پاسخ‌های فیزیولوژیک گیاه کینوا به کاربرد نیتروژن در شرایط شور

راحله افشارمنش[۱]، اصغر رحیمی[۲*]، سید رسول صحافی[۳] و معصومه صالحی[۴]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۵/۲۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۷/۲۸)

چکیده

تنش شوری از عمده‌ترین تنش‌های غیرزنده است که با کاهش جذب آب و برهم زدن تعادل عناصر غذایی باعث کاهش رشد گیاه می‌شود. این آزمایش به‌منظور بررسی اثر کود نیتروژن در غلظت‌های بالای شوری بر صفات فیزیولوژیک گیاه کینوا به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور شوری (۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و نیتروژن نیتراته (۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) با ۳ تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان اجرا شد. صفات مورد مطالعه شامل عملکرد کوانتوم، شاخص کارایی فتوسنتزی، وزن خشک اندام هوایی، محتوی پرولین، قند محلول و مالون دی آلدئید و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز بودند. نتایج نشان داد که عملکرد کوانتوم، محتوای پرولین و قندهای محلول تحت تأثیر شوری و نیتروژن قرار گرفتند و افزایش سطح شوری از ۱۰۰ به ۵۰۰ میلی مولار باعث افزایش عملکرد کوانتوم، محتوی پرولین و قندهای محلول شد. اما افزایش غلظت نیتروژن از ۵۰ به ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش محتوی پرولین و کاهش محتوی قندهای محلول شد. وزن خشک اندام هوایی، محتوی مالون دی آلدئید، فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز تحت تأثیر برهم‌کنش نیتروژن و شوری قرار گرفتند. نتایج نشان داد، در سطوح بالای شوری افزایش غلظت نیتروژن به ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر باعث کاهش وزن خشک و محتوی پتاسیم اندام هوایی، افزایش محتوی مالون دی آلدئید و فعالیت آنزیم کاتالاز و گایاکول پراکسیداز و محتوی سدیم اندام هوایی شد. با توجه به نتایج، در شوری‌های پایین (۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) و متوسط (۳۰۰ میلی‌مولار) مصرف ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیتروژن و در شوری‌های بالا (۴۰۰ و ۵۰۰ میلی‌مولار) مصرف ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نیتروژن در محلول غذایی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، پرولین، تنش شوری، کود نیتروژن، هالوفیت

۱، ۲ و ۳. به‌ترتیب دانشجوی دکتری زراعت، استاد و استادیار، گروه ژنتیک و تولید گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان
۴. استادیار مرکز تحقیقات شوری یزد
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: rahimiasg@gmail.com

مقدمه

تنش شوری و خشکی از عمده‌ترین تنش‌های غیر زنده هستند که در سرتاسر جهان باروری و تولید محصولات کشاورزی را محدود می‌کنند (۳۸). ۹۷/۵ درصد آب جهان و بسیاری از خاک‌ها به صورت طبیعی شور هستند. فعالیت‌های انسان نیز در بسیاری از مناطق این مشکل را تشدید کرده است (۲۵). تنش شوری به‌عنوان عمده‌ترین عامل متوقف کننده رشد و تولید گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان مطرح است (۴) و بر عملکرد و کیفیت گیاهان اثرات نامطلوبی می‌گذارد. تنش شوری با کاهش جذب آب، کاهش پتانسیل اسمزی، کاهش آهنگ تعرق، بستن روزنه‌ها، مسمومیت عناصر غذایی یا یون‌ها و بر هم زدن تعادل عناصر غذایی باعث کاهش رشد گیاه می‌شود (۲۵). وجود نمک در محلول خاک باعث کاهش توانایی گیاه برای جذب آب شده و منجر به کاهش رشد گیاه می‌شود که به آن اثر اسمزی شوری گفته می‌شود (۲۷). گیاهانی که در خاک‌های شور رشد می‌کنند به‌دلیل خاصیت اسمزی سلول‌های ریشه نمی‌توانند آب مورد نیاز را از محیط به‌دست آورند. تنش شوری، فیزیولوژی گیاهی را هم در گیاه کامل و هم در سطح سلولی تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱۶). تجمع نمک به مقدار سمی در آپوپلاست برگ منجر به کاهش آب و در نتیجه مرگ سلول‌ها و بافت‌های گیاهی می‌شود (۲۱). گیاهان تحت شرایط شور زیست‌توده پایینی تولید می‌کنند و تنش شوری در اوایل رشد باعث کاهش گسترش برگ گیاه می‌شود (۳۳). در شرایط شور، تجمع بیش از حد نمک از طریق بسته شدن روزنه‌ها و محدودیت عرضه دی‌اکسید کربن منجر به کاهش فتوسنتز خالص و کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شود (۳۷). تنش شوری باعث تجمع املاح سازگار مانند پرولین، کربوهیدرات و گلایسین بتائین در گیاه می‌شود که نقش محوری در تنظیم اسمزی دارند. شوری جذب مواد معدنی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، شوری با دخالت در عمل ناقل‌ها و کانال‌های یونی در ریشه مانند کانال‌های انتخابی پتاسیم، یا مهار رشد ریشه توسط اثرات اسمزی سدیم موجب کاهش جذب آب و مواد معدنی می‌شود (۲۹). در شرایط شور به‌دلیل بالا رفتن سطح کلرید سدیم در محیط ریشه و درنتیجه رقابت بین کلر و نیترات برای جذب، افزایش فراهمی نیتروژن نقش مهمی در رشد گیاه دارد و می‌تواند باعث تخفیف اثرات نامطلوب شوری در گیاه شود (۳۵). کاربرد عناصر پرمصرف نظیر نیتروژن از طریق افزایش غلظت آنتی‌اکسیدان‌ها و جلوگیری از آسیب به کلروپلاست از کاهش کارایی فتوسنتز جلوگیری می‌کند، همچنین مصرف نیتروژن باعث افزایش سطح برگ و تولید رنگدانه‌های فتوسنتزی شده و کارایی فتوسنتزی را افزایش می‌دهد (۳۵).

شیوه‌های مدیریتی مختلفی جهت کاهش شوری خاک وجود دارد که عبارتند از دفع نمک از طریق زهکشی و آب شویی، تغییر و اصلاح ساختار و بافت خاک به کمک مواد آلی و کاشت گیاهان شورپسند. با توجه به منابع آبی استفاده از آبشویی و زهکشی محدود شده و استفاده از مواد آلی جهت تغییر اصلاح و بافت خاک گران است و در کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته نمی‌توانند به کار گرفته شوند (۱۰). امروزه یک راهکار عمده برای مقابله با شوری استفاده از گیاهان بومی مناطق شور (هالوفیت‌ها) است (۲۵). گونه‌های هالوفیت قادرند شوری زیاد خاک را با حفظ عملکرد تحمل کنند. کینوا با نام علمی *Chenopodium quinoa* willd یک گیاه هالوفیت و محصول غذایی چند منظوره است که تحمل زیادی به غلظت بالای نمک دارد. بسیاری از ارقام این گیاه در غلظت‌های بالای نمک تا حد شوری آب دریا، می‌توانند رشد کنند (۳۹). این گیاه پتانسیل بالای رشد در زمین های شور را دارد و این ویژگی باعث شده به‌عنوان یک گیاه مقاوم مورد توجه برای نواحی باشد که شوری به‌عنوان یک مشکل بزرگ کشاورزی است (۳۰). کشت گیاه کینوا به‌عنوان یک گیاه مقاوم به شوری به‌ویژه در زمین‌های شور باعث ایجاد تنوع در محصولات زراعی، تولید پایدار و افزایش درآمد کشاورزان و امنیت غذایی خواهد شد. با توجه به افزایش زمین‌های شور و کمبود منابع آبی کشور، تحقیق حاضر به‌منظور تأثیر مصرف نیتروژن در شرایط شوری و واکنش‌های فیزیولوژیک گیاه کینوا انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر کود نیتروژن بر واکنش‌های فیزیولوژیک گیاه کینوا در شرایط شور این آزمایش در گلخانه (با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و طول روز ۱۶ ساعت) دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل سطوح تنش شوری (۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و سطوح کود نیتروژن نیتراته (۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بودند. در این تحقیق ابتدا ۱۰ بذر کینوا رقم تیتیکاکا داخل گلدان‌های ۵ کیلوگرمی با ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و قطر ۳۰ سانتی‌متر حاوی ۴۰ درصد پرلیت و ۶۰ درصد کوکوپیت در گلخانه دانشکده کشاورزی کشت شدند. پس از استقرار گیاهچه (در مرحله ۴ برگی) تعداد ۵ گیاه در هر گلدان حفظ شدند و گلدان‌ها با محلول غذایی هوگلند حاوی غلظت‌های مختلف نیتروژن آبیاری شدند (جدول ۱).

دو هفته پس از اعمال تیمار کود نیتروژن (شروع مرحله غنچه‌دهی)، تیمار شوری اعمال شد. به‌منظور اعمال تیمار شوری در ابتدا محلول با غلظت‌های مختلف نمک کلرید سدیم آماده شد. سپس میزان هدایت الکتریکی هر محلول اندازه‌گیری شد و در نهایت محلول غذایی با غلظت‌های مختلف نمک کلرید سدیم تا رسیدن به هدایت الکتریکی مورد نظر شور شد. سپس هر گلدان با ۱۰۰۰ سی‌سی محلول غذایی آبیاری شد. در آبیاری‌های بعدی جهت حفظ نمک در منطقه ریشه گلدان‌ها با ۳۰۰ سی‌سی محلول غذایی آبیاری شدند. دو هفته پس از اعمال تیمار شوری نمونه‌برداری (مرحله طویل شدن ساقه) جهت اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک انجام شد. صفات مورد اندازه‌گیری شامل وزن خشک اندام هوایی، عملکرد کوانتومی (Fv/Fm)، شاخص کارایی فتوسنتزی (Pi)، محتوی پرولین، محتوی قندهای محلول، محتوی مالون دی آلدهید، شاخص پایداری غشا و فعالیت آنزیم کاتالاز و گایاکول پراکسیداز، و محتوی پتاسیم و سدیم اندام هوایی بودند. جهت اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی از هر گلدان ۵ بوته برداشت شد و به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار گرفت و با ترازوی با دقت هزارم گرم اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری عملکرد کوانتوم (Fv/Fm) و شاخص کارایی فتوسنتزی (Pi) از دستگاه فلئورسانس کلروفیل (مدل OSI-FL) استفاده شد. پرولین برگ بر اساس روش بیتس و همکاران (۶)، قندهای محلول بر اساس روش ایری‌گوین و همکاران (۱۷)، مالون دی آلدئید بر اساس روش هیث و پکر (۱۳)، سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از روش دهیندسا و همکاران (۹) و سنجش فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز با استفاده از روش چانس و ماهلی (۷) و محتوی سدیم و پتاسیم اندام وهوایی با دستگاه شعله سنج اندازه‌گیری شد. تجزیه آماری با استفاده از نرم افزار آماری SAS ۹,۱,۳ انجام و برای مقایسه میانگین از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد. رسم جداول و نمودارها نیز توسط نرم افزار Word و Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد کوانتومی

نتایج تجزیه واریانس بیانگر تأثیر معنی‌دار شوری بر عملکرد کوانتومی گیاه کینوا بود. اما نیتروژن و برهم‌کنش نیتروژن و شوری بر عملکرد کوانتومی تأثیر معنی‌دار نداشت (جدول ۲). نتایج نشان داد با افزایش غلظت شوری به ۴۰۰ میلی‌مولار، عملکرد کوانتومی گیاه کینوا به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر سطوح افزایش یافت (شکل ۱). Fv/Fm کارایی کوانتومی فتوسیستم II است، که نشان‌دهنده ظرفیت انتقال الکترون از فتوسیستم II به فتوسیستم I است و با عملکرد کوانتومی فتوسنتز خالص همبستگی مثبت دارد. به‌نظر می‌رسد فتوسیستم‌های I و II در گیاهان هالوفیت آنقدر قوی هستند که در غلظت‌های بالای نمک نیز قادر به جذب نور هستند (۳۲) و از این طریق در فرایند انتقال الکترون خللی ایجاد نمی‌شود و احتمالاً به‌همین دلیل در غلظت‌های بالای نمک، عملکرد کوانتوم کاهش نیافته است. همچنین در ارزیابی پروتئومیکس گیاهان هالوفیت بیان شده است که این گیاهان در شرایط شور قادر به تجمع پیش‌سازهای

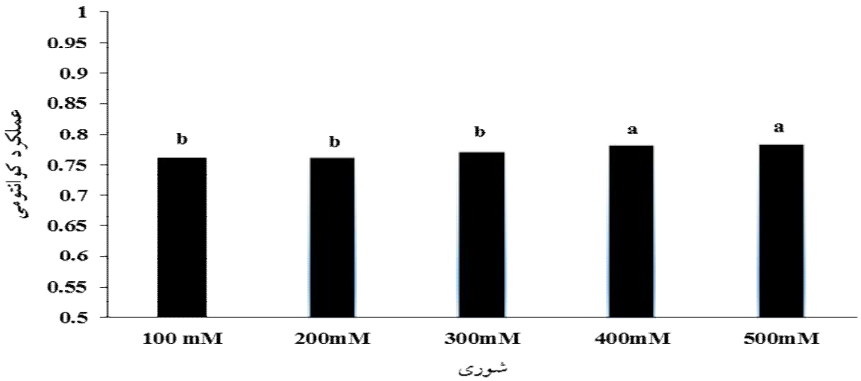
جدول ۱. غلظت نهایی عناصر غذایی محلول غذایی

	نیتروژن				فسفر	پتاسیم	آهن	کلسیم	منیزیم	بور	منگنز	روی	مس	مولیبدن	گوگرد
غلظت (ppm)	۵۰	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۶۲	۲۳۵	۳	۱۶۰	۰/۲۴	۰/۲۷	۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۰۳	۰/۰۵	۳۲

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات عملکرد کوانتومی، شاخص کارایی فتوسنتزی و وزن خشک اندام هوایی کینوا تحت تأثیر شوری و غلظت‌های مختلف نیتروژن

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد کوانتومی	شاخص کارایی فتوسنتزی	وزن خشک اندام هوایی
نیتروژن	۴	۰/۰۰۰۳^{ns}	۱/۴۸^{ns}	۱/۲۷**
شوری	۳	۰/۰۰۱۵**	۵/۴۴**	۰/۱۹^{ns}
نیتروژن × شوری	۱۲	۰/۰۰۰۲^{ns}	۲/۱۷**	۰/۲۸**
خطا	۴۰	۰/۰۰۰۱	۰/۹۱	۰/۰۷۸
ضریب تغییرات (درصد)	–	۱/۵۸	۲۵/۹۴	۲۶/۸۸

ns، * و **: به‌ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

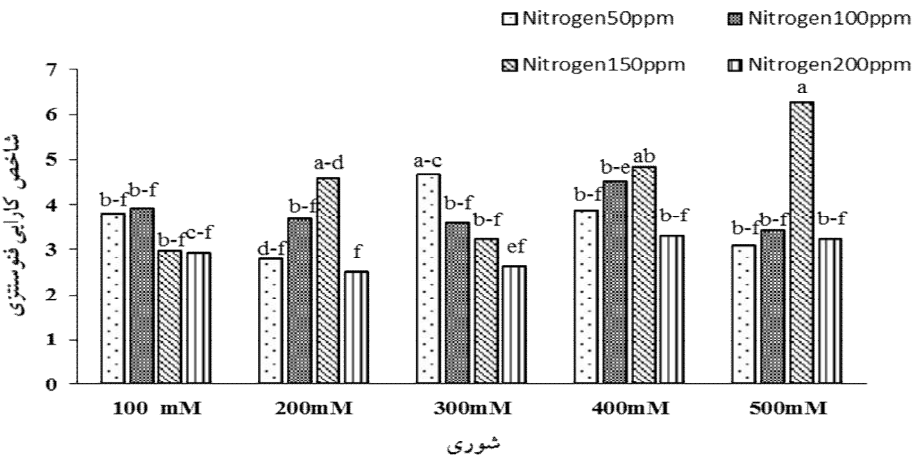


شکل ۱. تغییرات عملکرد کوانتومی کینوا تحت تأثیر شوری. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ اختلاف معنی‌داری ندارند.

پروتئین cp24 بیشتری هستند که این پروتئین مسئول ثبات فتوسیستم II است (۲۶). همسو با نتایج این آزمایش نشان داده شده است که عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) گیاه هالوفیت آتریپلکس تحت تیمار شوری ۴۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم تغییر نکرد که نشان‌دهنده عدم آسیب به فتوسیستم II بود و گزارش شد که این گیاه هالوفیت قادر به سازگاری در شوری‌های بالا به‌همراه فتوسیستم مقاوم در برابر شوری بالا است (۳۱).

شاخص کارایی فتوسنتزی

نتایج بیانگر تأثیر معنی‌دار شوری و برهم‌کنش شوری و نیتروژن بر شاخص کارایی فتوسنتزی بود. اما اثر ساده نیتروژن روی این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در شوری‌های ۱۰۰ و ۴۰۰ میلی‌مولار بین غلظت‌های مختلف کود نیتروژن بر کارایی فتوسنتزی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، اما در شوری ۲۰۰ و ۵۰۰ میلی‌مولار با افزایش غلظت نیتروژن کارایی فتوسنتزی گیاه افزایش یافت و با مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر به حداکثر کارایی فتوسنتزی رسید و با افزایش غلظت نیتروژن از ۱۵۰ به ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر کارایی فتوسنتزی به طور معنی‌داری نسبت به کاربرد ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر نیتروژن کاهش یافت (شکل ۲). همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود



شکل ۲. تغییرات شاخص کارایی فتوسنتزی کینوا تحت تأثیر کود نیتروژن در غلظت‌های مختلف شوری ناشی از کلرید سدیم. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ اختلاف معنی‌داری ندارند.

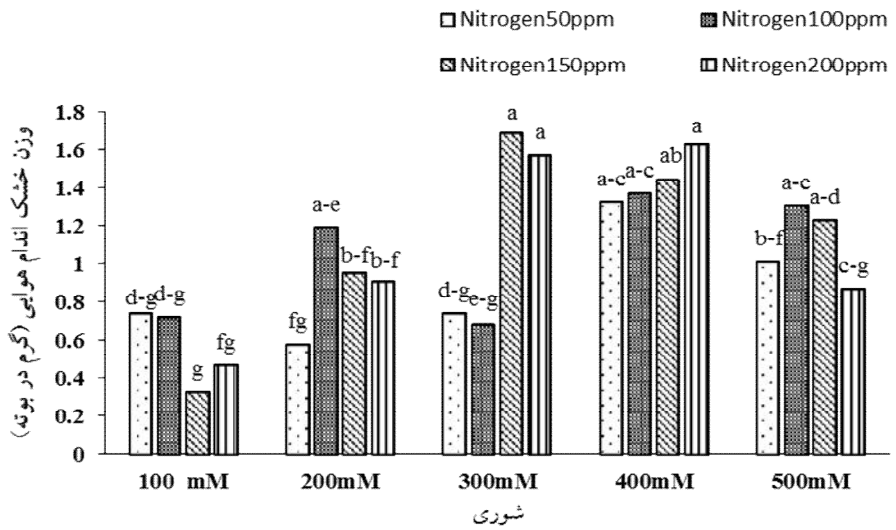
در بیشترین سطح شوری کاربرد نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر کارایی فتوسنتزی گذاشت که نشان‌دهنده تأثیر کود نیتروژن در شوری‌های زیاد است. کود نیتروژن در غلظت بالا تأثیر منفی بر این صفت داشت و احتمالاً از طریق تشدید اثرات شوری بر توالی فرایندهای متابولیسمی نظیر واکنش‌های فتوشیمیایی، آنزیم های دخیل در تثبیت کربن، ساختار دستگاه فتوسنتزی و انتقال حد واسط‌های فتوسنتزی بین اجزای سلولی باعث کاهش کارایی فتوسنتزی شد (۴۰).

وزن خشک اندام هوایی

نتایج بیانگر اثر معنی‌دار نیتروژن و برهم‌کنش شوری و نیتروژن بر وزن خشک اندام هوایی بود. اما اثر ساده شوری بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲). با توجه به نتایج مقایسه میانگین در شوری پایین (۱۰۰) و بالا (۴۰۰ و ۵۰۰ میلی‌مولار) افزایش غلظت نیتروژن بر وزن خشک اندام هوایی اثر معنی‌دار نداشت اما در شوری ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار بین غلظت های مختلف کود نیتروژن تفاوت معنی‌دار وجود داشت به‌طوری‌که در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار افزایش غلظت نیتروژن از ۵۰ به ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر وزن خشک اندام هوایی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، اما با افزایش غلظت از ۱۰۰ به ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر بین تیمارهای کودی تفاوت معنی‌دار وجود نداشت، همچنین در شوری ۳۰۰ میلی‌مولار نیز افزایش غلظت نیتروژن به ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی کینوا شد (شکل ۳). افزایش وزن خشک اندام هوایی با کاربرد نیتروژن را می‌توان به نقش مثبت نیتروژن در بهبود فتوسنتز و متعاقباً افزایش تولید ماده خشک نسبت داد. همچنین می‌توان افزایش تولید ماده خشک در شرایط شور بر اثر کاربرد نیتروژن را به کاهش جذب کلرور سدیم در گیاه نسبت داد (۲۰).

محتوی پرولین اندام هوایی

محتوی پرولین اندام هوایی کینوا تحت تأثیر اثرات ساده شوری و نیتروژن قرار گرفت. اما برهم‌کنش نیتروژن و شوری بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). با افزایش غلظت نیتروژن محلول غذایی، محتوی پرولین اندام هوایی افزایش یافت (شکل ۴). از آنجایی که پرولین ترکیب آلی است و در ساختمان آن نیتروژن بکار رفته است، بنابراین، مصرف نیتروژن می‌تواند باعث افزایش سنتز پرولین شود. در همین راستا آسترکی و همکاران (۵) نیز بیان کردند با افزایش مصرف نیتروژن در گیاه غلظت پرولین اندام هوایی گلرنگ افزایش یافت. تغذیه گیاه با نیتروژن از منبع آمونیوم و نیترات باعث افزایش سنتز پرولین اسفرزه در سطوح مختلف شوری شد (۱۴). در پژوهش دیگر نیز گزارش شد کاربرد ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره باعث افزایش محتوی

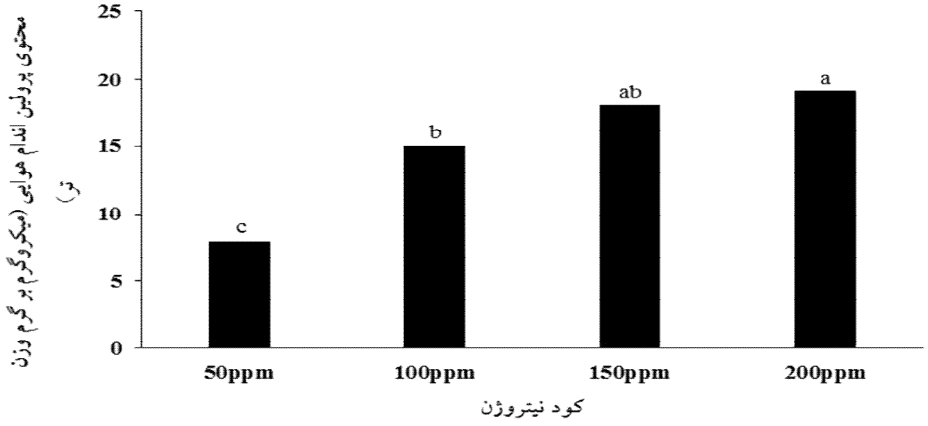


شکل ۳. تغییرات وزن خشک اندام هوایی کینوا تحت تأثیر کود نیتروژن در غلظت‌های مختلف شوری ناشی از کلرید سدیم. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات محتوی پرولین، قندهای محلول و مالون دی آلدئید کینوا تحت تأثیر شوری و غلظت‌های مختلف نیتروژن

منابع تغییر	درجه آزادی	محتوی پرولین	قندهای محلول	مالون دی آلدئید
نیتروژن	۴	۴۵/۷۵*	۱۵/۳۸*	۰/۰۹۳**
شوری	۳	۳۷۸/۸۳**	۷/۵۸*	۰/۴۱۷**
نیتروژن × شوری	۱۲	۲۳/۴۳ns	۰/۸۶ns	۰/۲۹۰**
خطا	۴۰	۱۶/۶۴	۰/۸۵	۰/۰۰۳
ضریب تغییرات (درصد)	–	۲۷/۱۳	۲۴/۲۵	۱۴/۴۱

ns، * و **: به‌ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد



شکل ۴. تغییرات محتوی پرولین اندام هوایی کینوا تحت تأثیر کود نیتروژن. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ اختلاف معنی‌داری ندارند.

پرولین اندام هوایی ختمی شد (۲۲).

نتایج بیانگر تأثیر معنی‌دار شوری بر محتوی پرولین اندام هوایی بود، به‌طوری که با افزایش غلظت شوری به ۵۰۰ میلی‌مولار محتوای پرولین اندام هوایی به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار افزایش یافت (شکل ۵). پرولین از طریق تنظیم اسمزی، ذخیره کربن و انرژی، انتقال انرژی، از بین بردن رادیکال‌های هیدروکسیل، کاهش pH و حفظ پایداری سلول در سازگاری گیاهان به تنش نقش مهمی دارد (۸)، بنابراین در شرایط تنش، افزایش غلظت پرولین در گیاه نوعی واکنش مقاومتی در برابر تنش است. همچنین می‌توان دلیل افزایش پرولین در شرایط شور را به افزایش پتانسیل اسمزی گیاه و راهکاری جهت افزایش جذب آب در شرایط شور دانست (۱۵). در همین راستا گزارش شده است در دو گیاه شورپسند *Salsola soda* و *Portulaca oleracea* در شوری‌های متوسط و بالا غلظت پرولین به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (۱۸). در شرایط شور احتمالاً به‌دلیل افزایش غلظت آبسزیک اسید محتوی پرولین افزایش می‌یابد. این هورمون انباشتگی اسیدهای آمینه به‌ویژه پرولین را افزایش می‌دهد و سازش با شوری را بهبود می‌بخشد و ممکن است یکی از دلایل افزایش محتوی پرولین گیاهان شورپسند باشد (۱۱).

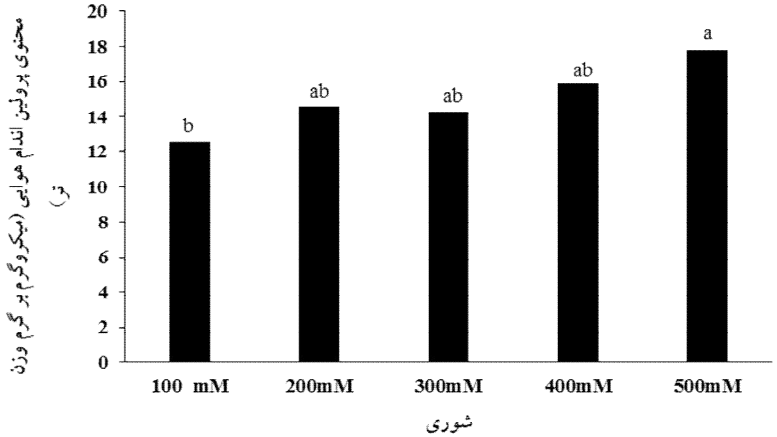
محتوای قندهای محلول

محتوی قندهای محلول اندام هوایی کینوا تحت تأثیر اثرات ساده شوری و نیتروژن قرار گرفت، اما برهم‌کنش نیتروژن و شوری بر این صفت اثر معنی‌دار نداشت (جدول ۳). نتایج بیانگر کاهش معنی‌دار محتوی قندهای محلول تحت تأثیر غلظت‌های مختلف نیتروژن بود، به‌طوری که بیشترین محتوی قند محلول با کاربرد ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نیتروژن حاصل شد و با افزایش غلظت نیتروژن محتوی قندهای محلول در هر سطح نیتروژن نسبت به سطح پایین‌تر به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۶). با توجه به نتایج، ارتباط منفی بین نیتروژن و میزان کربوهیدرات‌های محلول گیاه وجود دارد. علت آن را می‌توان به نقش نیتروژن در تثبیت اسیدهای آمینه نسبت داد. مصرف برخی از متابولیت‌های چرخه کربس در سنتز اسیدهای آمینه باعث هدایت بخشی از منابع فتوسنتزی به این مسیر و کاهش میزان قندهای محلول می‌شود (۳۴). ضمن اینکه احیاء نیتریت و نیترات هم احتیاج به نیروی احیا کننده حاصل از تنفس یا فتوسنتز دارد که اگر از طریق تنفس تأمین شود هیدرات‌های کربن کم می‌شوند و اگر از راه فتوسنتز تأمین شود دی‌اکسید کربن کمتری احیا و به هیدرات کربن تبدیل می‌شود، بنابراین افزایش نیتروژن منجر به کاهش هیدرات‌های کربن می‌شود. هماهنگ با یافته‌های این پژوهش، آسترکی و همکاران (۵) گزارش کردند که افزایش غلظت نیتروژن باعث کاهش محتوی قندهای محلول گلرنگ شد. همچنین در گیاه خرفه نیز افزایش کاربرد نیتروژن به‌طور معنی‌داری باعث کاهش محتوی قندهای محلول شد (۱۲).

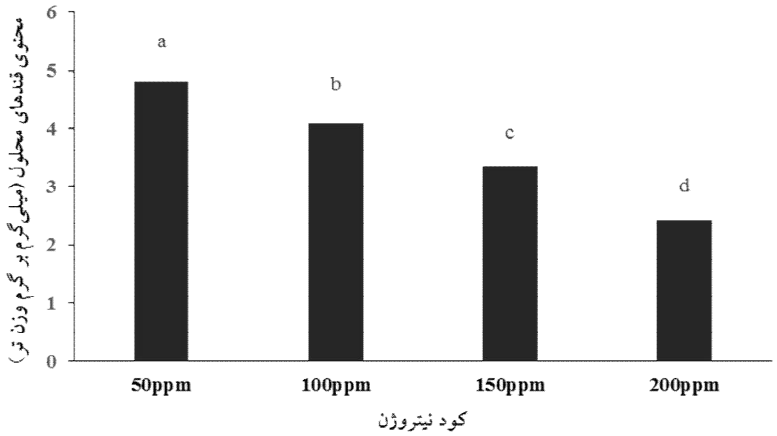
نتایج بیانگر تأثیر معنی‌دار افزایش غلظت شوری بر محتوی قندهای محلول برگ کینوا بود، به‌طوری که با افزایش شوری به ۴۰۰ و ۵۰۰ میلی‌مولار محتوی قندهای محلول به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۷). کربوهیدرات‌ها در غلظت‌های بالای شوری به‌عنوان اسمولیت‌های سازگار نقش بسیار مهمی در افزایش تحمل به شوری دارند. در همین راستا نیز گزارش شده است که یکی از معمول‌ترین واکنش گیاهان در شوری‌های بالا افزایش غلظت قندهای محلول است که به‌منظور تنظیم اسمزی انجام می‌شود. افزایش غلظت قندهای محلول در شوری‌های بالا در گیاهان هالوفیت *Suaeda fruticose* (۲۸) و دو گونه سالیکورنیا (*Salicornia persica* و *S. europaea*) (۱) و گیاه هالوفیت آلوروپوس (۲۳) نیز گزارش شده است.

مالون دی آلدئید

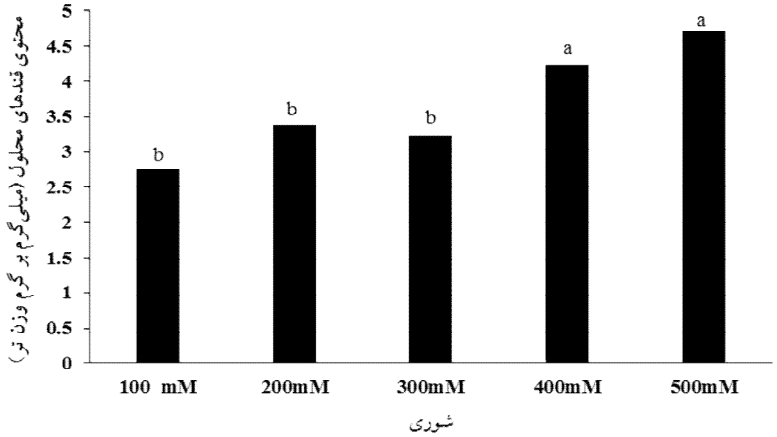
با توجه به نتایج تجزیه واریانس محتوی مالون دی آلدئید تحت تأثیر نیتروژن، شوری و بر هم‌کنش شوری و نیتروژن قرار گرفت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش شوری و نیتروژن نشان داد که در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار با افزایش غلظت نیتروژن به ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر میزان مالون دی آلدئید افزایش یافت که



شکل ۵. تغییرات محتوی پرولین اندام هوایی کینوا تحت تأثیر شوری. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ اختلاف معنی‌داری ندارند.



شکل ۶. تغییرات محتوی قندهای محلول برگ کینوا تحت تأثیر کود نیتروژن. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ اختلاف معنی‌داری ندارند



شکل ۷. تغییرات محتوی قندهای محلول برگ کینوا تحت تأثیر شوری. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ اختلاف معنی‌داری ندارند

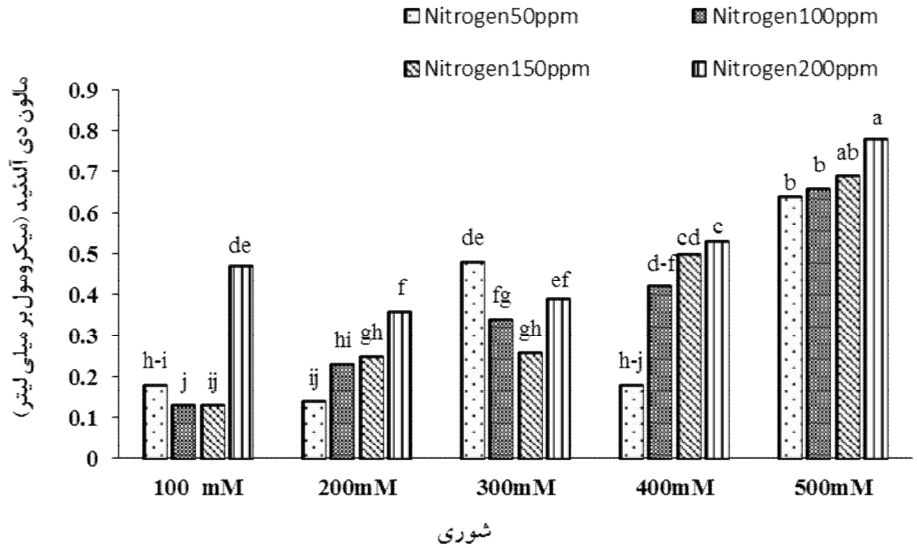
با سایر غلظت‌های نیتروژن تفاوت معنی‌دار داشت. در شوری‌های ۲۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ میلی‌مولار افزایش غلظت نیتروژن از ۱۰۰ به ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر میزان مالون دی آلدئید به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و بین تیمار ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. اما در شوری ۳۰۰ میلی مولار با افزایش غلظت نیتروژن از ۱۵۰ به ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر محتوی مالون دی آلدئید به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۸). به‌طور کلی نتایج نشان داد که در همه سطوح شوری افزایش غلظت نیتروژن به ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش معنی‌دار محتوی مالون دی آلدئید شد. مالون دی آلدئید شاخص مناسبی برای پراکسیداسیون لیپیدهای غشا است، با افزایش شدت شوری تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن افزایش یافته و باعث آسیب به اسیدهای چرب غشا و لیپیدها شده و از طریق تولید رادیکال لیپید پراکسی و هیدرو پراکسی باعث افزایش اکسیداسیون لیپیدها می‌شود (۳). از آنجایی‌که نیتروژن پیش‌ساز اسیدهای آمینه است به‌نظر می‌رسد مصرف کود نیتروژنه در شوری‌های پایین باعث افزایش تولید اسیدهای آمینه به‌ویژه اسیدآمینه پرولین شده و در غلظت‌های پایین و متوسط باعث کاهش خسارت به غشا و کاهش اکسیداسیون لیپیدهای غشایی می‌شود. مقادیر بالای نیتروژن از طریق تأثیر مثبتی که بر غشای سلولی و ترکیبات تشکیل دهنده آن نظیر پروتئین ها و لیپیدها دارد مانع از آسیب به غشای سلولی می‌شود. در همین راستا گزارش شده است که نیتروژن به‌طور معنی‌داری از تجمع پراکسید هیدروژن ممانعت کرده و مانع از پراکسیداسیون لیپیدهای غشا می‌شود (۳۶). اما در غلظت‌های بالای شوری افزایش غلظت کود نیتروژنه باعث افزایش محتوی مالون دی آلدئید شد به نظر می‌رسد در شوری‌های بالا احتمالاً از طریق تأثیر منفی شوری بر جذب عناصر غذایی به خصوص بر جذب نیتروژن (به دلایل متعددی از جمله کاهش میزان تراوایی ریشه، کاهش میزان جذب نیترات در اثر وجود غلظت‌های بالای کلر در محیط ریشه و کاهش فعالیت نیتراتی شدن) از جذب نیتروژن توسط گیاه کاسته شده و از طریق افزایش تولید رادیکال‌های آزاد باعث افزایش میزان پراکسیداسیون لیپیدها و در نتیجه محتوی مالون دی آلدئید می‌شود.

فعالیت آنزیم کاتالاز

فعالیت آنزیم کاتالاز تحت تأثیر شوری و بر هم‌کنش نیتروژن و شوری قرار گرفت (جدول ۴). با توجه به نتایج، در شوری‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار افزایش غلظت نیتروژن به ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم کاتالاز شد، اما در شوری‌های بالا (۴۰۰ و ۵۰۰ میلی‌مولار) با افزایش غلظت نیتروژن به ۲۰۰ پی‌پی‌ام فعالیت آنزیم کاتالاز روند کاهشی داشت و در شوری ۳۰۰ میلی‌مولار بین غلظت‌های مختلف نیتروژن تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۹). کاربرد نیتروژن در شرایط شور باعث بهبود ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و در نتیجه افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان می‌شود (۲). گزارش شده است کاربرد کود نیتروژن از طریق بهبود متابولیسم و رشد گیاه باعث کاهش تولید پراکسید هیدروژن و آسیب به غشا می‌شود (۳۶). افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز پنبه تحت شرایط شور با کاربرد کود نیتروژن گزارش شده است (۳۵)

فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز

با توجه به نتایج تجزیه واریانس فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز تحت تأثیر شوری و برهم‌کنش نیتروژن و شوری قرار گرفت (جدول ۴). نتایج نشان داد در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کاربرد کود نیتروژن باعث کاهش معنی‌دار فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز شد، به‌طوری که بیشترین فعالیت آنزیم با کاربرد ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نیتروژن حاصل شد و با افزایش غلظت نیتروژن از فعالیت آنزیم کاسته شد. در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار کاربرد کود نیتروژن بر فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز تأثیر نداشت. همچنین در شوری‌های ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی‌مولار افزایش غلظت نیتروژن باعث افزایش فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز شد. اما در شوری ۵۰۰ میلی‌مولار افزایش غلظت نیتروژن باعث کاهش فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز شد (شکل ۱۰). به نظر می‌رسد افزایش غلظت نیتروژن در شوری‌های بالا از طریق بهبود متابولیسم گیاه، باعث کاهش اثرات منفی تنش شوری شده است و متعاقباً فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت نیز کاهش یافت.

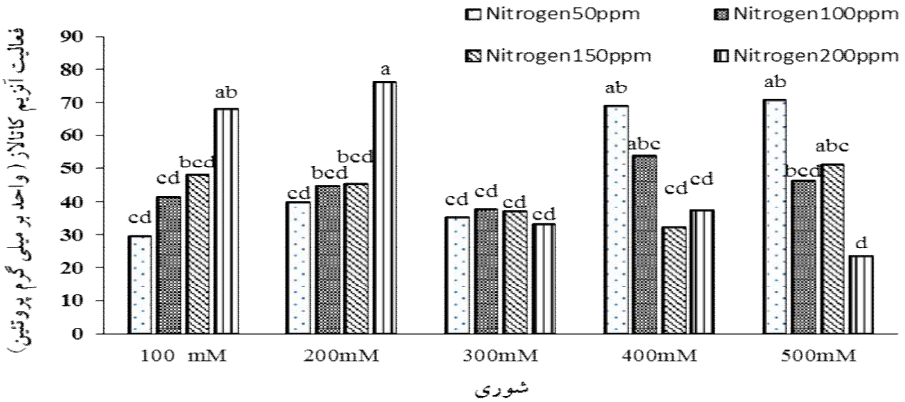


شکل ۸. تغییرات مالون دی آلدئید کینوا تحت تأثیر کود نیتروژن در غلظت‌های مختلف شوری ناشی از کلرید سدیم. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ اختلاف معنی‌داری ندارند.

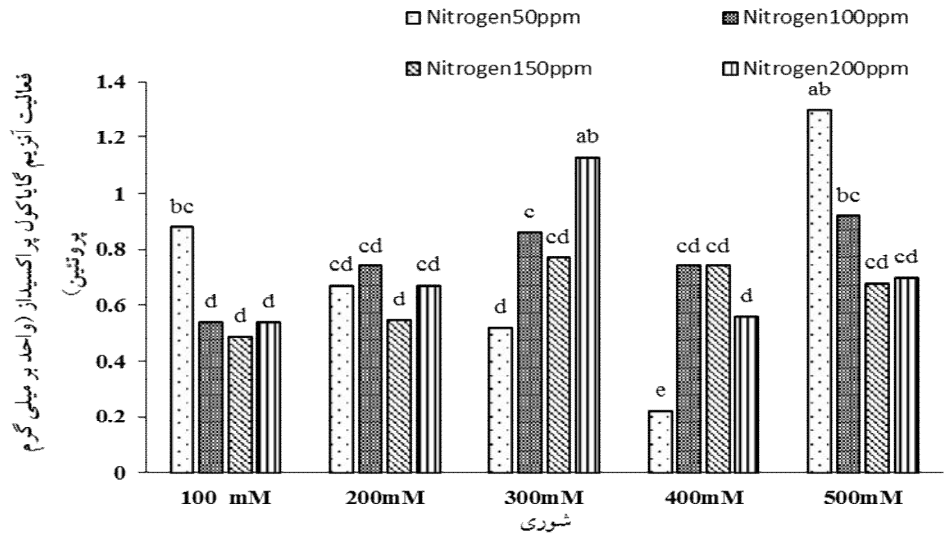
جدول ۴. تجزیه واریانس فعالیت آنزیم کاتالاز، گایاکول پراکسیداز، محتوی پتاسیم و سدیم اندام هوایی کینوا تحت تأثیر شوری و غلظت‌های مختلف نیتروژن

منابع تغییر	درجه آزادی	فعالیت گایاکول پراکسیداز	فعالیت کاتالاز	پتاسیم اندام هوایی	سدیم اندام هوایی
نیتروژن	۳	۰/۰۳۱^{ns}	۱۹۹^{ns}	۱۰/۳۴**	۶/۸۵**
شوری	۴	۰/۲۴۲**	۴۳۹*	۰/۵۷۲*	۰/۴۲۴^{ns}
نیتروژن × شوری	۱۲	۰/۱۷۶**	۷۰۴**	۰/۴۳۵**	۲/۹۵۹**
خطا	۳۷	۰/۰۲۰	۱۳۸	۰/۱۵۹	۰/۱۹۹
ضریب تغییرات(درصد)	–	۲۰/۱۷	۲۶/۰۷	۱۱/۲۸	۱۷/۲۴

ns، * و **: به‌ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد



شکل ۹. تغییرات فعالیت آنزیم کاتالاز برگ کینوا تحت تأثیر کود نیتروژن در غلظت‌های مختلف شوری ناشی از کلرید سدیم. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ اختلاف معنی‌داری ندارند.



شکل ۱۰. تغییرات فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز برگ کینوا تحت تأثیر کود نیتروژن در غلظت‌های مختلف شوری ناشی از کلرید سدیم. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ اختلاف معنی‌داری ندارند.

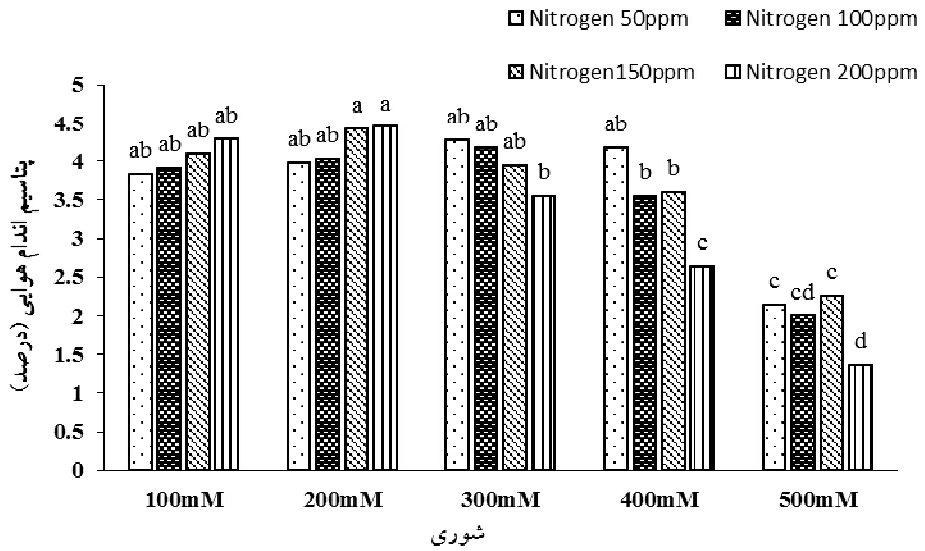
بر خلاف نتایج حاصل از این آزمایش، در تحقیقی گزارش شده است که کاربرد ۳۰ میلی‌گرم نیتروژن تحت شوری ۹ و ۱۸ دسی‌زیمنس باعث افزایش فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز ارزن پادزهری می‌شود (۱۹). همچنین کاربرد نیتروژن تحت شرایط شور باعث افزایش فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز پنبه شد (۳۵).

محتوی پتاسیم اندام هوایی

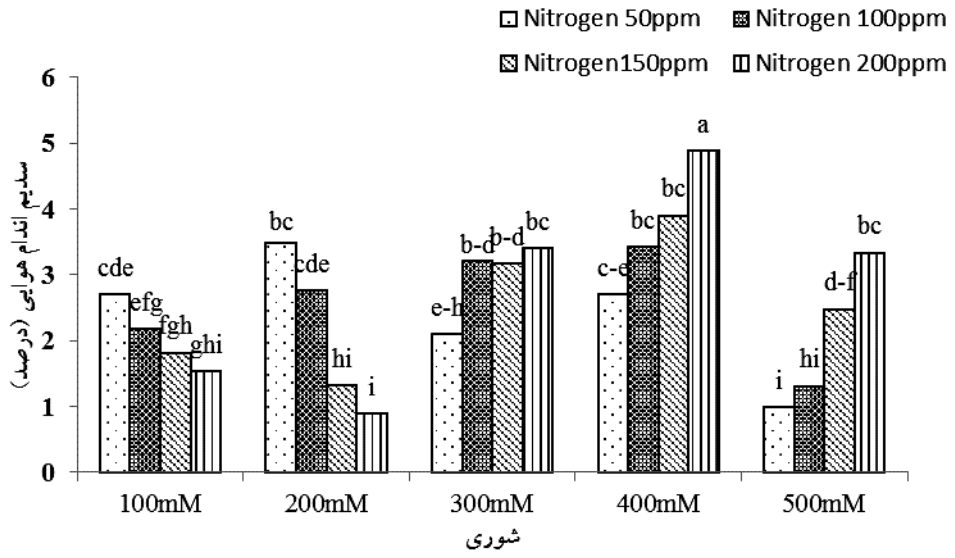
محتوای پتاسیم اندام هوایی تحت تاثیر شوری، نیتروژن و برهم‌کنش شوری و نیتروژن قرار گرفت (جدول ۴). نتایج نشان داد در شوری‌های پایین (۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار) و شوری متوسط (۳۰۰ میلی‌مولار) افزایش سطح نیتروژن بر محتوای پتاسیم اندام هوایی تأثیر نداشت، اما در شوری‌های بالا (۴۰۰ و ۵۰۰ میلی‌مولار) افزایش غلظت نیتروژن به ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌طور معنی‌داری باعث کاهش محتوای پتاسیم اندام هوایی شد (شکل ۱۱). طبق نتایج در شوری‌های بالا افزایش غلظت نیتروژن نتوانست اثرات منفی سدیم بر جذب عناصر معدنی را کاهش دهد. در همین راستا گزارش شده است که در غلظت‌های بالای نمک در محیط ریشه جذب عناصر معدنی به‌دلیل اثرات آنتاگونیست یون‌های نمک (سدیم و کلر) با عناصر معدنی، از جذب عناصر معدنی ممانعت به عمل می‌آید (۴۱).

محتوی سدیم اندام هوایی

محتوای سدیم اندام هوایی تحت تاثیر شوری، نیتروژن و برهم‌کنش شوری و نیتروژن قرار گرفت (جدول ۴). نتایج نشان داد در شوری‌های پایین (۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) افزایش غلظت نیتروژن به ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر باعث کاهش معنی‌دار محتوی سدیم برگ کینوا شد، اما با افزایش شوری به ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ میلی مولار افزایش غلظت نیتروژن به ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش محتوای سدیم اندام هوایی شد (شکل ۱۲). مهم‌ترین اثر شوری افزایش غلظت سدیم در بافت گیاهی است سدیم اضافی می‌تواند منجر به تغییراتی در وضعیت تغذیه‌ای سایر عناصر شود، برای مثال کاهش جذب پتاسیم از نتایج افزایش حضور سدیم است (۴۱). زمانی‌که میزان سدیم افزایش می‌یابد، ممکن است منجر به تغییراتی در فشار اسمزی سلول شود، این عامل موجب پلاسمولیز و کاهش جذب انتخابی سلول‌های ریشه می‌شود. احتمالا افزایش غلظت نیتروژن در محلول غذایی نتوانست اثرات منفی سدیم و کلر بر سلول‌های ریشه جلوگیری کند و باعث افزایش محتوی سدیم اندام هوایی در سطوح شوری بالا شد.



شکل ۱۱. تغییرات محتوای پتاسیم اندام هوایی کینوا تحت تأثیر کود نیتروژن در غلظت‌های مختلف شوری ناشی از کلرید سدیم. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ اختلاف معنی‌داری ندارند.



شکل ۱۲. تغییرات محتوای سدیم برگ کینوا تحت تأثیر کود نیتروژن در غلظت‌های مختلف شوری ناشی از کلرید سدیم. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ اختلاف معنی‌داری ندارند.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که در غلظت‌های بالای نمک، سیستم فتوسنتزی گیاه کینوا قادر به جذب نور بود، بدون اینکه عملکرد کوانتوم گیاه کاهش یابد. از آنجایی که گیاه کینوا گیاه شورپسندی است، بنابراین می‌تواند از طریق تجمع املاح سازگار، نظیر پرولین و قندهای محلول بر اثرات منفی ناشی از تنش شوری غلبه کند. همچنین در شوری‌های بسیار بالا، وجود کلر زیاد در محیط ریشه مانع جذب نیتروژن می‌شود و افزایش میزان کود باعث افزایش پتانسیل

اسمزی می‌شود، بنابراین، جذب آب و عناصر غذایی نیز کاهش یافته و از این طریق باعث افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن شده و باعث آسیب به غشا می‌شود. به‌طور کلی در شرایط بسیار شور افزایش غلظت نیتروژن به ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش تولید مالون دی آلدئید و کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شد که نشان‌دهنده افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن و عدم توانایی جاروب کردن رادیکال‌های آزاد توسط آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان است. در شوری‌های پایین و متوسط افزایش غلظت نیتروژن به ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر از طریق تأثیر مثبت بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و جاروب کردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن باعث کاهش تولید مالون دی آلدئید و همچنین افزایش جذب پتاسیم و کاهش جذب سدیم شد. بنابراین با توجه به نتایج در شوری‌های بالا (۴۰۰ و ۵۰۰ میلی‌مولار) ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و شوری‌های پایین و متوسط ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر نیتروژن در محلول غذایی توصیه می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Aghaleh, M., V. Niknam, H. Ebrahimzadeh and K. Razavi. 2009. Salt stress effects on growth, pigments, proteins and lipid peroxidation in *Salicornia persica* and *S. europaea. Biologia Plantarum* 53(2): 243-248.
2. Ahanger, M. A., C. Qin, N. Begum, Q. Maodong, X. X. Dong, M. El-Esawi, M. A. El-Sheikh, A. A. Alatar and L. Zhang. 2019. Nitrogen availability prevents oxidative effects of salinity on wheat growth and photosynthesis by up-regulating the antioxidants and osmolytes metabolism, and secondary metabolite accumulation. *BMC Plant Biology* 19(1): 1-12.
3. Amirian Mojarrad, M., M. R. Hassandokht, V. Abdossi, S. A. Tabatabaei and K. Larijani. 2018. Evaluation of some morphological and biochemical traits and antioxidant enzymes activity in Iranian native turnips under salinity stress caused by sodium chloride. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 11(1): 149-157. (In Farsi)
4. Ashraf, M. 2009. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. *Biotechnology Advances* 27: 84-93.
5. Astarki, F., H. Lariyazadi, M. Rafiee, and S. Astarki. 2013. Effect of different levels of nitrogen fertilizer on chlorophyll, proline and soluble sugars content leaves in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). In: Proceeding of 2nd National Conference on New Concepts in Agriculture, Save University, Iran. Volume 1, pp 56-61. (In Farsi)
6. Bates, L., R. Waldren and I. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil* 39: 205-207.
7. Chance, B. and A. Maehly. 1955. Assay of catalases and peroxidases. *Methods Enzymology* 2: 764-775.
8. Delaunay, A. J. and D. P. S. Verma. 1993. Proline accumulation and osmoregulation in plants. *Plant Journal* 4: 215-223.
9. Dhindsa, R. S., P. Plumb-Dhindsa and T. A. Thorpe. 1981. Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal of Experimental botany* 32: 93-101.
10. Djanaguiraman, M., J. A. Sheeba, A. K. Shanker, D. D. Devi and U. Bangarusamy. 2006. Rice can acclimate to lethal level of salinity by pretreatment with sublethal level of salinity through osmotic adjustment. *Plant and Soil* 284: 363-373.
11. Flowers, T. J. and T. D. Colmer. 2008. Salinity tolerance in halophytes. *New Phytologist* 179: 945-963.
12. Garshasbi, F., S. Fallah, A. Tadayyon. 2016. Effect of source and rate of nitrogen on photosynthesis pigments, proline, soluble sugar, sodium and potassium in purslane (*portulaca oleracea)* irrigated by saline water. *Iranian Journal of Water Research in Agriculture (Formerly Soil and Water Sciences)* 30 (2): 227-241. (In Farsi)
13. Heath, R. L. and L. Packer. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of biochemistry and biophysics* 125: 189-198.
14. Heydari, M., A. Abdolzade and F. Farzame. 2011. Effect of different levels of salinity and nitrogen sources on growth and chemical contents in Psyllium (*Plantago ovata* F.). *Iranian Journal of Field Crop Science* 42(1): 199-207. (In Farsi)
15. Hinojosa, L., J. Gonzalez, F. Barrios-Masias, F. Fuentes and K. Murphy. 2018. Quinoa abiotic stress responses: A review. *Plants* 7(4): 106-138.
16. Howladar, S. M. 2014. A novel *moringa oleifera l*eaf extract can mitigate the stress effects of salinity and cadmium in Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 100: 69-75.

17. Irigoyen, J. J., D. W. Einerich and M. Sanchez-Diaz. 1992. Water stress induced changes in concentration of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa* L.) plants. *Physiologia plantarum* 84(1): 55-60.
18. Karakaş, S., M. A. Cullu and M. Dikilitaş. 2017. Comparison of two halophyte species (*Salsola soda* and *Portulaca oleracea)* for salt removal potential under different soil salinity conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 41(3): 183-190.
19. Kazemeini, S. A., M. Alinia and A. Shakeri. 2016. Interaction effect of salinity stress and nitrogen on growth and activity of antioxidant enzymes of blue panicgrass (*Panicum antidotale* Retz.). *Environmental Stresses in Crop Sciences* 9(3): 279-289. (In Farsi)
20. Keshavarz, P. 2001. The effect of sources and rate of nitrogen on growth and Cl, Na concentration in wheat. *Soil and Water Science* 15(2): 232-241. (In Farsi)
21. Lüttge, U. 2002. Salinity: Environment – Plants – Molecules. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, Springer.
22. Mardani, H., J. Razmjoo and H. Ghafari. 2019. Interactive effect of salinity and urea fertilizer on some physiological characteristics quality and quantity yield of Marsh Mallow (*Althaea afficinalis)*. *Journal of Plant Process and Function* 8(32): 223-243. (In Farsi)
23. Mehrinfar, F., G. A. Nematzadeh, H. Pirdashti and H. Mobaser. 2014. Effect of salinity on ion content, plant pigments, soluble sugars and starch of halophyte plant (*Aeluropus littoralis)*. *New Find in Agriculture* 8(3): 251-261. (In Farsi).
24. Mirmohammadi Meybodi, A. M., A. R. Amini and J. Khajealdin. 2003. Potential of two Aleuropus species in lowering soil salt levels and reclamation of saline soils. *Journal of Water and Soil Sciences* 7(2): 241-250. (In Farsi).
25. Munns, R. and M. Tester. 2008. Mechanism of salinity tolerance. *Annual Reviews of Plant Biology* 59: 651-681.
26. Pitman, M. G. and A. Läuchli. 2002. Global impact of salinity and drought. *Plant Biology* 59: 651-681.
27. Pouresmaeil, M., M. Ghorbanli and R. Khavarinezhad. 2005. Effect of salinity on germination, fresh and dry mass, ion content, proline, soluble sugar and starch content in *Suaeda fruticosa. Desert* 10(2): 257-266. (In Farsi).
28. Pradia, A. K. and A. B. Das. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. *Ecotoxicology and environmental safety* 60: 324-349.
29. Prado, F. E., C. Boero, M. Gallardo and J. A. Gonzalez. 2000. Effect of NaCl on germination, growth, and soluble sugar content in C*henopodium quinoa* Willd. seeds. *Botanical Bulletin Academic* 41: 27-34.
30. Qiu, N. and C. Lu. 2003. Enhanced tolerance of photosynthesis against high temperature damage in salt-adapted halophyte *Atriplex centralasiatica* plants. *Plant, Cell and Environment* 26(7): 1137-1145.
31. Rabhi, M., A. Castagna, D. Remorini, C. Scattino, A. Smaoui, A. Ranieri and C. Abdelly. 2012. Photosynthetic responses to salinity in two obligate halophytes: *Sesuvium portulacastrum* and *Tecticornia indica*. *South African Journal of Botany* 79: 39-47.
32. Ruffino, A. M. C., M. Rosa, M. Hilal, J. A. González and F. E. Prado. 2010. The role of cotyledon metabolism in the establishment of Quinoa (*Chenopodium quinoa* willd) seedlings growing under salinity. *Plant and Soil* 326: 213-224.
33. Sairam, R. 1994. Effect of moisture-stress on physiological activities of two contrasting wheat genotypes. *Indian Journal of Experimental Biology* 32: 594-596.
34. Samsami, S., F. Bazrafshan, M. Zare, B. Amiri and A. Bahrani. 2020. Interaction between different levels of nitrogen fertilizer and drought stress on photosynthetic pigments and yield in four wheat cultivars. *Journal of Plant Ecology* 12(43): 184-171. (In Farsi).
35. Sikder, R. K., X. Wang, H. Zhang, H. Gui, Q. Dong, D. Jin and M. Song. 2020. Nitrogen enhances salt tolerance by modulating the antioxidant defense system and osmoregulation substance content in *Gossypium hirsutum*. *Plants* 9(4): 450-461.
36. Steduto, P., R. Albrizio, P. Giorio and G. Sorrentino. 2000. Gas-exchange response and stomatal and non-stomatal limitations to carbon assimilation of sunflower under salinity. *Environmental and experimental botany* 44: 243-255.
37. Tanji, K. K. 2002. Salinity in the soil environment. In Salinity: Environment-plants-molecules. Springer, Dordrecht.
38. Wilson, C., J. J. Read and E. Abo-Kassem. 2002. Effect of mixed-salt salinity on growth and ion relations of a quinoa and a wheat variety. *Journal of Plant Nutrition* 25: 2689-2704.
39. Yousefinia, M. and A. R. Ghasemi. 2016. Evaluation of salinity effects on photosynthesis and chlorophyll a fluorescence of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Quarterly Journal of Developmental Biology* 29(1): 35-44. (In Farsi).
40. Yuncai, H. and U. Schmidhalter. 2005. Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 168: 541-549.
41. Zhang, Q. H., K. Sairebieli, M. M. Zhao, X. H. Sun, X. H. Wang, W. Yu and W. H. Guo. 2020. Nutrients have a different impact on the salt tolerance of two coexisting *Suaeda* species in the yellow river delta. *Wetlands* 40(6): 2811-2823.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 11, No. 4, Winter 2022, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Physiological Response of Quinoa to Nitrogen Application under Salinity Conditions

R. Afsharmanesh[1], A. Rahimi[2*], S. R. Sahhafi[3] and M. Salehi[4]

(Received: August 14-2021; Accepted: October 20-2021)

Abstract

Salinity stress is one of the major abiotic stresses which injures plants by limited water absorption and nutrient imbalance and limits crop growth. In order to study the effect of nitrogen fertilizer on physiological traits of quinoa at high salt concentrations, a greenhouse experiment was conducted in a factorial arrangement based on a randomized complete block with three replications in 2019. The first factor included 5 levels of salinity (100 (control), 200, 300, 400, 500 mM) and the second factor comprised of 4 levels of nitrogen fertilizer (50, 100, 150 and 200 ppm). Traits that were measured included quantum yield, photosynthetic efficiency index, shoot dry weight, proline content, soluble sugar content, malondialdehyde content, catalase and peroxidase activity, shoot potassium and sodium content. Results showed that quantum yield, proline content and soluble carbohydrate were affected by salinity and nitrogen concentration. With increasing salinity levels from 100 to 500 mM, quantum yield, proline and soluble carbohydrate content increased, but with increasing nitrogen levels from 50 ppm to 200 ppm soluble carbohydrate and proline content decreased and increased, respectively. Shoot dry weight, malondialdehyde content, catalase and peroxidase activity, shoot sodium and potassium content were affected by the interaction of salinity and nitrogen levels. Results showed that at high levels of salinity and increasing nitrogen levels to 150 and 200 ppm, shoot dry weight and shoot potassium content decreased, also malondialdehyde, catalase, and peroxidase activity and shoot sodium content increased. According to these results, in low (100 and 200 mM) and medium (300 mM) salinity levels application of 200 ppm nitrogen and in high salinity (400 and 500 mM) levels application of 50 ppm nitrogen in nutrient solution of quinoa is reasonable.

Keywords: Antioxidant enzyme, Halophyte, Nitrogen fertilizer, Proline, Salt stress

1, 2 and 3. Ph. D student, Professor and Assistant professor, Respectively, Department of Genetics and Plant Production, Faculty of Agriculture, Vali-E-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran
4. Assistant professor, Iranian National Salinity Research Center of Yazd, Yazd, Iran
*: Corresponding Author, Email: rahimiasg@gmail.com