

تأثیر محلول پاشی پوترسین و نیترات کلسیم بر برخی صفات فیزیولوژی کنجد (*Sesamum indicum* L.) در سطوح مختلف رطوبتی

سمیرا قلی پور، غلامرضا زمانی، مجید جامی الاحمدی

گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۰۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۰۴/۰۴)

چکیده

تنش رطوبتی، از مهم ترین عوامل کاهش دهنده عملکرد محصولات زراعی از جمله گیاهان دانه روغنی در کشورمان است. از این رو این تحقیق با هدف مطالعه تأثیر سطوح مختلف رطوبتی بر محتوای اسیدآمینه متیونین، پرولین، قند محلول و پروتئین برگ کنجد در سال زراعی ۱۳۹۷ به صورت اسپلیت پلات -فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک های کاملاً تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند انجام شد. در این آزمایش سطوح رطوبتی در سه سطح شامل ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی کنجد به عنوان فاکتور اصلی و محلول پاشی نیترات کلسیم در سه سطح صفر، ۵ و ۱۰ میلی مولار و پوترسین در دو سطح (۰/۵ میلی مولار و محلول پاشی با آب) به عنوان فاکتور فرعی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که برهمکنش سطوح رطوبتی، نیترات کلسیم و پوترسین برای اسیدآمینه متیونین، لیزین، پرولین و عملکرد دانه معنی دار بودند بیشترین مقدار اسیدآمینه متیونین ۰/۰۶۰ میلی گرم بر گرم وزن تر در صورت محلول پاشی نیترات کلسیم ۱۰ میلی مولار و با مصرف پوترسین در سطوح رطوبتی ۵۰٪ نیاز آبی به دست آمد. برهمکنش های دوگانه نیترات کلسیم و پوترسین، سطوح رطوبتی و پوترسین و هم چنین سطوح رطوبتی و نیترات کلسیم بر قند محلول و پروتئین برگ معنی دار بود. به طور کلی کاربرد محلول پاشی نیترات کلسیم و پوترسین بهترین تیمار در جهت کاهش تأثیرات سطوح رطوبتی در گیاه کنجد بود که نشان دهنده وجود رابطه هم افزایی بین آنها در کاهش اثرات ناشی از سطوح رطوبتی است.

کلمات کلیدی: پرولین، قند محلول، کنجد، متیونین، محلول پاشی

مقدمه

نزدیک به ۷۵ درصد آن از چربی و پروتئین تشکیل یافته است (شوت، ۱۳۷۴). روغن کنجد از روغن های نیمه خشک و بسیار مرغوب است و به موجب کیفیت عالی روغن دارای بوی مطبوع و مزه خوبی است، به همین دلیل دانه این گیاه را ملکه دانه های روغنی می نامند (Bar, 1982).

تنش خشکی یکی از شدیدترین تنش های غیرزیستی است که فیزیولوژی گیاهان را تحت تأثیر قرار داده و از جمله عوامل

کنجد با نام علمی (*Sesamum indicum* L.) از تیره کنجد (Pedaliaceae) گیاهی یک ساله (Akpan-Iwo et al., 2007) خودگشن به صورت بوته ای رشد می کند و دارای سیستم ریشه ای مستقیم، قوی و گسترده که قادر است در خاک های نفوذپذیر، گرم و مرطوب تا عمق ۲ متری نفوذ نماید (خواجه پور، ۱۳۸۳). بیشترین بخش کاربردی کنجد دانه آن است که

برای ساخت اتیلن نیز همین پیش‌ماده لازم است، بنابراین با افزایش ساخت پلی‌آمین‌ها و افزایش غلظت آن‌ها در گیاه، سنتز اتیلن کاهش یافته و منجر به مقاومت گیاه تحت می‌شود (طلایی و همکاران، ۱۳۹۱). کاربرد پوترسین به‌عنوان یک روش مناسب برای کاهش خسارات ناشی از تنش در نظر گرفته شده است و کاربرد آن در شرایط تنش کم‌آبی در گیاه فلفل شیرین سبب بهبود ویژگی‌های این گیاه گردید (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۶). صفاری و همکاران (۱۳۹۴) گزارش نمودند که محلول‌پاشی پوترسین بر روی گیاه دارویی آویشن در شرایط کمبود آب موجب تجمع پرولین آزاد در برگ‌ها و کاهش اثرات زیان‌بار تنش رطوبتی شد. کاربرد برخی عناصر به‌صورت محلول‌پاشی سبب کم‌کردن اثرات منفی تنش می‌گردد از جمله یون کلسیم که اثرات قابل توجهی در فرآیندهای فیزیولوژیک گیاهان داشته و صفات مورفولوژیک و بیوشیمیایی گیاهانی که تحت تنش قرار گرفته‌اند را بهبود می‌بخشد (Munns and Termaat, 1986). هم‌چنین به‌عنوان پیک ثانویه در گیاهان عمل می‌کند و در انتقال انواع وسیعی از علائم شرکت دارد، بنابراین ممکن است جز مهمی از پاسخ گیاهان به خشکی باشد (بیک‌خور میزی و همکاران، ۱۳۹۸). نتایج پژوهش‌ها نشان داده که کاربرد کلسیم اثرهای سو تنش خشکی بر گیاهان مختلف مثل آفتابگردان (Ibrahim et al., 2016) و کلزا (منشی و همکاران، ۱۳۹۶) را کاهش می‌دهد. هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر محلول‌پاشی ترکیبات حاوی کلسیم و پلی‌آمین‌های آزاد در سطوح مختلف تنش رطوبتی کنگد به‌منظور کاهش مشکلات فیزیولوژیکی و هم‌چنین تغییرات حاصل بر محتوای اسیدآمین متیونین، پرولین، قند محلول و پروتئین برگ در این گیاه و تشخیص جایگاه پوترسین و نیترات کلسیم در کاهش صدمات ناشی تنش رطوبتی است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی بر روی گیاه کنگد انجام شد. آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات

محدودکننده تولید گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است (Liu et al., 2005). گیاهان به‌منظور مقابله با تنش خشکی، پاسخ‌ها و سازش‌های متنوع مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی را در سطوح مختلف نشان می‌دهند (Munns and Tester, 2008). تنش رطوبتی غلظت پروتئین برگ را کاهش می‌دهد که با کاهش آنزیم رویسکو و نقصان فتوسنتز نیز همراه است (سی‌وسه مرده و همکاران، ۱۳۸۳). به نظر می‌رسد که کاهش محتوای پروتئین تحت تنش رطوبتی به‌دلیل واکنش پروتئین با رادیکال‌های آزاد و در نتیجه تغییر اسیدهای آمینه، هم‌چنین افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین و نیز کاهش میزان آنزیم رویسکو (Hanson and Hitz, 1982)، کاهش سنتز پروتئین و تجمع اسیدهای آمینه آزاد از جمله پرولین است که به‌طور هم‌زمان با تنش کم‌آبی در بسیاری از گیاهان اتفاق می‌افتد (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۷۴؛ Ranjan et al., 2001).

در نتیجه واکنش پروتئین با رادیکال‌های آزاد و در نتیجه تغییر اسیدآمینه، افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین، کاهش میزان آنزیم رویسکو (Hanson and Hitz, 1982)، هم‌چنین کاهش سنتز پروتئین و نیز تجمع اسیدهای آمینه آزاد از جمله پرولین که به‌طور هم‌زمان با تنش کم‌آبی در بسیاری از گیاهان روی می‌دهد، همراه باشد (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۷۴؛ Ranjan et al., 2001). گیاهان در شرایط تنش کمبود آب، از طریق تخریب پروتئین‌ها و تجمع برخی اسیدهای آمینه آزاد (Yamada and Fukutoku, 1986) از جمله پرولین و کربوهیدرات‌های محلول در برگ‌های خود قادر به تنظیم اسمزی هستند (Moradshahi et al., 2004). قندهای محلول به‌واسطه حفظ آماس در برگ‌های تحت تنش، از دهیدراسیون پروتئین‌ها و غشاهای سلولی جلوگیری می‌کنند (Crow et al., 1990). متیونین پیش‌ماده سنتز پلی‌آمین‌ها بوده که به‌عنوان تقویت‌کننده سیستم دفاعی عمل کرده و در شرایط تنش تجزیه متیونین موجب افزایش تولید پلی‌آمین‌ها و افزایش مقاومت گیاه در مقابل تنش می‌شود (Pang et al., 2007). برای ساخته شدن پلی‌آمین‌ها، پیش‌ماده s- آدنوزیل متیونین نیاز است که

جدول ۱- تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در عمق ۳۰-۰ سانتی متری خاک

هدایت الکتریکی (dS/m ⁻¹)	pH	درصد ماده آلی %	رطوبت اشباع	کلسیم	پتاسیم	سدیم	منیزیم	یافت
				(Meq/lit)				
۵/۲	۸	۰/۳۸	۲۴/۵	۱۲/۴	۳/۲	۳۴/۳	۴/۴	شنی لومی

تعیین شد. برای محاسبه حجم آبیاری هر کرت ابتدا نیاز ناخالص آبیاری به دست آمد و سپس برای توزیع حجم آب آبیاری بین کرت‌ها و تنظیم دقیق توزیع آب از پمپ و کنتور آب برای اندازه‌گیری حجم دقیق آبیاری استفاده شد.

صفات مورد ارزیابی شامل اسیدآمینه متیونین، لیزین، پرولین، قند محلول، پروتئین برگ و عملکرد دانه بودند. اندازه‌گیری اسیدآمینه لیزین و متیونین با استفاده از روش Feller و همکاران (۱۹۶۹) صورت گرفت، برای اندازه‌گیری میزان لیزین ۰/۵ گرم نمونه برگ را در ۵۰ میلی‌لیتر از هیدروکلریک اسید (۰/۱ نرمال) حل شده و با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. پس از صاف کردن محلول، ۰/۵ میلی‌لیتر از آن را با گلیسرول (۵۰ درصد)، و نیز ۲ میلی‌لیتر از بافر فسفات (pH = ۶) و ۱ میلی‌لیتر نین‌هیدرین اضافه نموده و به مدت ۳۰ دقیقه در آب‌جوش ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و جذب در ۵۷۰ نانومتر خوانده شد.

برای اندازه‌گیری مقدار متیونین ۱۰ میلی‌لیتر از محلول تهیه شده در قسمت بالا را در فلاکس ۵۰ میلی‌لیتری ریخته و به آن ۴ میلی‌لیتر سدیم هیدروکسید (۵ نرمال)، ۲ میلی‌لیتر از محلول گلیسین آبدار و ۲ میلی‌لیتر از محلول سدیم نیتروفری سیانید آبدار (۰/۱) اضافه شد. البته بعد از افزودن هر کدام از مواد فوق، محلول خوب (ورتکس) گردید، محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد در حمام آب گرم قرار گرفت و بعد به مدت ۵ دقیقه در حمام یخ نگهداری شد. سپس به محلول ۵ میلی‌لیتر هیدروکلریک اسید (۱:۱) اضافه کرده و خوب مخلوط شد و بعد از خنک شدن به مدت ۲-۳ دقیقه از صافی عبور داده شد و میزان جذب آن در ۵۱۰ نانومتر خوانده شد. میزان لیزین و متیونین برحسب میکروگرم بر گرم وزن تر محاسبه گردید.

اندازه‌گیری میزان پرولین برگ با استفاده از روش Bates و

فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. در این آزمایش سطوح رطوبتی در سه سطح شامل ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به عنوان فاکتور اصلی و محلول پاشی با نیترات کلسیم در سه سطح صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌مولار و محلول پاشی با پوترسین در دو سطح (صفر و ۰/۵ میلی‌مولار) به عنوان فاکتور فرعی بود. علاوه بر این در هر کرت اصلی یک کرت فرعی به عنوان شاهد بدون تیمار لحاظ شد (شمس، ۱۳۸۸). پوترسین، پودر دانه‌ریز سفید رنگ، ساخت شرکت سیگما آمریکا و نیترات کلسیم جامد بلوره‌ای، ساخت شرکت مرک آمریکا خریداری گردید. نتایج فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

کاشت بذور کنجد با فواصل بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۵ سانتی‌متر و تراکم کاشت ۴۰ بوته در مترمربع در اواسط خرداد انجام شد (بهروز و شیرزادی، ۱۳۸۳)، فاصله بین کرت‌های اصلی (تیمار رطوبتی) سه خط نکاشت (۱/۵ متر) تا از نش رطوبت به کرت مجاور جلوگیری شود و فاصله بین کرت‌های فرعی یک خط نکاشت (۰/۵ متر) در نظر گرفته شد. پس از استقرار کامل بوته‌ها (۲۵ روز بعد از کاشت)، تیمارهای آبیاری براساس ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی کنجد انجام گرفت. مرحله اول محلول پاشی پوترسین و نیترات کلسیم دو روز بعد از اعمال تنش (مرحله نونهالی) و مرحله دوم محلول پاشی ۳۸ روز پس از کاشت در (مرحله گرده‌افشانی) در غلظت‌های مذکور انجام گرفت. همچنین فواصل بین دو محلول پاشی حداقل یک هفته در نظر گرفته شد (Bakry et al., 2012). محلول پاشی با استفاده از سم پاش پستی دستی ۲۰ لیتری بعد از کالیبره کردن با فشار یک اتمسفر انجام گرفت. به منظور کاهش تبخیر و جذب بیشتر، محلول پاشی یک ساعت قبل از غروب آفتاب انجام شد. نیاز آبی گیاه براساس میزان آب مورد نیاز کنجد با نرم‌افزار (CROPWAT) در شرایط بیرجند

مایع رویی جدا و به لوله دیگر منتقل شد و سپس دو بار و در هر بار ۵ میلی‌لیتر اتانول ۷۰٪ به بخش جامد باقی‌مانده اضافه و کاملاً شستشو داده شد. بعد محلول رویی به لوله آزمایش منتقل گردید و در نهایت ۱۵ میلی‌لیتر عصاره به دست آمد. عصاره‌ی حاصل، به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. بعد از جداسازی رو شناور، ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره‌ی الکلی جدا و داخل لوله‌های آزمایش ریخته شد. سپس ۳ میلی‌لیتر آترونی تازه تهیه‌شده به آن اضافه و به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار داده شد. پس از خنک‌شدن نمونه‌ها در محیط آزمایشگاه، میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۶۲۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. برای تهیه استوک استانداردها ابتدا ۰/۰۱ گرم گلوکز در آب مقطر حل گردید و به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد و سپس برای استانداردهای ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ پی‌پی‌ام به ترتیب مقدار صفر، ۱/۵، ۲، ۴، ۶، ۸ میلی‌لیتر از محلول ۱۰۰ پی‌پی‌ام گلوکز برداشته و با آب مقطر به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. سپس با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر، مقدار جذب را مشخص کرده و منحنی استاندارد رسم گردید.

به‌منظور تعیین عملکرد دانه پس از رسیدگی کامل، در هر کرت با صرف‌نظر از دو ردیف کناری به‌عنوان اثر حاشیه‌ای از میان بوته‌های سه ردیف میانی، تعداد ۱۵ بوته به‌طور تصادفی از سطح زمین جدا نموده و برای اندازه‌گیری عملکرد در معرض نور آفتاب خشک شدند و صفات مورد نظر اندازه‌گیری شد. در این آزمایش برای مقایسه شاهد با تیمارهای محلول‌پاشی در سطوح مختلف نیتراک کلسیم و مصرف پوترسین و هم‌چنین محلول‌پاشی با آب، داده‌های آزمایشی یک‌بار هم نیز در قالب طرح اسپلیت پلات با طرح پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی آنالیز شد. تجزیه داده‌ها، محاسبات آماری و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS و Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل کلیه صفات مورد بررسی

همکاران (۱۹۷۳) صورت گرفت. یک گرم بافت برگ‌گی در ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳/۳ درصد سائیده و همگنای حاصل از کاغذ صافی عبور داده شد و با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴ سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید سپس به ۲ میلی‌لیتر از عصاره حاصل، ۲ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین اضافه شد. جهت تهیه معرف نین‌هیدرین، ۱/۲۵ گرم پودر نین‌هیدرین به ۳۰ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال اضافه گردید، و سپس ۲۰ میلی‌لیتر اسید فسفریک ۶ مولار به آن افزوده و بعد ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال خالص به محلول اضافه گردید. لوله‌ها به مدت یک ساعت در حمام آب گرم قرار داده شد و بعد ۴ میلی‌لیتر تولوئن به هر یک از لوله‌ها اضافه و به مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه ورتکس گردید. پس از تشکیل دو فاز جداگانه، فاز بالایی رنگی، با دقت جدا و جذب آن با دستگاه اسپکتروفتومتر با طول‌موج ۵۲۰ نانومتر خوانده و برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر گزارش شد.

برای اندازه‌گیری میزان پروتئین ۰/۵ گرم نمونه تر برگ در هاون چینی کوبیده و سپس به آن ۳ میلی‌لیتر بافر استخراج پروتئین که شامل ۵ میلی‌لیتر تریس-اسید کلریدریک ۱ مولار، ۲۰۰ میکرولیتر Na_2EDTA ۱ مولار و ۰/۰۴ درصد $(v/v) - 2$ مرکاپتو اتانول) بود، اضافه شد. و محلول حاصل با استفاده از سانتریفیوژ (۱۱۵۰۰ دور در دقیقه در دمای 4°C به مدت ۲۱ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس برای خارج کردن تمام ناخالصی‌های موجود در نمونه، محلول رویی داخل لوله مجدداً به مدت ۲۰ دقیقه در ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس ۵۰۰۰ میکرولیتر از محلول برادفورد و ۲۹۰ میکرولیتر بافر استخراج و ۱۰ میکرولیتر عصاره استخراج را مخلوط کرده و بعد از ورتکس، میزان جذب در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد. میزان پروتئین برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد (Bradford, 1976).

برای اندازه‌گیری قندهای محلول برگ به روش Irigoyen و همکاران (۱۹۹۲) انجام شد. به مقدار ۰/۵ گرم از برگ‌های جوان پودر شده را با ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵٪ ساییده و به لوله آزمایش درب‌دار منتقل شده و به مدت ۳۰ ثانیه ورتکس شد.

جدول ۲- میانگین مربعات مربوط به مقایسه اثر محلول پاشی نیترات کلسیم، پوترسین و آب با شاهد

منابع تغییرات	درجه آزادی	لیزین	متیونین	پرولین	قند محلول	پروتئین برگ (میلی گرم بر گرم وزن تر)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
بلوک	۲	۰/۰۱۴ ^{ns}	۷/۱۳۷ ^{ns}	۰/۷۵۵ ^{ns}	۰/۱۵۶ ^{ns}	۱۷/۰۴ ^{ns}	۴۱۳/۳ ^{ns}
سطوح رطوبتی	۲	۲/۹۱۲ ^{**}	۰/۰۰۰۸۸*	۸۸/۳۳۳ ^{**}	۶۶/۴۷۶ ^{**}	۱۱۰۳/۸۸ ^{**}	۱۶۳۴۴ ^{**}
خطای الف	۴	۰/۱۳۹	۰/۰۰۰۱۲	۰/۳۶	۱/۰۷	۹/۱۷	۹۶۸۷/۵
تیمارها	۶	۲/۷۷ ^{**}	۰/۰۰۲۱۴ ^{**}	۷۵/۹۰۳ ^{**}	۱۲۱/۴۷۳ ^{**}	۱۵۱۸/۰۳ ^{**}	۴۸۴۴۷ ^{**}
تیمار × سطوح رطوبتی	۱۲	۰/۳۰۵ ^{**}	۸/۳۸۷ ^{**}	۲/۷۶ ^{**}	۶/۲۸۶ ^{**}	۶۲/۷۳۸ ^{**}	۲۵۹۲۱/۶ ^{**}
خطای ب	۳۶	۰/۰۵۱	۱/۳۰۳	۰/۲۲	۰/۸۱۹	۱۴/۱۲	۲۲۷۹/۱
ضریب تغییرات	-	۱۰/۱	۱۱/۸	۴/۳	۶/۲	۸/۶۱	۴/۴

* و ** به ترتیب نشان دهنده معنی دار بودن در سطح ۵ درصد و ۱ درصد و ns معنی دار نیست.

کلسیم، مصرف پوترسین و محلول پاشی نیترات کلسیم ۵ میلی مولار و مصرف و عدم مصرف پوترسین و نیترات کلسیم ۱۰ میلی مولار بیشترین مقدار این پارامتر را نشان داد (جدول ۴).

اسیدآمین لیزین طی تنش با تبدیل شدن به آرژینین موجب تولید پلی آمین ها شده و به عنوان تقویت کننده سیستم دفاعی عمل می کند و با افزایش تولید پلی آمین ها در شرایط تنش، مقاومت گیاه افزایش می یابد (Pang et al., 2007). هم چنین این اسیدآمین رابطه نزدیکی با سنتز قندهای محلول و پرولین و پیش ماده اصلی متابولیت های مهم مرتبط با تنش از جمله پرولین است (Hare and Cress, 1997). پرولین نیز در سنتز کربوهیدرات های محلول به عنوان منبع کربن و نیتروژن عمل می کند (اعثنی عشری و زکایی خسروشاهی، ۱۳۸۷) به این ترتیب با تجمع این اسمولیت ها تحمل به تنش در گیاهان افزایش پیدا می کند. لیزین در شرایط تنش خشکی شکسته شده و در برخی از برنامه های تکاملی ابتدا به گلوتامات و سپس به سایر متابولیت های مرتبط با تنش تبدیل می شود (Galili et al., 2001). قلی پور و عبادی (۱۳۹۶) در گیاه گندم و ظفری و همکاران (۱۳۹۴) در گیاه یونجه مشاهده کردند که افزایش تنش رطوبتی منجر به کاهش میزان اسیدهای آمینه از جمله لیزین شد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

نشان داد که اثر اصلی تنش و اثر متقابل سایر فاکتورها در تنش در کلیه صفات مورد بررسی در سطح ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۲).

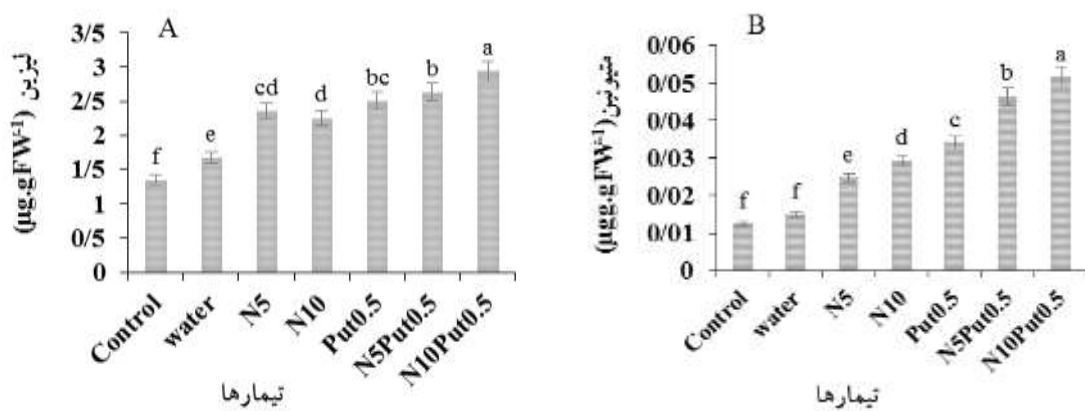
اسیدآمین لیزین: تجزیه واریانس داده های مربوط به اسیدآمین لیزین نشان داد که سطوح رطوبتی، نیترات کلسیم و پوترسین مقدار اسیدآمین لیزین را در سطح احتمال ۱٪ تحت تأثیر قرار دادند. هم چنین در بین اثرات دوگانه اثر متقابل نیترات کلسیم در پوترسین و اثر متقابل سه گانه در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بود (جدول ۳). مقایسه تیمارها با شاهد نشان داد که تمامی تیمارها نسبت به شاهد میزان اسیدآمین لیزین بیشتری بودند. حداکثر مقدار لیزین ۲/۹۴ میکروگرم بر گرم وزن تر محلول پاشی نیترات کلسیم ۱۰ میلی مولار و مصرف پوترسین ۰/۵ میلی مولار و کمترین مقدار آن ۱/۳۵ میکروگرم بر گرم وزن تر بدون محلول پاشی (شاهد) اختصاص یافت. به طوری که کمترین و بیشترین مقدار ۵۴٪ با یکدیگر اختلاف داشتند (شکل ۱a).

مقایسه اثرات سه گانه نشان داد که در سطوح رطوبتی ۵۰ درصد نیاز آبی، مصرف پوترسین و کاربرد نیترات کلسیم ۱۰ میلی مولار نسبت به بقیه تیمارها در همین سطح رطوبتی منجر به افزایش اسیدآمین لیزین شد. هم چنین در سطوح رطوبتی ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی مصرف پوترسین و عدم کاربرد نیترات

جدول ۳- مقادیر میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس داده‌های اسیدآمینه متیونین، لیزین، پرولین، قند محلول و پروتئین برگ

منابع تغییرات	درجه آزادی	لیزین (میکروگرم بر گرم وزن تر)					پروتئین برگ (میلی گرم بر گرم وزن تر)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
		لیزین	متیونین	پرولین	قند محلول	پروتئین برگ		
بلوک	۲	۰/۲۳۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۰۵ ^{ns}	۰/۶۹۸ ^{ns}	۰/۰۴۱۹ ^{ns}	۲۵/۱۵ ^{ns}	۶۰۵/۳۹ ^{ns}	
سطوح رطوبتی (A)	۲	۲/۹۱۵ ^{**}	۰/۰۰۰۰۸۵ [*]	۹۰/۱۹۱ ^{**}	۶۹/۸۲۰ ^{***}	۸۴۵/۲۶ ^{**}	۱۵۴۵۵۳۲/۲ ^{***}	
خطای اصلی	۴	۰/۱۵۸	۰/۰۰۰۱۳۸	۰/۴۰۳	۱/۰۶۹	۱۷/۵۵۳	۹۵۸۳/۵۵	
محلول پاشی نیترات کلسیم (B)	۲	۱/۲۸۷ ^{**}	۰/۰۰۱۲۳ ^{**}	۱۹/۶۶۵ ^{**}	۳۵/۰۳۳ ^{***}	۱۴۱۹/۰۲ ^{***}	۴۸۹۵۵۵/۵ ^{***}	
محلول پاشی پوترسین (C)	۱	۴/۸۹ ^{**}	۰/۰۰۶۸۱ ^{**}	۲۳۶/۶۶ ^{***}	۳۸۵/۹۱۱ ^{***}	۲۱۱۳/۲۶ ^{***}	۸۸۳۹۲۹/۷ ^{***}	
(B) × (A)	۴	۰/۴۴۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۵۳ ^{**}	۰/۵۶۶ ^{ns}	۱۱/۵۹۴ ^{**}	۱۰۰/۸۴۱ ^{***}	۳۷۵۱۰/۶ ^{***}	
(C) × (A)	۲	۰/۱۵۹ ^{ns}	۰/۰۰۰۱۹ ^{**}	۰/۸۴۶ ^{ns}	۴/۹۲۹ [*]	۹۴/۹۸ ^{**}	۳۴۷۸۱/۲ ^{***}	
(C) × (B)	۲	۰/۳۶۳ ^{**}	۰/۰۰۰۰۱۴ ^{ns}	۶/۷۵۹ ^{**}	۴۴/۲۸۷ ^{**}	۶۲/۷۹ [*]	۸۲۹۱/۵ [*]	
(C) × (B) × (A)	۴	۰/۵۸۳ ^{**}	۰/۰۰۰۰۸۲ ^{**}	۴/۶۲۲ ^{**}	۲/۱۶۴ ^{ns}	۱۷/۳۸۲ ^{ns}	۱۰۳۴۹/۸ ^{**}	
خطای فرعی	۳۰	۰/۰۵۶	۰/۰۰۰۰۱۱	۰/۲۶۳	۰/۹۴۲	۱۲/۲۱۵	۲۴۹۳/۹	
ضریب تغییرات	-	۹	۱۲/۱	۴/۴	۶/۳۵	۷/۷	۴/۴	

، **، * و * به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۵ درصد، ۱ درصد، ۰/۰۱ درصد و ns معنی‌دار نیست.



شکل ۱- اثر تیمارهای اعمال‌شده بر میزان اسیدآمینه لیزین (A) اسیدآمینه متیونین (B). ستون‌های دارای حروف مشابه از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد (LSD) معنی‌دار نیست.

Control = بدون محلول پاشی، N = $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ، N₅ = نیترات کلسیم ۵ میلی مولار، N₁₀ = نیترات کلسیم ۱۰ میلی مولار، Put_{0.5} = پوترسین ۰/۵ میلی مولار، N₅ Put_{0.5} = نیترات کلسیم ۵ میلی مولار و پوترسین ۰/۵ میلی مولار، N₁₀ Put_{0.5} = نیترات کلسیم ۱۰ میلی مولار و پوترسین ۰/۵ میلی مولار

مقابل سطوح رطوبتی در نیترات کلسیم، سطوح رطوبتی در پوترسین و همچنین اثر متقابل سه‌گانه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه تیمارها با شاهد نشان داد که در تمامی تیمارها بجز محلول پاشی با آب نسبت به شاهد میزان

اسیدآمینه متیونین: تجزیه واریانس داده‌های مربوط به متیونین نشان داد که سطوح رطوبتی در سطح احتمال ۵٪، نیترات کلسیم و نیز پوترسین در سطح احتمال ۱٪ میزان متیونین را تحت تأثیر قرار دادند. در بین اثرات دوگانه اثر

جدول ۴- مقادیر میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس داده‌های اسیدآزمینه متیونین، لیزین، پرولین و عملکرد دانه

عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	پرولین	متیونین (میکروگرم بر گرم وزن تر)	لیزین	پوترسین (میلی مولار)	نیترات کلسیم (میلی مولار)	سطوح رطوبتی (درصد)
۶۳۳/۶ ^{i(e)}	۸/۸ ^{i(d)}	۰/۰۱ ^{j(d)}	۱/۲۶ ^{j(c)}	عدم مصرف	.	
۷۶۸/۷ ^{gh(cd)}	۱۵/۵ ^{b(a)}	۰/۰۳۷ ^{cd(b)}	۲/۱۸ ^{e-g (ab)}	مصرف		
۶۸۷/۱ ^{hi(de)}	۱۱/۲ ^{fg(c)}	۰/۰۲۳ ^{gh(c)}	۲/۳۸ ^{d-f(b)}	عدم مصرف	۵	۵۰
۸۹۰/۳ ^{f(ab)}	۱۵/۵ ^{b(a)}	۰/۰۶۱ ^{a(a)}	۲/۳۲ ^{def(b)}	مصرف		
۷۹۸/۰ ^{g(bc)}	۱۳/۲ ^{e(b)}	۰/۰۳۳ ^{cde(b)}	۱/۳۱ ^{ij(c)}	عدم مصرف	۱۰	
۹۵۸/۶ ^{f(a)}	۱۵/۰۴ ^{bc(a)}	۰/۰۶۰ ^{a(a)}	۲/۹۱ ^{bc(a)}	مصرف		
۹۳۳/۸ ^{f(e)}	۸/۰۵ ^{ij(d)}	۰/۰۱۲۸ ^{ij(e)}	۱/۶۸ ^{hi(eb)}	عدم مصرف	.	
۱۲۸۱/۱ ^{d(c)}	۱۴/۳ ^{cd(b)}	۰/۰۳۸ ^{c(bc)}	۲/۳۸ ^{def(a)}	مصرف		
۱۱۴۹/۷ ^{e(d)}	۱۱/۴ ^{fg(c)}	۰/۰۲۶ ^{fg(d)}	۱/۸۵ ^{gh(b)}	عدم مصرف	۵	۷۵
۱۳۹۱/۹ ^{c(b)}	۱۳/۷ ^{de(b)}	۰/۰۴۷ ^{b(b)}	۲/۶۳ ^{cd(a)}	مصرف		
۱۳۵۳/۶ ^{cd(bc)}	۱۱/۳ ^{fg(c)}	۰/۰۳۱ ^{de(cd)}	۲/۵۶ ^{cde(a)}	عدم مصرف	۱۰	
۱۵۴۱/۸ ^{b(a)}	۱۶/۵ ^{a(a)}	۰/۰۵۶ ^{a(a)}	۲/۵۶ ^{cde(a)}	مصرف		
۹۲۴/۶ ^{f(d)}	۶/۳ ^{k(d)}	۰/۰۱۷ ^{i(e)}	۲/۰۸ ^{fg(b)}	عدم مصرف	.	
۱۱۸۱ ^{e(c)}	۱۰/۰۹ ^{h(b)}	۰/۰۳۰ ^{ef(bc)}	۲/۹۶ ^{ab(a)}	مصرف		
۱۱۴۳/۶ ^{e(c)}	۷/۶ ^{j(c)}	۰/۰۱۸ ^{hi(d)}	۲/۸۱ ^{bc(b)}	عدم مصرف	۵	۱۰۰
۱۶۰۶/۵ ^{ab(a)}	۱۰/۷ ^{gh(b)}	۰/۰۳۲ ^{de(ab)}	۲/۹۶ ^{ab(a)}	مصرف		
۱۳۶۷ ^{c(b)}	۷/۶ ^{j(c)}	۰/۰۲۵ ^{fg(c)}	۲/۸۹ ^{bc(a)}	عدم مصرف	۱۰	
۱۶۷۳/۹ ^{a(a)}	۱۱/۹ ^{f(a)}	۰/۰۳۷ ^{cd(a)}	۳/۳۴ ^{a(a)}	مصرف		

ستون‌هایی با اختلاف حروف مشابه از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد (LSD) معنی‌دار نیستند. حروف بیرون پرانتز مقایسه میانگین اثرات متقابل کلی و حروف داخل پرانتز مقایسه میانگین به روش برش‌دهی را نشان می‌دهد.

پوترسین (جدول ۴) نشان داد که بیشترین میزان اسیدآزمینه متیونین ۰/۰۶ میکروگرم بر گرم وزن تر در سطوح رطوبتی ۵۰٪ نیاز آبی و با محلول پاشی نیترات کلسیم ۱۰ میلی مولار و با مصرف پوترسین به‌دست آمد. کمترین میزان متیونین ۰/۰۱ میکروگرم بر گرم وزن تر در سطوح رطوبتی ۵۰٪ نیاز آبی در شرایط محلول پاشی با آب به‌دست آمد. به‌طوری‌که کمترین و بیشترین مقدار ۸۲/۷٪ با یکدیگر اختلاف داشتند. طبق نتایج جدول ۴ در سطوح رطوبتی ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی با محلول پاشی نیترات کلسیم ۱۰ میلی مولار و با مصرف پوترسین ۰/۵ میلی مولار و در سطوح رطوبتی ۱۰۰٪ نیاز آبی و با محلول پاشی نیترات کلسیم ۵ میلی مولار و با مصرف پوترسین

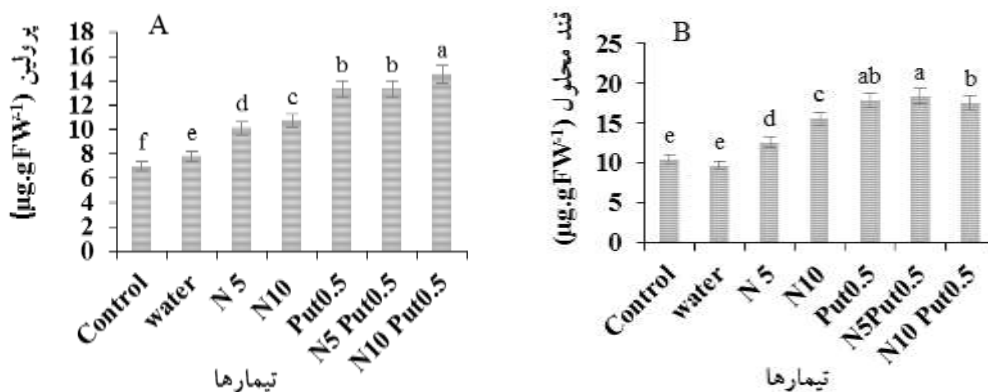
متیونین بیشتر بود (شکل ۱b). حداکثر متیونین ۰/۰۶۰ میکروگرم بر گرم وزن تر در محلول پاشی نیترات کلسیم ۱۰ و پوترسین ۰/۵ میلی مولار و حداقل میزان متیونین ۰/۰۰۸۳ میکروگرم بر گرم وزن تر در بدون محلول پاشی مشاهده شد. کاهش میزان اسیدآزمینه متیونین در شرایط بدون محلول پاشی احتمالاً می‌تواند به دلیل نقش متیونین در متابولیت اساسی سلول‌های گیاهی به‌عنوان جز اصلی پروتئین نسبت داد از طرفی سوپراکسیدها قادر هستند، اسیدآزمینه‌های متیونین، هیستدین و تریپتوفان را اکسید نموده و از این طریق موجب کاهش مقدار آن‌ها در اثر تنش رطوبتی شوند. مقایسه میانگین برهمکنش تنش رطوبتی، محلول پاشی نیترات کلسیم و

۰/۵ میلی مولار بیشترین اسیدآمین متیونین را به همراه داشت. افزایش سطوح رطوبتی موجب افزایش میزان متیونین گردید که این روند برخلاف الگوی تجمع لیزین بود (جدول ۴). به عبارت دیگر می توان اظهار داشت که تحت تنش رطوبتی گیاه کنجد، مواد محلول پاشی شده را در فرآیند تولید بیشتر متیونین بکار برده است. متیونین تولید شده نیز از طریق تبدیل شدن به پلی آمین ها باعث افزایش توانایی دفاعی گیاه در برابر کمبود آب می گردد (Martin-Tanguy, 2001). طبق نتایج به دست آمده در هر سه سطح تنش رطوبتی محلول پاشی نیترات کلسیم و با مصرف پوترسین منجر به افزایش اسیدآمین متیونین گردید. اسیدآمین متیونین پیش ماده ساخت اتیلن است. متیونین تحت تأثیر آنزیم S- آدنوزیل متیونین سنتاز (AdoMet synthetase (S-AMs)) تبدیل به S- آدنوزیل متیونین (AdoMet (SAM)) و این ماده تحت تأثیر آنزیم ACC سنتاز (ACC- synthase) به ۱- آمینوسیکلو پروپان ۱- کربوکسیلیک اسید (ACC) تبدیل می شود که به عنوان یک ترکیب حد واسط عمل کرده و در مسیر بیوسنتز اتیلن به عنوان آخرین پیش ماده محسوب می شود (Wang et al., 2002). کلسیم در سنتز اتیلن در گیاه نقش بازدارنده ایفا می کند که دلیل آن نقش کلسیم در تعادل غشای سلولی است. در واقع کلسیم تبدیل پیش ماده ACC به اتیلن را به وسیله آنزیم های محدودکننده غیراختصاصی در غشای سلول کاهش می دهد (مطلبی فرد و همکاران، ۱۳۸۲)؛ و از تبدیل متیونین به اتیلن جلوگیری کرده و از این طریق میزان متیونین برگ افزایش می یابد. از سوی دیگر نشان داده شده است که برای ساخته شدن پلی آمین ها پیش ماده S- آدنوزیل متیونین مورد نیاز است که پیش ماده ساخت اتیلن نیز است؛ بنابراین با افزایش ساخت و یا غلظت پلی آمین ها در گیاه، ساخت و غلظت اتیلن کاهش می یابد (Khezri et al., 2010) هم چنین S- آدنوزیل متیونین به جای مسیر تولیدی اتیلن منجر به ساخت اسپرمین و اسپرمیدین شده و منجر به مقاومت گیاه در برابر تنش می شود.

پرولین: تجزیه واریانس داده های مربوط به پرولین نشان داد که سطوح رطوبتی، نیترات کلسیم و پوترسین میزان پرولین

را در سطح ۱٪ تحت تأثیر قرار دادند. هم چنین در بین اثرات دوگانه اثر متقابل نیترات کلسیم در پوترسین و اثر متقابل سه گانه در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بود (جدول ۳). مقایسه تیمارها با شاهد نشان داد که تمامی تیمارها نسبت به شاهد میزان پرولین بیشتری داشتند. حداکثر مقدار پرولین ۱۴/۵ میکروگرم بر گرم وزن تر در محلول پاشی نیترات کلسیم ۱۰ میلی مولار و مصرف پوترسین و کمترین مقدار آن ۶/۹ میکروگرم بر گرم وزن تر بدون محلول پاشی (شاهد) مشاهده شد. به طوری که کمترین و بیشترین مقدار ۵۱/۸٪ با یکدیگر اختلاف داشتند (شکل ۲ا). مقایسه اثرات سه گانه نشان داد که در هر سه سطوح رطوبتی، محلول پاشی نیترات کلسیم ۱۰ میلی مولار و مصرف پوترسین منجر به افزایش پرولین گردید و علاوه بر آن در سطح رطوبتی ۵۰٪ نیاز آبی عدم مصرف نیترات کلسیم و نیز مصرف پوترسین ۰/۵ میلی مولار بیشترین مقدار این صفت را به خود اختصاص دادند (جدول ۴).

طبق نتایج به دست آمده در هر سه سطح تنش رطوبتی محلول پاشی نیترات کلسیم و نیز مصرف پوترسین منجر به افزایش اسیدآمین پرولین گردید؛ به نظر می رسد که تجمع پرولین آزاد یک پاسخ متداول به تنش در گیاهان عالی باشد (قلی نژاد و همکاران، ۱۳۹۳). البته اسیدآمین های دیگری نیز تحت تنش های خشکی و شوری انباشته می شوند، اما درجه تغییرات آن ها با تجمع پرولین که ظرف مدت کوتاهی پس از اعمال تنش به سطوح خیلی بالا می رسد قابل مقایسه نمی باشد (Gzik, 1996). نتایج فلاح (۱۳۹۸) نشان داد که محتوای پرولین در گیاهانی که در معرض تنش خشکی قرار گرفتند به شدت افزایش یافت. افزایش پرولین در اثر تنش خشکی در محصولات زراعی از جمله کلزا (Sakr and Arafa, 2009) و برنج (Do et al., 2013) گزارش شده است. پلی آمین ها با مکانیسم های متعددی موجب افزایش غلظت پرولین در گیاهان می گردند (Pang et al., 2014). کاتابولیسم پلی آمین ها تحت تنش به میزان زیادی با تجمع پرولین در ارتباط است (Bouchereau et al., 1999). محلول پاشی پوترسین باعث می شود نیاز گیاه به پلی آمین های درونی کاهش پیدا کرده و



شکل ۲- اثر تیمارهای اعمال شده بر میزان پروتئین (A) قند محلول (B). ستون‌های دارای حروف مشابه از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد (LSD) معنی دار نیست.

Control = بدون محلول پاشی، N = $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, P = Putrescine = پوترسین ۰/۵ میلی مولار، N5 Put0.5 = نیترات کلسیم ۵ میلی مولار و پوترسین ۰/۵ میلی مولار، N10 Put0.5 = نیترات کلسیم ۱۰ میلی مولار، N5 = نیترات کلسیم ۵ میلی مولار، N10 = نیترات کلسیم ۱۰ میلی مولار، Water = محلول پاشی با آب، N5 = نیترات کلسیم ۵ میلی مولار، N10 = نیترات کلسیم ۱۰ میلی مولار، Put0.5 = پوترسین ۰/۵ میلی مولار، N5 Put0.5 = نیترات کلسیم ۵ میلی مولار و پوترسین ۰/۵ میلی مولار، N10 Put0.5 = نیترات کلسیم ۱۰ میلی مولار و پوترسین ۰/۵ میلی مولار

گرم وزن تر مصرف پوترسین و کاربرد نیترات کلسیم ۵ میلی مولار، مصرف پوترسین و عدم کاربرد نیترات کلسیم، مصرف پوترسین و کاربرد نیترات کلسیم ۱۰ میلی مولار به دست آمد. کمترین مقدار قند محلول ۹/۶۹ میکروگرم بر گرم وزن تر عدم محلول پاشی پوترسین و نیترات کلسیم به دست آمد که نسبت به کمترین مقدار ۹۰/۲۲ درصد افزایش نشان داد (جدول ۵).

هم چنین نتایج نشان داد نیترات کلسیم و پوترسین دارای تأثیرات متفاوت است که می توان علت آن را به مناسب بودن زمان محلول پاشی و بالارفتن کارایی گیاه در استفاده از کلسیم و پلی آمین نسبت داد. برهمکنش سطوح رطوبتی و پوترسین (جدول ۶) نشان داد که بیشترین مقدار قند محلول به ترتیب ۱۹/۲۹، ۱۹ میکروگرم بر گرم وزن تر در سطوح رطوبتی ۷۵٪ و ۵۰٪ نیاز آبی با مصرف پوترسین به دست آمد. کمترین قند محلول ۱۰/۲۳ میکروگرم بر گرم وزن تر در سطوح رطوبتی ۱۰۰٪ نیاز آبی و بدون مصرف پوترسین مشاهده شد، به طوری که که نسبت به کمترین مقدار ۸۳/۲۸ درصد افزایش نشان داد. به این صورت که در هر سه سطح تنش رطوبتی، مصرف پوترسین باعث شد که بیشترین مقدار قند محلول به دست آید.

در نتیجه ی کاتابولیسم پلی آمین های درونی، میزان پروتئین گیاه افزایش پیدا کند (Farooq et al., 2009). هم چنین فتحی و همکاران (۱۳۹۶) گزارش کردند که استفاده از تیمارهای کلسیمی در شرایط تنش توانست میزان فعالیت پروتئین را در برگ کتجد به طور معنی داری افزایش دهد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

قند محلول: تجزیه واریانس داده های مربوط به قند محلول نشان داد که اثر سطوح رطوبتی، نیترات کلسیم و پوترسین و هم چنین اثرات دوگانه نیترات کلسیم در پوترسین و سطوح رطوبتی در نیترات کلسیم اثر بسیار معنی داری بر روی میزان قند محلول دارا بودند اما اثرات سه گانه سطوح رطوبتی در نیترات کلسیم در پوترسین معنی دار نگردید (جدول ۳). مقایسه تیمارها با شاهد نشان داد که تمامی تیمارها به استثنا محلول پاشی با آب نسبت به شاهد میزان قند محلول بیشتری بودند. حداکثر مقدار قند محلول ۲۰/۸۶ میکروگرم بر گرم وزن تر و کمترین مقدار آن به ترتیب ۹/۶۹، ۱۰/۳۹ میکروگرم بر گرم وزن تر محلول پاشی با آب و بدون محلول پاشی (شاهد) بود (شکل ۲b). مقایسه میانگین برهمکنش نیترات کلسیم و پوترسین (جدول ۵) نشان داد که بیشترین مقدار قندهای محلول به ترتیب ۱۸/۴۴۲، ۱۷/۸۷۵ و ۱۷/۵۳۶ میکروگرم بر

جدول ۵- مقایسه میانگین برهمکنش نیترات کلسیم و پوترسین برای قند محلول و پروتئین برگ

پوترسین (میلی مولار)	نیترات کلسیم (درصد)	قند محلول (میکروگرم بر گرم وزن تر)	پروتئین برگ (میلی گرم بر گرم وزن تر)
عدم مصرف	۰	۹/۶۹۴ ^d	۲۹/۶۴۷ ^f
مصرف		۱۷/۸۷۵ ^a	۴۵/۰۷۲ ^d
عدم مصرف	۵	۱۲/۵۵۸ ^c	۴۱/۴۹۲ ^e
مصرف		۱۸/۴۴۲ ^a	۵۵/۳۰۲ ^b
عدم مصرف	۱۰	۱۵/۵۶۰ ^b	۵۰/۷۷۵ ^c
مصرف		۱۷/۵۳۶ ^a	۵۹/۰۷۵ ^a

اختلاف ستون‌هایی که دارای حروف مشابه هستند از لحاظ آماری در سطح حداقل ۵ درصد (LSD) معنی دار نیست.

جدول ۶- مقایسه میانگین برهمکنش تنش رطوبتی و پوترسین برای قند محلول و پروتئین برگ

پوترسین (میلی مولار)	سطوح رطوبتی (درصد)	قند محلول (میکروگرم بر گرم وزن تر)	پروتئین برگ (میلی گرم بر گرم وزن تر)
عدم مصرف	۵۰	۱۴/۵۰ ^c	۳۱/۴۸ ^d
مصرف		۱۹/۰۰۶ ^a	۴۷/۴۰۰ ^c
عدم مصرف	۷۵	۱۲/۷۷ ^d	۴۴/۶۶ ^c
مصرف		۱۹/۲۹ ^a	۵۱/۹۵ ^b
عدم مصرف	۱۰۰	۱۰/۲۳ ^e	۴۵/۷۵ ^c
مصرف		۱۵/۵۵ ^b	۶۰/۰۹۹ ^a

اختلاف ستون‌هایی که دارای حروف مشابه هستند از لحاظ آماری در سطح حداقل ۵ درصد (LSD) معنی دار نیست.

نسبت به کمترین مقدار ۵۶/۵۴ درصد افزایش نشان داد. بدین صورت در هر سه سطوح رطوبتی با محلول‌پاشی نیترات کلسیم بیشترین مقدار قند محلول به دست آمد. براساس نتایج به دست آمده در این پژوهش در سطوح رطوبتی ملایم و شدید بیشترین میزان تجمع قند محلول مشاهده شد. در تحقیقات مختلف مشخص شده که با افزایش شدت تنش خشکی و کاهش میزان آب خاک کربوهیدرات‌های محلول سلول افزایش می‌یابد. افزایش کربوهیدرات‌های محلول تحت تنش خشکی در لوبیا (بروجرد نیا و همکاران، ۱۳۹۵) و نخود (سی‌وسه مرده و همکاران، ۱۳۹۳) گزارش شده است. به نظر می‌رسد محلول‌پاشی پوترسین موجب بیوستتزی و افزایش میزان پرولین و نهایتاً افزایش سطح کربوهیدرات‌های محلول در گیاه شده

نتایج به دست آمده از (جدول ۶) نشان داد که مقدار قند محلول در تیمار استفاده پوترسین در شرایط سطوح رطوبتی ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی افزایش یافت. کاربرد برگی پوترسین باعث افزایش غلظت کربوهیدرات‌های محلول در برگ‌های کنگد شد و مقاومت به خشکی را افزایش داد. مقایسه میانگین برهمکنش سطوح رطوبتی و نیترات کلسیم (جدول ۷) نشان می‌دهد که بیشترین مقدار قند محلول به ترتیب ۱۸/۷۲، ۱۸/۳۱ در صورت محلول‌پاشی نیترات کلسیم ۵ و ۱۰ میلی‌مولار در سطوح رطوبتی ۵۰ و ۷۵٪ نیاز آبی به دست آمد. کمترین مقدار قند محلول به ترتیب ۱۲/۶۲، ۱۱/۹۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در شرایط عدم محلول‌پاشی نیترات کلسیم و نیترات کلسیم ۵ میلی‌مولار در سطوح رطوبتی ۱۰۰٪ نیاز آبی به دست آمد که

جدول ۷- مقایسه میانگین برهمکنش تنش رطوبتی و نیترات کلسیم برای قند محلول و پروتئین برگ

سطح رطوبتی (درصد)	نیترات کلسیم (میلی مولار)	قند محلول (میکروگرم بر گرم وزن تر)	پروتئین برگ (میلی گرم بر گرم وزن تر)
	۰	۱۴/۷۴۵ ^c	۲۷/۶۹ ^e
۵۰	۵	۱۸/۷۲۷ ^a	۳۸/۴۰ ^d
	۱۰	۱۶/۷۹ ^b	۵۲/۲۲ ^b
	۰	۱۴/۶۴۶ ^c	۳۹/۵۰ ^d
۷۵	۵	۱۵/۱۵۴ ^c	۵۳/۲۶ ^b
	۱۰	۱۸/۳۱ ^a	۵۲/۱۵ ^b
	۰	۱۱/۹۶۳ ^d	۴۴/۸۷ ^c
۱۰۰	۵	۱۲/۶۲۰ ^d	۵۳/۵۲ ^b
	۱۰	۱۴/۵۴۲ ^c	۶۰/۳۹ ^a

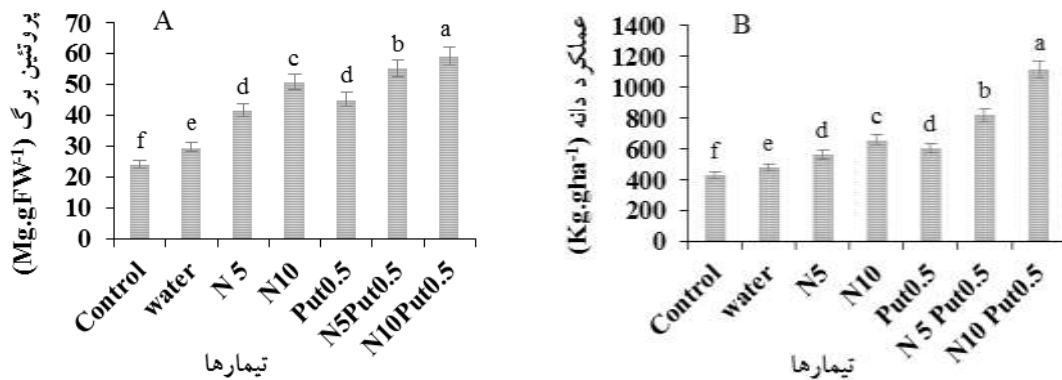
اختلاف ستون‌هایی که دارای حروف مشابه هستند از لحاظ آماری در سطح حداقل ۵ درصد (LSD) معنی‌دار نیست.

ساختار پروتئین‌ها و اسیدآمینها شد و فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین نیز افزایش یافت، هم‌چنین کاهش مقدار سنتز پروتئین منجر به تجمع اسیدآمین‌های آزاد از جمله پرولین شد. مقایسه میانگین برهمکنش نیترات کلسیم و پوترسین (جدول ۵) نشان داد که محلول پاشی نیترات کلسیم ۱۰ و مصرف پوترسین ۰/۵ میلی مولار باعث شد بیشترین میزان پروتئین ۵۹/۰۷ میلی گرم بر گرم وزن تر به دست آید. کمترین مقدار پروتئین ۲۹/۶۴ میلی گرم بر گرم وزن تر محلول پاشی با آب به دست آمد که نسبت به کمترین مقدار، ۹۹/۲۶ درصد افزایش نشان داد؛ بنابراین با محلول پاشی نیترات کلسیم و مصرف پوترسین بیشترین مقدار پروتئین حاصل شد. در صورت محلول پاشی با آب و عدم مصرف پوترسین کمترین مقدار پروتئین مشاهده شد. براساس نتایج آزمایش، سطوح رطوبتی منجر به کاهش میزان پروتئین در برگ‌های کنجد شد که می‌توان نتیجه گرفت تیمار پوترسین و کلسیم موجب حفظ پروتئین و کاهش تجزیه آن‌ها در برگ‌های کنجد تحت تنش رطوبتی شده است. احتمالاً تیمار کلسیم و پلی آمین باعث بهبود عملکرد پروتئین‌ها شده بنابراین میزان سنتز پروتئین افزایش پیدا کرده است. برهمکنش سطوح رطوبتی و پوترسین (جدول ۶) نشان داد که بیشترین مقدار پروتئین (۶۰/۰۹ میلی گرم بر

است. هم‌چنین افزایش میزان کربوهیدرات‌های محلول در اثر تغذیه کلسیم در برگ گوجه‌فرنگی (Manaa et al., 2014) و آفتاب‌گردان (Ibrahim et al., 2016) گزارش شده است.

پروتئین برگ: تجزیه واریانس داده‌های مربوط به پروتئین برگ نشان داد اثر سطوح رطوبتی در سطح احتمال ۱٪ و نیترات کلسیم و پوترسین و هم‌چنین اثرات دوگانه سطوح رطوبتی در نیترات کلسیم سطح احتمال ۰/۰۱٪ بر روی میزان پروتئین برگ دارا بودند. اثرات دوگانه سطوح رطوبتی در پوترسین در سطح ۱٪ و نیترات کلسیم در پوترسین در سطح ۵٪ معنی‌دار گردید (جدول ۳). مقایسه تیمارها با شاهد نشان داد که تمامی تیمارها نسبت به شاهد میزان پروتئین برگ بیشتری را دارا بودند. حداکثر مقدار پروتئین ۶۷/۰۱ میلی گرم بر گرم وزن تر و حداقل میزان پروتئین ۱۲/۴۲ میلی گرم بر گرم وزن تر بود (شکل ۳a).

میزان پروتئین در شرایط عدم محلول پاشی و عدم مصرف پوترسین به شدت کاهش یافت، اما با کاربرد نیترات کلسیم و پوترسین، مقدار آن به طور چشم‌گیری افزایش یافت. نتایج تحقیق کاهش میزان پروتئین برگ را با افزایش شدت تنش نشان داد. Ranjan و همکاران (۲۰۰۱) اظهار داشتند که تنش رطوبتی با تولید رادیکال‌های مخرب اکسیژن باعث تخریب



شکل ۳- اثر تیمارهای اعمال شده بر روی میزان پروتئین برگ (A) عملکرد دانه (B). ستون‌های دارای حروف مشابه از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد (LSD) معنی دار نیست.

Control, N= Ca (NO₃)₂, P= Putrescine = بدون محلول پاشی، Water = محلول پاشی با آب، N₅= نیترات کلسیم ۵ میلی مولار، N₁₀= نیترات کلسیم ۱۰ میلی مولار، Put_{0.5}= پوترسین ۰/۵ میلی مولار، N₅ Put_{0.5}= نیترات کلسیم ۵ میلی مولار و پوترسین ۰/۵ میلی مولار، N₁₀ Put_{0.5}= نیترات کلسیم ۱۰ میلی مولار و پوترسین ۰/۵ میلی مولار

نیاز آبی به دست آمد که نسبت به بیشترین مقدار ۳۸/۲۸ درصد کاهش نشان داد. طبق جدول ۷ بنابراین در سطوح رطوبتی ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی بیشترین مقدار پروتئین با محلول پاشی نیترات کلسیم ۱۰ میلی مولار و در سطوح رطوبتی ۷۵٪ نیاز آبی با محلول پاشی نیترات کلسیم ۵ میلی مولار به دست آمد. هم‌چنین Yousuf و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که کاربرد کلسیم در شرایط تنش توانست میزان محتوای پروتئین برگ را در گیاه خردل هندی به طور معنی داری افزایش دهد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

عملکرد دانه: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تیمارهای سطوح رطوبتی، نیترات کلسیم، پوترسین هم‌چنین اثرات دوگانه سطوح رطوبتی در نیترات کلسیم، سطوح رطوبتی در پوترسین سطح احتمال ۰/۰۱٪ بر روی عملکرد دانه داشتند. برهمکنش نیترات کلسیم در پوترسین در سطح احتمال ۰/۵٪ و هم‌چنین اثرات سه‌گانه در سطح احتمال ۰/۱٪ بر عملکرد دانه معنی دار بود (جدول ۳). مقایسه تیمارها با شاهد نشان داد که تمامی تیمارها نسبت به شاهد میزان عملکرد دانه بیشتری بودند. حداکثر مقدار عملکرد دانه ۱۱۱۶/۹ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار آن ۴۳۱/۷ کیلوگرم در هکتار بدون محلول پاشی (شاهد) مشاهده شد (شکل ۳ب). مقایسه اثرات سه‌گانه نشان

گرم وزن تر) در سطوح رطوبتی ۱۰۰٪ نیاز آبی و با مصرف پوترسین به دست آمد کمترین مقدار پروتئین (۳۱/۴۸ میلی گرم بر گرم وزن تر) در سطوح رطوبتی ۵۰٪ نیاز آبی و بدون مصرف پوترسین به دست آمد که نسبت به بیشترین مقدار ۳۱/۱۸ درصد کاهش نشان داد. به این صورت که در هر سه سطوح رطوبتی، مصرف پوترسین باعث شد که بیشترین مقدار پروتئین به دست آید. نتایج به دست آمده در جدول ۶ نشان داد که مقدار پروتئین در تیمار استفاده پوترسین نسبت به تیمار عدم مصرف پوترسین در همان سطح رطوبتی افزایش یافت. امرایی تبار و همکاران (۱۳۹۵) در یک بررسی روی بادام و هلو به این نتیجه رسیدند که کاربرد پوترسین و اسپریمیدن در شرایط تنش خشکی موجب افزایش پروتئین برگ می‌گردد و دلیل احتمالی آن را، اثر پلی آمین‌ها در از بین بردن رادیکال‌های فعال اکسیژن در کاهش تجزیه و افزایش بیوستز پروتئین‌های برگ بیان نمودند. مقایسه میانگین برهمکنش سطوح رطوبتی و نیترات کلسیم (جدول ۷) نشان داد که بیشترین مقدار پروتئین برگ ۶۰/۳۹ میلی گرم بر گرم وزن تر با محلول پاشی نیترات کلسیم ۱۰ میلی مولار در سطوح رطوبتی ۱۰۰٪ نیاز آبی مشاهده شد. کمترین مقدار پروتئین برگ ۲۷/۶۹ میلی گرم بر گرم وزن تر با عدم محلول پاشی نیترات کلسیم و سطوح رطوبتی ۵۰٪

گردید. به نظر می‌رسد احتمالاً افزایش عملکرد، تأثیر پوترسین در تولید اسمولیت‌هایی مانند پرولین و قندهای محلول باشد که باعث افزایش پتانسیل اسمزی گیاه و نیز سبب افزایش قدرت جذب آب در شرایط نامساعد محیطی شده است.

نتیجه‌گیری

در یک جمع‌بندی کلی می‌توان چنین نتیجه گرفت که بروز کاهش سطوح رطوبتی با تأثیر بر شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاه موجب کاهش عملکرد دانه کنگد شد. در طی کاهش سطوح رطوبتی از میزان پروتئین محلول در برگ گیاه کاسته شد که علت آن می‌تواند تجزیه پروتئین‌ها به اسیدهای آمینه پرولین باشد. به طوری که گیاه با کاهش سطوح رطوبتی میزان سنتز اسید آمینه پرولین و میزان قندهای محلول را افزایش داده تا از این طریق بتواند تأثیرات تنش را کم کند. هم‌چنین نتایج نشان داد نیترات کلسیم و پوترسین دارای تأثیرات متفاوتی هستند ولی در بیشتر صفات اندازه‌گیری شده محلول پاشی نیترات کلسیم ۱۰ میلی‌مولار و مصرف پوترسین بیشترین تأثیر را داشت؛ که علت آن می‌تواند مناسب بودن زمان محلول پاشی عناصر نامبرده و بالارفتن کارایی گیاه در استفاده از نیترات کلسیم و پلی‌آمین باشد.

داد که در هر سه سطوح رطوبتی، محلول پاشی نیترات کلسیم ۱۰ میلی‌مولار و مصرف پوترسین منجر به افزایش عملکرد دانه گردید و علاوه بر آن در سطوح رطوبتی ۱۰۰٪ نیاز آبی محلول پاشی نیترات کلسیم ۵ میلی‌مولار و مصرف پوترسین بیشترین مقدار این صفت را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). (Mohamadi و همکاران (۲۰۰۶)، Pireivatlou و همکاران (۲۰۱۰) و عباس شهری و همکاران (۱۳۹۰) نیز نتایج مشابهی مبنی بر کاهش عملکرد دانه در اثر تنش خشکی گزارش کردند. عوامل مهم داخلی زیادی عملکرد دانه را کنترل می‌کنند. وجود کلسیم برای انجام فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی و متابولیکی ضروری است. به طور کلی، عناصر معدنی در رشد و نمو گیاهان اهمیت زیادی دارند. برای مثال ارتباط مثبتی بین سنتز اسیدهای آمینه و پروتئین‌ها با عملکرد گیاه وجود دارد. در آزمایشی تأثیر کاربرد سطوح کلرید کلسیم بر سنتز آمینواسیدها و پروتئین‌های موجود در تنباکو را بررسی کردند، نتایج حاکی از افزایش پروتئین‌سازی در حضور کلسیم بود که در نتیجه آن میزان عملکرد گیاه افزایش پیدا کرد (Ruiz et al., 1999). نتایج سایر تحقیقات نیز نقش مثبت کلسیم در بهبود عملکرد آفتابگردان (Ibrahim et al., 2016) و ذرت دانه‌ای تحت تنش کم‌آبی (زرعی و همکاران، ۱۳۸۸) و نیز توت‌فرنگی تحت تنش شوری (Khayyat et al., 2009) را نشان دادند. هم‌چنین کاربرد پوترسین باعث افزایش عملکرد در حبوبات (Nassar et al., 2003) و گندم تحت تنش خشکی (Gupta and Gupta, 2011)

منابع

- اثتی‌عشری، م. و زکایی خسروشاهی، م. (۱۳۸۷) پلی‌آمین‌ها و علوم باغبانی. انتشارات دانشگاهی، دانشگاه بوعلی سینا همدان.
- امرایی‌تبار، س.، ارشادی، ا. و رباطی، ت. (۱۳۹۵) تأثیر پوترسین و اسپرمین بر تحمل به خشکی بادام و هلو. مجله به‌زراعی کشاورزی ۲۰۱۸-۲۰۳: ۱۸.
- بروجرد نیا، م.، بی‌همتا، م.، عالمی سعید، خ. و عبدوسی، و. (۱۳۹۵) اثر تنش خشکی بر میزان پرولین، کربوهیدرات‌های محلول، نشت الکتروولیت‌ها و محتوای آب نسبی لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.). فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی اهواز ۲۳-۴۱: ۸.
- بنی‌عباس شهری، ز.، زمانی، غ. ز. و سیاری زهان، م. ح. (۱۳۹۰) اثر تنش خشکی و محلول پاشی سولفات روی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه آفتابگردان. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۲: ۱۶۵-۱۷۲.

- بهروز، ز. و شیرزادی، م. ح. (۱۳۸۸) اثر تراکم کاشت و تقسیط کود نیتروژن بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد کنگد رقم محلی جیرفت. مجله یافته‌های نوین کشاورزی ۲: ۹۹-۹۱.
- بیک خورمیزی، ع.، حسینی سرقین، س.، سرافراز اردکانی، م. ر.، مشتاقیون، م. و موسوی کوهی، م. (۱۳۹۸) برهمکنش و ورمی کمپوست بر رشد و میزان جذب برخی عناصر معدنی در چهار جمعیت رازیانه *Foeniculum vulgare*. نشریه پژوهش آب در کشاورزی ۳۳: ۵۲-۴۰.
- خواجه‌پور، م. ر. (۱۳۸۳) گیاهان صنعتی. چاپ چهارم، انتشارات دانشگاهی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- زرعی، ع. (۱۳۸۸) اثر سطوح مختلف تنش کم آبیاری و عنصر کلسیم بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در ذرت دانه‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد ورامین-پیشوا، ایران.
- سردمدنیا، غ. و کوچکی، ع. (۱۳۷۴) جنبه‌های فیزیولوژیکی زراعت دیم. چاپ چهارم، انتشارات دانشگاهی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- سی‌وسه مرده، ع.، غلامی، س.، بهرام نژاد، ب.، کانونی، ه. و صادقی، ف. (۱۳۹۳) اثر تنش خشکی بر محتوای اسمولیت‌های سازگار، فعالیت آنزیمی و عملکرد دانه ژنوتیپ‌های نخود (*Cicer arietinum L.*). مجله علوم زراعی ایران ۱۶: ۱۲۴-۱۰۹.
- سی‌وسه مرده، ع.، احمدی، ع.، پوستینی، ک. و ابراهیم‌زاده، ح. (۱۳۸۳) عوامل روزنه‌ای و غیر روزنه‌ای کنترل‌کننده فتوستتزر و ارتباط آن با مقاومت به خشکی در ارقام گندم. مجله علوم کشاورزی ایران ۱: ۱۰۶-۹۳.
- شمس، ه. (۱۳۸۸) تغییرات کمی و کیفی اندام هوایی گل‌گاوزبان در اثر محلول‌پاشی نترات کلسیم. فصلنامه گیاهان دارویی ۸: ۱۴۴-۱۳۸.
- شوت، پ. (۱۳۷۴) گیاهان اقتصادی جهان. ترجمه پور صالحی، م. انتشارات مؤسسه اصلاح بذر و تهیه نهال. کرج.
- صفری، م.، اویسی، م. و ضرغامی، ر. (۱۳۹۴) بررسی تأثیر پلی‌آمین پوترسین و بر برخی صفات گیاهان دارویی آویشن (*Thymus vulgaris L.*) در شرایط کمبود آب. پژوهش‌های زراعی در حاشیه کویر ۱۲: ۲۸۹-۲۷۹.
- طلایی، ع.، خضری، م. و جوانشاه، ا. (۱۳۹۱) بررسی تأثیر محلول‌پاشی پلی‌آمین‌های آزاد بر برخی مشکلات فیزیولوژیکی پسته رقم کله قوچی. مجله علوم باغبانی ایران ۴: ۳۹۱-۳۸۳.
- ظفری، م.، عبادی، ع.، پرمون، ق. و جهانبخش، س. (۱۳۹۴) تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر تولید متابولیت‌های سازگاری و برخی خصوصیات یونجه همدانی در طی تنش خشکی. فرآیند و کارکرد گیاهی ۱۴: ۷۵-۶۱.
- علیزاده، ب.، قهرمانی، ز.، برزگر، ط. و نیکبخت، ج. (۱۳۹۵) اثر محلول‌پاشی پوترسین بر رشد، عملکرد و کیفیت میوه فلفل شیرین تحت تنش کم‌آبی. مجله به‌زراعی کشاورزی ۱۹: ۴۴۴-۴۳۱.
- فتحی، ع.، برادران فیروزآبادی، م.، عامریان، م. و قلی‌پور، م. (۱۳۹۶) اثر سدیم نیترو پرو ساید و کربنات کلسیم بر برخی صفات فیزیولوژیکی کنگد در شرایط تنش شوری. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی اهواز ۹: ۲۰-۵.
- فلاح، ع. (۱۳۹۸) اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی سولفات روی بر رشد، عملکرد و رنگیزه‌های فتوستتزی در گندم الوند. مجله علمی پژوهشی آکو فیزیولوژی گیاهی ۱۱: ۲۲۸-۲۱۷.
- قلی‌پور، س. و عبادی، ع. (۱۳۹۶) مطالعه تغییرات متابولیت‌های سازگاری و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت ژنوتیپ‌های گندم در شرایط تنش رطوبتی. مجله فرآیند و کارکرد گیاهی ۶: ۲۳۲-۲۱۹.
- قلی‌نژاد، ر.، سیروس‌مهر، ع. و فاخری، ب. (۱۳۹۳) تأثیر تنش خشکی و کودهای آلی بر فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، رنگ‌دانه‌های فتوستتزی، پرولین و عملکرد گاوزبان (*Borago officinalis*). نشریه علوم باغبانی ۳: ۳۴۶-۳۳۸.

مطلبی فرد، ر.، کافی، م. و ملکوتی، م. ج. (۱۳۸۲) ضرورت کلسیم برای بهبود خصوصیات کمی و کیفی گل و گیاهان زینتی در کشور. انتشارات دفتر برنامه ریزی رسانه های ترویجی، تهران.

منشی، ر. ی.، شرقی، ی.، زاهدی، ح.، محمد مدرس ثانوی، س. ع.، مرادی قهدریجانی، م. و کشاورز، ح. (۱۳۹۶) تأثیر محلول پاشی تریازول ها و سیلیکات کلسیم بر مقاومت به خشکی کلزا. علوم گیاهان زراعی ۴۸: ۳۱۷-۳۰۳.

Akpan-Iwo, G., Idowu, A. A. and Mirsari, S. M. (2007) Collection and evaluation of sesame (*Sesamum* spp.) germplasm in Nigeria. *Plant Genetic Resources Newsletter* 142: 59-62.

Bakry, C., El-Hariri, B., Sadak, D. Sh. and El-Bassiouny, M. (2012) Drought stress mitigation by foliar application of salicylic acid in two linseed varieties grown under Newly Reclaimed sandy soil. *Journal of Applied Sciences Research* 7: 3503-3514.

Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and soil* 39: 205-208.

Bouchereau, A., Aziz, A., Larher, F. and Martin- Tanguy, J. (1999) Polyamines and environmental challenges: Recent development. *Plant Science* 140: 103-125.

Bradford, M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 72: 248-254.

Brar, G. S. (1982) Variations and correlations in oil content and fatty acid composition of Sesame. *Indian Journal of Agricultural Science* 52: 27-30.

Crowe, J. H., Carpenter, J. F., Crowe, L. M. and Anchooguy, T. (1990) Are freezing and dehydration similar stress vectors? A comparison of modes of interaction of stabilizing solutes with biomolecules. *Cryobiology* 27: 219-231.

Do, P. T., Degenkolbe, T., Erban, A., Heyer, A. G., Kopka, J., Kohl, K. I., Hinch, D. K. and Zuther, E. (2013) Dissecting rice polyamine metabolism under controlled long-term drought stress. *Plos One* 4: 1-14.

Farooq, M., Basra, S. M. A., Wahid, A., Cheema, Z. A., Cheema, M. A. and Khaliq, A. (2008) Physiological role of exogenously applied glycinebetaine in improving drought tolerance of fine grain aromatic rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science* 194: 325-333.

Feller, R. E., Feller, D. A. and Shepherd, A. D. (1969) Determination of free lysine and methionine in amino acid-fortified wheat. *Cereal Chemistry* 46: 614-620.

Galili, G., Tang, G., Zhu, X. and Gakiere, B. (2001) Lysine catabolism: A stress and development superregulated metabolic pathway. *Current Opinion in Plant Biology* 4: 261-266.

Gupta, S. and Gupta, N. K. (2011) Field efficacy of exogenously applied putrescine in wheat (*Triticum aestivum* L.) under water-stress conditions. *The Indian Journal of Agricultural Science* 6: 516-519.

Gzik, A. (1996) Accumulation of proline and pattern of α - amino acids in sugar beet plants in response to osmotic, water and salt stress. *Environmental and Experimental Botany* 1: 29-38.

Hanson, A. D. and Hitz, W. D. (1982) Metabolic responses of mesophytes to plant water deficit. *Annual Review Plant Physiology* 1: 163-203.

Hare, P. D. and Cress, W. A. (1997) Metabolic implications of stress-induced proline accumulation in plants. *Plant Growth Regulation* 21: 79-102.

Ibrahim, M. F. M., Faisal, A. and Shehata, S. A. (2016) Calcium chloride alleviates water stress in sunflower plants through modifying some physio-biochemical parameters. *American- Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 16: 677-693.

Irigoyen, J. J., Emerich, D. W. and Sanchez-Diaz, M. (1992) Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in modulated alfalfa (*Medicago sativa* L.) plants. *Plant Physiology* 84: 55-60.

Khayyat, M., Tehranifar, A., Akbarian, A., Shayesteh Nia, S. and Khabari, S. (2009) Effect of calcium forms on electrolyte leakage, total nitrogen, yield and biomass production by strawberry plants under NaCl salinity. *Journal of Central European Agriculture* 3: 297-302.

Khezri, M., Talaie, A., Javanshah, A. and Hadavi, F. (2010) Effect of exogenous application of free polyamines on physiological disorders and yield of 'Kaleh-Ghoochi' pistachio shoots (*Pistacia vera* L.). *Scientia- Horticulture* 125: 270-276.

Liu, H. P., Yu, B. J., Zhang, W. H. and Liu, Y. L. (2005) Effect of osmotic stress on the activity of H^+ -ATPase and the levels of covalently and non-covalently conjugated polyamines in plasma membrane preparation from wheat seedling roots. *Plant Science* 168: 1599-1607.

Manaa, A., Gharbi, E., Mimouni, H., Wasti, S., Aschi-Smiti, S., Lutts, S. and Ahmed, H. B. (2014) Simultaneous application of salicylic acid and calcium improves salt tolerance in two contrasting tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars. *South African Journal of Botany* 95: 32-39.

Martin-Tanguy, J. (2001) Metabolism and function of polyamines in plants: Recent development (new approaches). *Plant Growth Regulation* 34: 135-148.

- Mohammadi, A., Majidi, E., Bihamta, M. R., Heidari, B. and Sharifabdi, H. (2006) Evaluation of drought stress on agro morphological characteristics in some wheat cultivars. *Crop Science* 73: 184-192.
- Moradshahi, A., Salehi Eskandari, B. and Kholdebarin, B. (2004) Some physiological responses of canola (*Brassica napus* L.) to water deficit stress under laboratory conditions. *Iranian Journal of Science and Technology* 21: 43-49.
- Munns, R. and Termaat, A. (1986) Whole-plant responses to salinity. *Australian Journal of Plant Physiology* 13: 143-160.
- Munns, R. and Tester, M. (2008) Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59: 651-681.
- Nassar, A. H., Khaled, A. E. and Krishnapillai, S. (2003) Growth promotion of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by a polyamine-producing isolate of *Streptomyces griseoluteus*. *Plant Growth Regulation* 40: 97-106.
- Pang, X. M., Zhang, Z. Y., Wen, X. P., Ban, Y. and Moriguchi, T. (2007) Polyamines, all purpose players in response to environment stresses in plants. *Plant Street* 174-188.
- Pang, Y., Li, Z., Zhou, H., Zhang, X., Ma, X., Huang, L. and Yan, Y. (2014) Exogenously applied spermidine improves drought tolerance in creeping bent grass associated with change in antioxidant defense, endogenous polyamines and phytohormones. *Plant Growth Regulation* 1: 71-82.
- Pireivatlous, A. S., Dehdar Masjedlou, B. and Ramiz, T. A. (2010) Evolution of yield potential and stress adaptive traits in wheat genotypes under post anthesis drought stress. *Crop Science* 93: 55-72.
- Ranjan, R., Bohra, S. P. and Jeet, A. M. (2001) *Plan Productivity under Environment Stress*. Agrobios, Jodhpur, New Delhi.
- Ruize, J. M., Garcia, P. C., Rivero, R. M. and Romero, L. (1999) Response of phenolic metabolism to the application of carbendazim plus boron in tobacco leaves. *Plant Physiology* 2: 151-157.
- Sakar, M. and Arafa, A. (2009) Effect of some antioxidants on canola plants grown under soil salt stress condition. *Pakistan Journal of Biological Science* 7: 582-588.
- Wang, K., Li, H. and Ecker, J. (2002) Ethylene biosynthesis and signaling networks. *Plant Cell* 15: 131-151.
- Yamada, Y. and Fukutoku, Y. (1986) Effect of water stress on soybean, soybean in tropical and sub-tropical cropping system. *The Asian Vegetable Research and Development Center* 48: 373-382.
- Yousuf, P. Y., Ahad, A., Hemant, Ganie, A. H., Aref, I. M. and Iqbal, M. (2015) Potassium and calcium application ameliorates growth and oxidative homeostasis in salt-stressed Indian mustard (*Brassica Jucea*) plants. *Pakistan Journal of Botany* 47: 1629-1639.

Effect of putrescine and calcium nitrate foliar application on some physiological traits of sesame (*Sesamum indicum* L.) under different contents

Samira gholipour, Gholam reza zamani^{*}, Majid Jami alahmadi

Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Birjand University

(Received: 23/10/2019, Accepted: 24/06/2020)

Abstract

Moisture stress is one of the most important factors reducing crop yield, including oilseed crops, in Iran. Therefore, this study was aimed to study the effect of different moisture levels on amino acid content of methionine, proline, soluble sugar and protein of sesame leaf in the 2018 crop year. Moisture levels were water collected in a split plot-factorial experiment with a randomized complete block design with three replications at the Birjand University of Agriculture Research Farm. In this experiment, moisture at three levels (100, 75 and 50% of sesame water requirement) as the main factor application of calcium nitrate at three levels (0, 5 and 10 Mm) and putrescine at two levels (0.5 Mm and water spraying solution) were considered as sub-factors. The result showed that the interaction of moisture levels, calcium nitrate, and putrescine were significant ($P < 0.05$) for methionine, lysine, proline amino acids and grain yield. The highest amount of methionine amino acid (0.060 mg/g fresh weight) was obtained in the case of 10 Mm calcium nitrate foliar application with putrescine use at 50% water requirement level. The dual interaction of calcium nitrate and putrescine, moisture levels and putrescine, as well as moisture levels and calcium nitrate, were significant on soluble sugar and protein of sesame leaf. In general, foliar application of calcium nitrate and putrescine was the best treatment to reduce the effect of moisture levels on sesame which was indicative of a synergistic relationship between them in reducing the effect of moisture stress.

Keywords: Methionine, Foliar solution, Proline, Sesame and soluble sugar.

Corresponding author, Email: gzamani@birjand.ac.ir