تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد پانزدهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۱

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2021.3846.1923

مقاله پژوهشی

پاسخ بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه کینوا به کاربرد سطوح مختلف نیتروژن و شوری آب آبیاری

پیوند پاپن[1]، عبدالامیر معزی[2*]، مصطفی چرم[2]، افراسیاب راهنما[3]

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز
۲. استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز
۳. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
پرولین
سوپراکسیددیسموتاز
کاتالاز
کلروفیل

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۰۸/۰۹

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۹/۱۰/۲۹

تاریخ انتشار:
تابستان ۱۴۰۱

۱۵(۲): ۵۰۱-۵۱۵

چکیده

به‌منظور بررسی اثرات کاربرد نیتروژن و آبیاری با زهاب مزارع نیشکر بر عملکرد دانه و ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه کینوا (رقم گیزاوان) شامل محتوای نسبی آب برگ، شاخص کلروفیل، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسیددیسموتاز، غلظت پرولین و عملکرد دانه آزمایشی مزرعه‌ای در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. در این آزمایش چهار سطح کود نیتروژن (صفر، ۷۵، ۱۵۰، ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار) از منبع کود اوره به‌عنوان فاکتور اصلی و سه سطح آب آبیاری شامل شاهد (آب کارون با میانگین شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر) و آبیاری یک‌درمیان (کارون–زهاب نیشکر) و آبیاری با زهاب نیشکر (با میانگین شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر) به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد. نتایج تحقیق نشان داد شوری باعث کاهش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ، شاخص کلروفیل، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی و افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و نیز مقدار پرولین گردید؛ اما نیتروژن باعث افزایش معنی‌دار این صفات شد. تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار همراه با آبیاری یک‌درمیان باعث حداکثر مقدار شاخص کلروفیل (۴۴/۸۱) و عملکرد دانه (۲۵۴۶ کیلوگرم در هکتار) گردید و بیشترین عملکرد بیولوژیکی گیاه (۷۴۶۸ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۲۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و آبیاری یک‌درمیان مشاهده شد. بیشترین مقدار پرولین مربوط به تیمار ۲۲۵ کیلوگرم کود اوره در هکتار با آبیاری زهاب (۰/۹۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاهی) بود. نتایج این مطالعه تائیدی است بر این فرضیه، که با مصرف کود نیتروژن کافی می‌توان تا حدی از بروز اثرات زیان‌بار شوری بر گیاه کم نمود.

مقدمه

در بسیاری از مناطق دنیا به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک منابع آب غیر شور محدود بوده و پیوسته در حال کاهش است (Jiang et al., 2012)؛ بنابراین، کشاورزان مجبور به استفاده از آب‌های نامتعارف، نظیر آب‌های شور و لب‌شور می‌شوند. آبیاری مزارع با این قبیل آب‌ها حتی برای گیاهان مقاوم به شوری نیز، علاوه بر کاهش محصول، مشکلات ناشی از شور و نامرغوب شدن اراضی را در پی دارد (Abdelgawad et al., 2005). تأثیر منفی شوری بر رشد گیاه، به علت پتانسیل اسمزی پایین محلول خاک (تنش اسمزی)، سمیت یونی (تنش شوری) و عدم تعادل عناصر غذایی ایجاد می‌شود (Sadat Noori et al., 2011). نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که تنش شوری سبب ایجاد رادیکال‌های آزاد اکسیژن مانند سوپراکسید، پراکسید هیدروژن و رادیکال هیدروکسیل در کلروپلاست و دیگر اندامک‌های سلولی گیاه می‌شود. این رادیکال‌های آزاد آسیب‌های زیادی را از طریق اکسیداسیون چربی‌ها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک به سلول وارد می‌کنند. در مقابل، گیاهان از طریق فعالیت آنزیم-های آنتی‌اکسیدان طی بروز تنش شوری، اثر سوء تنش

* نگارنده پاسخگو: عبدالامیر معزی. پست الکترونیک: moezzi151@scu.ac.ir

اکسیداتیو را کاهش می‌دهند (Ashraf et al., 2009). آنزیم-های آنتی‌اکسیدان در واقع سریع‌ترین واحدهای مقابله‌کننده در برابر حمله اکسیژن‌های فعال به شمار می‌آیند. آنزیم‌های دخیل در فرآیند غیرسمی کردن انواع اکسیژن فعال شامل کاتالاز، سوپراکسیددیسموتاز، پراکسیداز، آسکوربیک پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز می‌باشند که در پاک‌سازی انواع رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول‌های گیاهی به‌طور مستقیم نقش دارند (Ashraf and Harris, 2004). نتایج تحقیقات نشان داده گیاهانی که توانایی سیستم آنتی‌اکسیدان بالایی داشته باشند، در محیط‌های شور تحمل بیش‌تری دارند (Hasanuzzaman et al., 2013).

در گیاهان تحت تنش شوری عدم تعادل عناصر غذایی به شکل‌های مختلف بروز می‌نماید. ممکن است شوری با تأثیر بر قابلیت استفاده از برخی عناصر، جذب، انتقال یا توزیع عناصر غذایی درون گیاه را دچار اختلال کند و یا با غیرفعال نمودن نقش فیزیولوژیک عنصر غذایی مصرف‌شده، منجر به افزایش ذاتی نیاز غذایی گیاه شود (Malakooti and Homayi, 2004). نیتروژن از اجزای تشکیل‌دهنده اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها، پپتیدها، کلروفیل، آلکالوئیدها، اسیدهای نوکلئیک و آنزیم‌ها است در شرایط کمبود نیتروژن سنتز کلروپلاست و کلروفیل و بسیاری از آنزیم‌های فرایندهای مختلف متابولیکی، مختل می‌شود (Majd and Ardakani, 2003). به دلیل این‌که شوری بر جذب و اسیمیلاسیون نیتروژن در گونه‌های مختلف گیاهی تأثیر می‌گذارد، منبع نیتروژن نقش مهمی در تعادل شوری گیاه بازی می‌کند (Abdelgadir et al., 2010).

کینوا با نام علمی *Chenopodium quinoa* از خانواده Amaranthaceae یک شبه‌غله کم‌حجم با ارزش غذایی بالا، منبع غنی از پروتئین، آهن، منیزیم، فیبر، فسفر و ویتامین و با تحمل بالا به انواع تنش‌های زنده و غیرزنده (خشکی و شوری) نسبت به غلات معمولی است (Basra et al., 2014). نیاز کودی کینوا به دلیل تنوع شرایط اکولوژیکی در سراسر دنیا هنوز تحت مطالعه است. برای مثال ایرلی و همکاران (Erley et al., 2005) گزارش کردند که کینوا به‌شدت به کود نیتروژنه پاسخ داده و کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در خاک لومی عملکرد دانه بیشتر از ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار را نشان داده است و عملکرد دانه نسبت به شاهد ۹۴ درصد رشد داشته است. کینوا به تجمع یون‌های نمکی در بافت‌ها و تعدیل پتانسیل آب برگ (Razzaghi et al., 2012) به‌وسیله استراتژی‌های ساختاری و فیزیولوژیکی متفاوت مانند فرار از خشکی، تحمل خشکی، سیستم ریشه‌ای متراکم و عمیق و برگ‌هایی با دیوارهای ضخیم و افتاده، شناخته شده است (Adolf et al., 2012). کینوا دارای یک سیستم بسیار کارآمد برای تنظیم فشار اسمزی، برای تنش افزایش ناگهانی NaCl است (Hariadi et al., 2010) و قادر به تکمیل چرخه زندگی خود و تولید بذر حتی در شوری آب دریا است (Koyro et al., 2008). در استان خوزستان سالانه حدود چهار میلیارد مترمکعب زه‌آب در اثر فعالیت‌های مختلف به‌ویژه کشاورزی، تولید می‌گردد که سبب ایجاد مشکلات جدی زیست‌محیطی می‌شود. واحدهای توسعه نیشکر و مزارع پرورش ماهی از تولیدکنندگان اصلی زه‌آب هستند (kwpa report, 2011). کشت کینوا با توجه به اهمیت آن به‌عنوان یک گیاه زراعی مقاوم به شوری به‌خصوص با استفاده از زهاب در مناطق جنوبی ایران موجب ایجاد تنوع در محصولات زراعی، تولید پایدار و ایجاد افزایش درآمد کشاورزان و امنیت غذایی خواهد شد. ازآنجایی‌که در مورد سازوکارهای مرتبط با کاهش اثرات نامطلوب تنش شوری منتهی به تنش اکسیداتیو در کینوا از طریق کاربرد نیتروژن مطالعات چندانی انجام نشده است. هدف از این تحقیق، بررسی برخی تغییرات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه کینوا در پاسخ به سطوح مختلف کود نیتروژن در شرایط تنش شوری (آبیاری با زه‌آب مزارع نیشکر) بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در شرایط مزرعه‌ای در سال زراعی ۱۳۹۷ در شرکت کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان خرمشهر (طول جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲ دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ۶۲ درجه و ۲۹ دقیقه شرقی) و با ارتفاع ۴۵ متر از سطح دریا انجام گردید. بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی آبادان و خرمشهر میانگین بارندگی سالانه ۱۶۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه ۲۵/۴ درجه سانتی‌گراد (میانگین دمای دوره رشد منطقه ۱۷ درجه سانتی‌گراد) و رطوبت نسبی ۴۷/۱ درصد است. خاک‌های دارای رژیم رطوبتی اریدیک و رژیم حرارتی مزیک می‌باشند. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ و کیفیت آب آبیاری در جدول ۲ نشان داده شده است. این آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. کود نیتروژن در چهار سطح (صفر، ۷۵، ۱۵۰، ۲۲۵

کیلوگرم در هکتار) از منبع کود اوره به‌عنوان فاکتور اصلی و تنش شوری در سه سطح شامل شاهد (آبیاری با آب کارون با شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر)، آبیاری یک‌درمیان (یک‌بار کارون و یک‌بار زهاب نیشکر) و آبیاری با زه‌آب نیشکر (شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر) به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد. عملیات تهیه زمین توسط گاوآهن برگردان‌دار و دو دیسک عمود برهم و ماله‌کشی (تسطیح زمین) انجام گردید. بر اساس نتایج آزمون خاک و توصیه کودی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، کود پتاس به مقدار ۷۵ کیلوگرم از منبع سولفات پتاسیم و فسفر به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپر فسفات تریپل در زمان تهیه زمین مورداستفاده قرار گرفت. تیمار کودی نیتروژن در سه نوبت به‌صورت پایه و دو نوبت سرک در ابتدای مراحل ۴ تا ۶ برگی و شروع گل‌دهی بر اساس تیمارهای آزمایش اعمال گردید. کاشت بذر (رقم گیزاوان تهیه‌شده از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر- کرج) در ۱۵ آبان ماه سال ۱۳۹۷ به‌صورت جوی و پشته‌ای (بر روی خط داغاب) و با دست انجام شد. هرکرت شامل ۶ خط کشت به طول ۴ متر بود. فاصله دو بوته ۱۰-۷ سانتی‌متر و فاصله خطوط ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. دو آبیاری اول مزرعه با آب کارون به فاصله ۵ روزه در جهت مقابله با سله خاک و جوانه‌زنی بهتر بذرها انجام گردید. هفت روز پس از کشت، جوانه‌زنی یکنواخت مشاهده شد سپس تیمارهای مختلف آبیاری اعمال شد. قبل از آبیاری نمونه رطوبت خاک گرفته‌شده و آبیاری برای رسیدن رطوبت تا حد ظرفیت زراعی انجام گردید. برای آبیاری با زهاب، از آب‌شور زهکش‌های کشت و صنعت میرزا کوچک خان خرمشهر با شوری بین ۶ تا ۸ دسی‌زیمنس بر متر استفاده گردید. تعداد آبیاری قطعه زراعی کینوا در طول دوره رشد ۷ مرتبه بود. در زمان بارندگی از پوشش پلاستیکی استفاده گردید. وجین دستی علف‌های هرز در مرحله ۳ - ۴ برگی کینوا هم‌زمان با تنک انجام شد. برداشت نهایی در اواخر بهمن‌ماه در زمان رسیدگی فیزیولوژیک صورت گرفت و طول دوره کشت کینوا ۳ ماه و نیم بود.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1. Some physical and chemical properties of the soil

عمق Depth	بافت خاک Soil Texture	pH	EC	فسفر قابل‌استفاده Available Phosphorus	Cl*	K*	Na*	Ca^{2+} + Mg^{2+}*	نیتروژن کل Total Nitrogen	SAR
cm			$dS\ m^{-1}$	$mg\ kg^{-1}$	----------$mg\ L^{-1}$----------				%	
0-25	Cl	7.98	5.05	14.45	918	17.5	667	1025	0.038	7.23
25-50	Cl	8	2.55	14.15	569	6.24	305	334	0.024	5.81
50-75	S C L	8.01	2	13.81	438	5.46	266	304	0.022	5.33

جدول ۲. ویژگی‌های آب استفاده‌شده در این پژوهش

Table 2. Properties of the water used for the study

Source of water	EC	pH	SAR	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	NO_3 NO_2
	$dS\ m^{-1}$			----------$meq\ L^{-1}$----------				$mg\ L^{-1}$
Karun	2.41	7.79	9.03	16.70	3.6	3.26	16.72	3.23
Sugar-cane rainaged	7.56	7.99	9.92	40.46	16.87	16.40	40.40	4.87

جهت تعیین عملکرد دانه، بوته‌های موجود در سطحی معادل پنج مترمربع از هر کرت آزمایشی برداشت شد و جهت خشک شدن نهایی، به مدت یک هفته در هوای آزاد قرار گرفت. دانه‌های برداشت‌شده از هر کرت، به‌طور جداگانه با ترازوی آزمایشگاهی توزین گردیدند و عملکرد دانه برحسب کیلوگرم در هکتار برآورد شد. برای تعیین عملکرد کل خشک، در هر کرت از مساحت برداشت ۵ مترمربع، تمام قسمت‌های گیاه کف بر شده و با ترازوی دقیق و با دقت یک گرم اندازه-گیری شد. شاخص کلروفیل برگ‌ها در مرحله‌ی گلدهی با استفاده از دستگاه کلروفیل سنج دستی مدل SPAD502 اندازه‌گیری شد. در مرحله گلدهی نمونه‌هایی از برگ‌ها تهیه‌شده و بلافاصله جهت اندازه‌گیری فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی به آزمایشگاه منتقل شدند. محتوی آب نسبی برگ به‌روش مانز (Munns, 2010)۲۱ روز بعد از اعمال

تنش، فعالیت آنزیم کاتالاز به روش آبی (Aebi, 1984) و سوپراکسیددیسموتاز به روش سیرام و سریواستا (Sairam and Srivastava, 2002) اندازه‌گیری شد. همچنین برای اندازه‌گیری پرولین از روش بیتس (Bates, 1973) استفاده شد. محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 انجام گردید. مقایسه میانگین‌ها به روش LSD در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

محتوای آب نسبی برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات سطوح نیتروژن و شوری و برهم‌کنش آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بر مقدار آب نسبی برگ کینوا معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین میانگین آب نسبی برگ در تیمار آبیاری کارون و کود نیتروژن ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار (۸۹/۱۶ درصد) و کمترین مقدار میانگین صفت مذکور در تیمار آبیاری زهاب و کود نیتروژن صفر کیلوگرم در هکتار (۷۰/۷۶ درصد) مشاهده شد. کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بر محتوای نسبی آب در تمام تیمارهای آبیاری با تیمار ۲۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار اختلاف معنی‌دار نداشت. عدم کاربرد کود نیتروژن کمترین آب نسبی برگ را به خود اختصاص داد (شکل ۱).

در همین راستا محققان دریافتند که مصرف کود نیتروژن باعث کاهش پتانسیل اسمزی برگ می‌شود به‌عبارت‌دیگر مقدار کاربرد تا حد بهینه می‌تواند به افزایش آب برگ منجر شود (Saneoka et al., 2004). به نظر می‌رسد با مصرف کود نیتروژن بر فعالیت سلولی افزوده‌شده و میزان سوخت‌وساز آن افزایش می‌یابد درنتیجه پتانسیل اسمزی سلول کاهش و موجب جذب بیشتر آب و افزایش آب نسبی می‌شود. در تحقیق حاضر تنش شوری با تأثیرگذاری بر جذب آب سبب کاهش آب نسبی برگ‌ها شد زیرا درصد آب نسبی بافت گیاهی یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های نشان‌دهنده وضعیت آبی گیاه است. در شرایط شوری تجمع یون‌های نمکی (سدیم و پتاسیم) در بافت‌های کینوا موجب کنترل و تنظیم پتانسیل آب برگ و درنتیجه کاهش آسیب فیزیولوژیکی می‌گردد (Jacobsen, 2015). سادا و همکاران (sada et al., 2012) بیان کردند در کینوا بسته شدن سریع روزنه یک مشخصه «ایزوهیدریک (Isohydric)» برای حفظ پتانسیل آب و میزان آب نسبی برگ کینوا است. جاکوبسن و همکاران (Jacobsen et al., 2009) بیان کردند در زمان تنش هدایت روزنه‌ای برگ کینوا کاهش می‌یابد و در نتیجه کاهش پتانسیل آب برگ رخ می‌دهد. کیلا و همکاران (Killi et al., 2017)

جدول ۳. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات سطوح نیتروژن و شوری بر برخی ویژگی‌های کینوا

Table 3. Analysis of variance (mean squares) Effects of nitrogen and salinity levels on some properties of quinoa

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	کلروفیل chlorophyll content	محتوی آب نسبی RWC	فعالیت کاتالاز CAT Activity	فعالیت SOD SOD Activity	پرولین Proline	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیکی Biological yield
تکرار Replication	2	158.97	2.23	128.33	0.39	0.002	8624	3716
شوری Salinity (S)	2	82.87**	558.18**	1789.48**	78.49**	0.74**	209587**	2036845**
خطای اول Error 1	4	9.16	0.3	36.97	0.17	0.005	3610.01	14747
نیتروژن Nitrogen(N)	3	114.53**	78.48**	1331.14**	12.62**	0.0041**	6200663**	20856454**
شوری ×نیتروژن S × N	6	19.93**	0.43**	86.93**	1.003**	0.00066*	22727**	548998**
خطای دوم Error 2	17	57.85	80	499.91	11.90	0.09	1128776	4121785
CV (%)		4.01	0.4	3.79	0.308	1.61	5.76	5.65

* و** ،ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و۰/۰۱ و غیرمعنی‌دار

ns and **:* Non-significant and significant at 1%,5% probability level, respectively

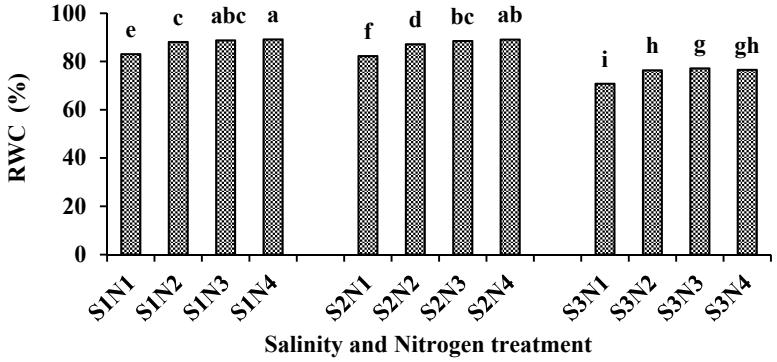
جدول ۴. مقایسه میانگین اثرات ساده سطوح نیتروژن و شوری بر برخی ویژگی‌های کینوا

Table 4. Comparison of the average simple effects of nitrogen and salinity levels on some properties of quinoa

		محتوی آب نسبی RWC	شاخص کلروفیل chlorophyll content	فعالیت کاتالاز CAT Activity	فعالیت SOD Activity	پرولین Proline	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیکی Biological yield
		%		---U mg^{-1} protein---		$mg.g^{-1}$ FW	--------kg ha^{-1}----------	
نیتروژن N $kg.ha^{-1}$	0	33.22^{c}	78.68^{c}	43.82^{d}	3.35^{c}	0.59^{c}	540.78^{d}	3407^{c}
	75	37.05^{b}	83.85^{b}	48.62^{c}	4.55^{b}	0.59^{b}	1367^{c}	5782^{b}
	150	40.97^{a}	84.76^{a}	65.87^{b}	5.86^{a}	0.6^{b}	2330^{a}	6465^{a}
	225	40.38^{a}	84.93^{a}	68.03^{a}	5.78^{a}	0.64^{a}	2198^{b}	6766^{a}
	$LSD_{0.05}$	1.50	0.33	2.12	0.3	0.009	91.88	284.7
شوری Salinity	Karun	39.57^{a}	78.25^{a}	42.78^{b}	1.94^{b}	0.43^{b}	1618^{b}	5873^{a}
	Karun and Sugar-cane	39.27^{a}	86.73^{a}	61.12^{a}	6.51^{a}	0.49^{b}	1736^{a}	5812^{a}
	Sugar-cane drainage	34.87^{b}	75.19^{b}	65.88^{a}	6.21^{a}	0.89^{a}	1472^{c}	5131^{b}
	$LSD_{0.05}$	3.43	0.62	6.89	0.47	0.08	86.10	246.6

میانگین‌ها با حروف مشابه نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ بر اساس آزمونLSD است

Means followed by similar letters are not significantly different at 0.05 probability level



شکل ۱. تأثیر سطوح شوری و نیتروژن بر محتوای نسبی آب برگ کینوا. تیمارهای نیتروژن: N1 تا N4: (صفر (شاهد)، ۷۵ ، ۱۵۰ ، ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار)؛ تیمارهای شوری: S1 تا S3: (آبیاری آب کارون، یک‌درمیان (یک‌بار کارون و یک‌بار زهاب نیشکر) و آبیاری زه‌آب نیشکر)

Fig. 1. The effect of nitrogen levels and salinity on quinoa Relative water content. Nitrogen treatments: N 1-4 (0 (control), 75, 150, 225 kg ha^{-1}). Salinity treatments: S1-3 (Karun water irrigation, intermediate (once Karun and once sugarcane drainage) and sugarcane drainage irrigation)

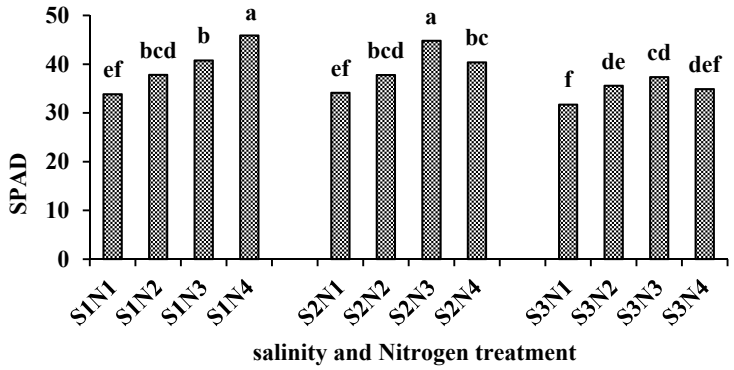
مشاهده کردند تنش خشکی و شوری به ترتیب منجر به کاهش معنی‌دار ۱۷ و ۱۹/۳ درصد محتوای نسبی آب برگ کینوا شد و ترکیب تنش خشکی و شوری منجر به کاهش بیش از ۳۶/۹ درصد در محتوای نسبی آب در برگ کینوا شد.

شاخص کلروفیل

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر سطوح نیتروژن و آبیاری بر شاخص کلروفیل برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری بود (جدول ۳). بررسی اثر متقابل تیمارها نشان داد بیشترین و کمترین مقدار شاخص کلروفیل به ترتیب در تیمار آبیاری کارون با ۲۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و تیمار صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار تمام سطوح شوری بود (شکل ۲). تحقیق حاضر نشان داد با افزایش کاربرد کود اوره غلظت نیتروژن در شاخساره کینوا افزایش یافته است و در نتیجه افزایش نیتروژن در گیاه توأم با افزایش غلظت نیتروژن برگ و شاخص کلروفیل بوده است به دلیل اینکه بیش از هفتاد درصد نیتروژن در کلروپلاست برگ‌های گیاه تجمع می‌یابد (Malakooti and Homayi,

2004). اندرسون و همکاران (Anderson et al., 1993) گزارش کردند، افزایش نیتروژن باعث تشدید سبزینگی برگ و افزایش عدد کلروفیل‌متر می‌شود و با افزایش کود نیتروژن تا مقدار مشخصی اعداد قرائت‌شده از کلروفیل‌متر افزایش و سپس ثابت می‌شود. نتایج تحقیق نشان داد تا سطح شوری متوسط (آبیاری یک‌درمیان) باعث کاهش رشد گیاه کینوا نشده است و حتی غلظت کم املاح محلول در خاک تا میزانی باعث بهبود ویژگی‌های رشدی کینوا گردیده است. ولی در غلظت‌های بالای سدیم و کلر محیط خاک، جذب و انتقال یون‌های ضروری برای رشد کینوا ازجمله منیزیم و آهن که در تشکیل کلروپلاست دخالت دارند دچار اختلال می‌شود که نتیجه آن کاهش محتوای کلروفیل برگ است (Hanafy et al., 2002).

معمولاً کاهش فعالیت فتوسنتزی تحت شرایط شوری در اثر کاهش هدایت روزنه‌ای ایجاد می‌شود که باعث کاهش سرعت تعرق و جذب دی‌اکسید کربن می‌شود (Rahnama et al., 2010). در شرایط تنش شوری تبادلات گازی و تعرق کینوا کاهش نشان داده است (Sanchez et al., 2003). رزاقی (Razzaghi et al., 2012) مشاهده کرد با افزایش سطح شوری، پتانسیل آب در خاک و در نتیجه پتانسیل آب برگ و هدایت روزنه‌ای کینوا کاهش یافت که می‌تواند باعث کاهش مقدار فعالیت فتوسنتز در گیاه شود. کاهش در مقدار کلروفیل در شرایط تنش شوری در گیاهان مختلف (Amjad et al., 2014; Marenco et al., 2009; Jamil et al., 2007) و ازجمله کینوا (Amjad et al., 2015; Adolf et al., 2012) گزارش شده است.



شکل ۲. تأثیر سطوح شوری و نیتروژن بر شاخص کلروفیل (SPAD) در برگ کینوا. تیمارهای نیتروژن: N1 تا N4: (صفر (شاهد)، ۷۵ ، ۱۵۰ ، ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار)؛ تیمارهای شوری: S1 تا S3: (آبیاری آب کارون، یک‌درمیان (یک‌بار کارون و یک‌بار زهاب نیشکر) و آبیاری زه‌آب نیشکر)

Fig. 2. The effect of nitrogen levels and salinity on quinoa chlorophyll conten. Nitrogen treatments: N 1-4 (0 (control), 75, 150, 225 kg ha^{-1}). Salinity treatments: S1-3 (Karun water irrigation, intermediate (once Karun and once sugarcane drainage) and sugarcane drainage irrigation

فعالیت آنزیم کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطوح مختلف نیتروژن و شوری و برهم‌کنش آن‌ها بر فعالیت آنزیم کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). برهم‌کنش نیتروژن و شوری نشان داد که بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار ۲۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار همراه آبیاری زهاب بود. بیشترین و کمترین میانگین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به ترتیب از ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با آبیاری یک‌درمیان و سطح شاهد کود نیتروژن برای تیمار آبیاری کارون حاصل شد (جدول ۵).

در تحقیق حاضر تنش شوری ناشی از آبیاری با زهاب و تجمع زیاد سدیم در گیاه باعث کاهش شاخص کلروفیل و میزان فتوسنتز کینوا شده است و درنهایت احتمالاً تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن در گیاه باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز گردید با کاربرد کود اوره فعالیت آنزیم کاتالاز در تمام سطوح شوری تیمارهای آبیاری افزایش نشان داده است که به دلیل وجود نیتروژن در ساختار آنزیم است. تاکنون مکانیسم تأثیر شوری بر روی پاسخ آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاملاً شناخته نشده است این مکانیسم ممکن است با توجه به یکی از دلایل اثرات سمیت کلر بر روی فتوسیستم II و یا

تغییر انسجام غشاء سلولی به دلیل نسبت بالای سدیم به پتاسیم باشد (Jacoby. 1999). به نظر می‌رسد این آنزیم‌ها به سلول‌های گیاهی کینوا کمک می‌کند تا در برابر پراکسیداسیون چربی ناشی از اثرات کلرورسدیم، واکنش مناسبی نشان دهند. نتایجی مبنی بر افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز درشرایط تنش شوری در گیاهان مختلف (Demiral et al., 2005) و کینوا (Panuccio et al., 2014; Amjad et al., 2015) وجود دارد و مشخص‌شده که مواجهه شدن با تنش شوری میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در کینوا را ۳/۹۸ برابر نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. نتایجی نیز مبنی بر افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز با کاربرد نیتروژن در شرایط شوری وجود دارد (Siddique et al., 2010). در محیط‌های شور هم‌بسته شدن روزنه‌ای به دلیل شرایط اسمزی و هم تجمع بیش‌ازحد سدیم در سیتوزول باعث کاهش توانایی استفاده از نور جذب‌شده توسط رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی کینوا می‌شود و درنهایت منجر به تولید گونه‌های اکسیژن فعال می‌شود (Shabala et al., 2013).

همان‌طور که قبلاً گفته شد افزایش مقدار آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسیددیسموتاز در گیاهان به هنگام تنش، نوعی سازوکار دفاعی است. کینوا از طریق دو سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی (پراکسیدازها و کاتالاز) و غیرآنزیمی (پرولین) سلول‌ها و سیستم‌های زیرسلولی را در برابر اثرات سمی گونه‌های فعال اکسیژن محافظت می‌کنند که مجموع این دو سیستم فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل را در برمی‌گیرد (Adolf et al., 2012; Iqbal et al., 2017; Waqas et al., 2017). در این پژوهش در شرایط تنش شوری هر دو این سیستم‌ها در کینوا مشاهده گردید به‌عبارت‌دیگر علاوه بر افزایش فعالیت آنزیم-های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و پراکسیداز، غلظت ترکیب غیرآنزیمی پرولین در برگ‌های کینوا افزایش یافت.

جدول ۵. تأثیر برهم‌کنش سطوح مختلف نیتروژن و شوری بر برخی ویژگی‌های کینوا

Table 5. Interaction effect of Salinity and Nitrogen on some parameters of quinoa plant

Salinity	نیتروژن Nitrogen	فعالیت کاتالاز CAT Activity	فعالیت SOD SOD Activity	پرولین Proline
		----------U.mg^{-1} protein----------		
کارون Karun	0	30.03^{g}	1.20^{e}	0.42^{f}
	75	37.93^{f}	1.90^{d}	0.43^{ef}
	150	47.30^{e}	2.26^{d}	0.43^{f}
	225	54.43^{d}	2.4d^{0}	0.45^{def}
یک‌درمیان Karun and Sugar-cane	0	39.56^{f}	4.613^{c}	0.48^{c-f}
	75	51.70^{ed}	5.94^{b}	0.48^{cde}
	150	74.0^{bc}	7.86^{a}	0.49^{cd}
	225	70.23^{c}	7.63^{a}	0.51^{c}
زهاب Sugar-cane drainage	0	47.20^{e}	4.25^{c}	0.87^{b}
	75	56.23^{d}	5.82^{b}	0.87^{b}
	150	78.0^{ab}	7.44^{a}	0.89^{b}
	225	81.10^{a}	7.32^{a}	0.95^{a}
$LSD_{0.05}$		4.63	0.56	0.053

میانگین‌ها با حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ بر اساس آزمون LSD است

Means with similar letters in each column indicate no significant difference in the probability level of 0.05 based on LSD test

کینوا مانند سایر هالوفیت‌ها قابلیت استثنایی در استفاده از سوپراکسید دیسموتاز برای محافظت از فعالیت سلولی دارد (Ismail et al., 2016; Ozgur et al., 2013). افزایش فعالیت این آنزیم در شرایط تنش شوری موجب جلوگیری از تشکیل رادیکال خطرناک هیدروکسیل شده و از تخریب غشاء سلولی جلوگیری کرده و لذا در محافظت سلول‌های گیاهی نقش زیادی را ایفا می‌کند محصول نهایی فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز، پراکسید هیدروژن است که ممکن است به‌عنوان مولکول سیگنالی در شرایط نامساعد محیطی عمل کند تا پاسخ‌های سازگار را القا کند (Bose et al., 2014) یا ممکن است باعث آسیب غشای سلولی شود و در نتیجه تولید کاتالاز و پراکسیداز برای از بین بردن پراکسید

هیدروژن را زیاد کند (Mittler et al., 2002). مطالعات کوکا و همکاران (Koca et al., 2007) و آتار و همکاران (Athar et al., 2008) نشان دادند که میزان فعالیت سوپراکسیددیسموتاز در ژنوتیپ‌های مقاوم به شوری کینوا به‌شدت افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد که در شوری تیمار زهاب، نیتروژن نتوانسته همانند شوری تیمار یک‌درمیان در افزایش فعالیت سوپراکسیددیسموتاز مؤثر باشد، چراکه در شوری‌های بیشتر، افزایش مصرف کود نیتروژن خود عاملی جهت افزایش پتانسیل اسمزی و کاهش جذب آب توسط سیستم ریشه‌ای گیاه است. برزوئی و همکاران (Borzui et al., 2012) در شرایط تنش شوری با بررسی تأثیر سه سطح کود سولفات آمونیوم بر دو رقم گندم مشاهده کرد که جذب بیشتر نیتروژن در گیاه رابطه مثبت و معنی‌داری با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، افزایش اسموپروتکتانت‌ها و کاهش میزان پراکسیداسیون چربی‌ها دارد. پانسیو و همکاران (Panuccio et al., 2014) مشاهده کردند در کینوا رقم تیتی کاکا میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به نوع و غلظت نمک بستگی دارد و نمک کلرید سدیم منجر به فعالیت بیشتر آنزیم سوپراکسیددیسموتاز و کاتالاز در مقایسه با دیگر نمک-های ارزیابی‌شده (کلرید پتاسیم، کلرید کلسیم، کلرید منیزیم) گردید.

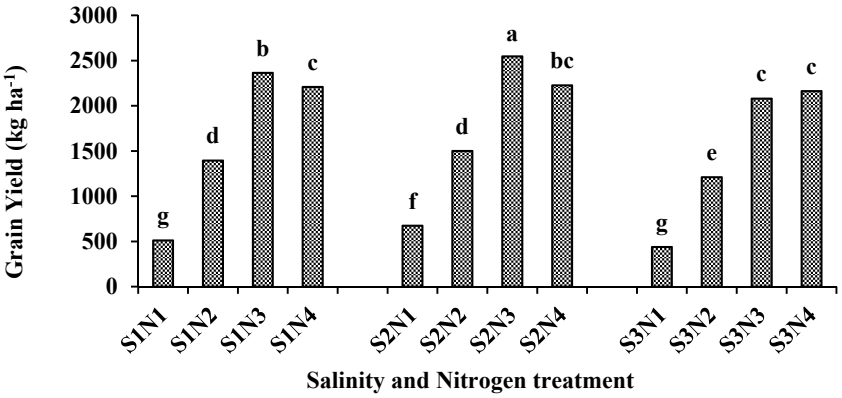
غلظت پرولین

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر شوری و کود اوره در سطح احتمال ۱ درصد و برهم‌کنش آن‌ها در سطح احتمال ۵ درصد بر محتوی پرولین کینوا معنی‌دار شد (جدول ۳) و بیشترین میانگین غلظت پرولین در تیمار ۲۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با آبیاری زهاب و کمترین در تیمار شاهد کود اوره با آبیاری کارون مشاهده شد (جدول ۵). بر اساس نتایج این مطالعه شوری باعث افزایش محتوی پرولین کینوا گردید و کاربرد نیتروژن به افزایش میزان پرولین کمک کرد لذا در شرایط تنش شوری گیاهان با کاربرد کود اوره بیشتر نسبت به گیاهان با مصرف کود اوره کمتر، محتوای پرولین بالاتری دارند. گیاهانی که تحت تنش قرار می‌گیرند مقدار زیادی از منابع کربن و نیتروژن خود را صرف سنتز تنظیم‌کننده‌های اسمزی از قبیل پرولین می‌کنند تا بتوانند با حفظ فشار تورژسانس سلول‌های خود و کاهش خسارت به غشای سلولی، تحمل گیاه در برابر تنش را افزایش دهند (Pavlik et al., 2010). برای انباشت پرولین در گیاهان آستانه‌ای از شوری وجود دارد به‌عبارت‌دیگر تا زمانی که غلظت نمک در محیط و به‌تبع آن کاتیون‌های یک ظرفیتی به‌ویژه سدیم در بافت به حد مشخصی نرسد، انباشت پرولین صورت نمی‌گیرد (Joseph et al., 2015). نتایج تحقیق حاضر نشان داد بالاترین محتوی پرولین کینوا در تیمار آبیاری زهاب بود و تیمارهای آبیاری کارون و یک‌درمیان اختلاف آماری معنی‌داری نداشتند. با افزایش شوری میزان پرولین زیاد شد که این امر به‌احتمال‌زیاد به سبب افزایش میزان اسید آبسیزیک است. این هورمون تجمع اسیدهای آمینه به‌ویژه پرولین را افزایش می‌دهد و در نتیجه به تحمل شوری کمک می‌کند و ممکن است یکی از دلایل افزایش پرولین در گیاهان شورپسند باشد (Flowers and Colmer, 2008) تجمع محلول‌های سازگارکننده مانند پرولین و مواد فنولی به تحمل شوری کینوا نسبت داده شده است (Ruiz-Carrasco et al., 2011; Iqbal et al., 2017; Saleem et al., 2017; Muscolo et al., 2016). از سوی دیگر در شرایط مختلف در رقم‌های متنوع کینوا غلظت‌های بسیار کم پرولین گزارش شده است (Aguilar et al., 2003). رافینو و همکاران (Ruffino et al., 2010) گزارش کردند در شرایط تنش شوری میزان پرولین کینوا برای مشارکت در تنظیم اسمزی سلول به‌طور قابل‌توجهی ناچیز است. در مطالعه حاضر به نظر می‌رسد غلظت پرولین تجمع یافته در برگ‌ها برای تأمین تنظیم اسمزی کینوا کافی نیست. چن و همکاران (Chen et al., 2007) مشاهده کردند که در ارقام جو مقاوم به شوری پتاسیم نقش اصلی در تنظیم اسمزی را دارد درحالی‌که در ژنوتیپ‌های حساس به شوری پرولین نقش مهم‌تری دارد. پتاسیم به‌عنوان یک اسمولیت غیرآلی در سلول‌های گیاه موردنیاز است و جذب و تجمع آن ممکن است هزینه کمتری نسبت به سنتز ترکیبات آلی داشته باشد (Veraplakorn et al., 2013). رویزکاراسکو و همکاران (Ruiz-Carrasco et al., 2011) غلظت بالاتر پرولین را در ارقام مقاوم به شوری کینوا نسبت به ارقام حساس به شوری مشاهده کردند. در مورد کینوا یون‌های معدنی به نظر می‌رسد مسئول تنظیم اسمزی هستند بنابراین نقش پرولین به‌عنوان پروتئین محافظت‌کننده در کاهش سمیت سدیم تحقیقات بیشتر نیاز دارد. اگرچه اسماعیلی و همکاران (Ismail et al., 2016) نشان داد که پرولین ممکن است نقش اساسی در تنظیم اسمزی یا مکانیسم‌های تحمل بافت نداشته باشد.

عملکرد دانه

برهم‌کنش تیمارهای سطوح نیتروژن و آبیاری نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در تیمار آبیاری یک‌درمیان با مصرف ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن و کمترین آن در تیمار آبیاری زهاب بدون مصرف کود نیتروژنه حاصل شد. با افزایش مقدار کود نیتروژن مصرفی از صفر به ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، میزان عملکرد دانه در اولین و دومین سطح شوری آب آبیاری (به ترتیب ۱۸۷۳ و ۱۶۴۱ کیلوگرم بر هکتار) افزایش یافت؛ اما با افزایش مقدار کود نیتروژنی به ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار، عملکرد دانه در سطوح اول شوری آب آبیاری ۱۲ درصد کاهش یافت و در سطح دوم شوری اختلاف معنی‌دار مشاهده نگردید (شکل ۳). افزایش عملکرد دانه با افزایش مقدار کود نیتروژنی بیانگر کمبود نیتروژن خاک (جدول ۳) و ضرورت مصرف این کود جهت تولید دانه کینوا است. در واقع در تیمار زهاب نیاز کینوا به کود نیتروژنی (جهت تولید عملکرد دانه) کاهش داشت و این تغییرات احتمالاً به دلیل افزایش شوری بیشتر محیط خاک با کود نیتروژن است زیرا نتایج تحقیق نشان داد کود نیتروژن خود عامل افزایش بیشتر شوری خاک گردیده است. به نظر می‌رسد در تیمار آبیاری یک‌درمیان به دلیل شستشوی مداوم املاح خاک با آب کارون تنش شوری به گیاه وارد نشده است. کریمی (Karimi. 2020) در بررسی اثرات متقابل شوری آب آبیاری و کود نیتروژنه اوره بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم مشاهده کرد تأثیر مثبت کود اوره بر عملکرد گندم با افزایش شوری آب آبیاری کاهش یافت و کاهش نیاز گیاه به عناصر غذایی به دلیل تأثیر منفی تنش شوری بر پتانسیل تولید است. کاهش عملکرد دانه با افزایش مقدار کود مصرفی در سطح ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار بیانگر تأثیر منفی کود نیتروژن زیاد بر عملکرد دانه و کفایت مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود برای کشت کینوا است. نتایج مطالعات ایرلی و همکاران (Erley et al., 2005) و بهاراگاوا و همکاران (Bhargava et al., 2006) نشان داد که ارتفاع بوته، مدت بلوغ و عملکرد کینوا و تاج‌خروس در شرایط بهینه خاک افزایش یافت، اما در سطوح بالای کود نیتروژن، عملکرد دانه کاهش یافت. آن‌ها نتیجه گرفتند که این نتایج با افزایش رشد رویشی و کاهش گل‌آذین به دلیل کاربرد نیتروژن قابل توضیح است. در برخی گیاهان، نیتروژن اضافی و بیش از ظرفیت گیاه به‌عنوان یک عامل منفی باعث کاهش عملکرد دانه می‌گردد و این امر می‌تواند در اثر کاهش ظرفیت فتوسنتزی برگ‌ها به علت افزایش انتقال مجدد زودتر از موعد نیتروژن از برگ‌ها به دانه، احیای کمتر به دلیل وارد شدن نیتروژن بیشتر در چرخه احیای نیترات، افزایش رشد رویشی، به هم خوردن تعادل جذب عناصر غذایی، ایجاد مسمومیت در گیاه و در نتیجه تشکیل یون آمونیوم و کوتاه بودن دوره رشد رویشی نسبت به زایشی در این ارقام باشد (Zangani et al., 2007). ایرلی و همکاران (Erley et al., 2005) اظهار داشتند که عملکرد دانه کینوا تحت تأثیر کود نیتروژن از ۰ تا ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار از ۱۷۹۰ کیلوگرم به ۳۴۹۵ کیلوگرم در هکتار رسید. گوما (Gomaa, 2013) بیان داشت که کاربرد ۰، ۱۱۹ و ۲۳۸ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با کودهای زیستی منجر به افزایش مداوم عملکرد دانه در هر هکتار کینوا در مقایسه با تیمار شاهد شد. کاکابوکی و همکاران (Kakabouki et al., 2014) گزارش دادند که کود نیتروژن نیز باعث افزایش عملکرد دانه کینوا در سیستم مختلف خاک-ورزی شد. تنش شوری باعث افزایش فشار اسمزی، اختلال در جذب آب توسط ریشه، کاهش فتوسنتز گیاه، کاهش مواد فتوسنتزی و درنتیجه کاهش عملکرد دانه می‌گردد. کویرو و همکاران (Koyro et al., 2008) دریافتند که کینوا قادر به کامل کردن چرخه زندگی خود و تولید دانه حتی در شوری آب دریا است و عملکرد، تعداد دانه در گیاه، ماده خشک در حضور شوری به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. القوصیبی و همکاران (Algosaib et al., 2015) نشان دادند در شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر عملکرد دانه نسبت به شاهد ۱۶ درصد رشد داشته است ولی در شوری بالاتر از ۴ دسی‌زیمنس بر متر عملکرد دانه در گیاه کاهش داشت.

در سومین سطح شوری آب آبیاری (تیمار آبیاری زهاب)، با افزایش کود نیتروژنی تا سطح ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه افزایش و با مصرف بیشتر کود نیتروژنی (۲۲۵ کیلوگرم در هکتار) عملکرد دانه ثابت بود و تغییر معنی‌داری نداشت. با توجه به نتایج فوق‌الذکر نتیجه‌گیری می‌شود که با افزایش شوری آب آبیاری، نیاز کینوا به کود نیتروژنی تغییر نمی‌یابد و جهت تولید حداکثر کینوا در سطوح شوری مورداستفاده در این تحقیق مصرف ۱۵۰ کیلوگرم کود اوره ضرورت دارد.



شکل ۳. تأثیر سطوح شوری و نیتروژن بر عملکرد دانه کینوا. تیمارهای نیتروژن: N1 تا N4: (صفر (شاهد)، ۷۵ ، ۱۵۰ ، ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار)؛ تیمارهای شوری: S1 تا S3: (آبیاری آب کارون، یک‌درمیان (یک‌بار کارون و یک‌بار زهاب نیشکر) و آبیاری زه‌آب نیشکر)

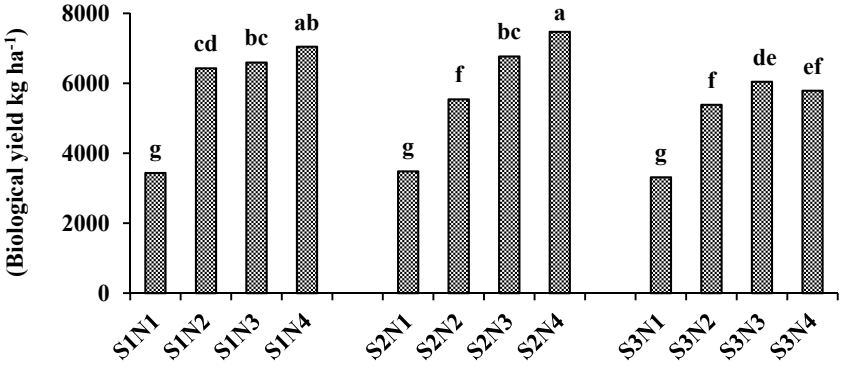
Fig. 3. The effect of nitrogen levels and salinity on quinoa grain yield. Nitrogen treatments: N 1-4 (0 (control), 75, 150, 225 kg ha^{-1}). Salinity treatments: S1-3 (Karun water irrigation, intermediate (once Karun and once sugarcane drainage) and sugarcane drainage irrigation)

عملکرد بیولوژیکی

اثر تیمارهای مختلف کود نیتروژن و آبیاری و برهم‌کنش آن‌ها بر عملکرد بیولوژیکی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بررسی نتایج اثر متقابل سطوح شوری و نیتروژن (شکل ۴) نشان داد کاربرد نیتروژن در محیط شور باعث افزایش وزن خشک اندام‌های هوایی گیاه گردید، اما در سطوح پایین شوری افزودن کود نیتروژن به محیط رشد گیاه نسبت به سطوح بالای شوری تأثیر بیشتری بر وزن خشک گیاه داشت به‌طوری‌که بیشترین عملکرد بیولوژیکی گیاه (۷۴۶۸ کیلوگرم در هکتار) از سطح ۲۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و آبیاری یک‌درمیان و کمترین عملکرد بیولوژیکی (۳۳۰۹ کیلوگرم در هکتار) از سطح شاهد نیتروژن و آبیاری زهاب به دست آمد. افزودن کود نیتروژن تا حدی می‌تواند سبب کاهش و تعدیل اثر نامطلوب شوری شود، ولی کاربرد زیادی نیتروژن باعث افزایش شوری می‌گردد (Ravikovitch and Porath, 1967)؛ بنابراین به هنگام وجود هر دو تنش شوری و فقر غذایی باید دقت نمود که آیا مصرف کود تحمل گیاه به شوری را افزایش یا کاهش می‌دهد (Soraei-tabrizi et al., 2014). در تیمار بدون مصرف نیتروژن افزایش شوری تأثیر چندانی در کاهش عملکرد نداشته است و حتی در شوری کم باعث افزایش عملکرد گیاه شد و این نشان‌دهنده تأثیرگذار بودن عامل کمبود نیتروژن نسبت به شوری است. نتایج ذکرشده در فوق با یافته‌های (Soraei-tabrizi et al., 2014) و (Hosini et al., 2009) تطابق دارد. در شرایط شوری زیاد، مصرف مقادیر بالای کود نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه و وزن هزار دانه کینوا نداشت.

افزایش عملکرد بیولوژیکی به‌وسیله‌ی تیمارهای نیتروژن به بهبود سطح برگ و کارایی فتوسنتزی نسبت داده شده است، زیرا نیتروژن بخشی از آنزیم روبیسکو دخیل در فرآیند فتوسنتز است و نیتروژن با تسریع رشد سلول‌های مریستم انتهایی گیاه زمینه را برای رشد گیاه فراهم می‌کند (Arduini et al., 2006؛ Fredeen et al., 1991). آوادالا و همکاران (Awadalla et al., 2017) گزارش دادند که با کاربرد نیتروژن از ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد بیولوژیکی کینوا نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۵۲/۹ و ۵۹/۷ و ۶۳/۴ درصد افزایش پیدا کرد و رقم رگالونا با کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به ترتیب در سال اول و دوم به حداکثر عملکرد بیولوژیکی ۲۴۲۰/۵ و ۲۴۳۲ کیلوگرم در هکتار رسید. تنش شوری موجب کاهش معنی‌دار در مقدار عملکرد بیولوژیکی گیاه کینوا شده است، زیرا در شرایط تنش شوری وزن خشک اندام هوایی هم از طریق کاهش مقدار رشد رویشی و هم از طریق کاهش فتوسنتز کاهش می¬یابد. کاهش رشد رویشی و وزن خشک به دلیل کاهش آماس سلول‌ها در شرایط تنش شوری و متأثر از فرآیندهای اسمزی است. از علل دیگر کاهش رشد عملکرد گیاه در اثر شوری، بالا رفتن مصرف انرژی در گیاه برای خروج یون‌های سدیم مهاجم است که در محیط به مقدار فراوان وجود دارند در نتیجه مصرف مقدار زیادی از انرژی سلولی برای سازش و مقابله با

تنش شوری است و درنهایت رشد و عملکرد گیاه کاهش می‌یابد. برای کینوا رشد مناسب در غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده شده است (Hariadi et al., 2011) جاکابسن و همکاران (Jacobsen et al., 2003) مشاهده کردند عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه و شاخص برداشت کینوا در شرایط شوری متوسط (۱۰ دسی‌زیمنس بر متر) بالاتر از شرایط غیر شور بود.



شکل ۴. تأثیر سطوح شوری و نیتروژن بر عملکرد بیولوژیکی کینوا. تیمارهای نیتروژن: N1 تا N4: (صفر (شاهد)، ۷۵ ، ۱۵۰ ، ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار)؛ تیمارهای شوری: S1 تا S3: (آبیاری آب کارون، یک‌درمیان (یک‌بار کارون و یک‌بار زهاب نیشکر) و آبیاری زه‌آب نیشکر)

Fig. 4. The effect of nitrogen levels and salinity on the biological yield of quinoa. Nitrogen treatments: N 1-4 (0 (control), 75, 150, 225 kg ha^{-1}). Salinity treatments: S1-3 (Karun water irrigation, intermediate (once Karun and once sugarcane drainage) and sugarcane drainage irrigation)

نتیجه‌گیری نهایی

به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان داد که جهت افزایش عملکرد دانه کینوا در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک استان خوزستان مصرف کود نیتروژنی ضرورت دارد. بیشترین عملکرد دانه در سطوح اول، دوم و سوم شوری آب آبیاری با مصرف ۱۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار تولید گردید. همچنین نتایج این پژوهش ثابت کرد که با افزایش شوری آب آبیاری نیاز کینوا به کود نیتروژنی افزایش نمی‌یابد. از سوی دیگر تغییرات سطوح نیتروژن بیش از سطوح آبیاری بر شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ کینوا تأثیر داشت و افزایش کود نیتروژن سبب کاهش اثرات مضر تنش شوری بر مؤلفه‌های رشد از طریق افزایش پرولین گردید. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان موردبررسی به‌وضوح پس از کاربرد نیتروژن افزایش یافته بود و مزیت آن کارایی بهتر بوته‌های کینوا تحت تیمار شوری ازنظر جنبه‌های مختلف رشدی و متابولیسم است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از دفتر پژوهش‌های کاربردی سازمان آب و برق خوزستان، دانشگاه شهید چمران اهواز و شرکت کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان به‌واسطه حمایت‌های مالی قدردانی می‌نمایند.

منابع

Abdelgawad, G., Arslan, A., Gaihbe, A., Kadouri, F., 2005. The effects of saline irrigation water management and salt tolerant tomato varieties on sustainable production of

Abdelgadir, E.M., Fadul, E.M., Fageer, E.A., Ali, E.A., 2010. Response of wheat to nitrogen fertilizer at reclaimed high terrace salt-affected soils in Sudan. Journal of Agriculture and Social Sciences. 6, 43-47.

tomato in Syria (1999–2002). Agricultural Water Management. 78, 39-53.

Aebi, H., 1984. Catalase in vitro. Methods Enzymol. 105, 121-126. [In Persian].

Adolf, V.I., Shabala, S., Andersen, M.N., Razzaghi, F., Jacobsen, S.E., 2012. Varietal differences of quinoa's tolerance to saline conditions. Plant Soil. 357, 117–129.

Aguilar, P.C., Cutipa, Z., Machaca, E., Lopez, M., Jacobsen, S.E., 2003. Variation of proline content of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) in high beds (Waru Waru). Food Reviews International. 19, 121–127. doi:10.1081/FRI-120018878

Algosaibi, A.M., El-Garawany, M.M., Badran, A.E., Almadini, A.M., 2015. Effect of irrigation water salinity on the growth of Quinoa plant seedlings. Journal of Agricultural Science. 7, 205.

Amjad, M., Akhtar, J., Haq, M.A., Riaz, M.A., Jacobsen, S.E., 2014. Understanding salt tolerance mechanism in wheat genotypes by exploring antioxidant enzymes activity. Pakistan Journal Agricultural Sciences. 51, 1–8.

Amjad, M., Akhtar, S.S., Yang, A., Akhtar, J., Jacobsen, S.E., 2015. Antioxidative response of quinoa exposed to iso osmotic, ionic and non ionic salt stress. Journal of Agronomy and Crop Science. 201, 452-460.

Anderson, D., Bullock, D., Johnson, G., Taets, C., 1993. Evaluation of the minolta SPAD-502 chlorophyll meter for on farms N management of corn in lllinois. Jouranl of Plant Nutriation. 21, 741-755.

Arduini, I., Masoni, A., Ercoli, L., Mariotti, M., 2006. Grain yield and dry matter and nitrogen accumulation and remobilization in durum wheat as affected by variety and seeding rate. European Journal of Agronomy. 25, 309-318.

Ashraf, M., 2009. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers.Biotechnolology Advances. 27, 84-93.

Ashraf, M., Harris, P.J.C., 2004. Potential biochemical indicators on salinity tolerance in plants. Plant Science. 166, 3-16.

Athar, H., Khan, A., Ashraf, M., 2008. Exogenously applied ascorbic acid alleviates salt-induced oxidative stress in wheat. Environmental and Experimental Botany. 63, 224-231.

Awadalla, A., Morsy, A.S., 2017. Influence of planting dates and nitrogen fertilization on the performance of quinoa genotypes under Toshka conditions. Egyptian Journal of Agronomy. 39, 27-40.

Basra, S.M.A., Iqbal, S., Afzal, I., 2014. Evaluating the response of nitrogen application on growth, development and yield of quinoa genotypes. International Journal of Agriculture and Biology. 16.

Bates, L., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil. 39, 205- 207.

Bhargava, A., Shukla, S., Ohri, D., 2006. Chenopodium quinoa an Indian perspective. Industrial Crops and Products. 23, 73-87.

Bose, J., Rodrigo-Moreno, A., Shabala, S., 2014. ROS homeostasis in halophytes in the context of salinity stress tolerance. Journal of Experimental Botany. 65, 1241–1257. https://doi.org/10.1093/jxb/ert430.

Borzui, A., Enough, M., Mousavi, M., Shalmani, A., Khorasani, A.S., 2012. Effect of Salinity and Nitrogen Fertilizer on Yield and Efficiency of Wheat Fertilizer Using Stable Isotope 15N. Journal of Water Research in Agriculture. 26, 501-517.

Chen, Z., Cuin, T.A., Zhou, M., Twomey, A., Naidu, B.P., Shabala, S., 2007. Compatible solute accumulation and stress-mitigating effects in barley genotypes contrasting in their salt tolerance. Journal of Experimental Botany. 58, 4245–4255. doi:10.1093/jxb/erm284

Demiral, T., Turkan, I., 2005. Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. Environmental and Experimental Botany. 53, 247-257

Erley, G.S.A., Kaul, H., Kruse, M., Aufhammer, W., 2005. Yield and nitrogen utilization efficiency of the pseudocereals amaranth, quinoa, and buckwheat under differing nitrogen fertilization. European Journal of Agronomy. 22, 95-100.

Flowers, T.J., Colmer, T.D., 2008. Salinity tolerance in halophytes. New Phytologist. 179, 945-963.

Fredeen, A.L., Gamon, J.A., Field, C.B., 1991. Responses of photosynthesis and carbohydrate-partitioning to limitations in nitrogen and water availability in field-grown sunflower. Plant Cell and Environment. 14, 963-970.

Gomaa, E.F., 2013. Effect of nitrogen, phosphorus and biofertilizers on quinoa plant. Journal of Applied Sciences Research. 9, 5210-5222.

Hanafy, A.H., Gad-Mervat, M.A., Hassam, H.M., Amin-Mona, A., 2002. Improving growth and chemical composition of Myrtus communis grown under soil salinity conditions by polyamines foliar application. Proceedings of the Minia. 1st Conference Agriculture Environment Science Minia, March 25-28. Egypt, 1697-1720. [In Persian with English summary]

Hariadi, Y., Marandon, K., Tian, Y., Jacobsen, S. E., Shabala, S., 2010. Ionic and osmotic relations in quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) plants grown at various salinity levels. Journal of Experimental Botany. 62, 185-193.

Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Fujita, M., 2013. Plant response to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt-induced damages. In: Ahmad P, Azooz M.M, PrasadMNV (eds) Ecophysiology and responses of plants under salt stress. Springer, New York. 3, 25–87. [In Persian with English summary]

Hosini, Y., Homaee, M., Karimian, N., Sadat, S. , 2009. Modeling of Canola response to combined salinity and nitrogen stresses. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. 12, 721-735. [In Persian with English summary]

Ismail, H., Maksimovic, J.D., Maksimovic, V., Shabala, L., Zivanovic, B.D., Tian, Y., Shabala, S., 2016. Rutin, a flavonoid with antioxidant activity, improves plant salinity tolerance by regulating K+ retention and Na+ exclusion from leaf mesophyll in quinoa and broad beans. Functional Plant Biology. 43, 75–86. https://doi.org/10.1071/ FP15312

Iqbal, S., Basra, S.M.A., Afzal, I., Wahid, A., 2017. Exploring potential of well adapted quinoa lines for salt tolerance. International Journal of Agriculture And Biology.19, 933–940. [CrossRef]

Jacobsen, S.E., Mujica, A., Jensen, C.R., 2003. The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) to adverse abiotic factors. Food Reviews International. 19, 99-109.

Jacobsen, S.E., Liu, F., Jensen, C.R., 2009. Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*). Scientia Horticulturae. 122, 281–287. doi:10.1016/ j.scienta.2009.05.019

Jacobsen, S.E., 2015. "Adaptation and scope for quinoa in northern latitudes of Europe," in State of the Art Report on Quinoa Around the World in 2013, eds Bazile D., Bertero H. D., Nieto C., editors. (Roma: FAO and CIRAD;), 436–446. [Google Scholar].

Jacoby, B., 1999. Mechanisms involved in salt tolerance of plants. PP. 97-123. In: Pessarakli, M. (Ed.), Handbook of Plant and Crop Stress, Marcel Dekker Inc., New York.

Jamil, M., Rehman, S., Rha, E.S., 2007. Salinity effect on plant growth, PSII photochemistry and chlorophyll content in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and cabbage (*Brassica oleracea capitata L.*). Pakistan Journal of Botany. 39, 753-760.

Jianga, J., Huo, Z., Feng, Sh., Zhang, CH., 2012. Effect of irrigation amount and water salinity on water consumption and water productivity of spring wheat in Northwest China. Field Crops Research. 8, 12-21.

Joseph, E.A., Radhakrishnam, V., Mohanan, K. V., 2015. A Study on the accumulation of proline-an osmoprotectant amino acid under salt stress in some native rice cultivars of North Kerala. India. Universal Journal of Agricultural Research. 3, 15-22.

Kakabouki, I., Bilalis, D., Karkanis, A., Zervas, G., Hela, D., 2014. Effects of fertilization and tillage system on growth and crude protein content of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*): An alternative forage crop. Emirates Journal of Food and Agriculture.5, 18-24.

Karimi, M., 2020. Interactive effects of irrigation water salinity and urea fertilizer on wheat (*Triticum aestivum L.*) yield and yield components. Environmental Stresses in Crop Sciences. 13, 937-951. [In Persian with English summary]

Khuzestan Water and Power Authoriy Company (Kwpa)., 2011. Khuzestan province drainage management studies report. [In Persian with English summary]

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

Koca, H., Bor, M., Özdemir, F., Turkan, I., 2007. The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes and proline content of

sesame cultivars. Environmental and Experimental Botany. 60, 344-351.

Killi, D., Haworth, M., 2017. Diffusive and metabolic constraints to photosynthesis in quinoa during drought and salt stress. Plants. 6, 49-58.

Logan, B.A., Demmig-Adams, B., Rosenstiel, T.N., Adams, W.W., 1999. Effect of nitrogen limitation on foliar antioxidants in relationship to other metabolic characteristics. Planta. 299, 213–220.

Malakooti, M.J., Homayi, M., 2004. Fertility of Arid and Semi-arid Soils. Tarbiat Modares University Press. Tehran. 500p. [In Persian].

Majd, F., Ardakani, M.R., 2003. Nuclear Techniques in Agricultural Sciences. Tehran University Press. 360p. [In Persian]

Marenco, R.A., Antezana-Vera, S.A., Nascimento, H.C.S., 2009. Relationship between specific leaf area, leaf thickness, leaf water content and SPAD-502 readings in six Amazonian tree species. Photosynthetica. 47, 184-190.

Mittler, R., Vanderauwera, S., Gollery, M., Breusegem, F.V., 2002. Reactive oxygen gene network of plants. Trends in Plant Science. 9, 490-498.

Munns, R., 2010. Plant water content. In: PrometheusWiki,Ver.1, ttp://www.publish. csiro.au/prometheuswiki,accessed: 17.05.10.

Muscolo, A., Panuccio, M.R., Gioffre, A.M., Jacobsen, S.E., 2016. Drought and salinity differently affect growth andsecondary metabolites of "*Chenopodium quinoa Willd*" seedlings. In Halophytes for Food Security in Dry Lands. 2, 41-49.

Nazar, R., Iqbal, N., Syeed, S., Khan, N.A., 2011. Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under salt stress by enhancing nitrogen and sulfur assimilation and antioxidant metabolism. Journal of Plant Physiology. 168, 807-815.

Ozgur, R., Uzilday, B., Sekmen, A.H., Turkan, I., 2013. Reactive oxygen species regulation and antioxidant defence in halophytes. Functional Plant Biology. 40, 832–847.

Panuccio, M. R., Jacobsen, S.E., Akhtar, S.S., Muscolo, A., 2014. Effect of saline water on seed germination and early seedling growth of the halophyte quinoa. AoB Plants. 6. Doi: 10.1093/aobpla/plu047.

Pavlik, M., Pavlikova, D., Balik, J., Neuberg, M., 2010. The contents of amino acids and sterols in maize plants growing under different nitrogen conditions. Plant Soil and Environment. 56, 125-132.

Rahnama, A., James, R.A., Poustini, K., Munns, R., 2010. Stomatal conductance as a screen for osmotic stress tolerance in durum wheat growing in saline soil. Functional Plant Biology. 37, 255–269. [In Persian with English summary]

Ravikovitch, S., Porath, A., 1967. The effect of nutrients on the salt tolerance of crops. Plant and Soil. 26, 49-71.

Razzaghi, F., Plauborg, F., Jacobsen, S.E., Jensen, C.R., Andersen, M.N., 2012. Effect of nitrogen and water availability of three soil types on yield, radiation use efficiency and evapotranspiration in field-grown quinoa. Agriculture Water Management. 109, 20–29.

Ruffino, A.M.C., Rosa, M., Hilal, M., Gonzalez, J.A., Prado, F.E., 2010. The role of cotyledon metabolism in the establishment of quinoa (*Chenopodium quinoa*) seedlings growing under salinity. Plant and Soil. 326, 213–224.doi:10.1007/s11104-009-9999-8

Ruiz-Carrasco, K., Antognoni, F., Coulibaly, A.K., Lizardi, S., Covarrubias, A., Martínez, E.A., Molina-Montenegro, M.A., Biondi, S., 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 Physiology and Biochemistry. 49, 1333–1341.

Sairam, R.K., Rao, K.V., Srivastava, G.C., 2002. Differential response of wheat genotypes to long-term salinity stress in relationto axidative stress. Antioxidant active and osmolyte consentration. Plant Science. 163, 1037-1046.

Sadat Noori, S.A., Ferdosizadeh, L., Izadi-Darbandi, A., Mortazavian, S.M.M., Saghafi, S., 2011. Effects of salinity and laser radiation on proline accumulation in seeds of spring wheat. Journal of Plant Physiology and Breeding. 5, 45-51. [In Persian with English summary]

Sade, N., Gebremedhin, A., Moshelion, M., 2012. Risk-taking plants: Anisohydric behavior as a stress-resistance trait. Plant Signaling and Behavior. 7, 767-770.

Saleem, M.A., Basra, S.M.A., Afzal, I., Iqbal, S., Sohail, S., Naz, S., 2017. Exploring the

potential of quinoa accessions for salt tolerance in soilless culture. International Journal Agriculture Biology. 19, 233–240.

Sairam, R.K., Srivastava, G.C., 2002. Changes in antioxidant activity in sub-cellular fractions of tolerant and susceptible wheat genotypes in response to long term salt stress. Plant Science. 162, 897-904.

Saneoka, H., Moghaieb, R.E.A., Premachandra, G.S., Fujita, K., 2004. Nitrogen nutrition and water stress effects on cell membrane stability and leaf water relations in Agrostis palustris Huds. Environment and Experiemental Botany. 52, 131-138.

Sanchez, H.B., Lemeur, R., Damme, P.V., Jacobsen, S.E., 2003. Ecophysiological analysis of drought and salinity stress of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*). Food Reviews International. 19, 111-119.

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

Siddiqui, M.H., Mohammad, F., Al-Waibi, M.H., Bahkali, A.H., 2010. Nitrogen in relation to photosynthetic capacity and accumulation of osmoprotectant and nutrients in Brassica genotype grown under salt stress. Agricultural Science in China. 9, 671-680.

Soraei-tabrizi, M., 2014. Modeling plant water uptake under conditions of simultaneous stresses of water, salinity and nitrogen. (Doctoral dissertation, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran). [In Persian with English summary]

Veraplakorn, V., Nanakorn, M., Kaveeta, L., Suwanwong, S., Bennett, I.J., 2013. Variation in ion accumulation as a measure of salt tolerance in seedling and callus of Stylosanthes guianensis. Theoretical and Experimental Plant Physiology. 25, 106-115.

Waqas, M., Yaning, C., Iqbal, H., Shareef, M., Rehman, H., Yang, Y., 2017. Paclobutrazol improves salt tolerance in quinoa: Beyond the stomatal and biochemical interventions. Journal of Agronomy and Crop Science. 203, 315–322. https://doi.org/10.1111/jac.12217

Zangani, A., Kashani, A., Fathi, G.H., Meskarbashi, M., 2007. Effect of different nitrogen levels on yield andyield components of two cultivars of rapeseed quantity and quality in Ahwaz. Journal of Agriculture Sciences. 25, 39-45. [In Persian with English summary]