
از آن‌جایی که سرعت جوانه‌زنی برای بذرهای با بنیه بالاتر بیشتر از بذور با بنیه پایین می‌باشد، به نظر می‌رسد هر چند تنش شوری کاهش بنیه و سرعت جوانه‌زنی بذور هر دو رقم کینوا را به همراه داشته است، اما پرایمینگ بذور با اسید سالیسیلیک تا حدودی از این کاهش بیشتر بنیه و سرعت جوانه‌زنی جلوگیری کرده است. نتایج نشان داد که پرایمینگ بذور با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک منجر به بهبود سرعت جوانه‌زنی شده است پس می‌توان نقش شبه هورمون اسید سالیسیلیک در افزایش بنیه بذور مؤثر دانست. گزارش شده است که علت افزایش سرعت جوانه‌زنی بذور پرایم شده ناشی از افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده‌ای مثل آلفاآمیلاز، افزایش سطح انرژی زیستی در قالب افزایش ATP، افزایش سنتز RNA و DNA، افزایش تعداد و در عین حال ارتقاء عملکرد میتوکندری

(Afzal et al., 2002) و بازسازی قسمت‌های آسیب‌دیده بذر و رشد سریع‌تر در مقایسه با بذرهای شاهد گزارش شده است.

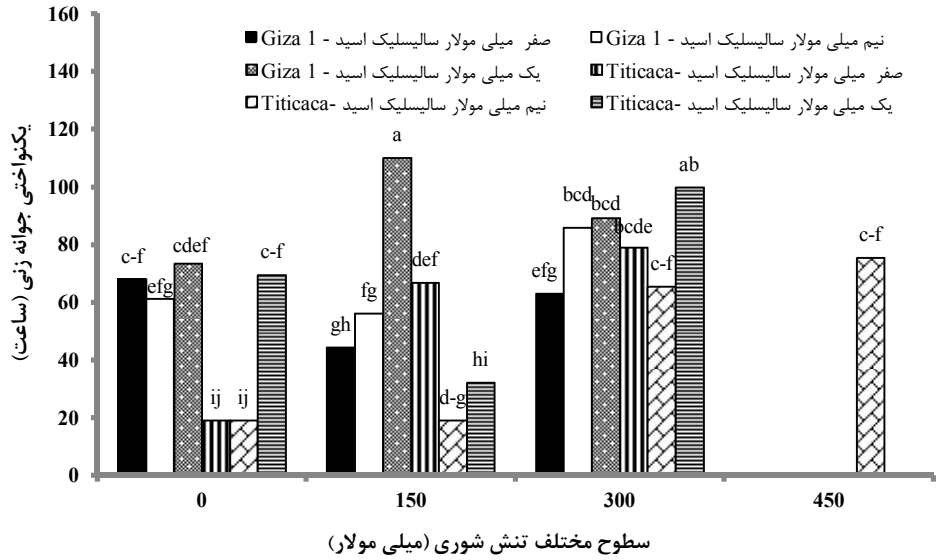
یکنواختی جوانه‌زنی: نتایج این تحقیق نشان داد که در رقم T و G با افزایش تنش شوری و پرایمینگ بذور با سالیسیلیک باعث افزایش مقدار عددی یکنواختی جوانه‌زنی شد. از آن‌جایی که هر چه عدد مربوط به یکنواختی جوانه‌زنی کمتر باشد، نشانگر یکنواختی جوانه‌زنی بیشتر است (Soltani et al., 2011)، بنابراین افزایش عدد یکنواختی جوانه‌زنی بذور نشان از افزایش غیر یکنواختی جوانه‌زنی است. برای رقم T بیشترین یکنواختی جوانه‌زنی در تیمار شوری صفر میلی‌مولار NaCl و صفر میلی‌مولار پرایمینگ اسید سالیسیلیک بود (۱۹/۲ ساعت). برای رقم G بیشترین یکنواختی در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl و پرامینگ صفر میلی‌مولار اسید سالیسیلیک مشاهده شد (٤٤/۳ ساعت). هر چند نتایج این تحقیق نشان داد که پرایمینگ بذور با ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک منجر به جوانه‌زنی بذور در سطح شوری ٤۵۰ میلی‌مولار شد اما این جوانه‌زنی با غیر یکنواختی بسیار بالایی (۷۵ ساعت) همراه بود که نسبت به شوری صفر میلی‌مولار NaCl در همین سطح پرایمینگ با افزایش ۲۹۳ درصدی داشت (شکل ۳).



شکل ۱: مقایسه میانگین سطوح شوری و پرایمینگ بذر در ارقام مختلف کینوا برای شاخص جوانه‌زنی. در هر ستون و تیمار میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار با هم ندارند.



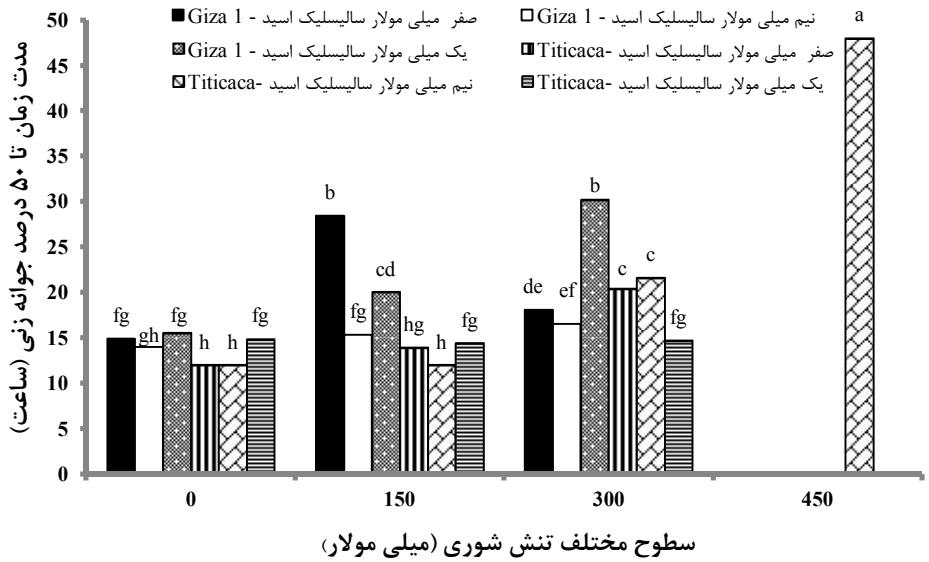
شکل ۲: مقایسه میانگین سطوح شوری و پرایمینگ بذر در ارقام مختلف کینوا برای شاخص سرعت جوانه‌زنی. در هر ستون و تیمار میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار با هم ندارند.



شکل ۳: مقایسه میانگین سطوح شوری و پرایمینگ بذر در ارقام مختلف کینوا برای شاخص یکنواختی جوانه‌زنی. در هر ستون و تیمار میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار با هم ندارند.

مدت زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی: نتایج نشان داد با افزایش میزان غلظت اسید سالیسیلیک بذور پرایم شده و افزایش میزان تنش شوری در هر دو رقم مورد بررسی مقدار D50 نسبت با شاهد افزایش یافته است. برای رقم T در پرایمینگ بذور با غلظت ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شوری های ۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری

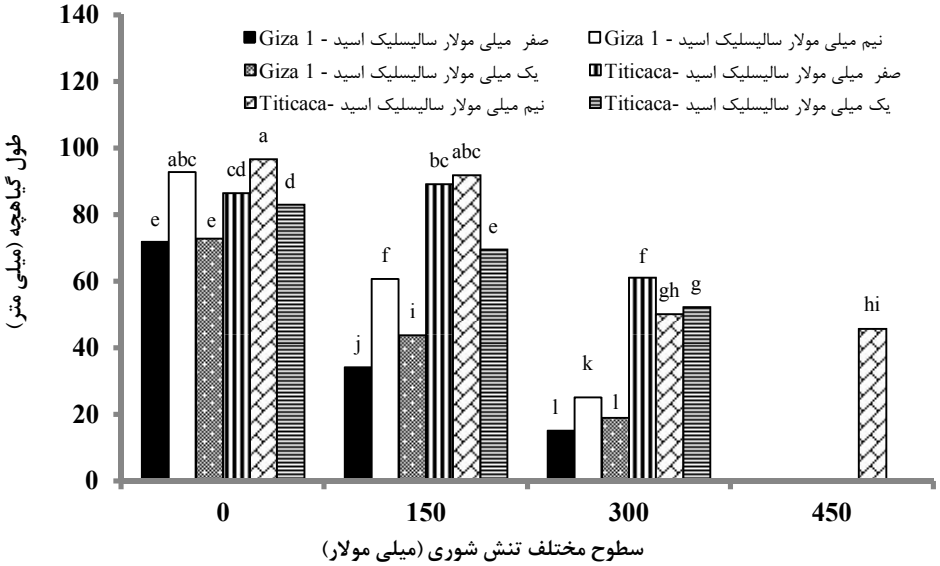
برای D50 مشاهده نشد. همچنین نتایج نشان داد اگر چه در سطح شوری ٤٥٠ میلی‌مولار پرایمینگ بذور با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک منجر به افزایش جوانه‌زنی بذور رقم T شد اما بیشترین میزان غیر یکنواختی جوانه‌زنی و بیشترین میزان D50 نیز در این تیمار به میزان ٤٨ ساعت مشاهده شد. برای رقم G نیز نتایج نشان داد که کمترین D50 در سطوح شوری ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار در پرایمینگ بذور با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار به دست آمد (شکل٤). بنابراین به نظر می‌رسد پرایمینگ بذور با غلظت‌های پایین اسید سالیسیلیک، منجر به بهبود درصد و سرعت جوانه‌زنی شده و D50 جوانه‌زنی را نیز کاهش داده است. در این راستا گزارش شده است که درصد و سرعت جوانه‌زنی بذور پرایم شده سیاه دانه با اسید سالیسیلیک افزایش معنی‌دار داشته است (KAbiri et al., 2012).



شکل ٤: مقایسه میانگین سطوح شوری و پرایمینگ بذر در ارقام مختلف کینوا برای مدت زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی. در هر ستون و تیمار میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار با هم ندارند.

طول گیاهچه: نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه بین تیمارهای آزمایش برای طول گیاهچه نشان داد که بذور رقم G که با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک پرایم شده بودند، در تیمارهای شوری صفر، ۱۵۰، ۳۰۰ در مقایسه با بذوری که با غلظت صفر میلی‌مولار سالیسلیک اسید پرایم شده بودند به‌ترتیب دارای ۲۹/٤، ۷۷/٤ و ٦٥/٤ درصد طول گیاهچه بیشتری بودند. این در حالی است بذور رقم T که با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک پرایم شده بودند، در تیمارهای شوری صفر، ۱۵۰ در مقایسه با بذوری که با غلظت صفر میلی‌مولار سالیسلیک اسید پرایم شده بودند به‌ترتیب دارای ۱۱/۸، ۳/۱ و درصد طول گیاهچه بیشتری و در شوری ۳۰۰ میلی‌مولار با ۱۸/۱ درصد کاهش در طول گیاهچه مشاهده شد. به نظر می‌رسد که پرایم بذور کینوا برای هر دو رقم مورد بررسی با غظت ۰/۵ میلی‌مولار علاوه بر بهبود درصد و سرعت جوانه‌زنی، رشد طولی گیاهچه را نیز بهبود بخشیده است (شکل۵). به‌طورکلی اثرات مثبت اسید سالیسیلیک بر رشد را می‌توان به علت تأثیر آن بر سایر هورمون‌های گیاهی دانست. به طور مثال گزارش شده

است که کاربرد اسید سالیسیلیک روی گندم باعث تغییر در تعادل هورمون‌های اکسین، سیتوکینین و ABA گردید که نتیجه آن افزایش رشد در شرایط غیر تنش و بهبود مقاومت در تنش شوری می‌شود (Shakirova et al., 2003).

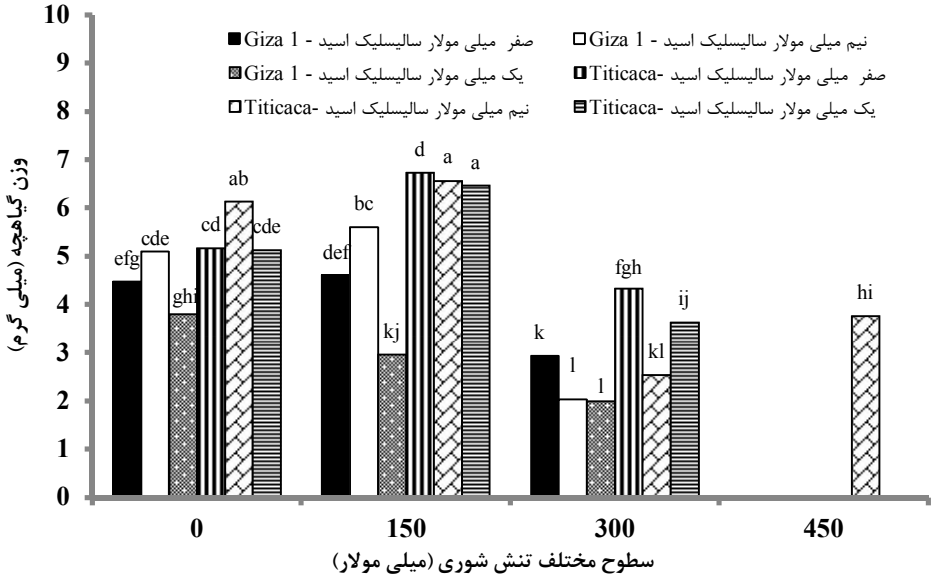


شکل ۵: مقایسه میانگین سطوح شوری و پرایمینگ بذر در ارقام مختلف کینوا برای شاخص طول گیاهچه. در هر ستون و تیمار میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار با هم ندارند.

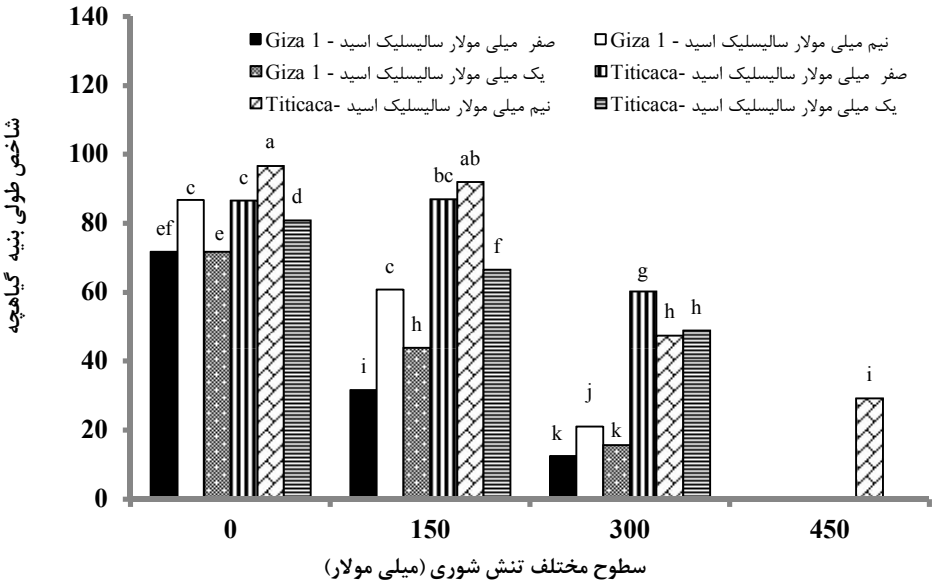
وزن خشک گیاهچه: نتایج همچنین نشان داد که وزن خشک گیاهچه‌های رقم T در تمام سطوح تنش شوری و پرایمینگ اسید سالیسیلیک بیش از رقم G بود. با این حال نتایج نشان داد که وزن خشک گیاهچه‌های رقم T در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl نسبت به سطح شوری صفر میلی‌مولار NaCl در شرایط پرایمینگ با غلظت‌های صفر، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار به ترتیب ۳۰/۳، ٦/۰۵ و ۲۵/۹ درصد افزایش یافت. این در حالی است وزن خشک گیاهچه‌های رقم G در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl نسبت به سطح شوری صفر میلی‌مولار NaCl در شرایط پرایمینگ با غلظت‌های صفر و ۰/۵ میلی‌مولار به‌ترتیب ۳، ۹/۱ درصد افزایش معنی‌دار یافت (شکل ٦). بنابراین پرایمینگ بذور با اسید سالیسیلیک باعث بهبود خصوصیات جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه شده و در نهایت افزایش وزن خشک گیاهچه‌ها را به همراه دارد. افزایش وزن خشک گیاهچه گل گاوزبان با کاربرد اسید سالیسیلیک توسط Shekari et al (2010) گزارش شده است.

شاخص طولی بنیه گیاهچه: نتایج نشان داد که شاخص طولی بنیه گیاهچه کینوا برای رقم T در تمام سطوح تنش شوری و پرایمینگ اسید سالیسیلیک بیش از رقم G بود. با این حال با افزایش تنش شوری در هر دو رقم مورد بررسی، شاخص طولی بنیه گیاهچه کاهش یافت. همچنین نتایج نشان داد با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک از صفر به ۰/۵ میلی‌مولار در سطوح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار نسبت به صفر میلی‌مولار برای هر دو رقم مقدار شاخص بنیه گیاهچه افزایش یافت. مقدار شاخص طولی بنیه در تمام سطوح تنش شوری با افزایش غلظت از صفر به یک میلی‌مولار برای رقم T کاهش یافت، این در حالی است که برای رقم G شاخص طولی بنیه گیاهچه افزایش یافته است (شکل۷).

کاربرد پرایم اسید سالیسیلیک باعث افزایش بنیه بذر شده و بهبود سرعت جوانه‌زنی، زمان بیشتری برای رشد گیاهچه فراهم شده است که نتیجه آن افزایش طول گیاهچه و افزایش شاخص طولی بنیه گیاهچه شده است.

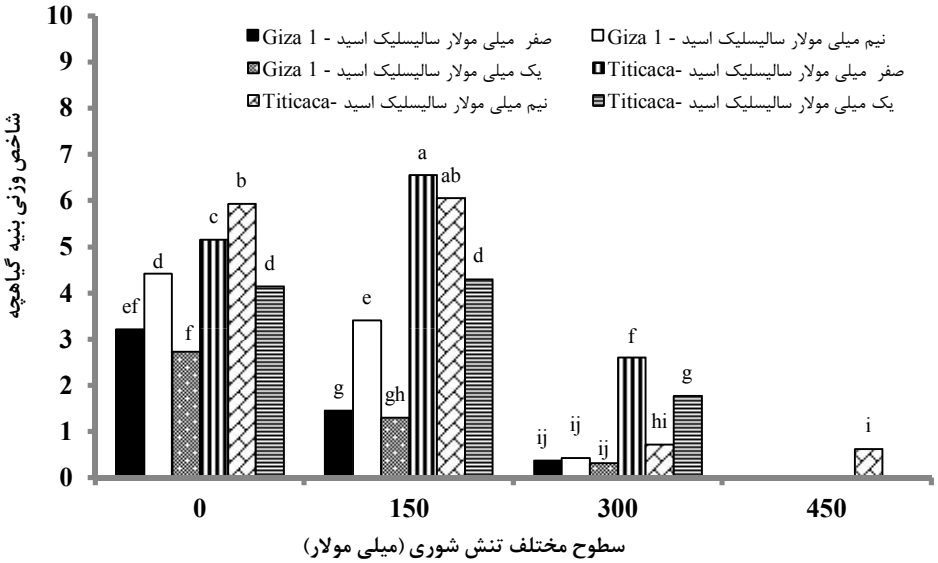


شکل ٦: مقایسه میانگین سطوح شوری و پرایمینگ بذر در ارقام مختلف کینوا برای شاخص وزن خشک گیاهچه. در هر ستون و تیمار میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار با هم ندارند.



شکل ۷: مقایسه میانگین سطوح شوری و پرایمینگ بذر در ارقام مختلف کینوا برای شاخص بنیه طولی گیاهچه. در هر ستون و تیمار میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار با هم ندارند.

شاخص بنیه وزنی گیاهچه: نتایج نشان داد که شاخص وزنی بنیه گیاهچه‌های رقم T در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl نسبت به شوری صفر میلی‌مولار NaCl با تغییر میزان غلظت اسید سالیسیلیک به صفر، ۰/۵ و یک میلی‌مولار به ترتیب با افزایش ۲۶/۹، ۲ و ۳/۶ درصدی داشت همچنین نتایج نشان داد که با افزایش شوری به ۳۰۰ میلی‌مولار NaCl نسبت به شوری صفر میلی‌مولار NaCl با تغییر غلظت اسید سالیسیلیک به صفر، ۰/۵ و یک میلی‌مولار به ترتیب با کاهش معنی‌دار ٤٩/٤، ۸۷/۷ و ۵۷/۲ درصدی داشت. این در حالی است که برای رقم G در کلیه سطوح تنش شوری نسبت به شوری صفر میلی‌مولار با افزایش غلظت پرایمینگ اسید سالیسیلیک ، کاهش معنی‌دار شاخص وزنی بنیه گیاهچه وجود داشته است. از آن‌جایی که تولید وزن خشک گیاهچه‌های رقم T بیش از رقم G بود، پرایمینگ بذور با اسید سالیسیلیک نیز روی این رقم منجر به افزایش بیشتر شاخص وزنی بنیه گیاهچه شده است (شکل ۸).



شکل ۸: مقایسه میانگین سطوح شوری و پرایمینگ بذر در ارقام مختلف کینوا برای شاخص بنیه وزنی گیاهچه. در هر ستون و تیمار میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار با هم ندارند.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش تنش شوری از صفر به ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl، شاخص‌های مرتبط با جوانه‌زنی و رشد گیاهچه هر دو رقم افزایش معنی‌داری داشته است؛ اما با افزایش میزان تنش تا ٤٥٠ میلی‌مولار درصد جوانه‌زنی با ۱۰۰ درصد کاهش همراه بود. در این تحقیق همچنین مشخص شد بذور رقم T نسبت به رقم G دارای گیاهچه‌های با وزن بیشتری بود. همچنین نتایج نشان داد که پرایمینگ بذور با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید منجر به بهبود خصوصیات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه نسبت به دیگر سطوح پرایم شد. به‌طورکلی به نظر می‌رسد پرایمینگ رقم‌های T و G با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک تا سطح ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl منجر به بهبود خصوصیات جوانه‌زنی می‌شود و با افزایش تنش شوری پرایمینگ می‌تواند اثرات منفی برای خصوصیات مرتبط با جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه در پی داشته باشد.

References

Abdul-baki, A.A. and Anderson, J.D. 1973. Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. Crop Sci. 6: 630-633.

Adolf, V.I., Jacobsen, S.E. and Shabala, S. 2012. Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Environ. Exp. Bot. 92: 43-54.

Afzal, I.., Ahmad, N., Basra, S.M.A., Ahmad, R. and Iqbal, A. 2002. Effect of different seed vigor enhancement techniques on hybrid maize (*Zea mays* L.). J. Agric. Sci. 39:109-112.

Arshadullah, M., Suhaib, M., Malik Usama., Badar-uz-Zaman A., Ali Mahmo, I. and Hyder, S.I. 2016. Effect of Salinity on Growth of *Chenopodium Quiona* Wild. Int. J. Res. Agric. Forestry. 3(11): 21-24.

Cakmakci, R., Erat, M., Erdoman, U.G. and Donmez, M.F. 2007. The influence of PGPR on growth parameters, antioxidant and pentose phosphate oxidative cycle enzymes in wheat and spinach plants. J. Plant Nut. Soil Sci. 170: 288-295.

Coolbear, P. 1984. The effect of low temperature pre-sowing treatment on the germination performance and membrane integrity of artificially aged tomato seeds. J. Exp. Bot. 35:1609-1617.

El-Tayeb, M.A. 2005. Response of barley grain to the interactive effect of salinity and salicylic acid. J. Plant Growth Regul. 42(3):215-224.

Flowes, T.J. and Colmer, T.D. 2008. Salinity tolerance in halophytes. New Phytol. 179(4): 945-963.

Garcia, M., Condori, B. and Del Castillo, C. 2015. Agroecological and Agronomic Cultural Practices of Quinoa in South America. *Quinoa:* Improvement and Sustainable Production. John Wiley and Sons edition, New Jersey. Pp: 25-41.

Gunes, A., Inal, A., Alpaslan, M., Eraslan, F., Bagci, E.G. and Cicek, N. 2007. Salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown under salinity. J. Plant Physiol. 164: 728-736.

Koyro, H. and Eisa, S.S. 2008. Effect of salinity on composition, viability and germination of seeds of *Chenopodium quinoa* Willd. Plant Soil. 302:79-90.

Hariadi, Y., Marandon, K., Tian, Y. Jacobsen, S-E. and Shabala, S. 2011. Ionic and osmotic relations in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plant grown at various salinity levels. J. Exp. Bot. 62 (1): 185-193.

Hu, Y., Hackl, H. and Schmidhalter, U. 2017. Comparative performance of spectral and thermographic properties of plants and physiological traits for phenotyping salinity tolerance of wheat cultivars under simulated field conditions. Funct. Plant Biol. 44: 134-142.

Kabiri, R., Farahbakhsh, K. and Nasibi, F. 2012. Effect of drought stress and its interaction with salicylic acid on black cumin (*Nigella sativa*) germination and seedling growth. World Applied Sci. J. 18: 520-527.

Munns, R. and Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Ann. Review Plant Biol. 59: 651-681.

Qadir, M., Quillérou, E., Nangia, V., Murtaza, G., Singh, M., Thomas, R.J., Drechsel, P. and Noble, A.D. 2014. Economics of salt-induced land degradation and restoration. Nat. Res. Forum. 38: 282-295.

R**afiq, M., Shahid, M., Abbas, G., Shamshad, S., Khalid, S., Niazi, N.K. and Dumat, C. 2017.** Comparative effect of calcium and EDTA on arsenic uptake and physiological attributes of Pisum sativum. Int. J. Phytoremed. 19: 662-669.

Rajjou, L., Belghazi, M., Huguet, R., Robin, C., Moreau A. and Job, C. 2006. Proteomic investigation of the effect of salicylic acid on Arabidopsis seed germination and establishment of early defense mechanisms. Plant Physiol. 141: 910-923.

Razzaghi, F., Ahmadi, S.H., Adolf, V.I., Jensen, C.R., Jacobsen, S.E. and Andersen, M.N. 2011. Water relations and transpiration of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under salinity and soil drying. J. Agro. Crop Sci. 197: 348-360.

Ruiz-Carrasco, K., Antognoni, F., Coulibaly, A.K., Lizardi, S., Covarrubias, A., Martínez, E.A., Molina-Montenegro, M.A., Biondi, S. and Zurita-Silva, A. 2011. Variation in salinity tolerance of four lowland genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as assessed by growth, physiological traits, and sodium transporter gene expression. Plant Physiol. Biochem. 49: 1333–1341.

Shabala, S., Hariadi, Y. and Jacobsen, S.E. 2013. Genotypic difference in salinity tolerance in quinoa is determined by differential control of xylem Na^+ loading and stomatal density. J. Plant Physiol. 170 (10): 906-914.

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

Shekari, F, Pakmehr, A., Rastgoo, M., Saba, J.M., Vazayefi, M. and Zangani, E. 2010. Salicylic acid priming effects on some morphological traits of cowpea cultivar (*Vigna unguiculata* L.) under water deficit at podding stage. Modern Technol. Agric. 4(1): 5-26.

Soltani, A., Galeshi, S., Zainali, E. and Latifi, N. 2001. Germination, seed reserve utilization and seedling growth of chickpea as affected by salinity and seed size. Seed Sci. Technol. 30: 51- 60.

Stikic, R., Glamoclija, D., Demin, M., Vucelic-Radovic, B., Jovanovic, Z., Milojkovic Opsenica, D., Jacobsen, S.-E. and Milovanovic, M. 2012. Agronomical and nutritional evaluation of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) as an ingredient in bread formulations. J. Cereal Sci. 55: 132–138.

Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L. and Martínez, E.A. 2010. Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain: a review. J. Sci. Food. Agric. 90 (15): 2541-2547.