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

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.3833.1922

مقاله پژوهشی

تأثیر پوترسین و نیترات کلسیم بر خصوصیات فیزیولوژیک و عملکرد کنجد (*Sesamum indicum* L.) تحت تأثیر تنش رطوبتی

سمیرا قلی پورنویری[۱]، غلامرضا زمانی[۲*]، مجید جامی الاحمدی[۲]

۱. دانشجوی دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند
۲. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند.

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
پرولین
کلروفیل a
کلروفیل b
وزن هزار دانه

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۰۸/۰۳

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۹/۰۹/۱۹

تاریخ انتشار:
تابستان ۱۴۰۱

۱۵(۲): ۳۳۵-۳۴۶

چکیده

به‌منظور بررسی اثرات کاربرد پوترسین و نیترات کلسیم بر رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی و عملکرد کنجد تحت تنش رطوبتی آزمایشی به‌صورت اسپلیت‌پلات فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند انجام شد. در این آزمایش تنش رطوبتی در سه سطح (۱۰۰٪ (شاهد)، ۷۵٪ و ۵۰٪ نیاز آبی کنجد) به‌عنوان فاکتور اصلی و محلول‌پاشی نیترات کلسیم (صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌مولار) و پوترسین (صفر و ۰/۵ میلی‌مولار) و شاهد (عدم محلول‌پاشی) به‌عنوان فاکتور فرعی موردبررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که برهمکنش تنش رطوبتی، نیترات کلسیم و پوترسین بر روی محتوی کلروفیل، پرولین، شاخص سبزینگی، تعداد دانه در کپسول، تعداد کپسول در بوته و عملکرد دانه معنی‌دار بودند. سطح ۵۰٪ نیاز آبی موجب کاهش کلروفیل a (۴۲٪)، کلروفیل b (۳۱٪)، تعداد دانه در کپسول (۴۳٪)، تعداد کپسول در بوته (۱۹٪) و عملکرد دانه (۴۰٪) و افزایش میزان پرولین (۲۱٪) و شاخص سبزینگی (۱۲٪) شد. محلول‌پاشی نیترات کلسیم ۱۰ میلی‌مولار و مصرف پوترسین ضمن کاهش اثرات ناشی از کمبود رطوبت موجب افزایش صفات مذکور نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی گردید. بالاترین عملکرد دانه (۹۱۹/۲ کیلوگرم در هکتار) در شرایط بدون تنش و مصرف هم‌زمان پوترسین و ۱۰ میلی‌مولار نیترات کلسیم حاصل شد که با تیمار ۷۵٪ نیاز آبی تفاوت معنی‌دار نداشت. به‌طورکلی تنش رطوبتی ۵۰٪ نیاز آبی منجر به کاهش عملکرد و اجزای عملکرد کنجد شد. کاربرد نیترات کلسیم در غلظت ۱۰ میلی‌مولار و پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار توانستند اثرات مضر ناشی از تنش رطوبتی را کاهش داده و بهبود عملکرد را سبب شوند.

مقدمه

دانه‌های روغنی در تغذیه انسان و همچنین تولید مواد فرعی مورداستفاده در تغذیه دام از اهمیت بالایی برخوردارند. روغن فرآوری شده این گیاهان ازنظر اهمیت در ترکیب مواد غذایی از مواد اولیه اساسی هر کشور محسوب می‌شود (Eskandari and Kazemi, 2019). دانه کنجد (*Sesamum indicum*) به علت دارا بودن میزان قابل‌توجهی روغن باکیفیت (بیش از ۴۵٪) و ترکیبات ریزمغذی به‌عنوان یک محصول دانه روغنی مهم شناخته شده است (Shyu and Hwang, 2002). این گیاه معمولاً به‌عنوان یک گیاه مناطق خشک و نیمه‌خشک و مقاوم به کم‌آبی کشت می‌شود. بااین‌حال، گزارش‌هایی مبنی بر تأثیر آبیاری محدود بر عملکرد کنجد معنی‌دار اعلام شد، به‌طوری‌که تنش رطوبتی باعث کاهش رشد و عملکرد دانه کنجد از ۱۲۱۲ به ۶۲۴ کیلوگرم در هکتار می‌شود (Mehrabi and Ehsanzadeh, 2011).

تنش رطوبتی یکی از عوامل محدودکننده تولید گیاهان زراعی که نقش مهمی در کاهش رشد و عملکرد بسیاری از گیاهان به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا داشته و موجب تغییر خصوصیات فیزیولوژیکی گیاهان می‌گردد

* نگارنده پاسخگو: غلامرضا زمانی. پست الکترونیک: gzamani@birjand.ac.ir

(Mehr et al., 2018). گیاهان در شرایط محیطی دشوار مواد محلول با وزن مولکولی کم یا مواد محلول سازگار ازجمله اسیدهای آمینه پرولین را تجمع می‌دهند (Mauad et al., 2016). به نظر می‌رسد تنش خشکی و کاهش آب در بافت‌های گیاهی سبب کاهش رشد، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش فتوسنتز، تحت تأثیر قرار گرفتن تنفس، تخریب پروتئین‌ها و تجمع پرولین می‌شوند (Abbasi et al., 2017). لذا کمبود آب منجر به تجزیه کلروفیل شده و گلوتامات که پیش ماده کلروفیل و پرولین است در اثر تنش به پرولین تبدیل‌شده و درنتیجه از محتوای کلروفیل کاسته می‌شود (Lawlor and Cornic, 2006). ازاین‌رو حفظ رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی به ثبات فتوسنتز کمک کرده و با توجه به نقش آن‌ها در بهبود و تداوم فتوسنتز سبب افزایش مقاومت به خشکی و بهبود عملکرد در گیاهان می‌شوند (Hosseinzadeh and Cheniany, 2014). بسیاری از پژوهشگران بیان داشتند که تنش خشکی از طریق کاهش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و در پی آن کاهش فتوسنتز اثر نامطلوبی بر رشد و عملکرد کنجد داشته است (Mensah et al., 2006).

کاربرد برخی عناصر به‌صورت محلول‌پاشی سبب کم کردن اثرات منفی تنش می‌گردد ازجمله یون کلسیم که اثرات قابل‌توجهی در فرآیندهای فیزیولوژیک گیاهان داشته و صفات مورفولوژیک و بیوشیمیایی گیاهانی که تحت تنش قرارگرفته‌اند را بهبود می‌بخشد (Munns and Termat, 1986). احمدی و همکاران (Ahmadi et al., 2012) در آزمایشی اثر محلول‌پاشی کلسیم روی کنجد بررسی نموده و دریافتند که استفاده از کلسیم با تأثیر بر اجزای عملکرد موجب افزایش عملکرد دانه گردید.

در سال‌های اخیر برای افزایش تحمل گیاهان به تنش‌ها به برخی از روش‌ها از قبیل کاربرد خارجی تنظیم‌کننده‌های رشد مانند روابط بین پلی‌آمین‌ها و تنش‌های محیطی اشاره شده است (Gerami and Akbarpour, 2019). از مهم‌ترین پلی‌آمین‌ها می‌توان به پوترسین، اسپرمیدین و اسپرمین که در تنظیم فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی نقش دارند اشاره کرد (Mustafavi et al., 2018). پوترسین با تجمع در بافت گیاه در طی دوران تنش سبب ایجاد مقاومت گیاه در برابر تنش‌های غیرزنده ازجمله تنش شوری و خشکی می‌شود (Abu-Kpwoh et al., 2002). در پژوهشی بر روی گیاه گندم (*Triticum aestivum*) مشاهده شد که کاربرد پوترسین در شرایط تنش خشکی عملکرد دانه و وزن هزار دانه را افزایش داد (Gupta and Gupta, 2011).

این تحقیق باهدف بررسی تأثیر سطوح مختلف رطوبتی و محلول‌پاشی نیترات کلسیم و پوترسین بر صفات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه کنجد در منطقه بیرجند به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند بر روی گیاه کنجد انجام گرفت. آزمایش به‌صورت اسپلیت‌پلات فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. در این آزمایش تنش رطوبتی شامل سطوح رطوبتی ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در کرت‌های اصلی و محلول‌پاشی نیترات کلسیم (۰-۵-۱۰ میلی‌مولار) و محلول‌پاشی پوترسین (صفر و ۰/۵ میلی‌مولار) در کرت‌های فرعی به‌صورت فاکتوریل موردبررسی قرار گرفتند. علاوه بر این در هر کرت اصلی یک کرت فرعی به‌عنوان شاهد بدون تیمار (Control) لحاظ شد (Shams, 2009). نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ ارائه شد.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Soil physical and chemical properties under experiment site

هدایت الکتریکی خاک	هدایت الکتریکی آب		درصد ماده آلی	رطوبت اشباع	کلسیم	پتاسیم	سدیم	منیزیم	بافت
EC	EC	pH	Om	SP	Ca	K	Na	Mg	Texture
dS/m^{-1}	dS/m^{-1}		%	%	----------meq/L^{-1}----------				loamy sand
5.2	1.8	8	0.38	24.5	12.4	3.2	34.3	4.4	شنی لومی

بذر کنجد رقم اولتان از مرکز تحقیقات کشاورزی مشهد تهیه شد. کاشت بذرهای کنجد با فواصل بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۵ سانتی‌متر و تراکم کاشت ۴۰ بوته در مترمربع در اواسط خرداد انجام شد (Behroz et al.,

2009) و فاصله بین کرت‌های اصلی (تیمار رطوبتی) سه خط نکاشت (۱/۵ متر) تا از نشت 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، تیمارهای آبیاری بر اساس ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ درصد نیاز آبی کنجد انجام گرفت. پوترسین مورداستفاده به‌صورت پودر دانه‌ریز سفیدرنگ، ساخت شرکت سیگما آمریکا و نیترات کلسیم جامد بلوره‌ای، ساخت شرکت مرک آلمان بود. محلول¬پاشی با پوترسین و نیترات کلسیم در دو نوبت ۴۰ روز بعد از کاشت (دوره رشد رویشی) و گرده‌افشانی، فواصل بین دو محلول‌پاشی حداقل یک هفته در نظر گرفته شد (Bakry et al., 2012). آبیاری اول بلافاصله بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی با توجه به نیاز آبیاری و دور آبیاری محاسبه‌شده با نرم‌افزار (CROPWAT)، با پمپ آبیاری، انجام شد. برای تعیین مقدار و زمان آبیاری و رژیم‌های آبیاری موردنظر با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT (روش پنمن-مانتیث) مطابق روش فائو-۵۶ (Allen et al., 1998)، ابتدا با استفاده از پارامترهای هواشناسی مؤثر در تبخیر و تعرق (متوسط دمای حداقل، متوسط دمای حداکثر، متوسط رطوبت نسبی، متوسط سرعت باد و متوسط ساعت آفتابی در روز) نیاز آبی گیاه مرجع چمن (ETO) برآورد گردید و با اعمال ضریب گیاهی (KC) کنجد، نیاز آبی گیاه کنجد محاسبه شد. درنهایت با در نظر گرفتن باران مؤثر، نیاز آبی کنجد برای آبیاری کامل (بدون تنش) محاسبه گردید (Drgahi et al., 2011). مقدار ضریب گیاهی (KC) برای ماه‌های تیر، مرداد، شهریور، مهر به ترتیب (۰/۷۶، ۱/۰۹، ۱/۰۵ و ۰/۷۷) در نظر گرفته شد.

نیاز آبی برای گیاه کنجد در طول فصل رشد از رابطه زیر محاسبه شد.

$$CWR_i = (ET_o \times k_c \times A) \qquad [۱]$$

که در آن CWR_i نیاز آبی گیاه در طول رشد برحسب میلی-متر، ET_o تبخیر و تعرق گیاه مرجع در محل موردنظر برای روز t ام برحسب میلی‌متر و K_c ضریب گیاهی برای روز t ام و A مساحت کشت است.

در مرحله ۵۰ درصد گلدهی میزان رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی، شاخص سبزینگی (SPAD) و پرولین از بالاترین برگ توسعه‌یافته تعیین شد. شاخص سبزینگی با دستگاه کلروفیل‌متر (Mino1ta-520) و رنگیزه‌های فتوسنتزی با استفاده از روش آرنون (Arnon, 1949) و جذب نوری محلول رویی در طول‌موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر صورت گرفت. اندازه‌گیری میزان پرولین برگ با استفاده از روش بیتز و همکاران و سنجش آن با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر صورت گرفت (Bates et al., 1973). به‌منظور تعیین عملکرد دانه پس از رسیدگی کامل، در هر کرت با صرف‌نظر از دو ردیف کناری به‌عنوان اثر حاشیه‌ای از سه ردیف میانی، به طول یک متر برداشت شده و در نور آفتاب خشک‌شده و عملکرد دانه بر اساس هکتار تخمین زده شد. برای تعیین اجزای عملکرد نیز تعداد ۱۵ بوته به‌طور تصادفی از هر کرت انتخاب و میانگین آن‌ها استفاده شد. وزن هزار دانه نیز با توزین ۱۰۰۰ دانه بر اساس رطوبت ۱۴٪ گزارش شد (Ghasemi et al., 2011).

این آزمایش به دو صورت، ابتدا اسپلیت فاکتوریل سه عاملِ سپس به‌منظور مقایسه با شاهد (عدم محلول‌پاشی) به‌صورت اسپلیت‌پلات دو عاملِ آنالیز شد. برای مقایسه میانگین‌ها با شاهد (عدم محلول‌پاشی) میانگین‌ها مجدداً به‌صورت کلی به همراه شاهد حروف گذاری شدند. کلیه محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS و EXCEL انجام گرفت و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار LSD در سطح ۵ درصد استفاده گردید. در صورت معنی‌داری اثرات متقابل از روش برش‌دهی جهت تفسیر اثر استفاده گردید.

نتایج و بحث

رنگیزه‌های فتوسنتزی

نتایج تجزیه واریانس اسپلیت فاکتوریل رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی نشان داد، میزان کلروفیل a و کلروفیل b تحت تأثیر تنش رطوبتی، نیترات کلسیم، پوترسین و اثر متقابل تنش رطوبتی × پوترسین و نیترات کلسیم × پوترسین و اثر متقابل سه‌گانه قرار گرفت (جدول ۲).

مقایسه میانگین‌ها اثرات سه‌گانه نشان داد، تنش رطوبتی موجب کاهش میزان کلروفیل a و کلروفیل b در گیاه کنجد شد به‌طوری‌که در ۵۰٪ نیاز آبی و عدم محلول‌پاشی (شاهد) میزان کلروفیل a در حدود ۳۷٪ و کلروفیل b در حدود ۳۹٪ نسبت به محلول‌پاشی با آب مقطر افت نشان دادند. مقایسه تغییرات مقادیر کلروفیل a و b نشان داد که محتوای تحت شرایط تنش رطوبتی کاهش پیدا کرده است و این کاهش در کلروفیل b بیشتر است. کاهش بیشتر میزان کلروفیل b در

اثر تنش رطوبتی به‌واسطه تغییر در سیستم‌های فتوسنتزی در جهت نسبت بیشتر فتوسیستم یک به دو است (Ahmadi and Backer, 2000).

محلول‌پاشی هم‌زمان پوترسین و نیترات کلسیم موجب بهبود رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی در گیاهان رشد یافته در شرایط نرمال و گیاهان تنش دیده شد. کاربرد ۱۰ میلی‌مولار نیترات کلسیم و ۰/۵ میلی‌مولار پوترسین موجب بهبود ۴۷٪ کلروفیل a و ۴۶٪ کلروفیل b در گیاهان رشد یافته در شرایط نرمال و بهبود ۱۵٪ و ۲۲٪ مقدار آن‌ها در گیاهان با ۵۰٪ نیاز آبی در مقایسه تیمار آب مقطر شد. بالاترین میزان کلروفیل a (۲/۱۳ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) و کلروفیل b (۱/۰۱ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) از برگ‌های گیاهان تنش ندیده و محلول‌پاشی شده با ۰/۵ میلی‌مولار پوترسین و ۱۰ میلی‌مولار نیترات کلسیم به دست آمد (جدول ۳). کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش می‌تواند به علت سنتز آهسته یا تجزیه و تخریب سریع رنگیزه کلروفیل باشد (Aahraf,2003). حفظ کلروفیل تحت شرایط تنش منجر به ثبات فتوسنتز شده لذا کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش می‌تواند یک عامل محدودکننده غیر روزنه‌ای به‌حساب آید درنهایت منجر به کاهش عملکرد خواهد شد (Moghadam et al., 2011). کلروفیل‌ها در سرعت بخشیدن به واکنش‌های نوری در فتوسنتز نقش داشته ازاین‌رو کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش رطوبتی موجب تخریب ساختمان کلروپلاست و دستگاه فتوسنتزی و فعال شدن آنزیم‌های تجزیه‌کننده کلروفیل می‌شود (Sharafzadeh and Zare, 2011). همچنین گزارش شده که محلول‌پاشی پوترسین روی گل‌شیپوریان (*Syngonium podophyllum*) (El-Quesni et al., 2010) و توتون (*Nicotiana rustica*) (Hajiboland and Ebrahimi, 2011) باعث افزایش میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل گردید. به نظر می‌رسد که پوترسین با دارا بودن فعالیت آنتی‌اکسیدانی و همچنین با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان باعث جلوگیری از تخریب کلروفیل می‌شود (Jinn-Chin et al., 2009). همچنین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان به‌عنوان ترکیبات پلی‌کاتیون با اتصال به فسفولیپیدهای غشای تیلاکوئیدی باعث پایداری این مولکول‌ها و جلوگیری از پیری و تخریب کلروفیل می‌شوند (Jinn-Chin et al., 2009).

افزایش محتوای کلروفیل در گونه‌های مختلف گیاهی در اثر کاربرد کلسیم در شرایط مختلف توسط مشاهده شده است (Ibrahim et al., 2016; Tavallal et al., 2008). کاربرد کلسیم در طی دوره‌ی رشد موجب افزایش محتوای کلروفیل و حفاظت کلروفیل a و جلوگیری از کاهش نسبت کلروفیل a به b شده و مانع رنگ‌زدایی کلروفیل a در فتوسیستم I می‌شود (Madani et al., 2016). کلسیم به‌عنوان پیغام‌بر ثانویه با تأثیر بر مسیرهای بیوسنتزی کلروفیل وابسته به سیتوکنین باعث بهبود در سنتز کلروفیل می‌شود (Ahmad et al., 2015). کلسیم از طریق آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و از بین بردن گونه‌های اکسیژن فعال، موجب بهبود فتوسنتز گیاه در شرایط تنش‌های محیطی می‌شود. کاربرد کلسیم در شرایط تنش محیطی باعث کاهش بازداری نوری فتوسیستم II، ترمیم بافت‌های کلروفیل و نگه‌داشتن بیان پروتئین D1، در بالاترین سطح می‌شود (Tan et al., 2011).

شاخص سبزینگی

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به شاخص سبزینگی نشان داد، این صفت در هر دو روش آنالیز تحت برهمکنش تنش رطوبتی × محلول‌پاشی پوترسین × نیترات کلسیم قرار گرفت (جدول ۲). تنش رطوبتی سبب افزایش معنی‌دار شاخص سبزینگی کنجد و محلول‌پاشی موجب کاهش این شاخص شد. مشاهده شد، محدودیت ۵۰٪ نیاز آبی موجب افزایش ۱۹٪ شاخص سبزینگی در کنجد شد. همچنین کاربرد ۱۰ میلی‌مولار نیترات کلسیم به همراه ۰/۵ میلی‌مولار پوترسین موجب کاهش ۳۷/۴٪ این شاخص در شرایط بدون تنش و ۲۵/۳٪ در تنش ۵۰٪ نیاز آبی شد (جدول ۳). نیکولاوا و همکاران (Nikolaeva et al., 2010) در یک بررسی روی گیاه گندم و پرمون و همکاران (Parmoon et al., 2019) بر روی رازیانه به این نتیجه رسیدند که تنش خشکی منجر به افزایش اعداد کلروفیل‌متر می‌شود که علت افزایش آن را کاهش سطح برگ و افزایش سلول‌های بیش‌تر در واحد وزن برگ دانسته‌اند. کلسیم و پوترسین نیز از طریق آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و از بین بردن گونه‌های اکسیژن فعال، موجب کاهش تأثیرات تنش رطوبتی بر شاخص سبزینگی می‌شوند (Tan et al., 2011; Jinn-Chin et al., 2009). پلی آمین‌ها می‌تواند به‌طور مستقیم به غشاء تیلاکوئید متصل شده و از آن در مقابل آسیب‌های تنش خشکی محافظت نمایند. کلروپلاست شامل فعالیت بالای آنزیم بیوسنتز پلی‌امین‌ها بوده و آنزیم گلوتامیناز، اتصال کووالانسی پلی‌آمین به پروتئین‌ها را تسریع می‌کند (Shu et al., 2012). همچنین نقش مثبت

کلسیم در بهبود جذب عناصر غذایی دخیل در ساختمان کلروفیل یکی از دلایل افزایش محتوای کلروفیل تحت تیمار کلسیم است (Ahmad et al., 2015). کلسیم در ساخت پروتئین در میتوکندری دخالت دارد. با توجه به نقش آن در تنفس هوازی و جذب فعال تعداد زیادی از عناصر، می‌توان نتیجه گرفت که رابطه‌ای مستقیم بین کلسیم و جذب عناصر غذایی به‌وسیله گیاه وجود دارد.

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اسپلیت فاکتوریل رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی، پرولین و عملکرد و اجزای عملکرد کنجد تحت تأثیر محلول‌پاشی نیترات کلسیم و پوترسین در شرایط مختلف تنش رطوبتی

Table 2. Results of analysis of variance split- factorial photosynthetic pigment, proline, yield and component yield of Sesame influenced by sparing Calcium nitrate [$Ca(NO_3)_2$] and putrescin under moisture stress

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	کلروفیل a a Chl	کلروفیل b b Chl	شاخص سبزینگی SPAD	پرولین Proline
Block	**بلوک**	2	0.015^{ns}	0.001^{ns}	9.62^{ns}	0.001^{ns}
Moisture stress (M)	**تنش رطوبتی**	2	2.05^{**}	0.52^{**}	576.1^{**}	1.356
Error (a)	**خطای اصلی**	4	0.033	0.007	7.02	0.015
$Ca(NO_3)_2$	**نیترات کلسیم**	2	0.62^{**}	0.086^{**}	214.8^{**}	0.162^{**}
putrescine (P)	**پوترسین**	1	2.15^{**}	0.354^{**}	595.4^{**}	1.408^{**}
$Ca(NO_3)_2$× M	**تنش رطوبتی× نیترات کلسیم**	4	0.039^{ns}	0.004^{ns}	38.63^{**}	0.011^{**}
P×M	**تنش رطوبتی× پوترسین**	2	0.264^{**}	0.362^{**}	31.9^{*}	0.154^{**}
P× $Ca(NO_3)_2$	**نیترات کلسیم × پوترسین**	2	0.080^{*}	0.042^{**}	$22.\ 7^{*}$	0.003^{ns}
P× $Ca(NO_3)_2$× M	**تنش رطوبتی× نیترات کلسیم× پوترسین**	4	0.094^{*}	0.007^{*}	22.5^{*}	0.004^{*}
Error (b)	**خطای فرعی**	30	0.023	0.001	645	0.0012
CV%	**ضریب تغییرات (٪)**	-	*10.7*	*6.5*	*5.3*	*2. 09*

Table 2. Continued

جدول ۲. ادامه

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	تعداد دانه در کپسول Number of capsules per plant	تعداد کپسول در بوته Number of seeds per capsule	وزن هزار دانه 1000 grain weight	عملکرد دانه Grain yield
Block	**بلوک**	2	12.77^{ns}	0.530^{ns}	0.0018^{ns}	1171.06^{ns}
Moisture stress (M)	**تنش رطوبتی**	2	1631.91^{**}	419.6^{**}	0.443^{**}	201596.9^{**}
Error (a)	**خطای اصلی**	4	7.311	3.149	0.014	809.39
$Ca(NO_3)_2$	**نیترات کلسیم**	2	1106.23^{**}	894.11^{***}	0.339^{**}	107503^{**}
putrescine (P)	**پوترسین**	1	1919.49^{**}	1977.01^{***}	0.690^{**}	280636.4^{**}
$Ca(NO_3)_2$× M	**تنش رطوبتی× نیترات کلسیم**	4	20.56^{*}	7.367^{*}	0.0206^{ns}	4757.5^{**}
P×M	**تنش رطوبتی× پوترسین**	2	26.97^{*}	11.80^{*}	0.032^{ns}	3343.6^{*}
P× $Ca(NO_3)_2$	**نیترات کلسیم × پوترسین**	2	61.73^{**}	$180.\ 36^{**}$	0.067^{*}	3272.4^{*}
P× $Ca(NO_3)_2$× M	**تنش رطوبتی× نیترات کلسیم× پوترسین**	4		38.13^{**}	12.72^{**}	0.014^{ns}
Error (b)	**خطای فرعی**	30	6.62	2.71	0.013	803.1
CV%	**ضریب تغییرات (٪)**	-	*4.43*	*2.50*	*4.57*	*4.04*

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪؛ ns: غیرقابل معنی‌دار

* and **: Significant at the 5%, and 1% probability levels respectively. ns: Non- Significant

میزان پرولین برگ

میزان پرولین در برگ‌های کنجد نیز تحت تأثیر اثرات سه‌گانه تنش رطوبتی × نیترات کلسیم × پوترسین در طرح اسپلیت فاکتوریل و اثرات متقابل تنش رطوبتی × محلول‌پاشی در طرح اسپلیت قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین هر دو طرح نشان داد، میزان پرولین در اثر ایجاد محدودیت در رطوبت افزایش‌یافته به‌طوری‌که در برگ‌های گیاهان تیمار نشده، ایجاد ۷۵٪ و ۵۰٪ محدودیت نیاز آبی موجب افزایش ۱۴٪ و ۲۳/۴٪ میزان پرولین در مقایسه با شاهد شد. کاربرد هم‌زمان نیترات کلسیم و پوتریسین نیز موجب افزایش میزان تولید پرولین در برگ‌ها شد. به‌عنوان مثل کاربرد ۱۰ میلی‌مولار نیترات کلسیم به همراه ۰/۵ میلی‌مولار پوترسین در شرایط بدون تنش موجب افزایش ۱۸٪ میزان پرولین در مقایسه با کاربرد آب مقطر شد که این افزایش به ۲۱٪ و ۲۹٪ در مقایسه با آب مقطر در تنش‌های ۷۵٪ و ۵۰٪ نیاز آبی رسید (جدول ۳). بالاترین مقدار پرولین (۲/۱۶ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) در ۵۰٪ نیاز آبی و محلول‌پاشی نیترات کلسیم ۱۰ میلی‌مولار و مصرف ۰/۵ میلی‌مولار پوترسین و کمترین مقدار آن (۱/۳۱ و ۱/۳۲ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) در ۱۰۰٪ نیاز آبی و عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی با آب مقطر مشاهده شد (جدول ۳).

افزایش میزان پرولین تحت تأثیر تنش خشکی در گندم (Gholipour and Ebadi, 2008) و لوبیا (Phaseolus vulgaris L.) (Siddiqui et al., 2015) گزارش‌شده است. پرولین اسیدآمینه‌ای است که در پاسخ به تنش پدیدار می‌شود (Zegaoui et al., 2017).

محلول‌پاشی پوترسین باعث شد که نیاز گیاه به پلی‌آمین‌های درونی کاهش پیدا کند و درنتیجه‌ی کاتابولیسم پلی‌آمین‌های درونی میزان پرولین گیاه افزایش پیدا کند (Farooq et al., 2009). همچنین فتحی و همکاران (Fathi et al., 2017) گزارش کردند که استفاده از تیمارهای کلسیمی در شرایط تنش توانست میزان فعالیت پرولین را در برگ کنجد به‌طور معنی‌داری افزایش دهد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. مشخص شده است که گلوتامات ترکیب اولیه پرولین و کلروفیل است به نظر می‌رسد که این ماده در شرایط تنش به تولید پرولین اختصاص‌یافته و این امر موجب افزایش پرولین در شرایط تنش و کاهش میزان کلروفیل شود (Bybordi, 2012).

جدول ۳. مقایسه میانگین (اسپلیت فاکتوریل) رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی، پرولین و عملکرد و اجزای عملکرد کنجد تحت تأثیر اثر متقابل، نیترات کلسیم و پوترسین در تنش رطوبتی (درصد تامین نیاز آبی گیاه)

Table 3. Means comparison (split-factorial) of photosynthetic pigment, proline, yield and component yield Sesame influenced by interaction sparing $Ca(NO_3)_2$ and putrescin under moisture stress (Percentage of crop water requirement)

تنش رطوبتی Moisture	نیترات کلسیم $Ca(NO_3)_2$	پوترسین Putrescine	کلروفیل a a Chl	کلروفیل b b Chl	شاخص سبزینگی SPAD	پرولین Proline
	---------- mM ----------		---------- $mg.g^{-1}$ ----------			$mg\ g^{-1}$
	Control		$^{EF}1.42$	$^{FG}0.64$	$^{B-D}52.1$	$^{N}1.32$
	0	0	$^{E}1.44^{d}$	$^{E}0.69^{d}$	$^{C-F}50.8^{a}$	$^{N}1.31^{d}$
		0.5	$^{C}1.66^{c}$	$^{EF}0.70^{c}$	$^{HI}42.7^{bc}$	$^{L}1.41^{b}$
	5	0	$^{CD}1.55^{c}$	$^{EF}0.71^{c}$	$^{FG}48.0^{de}$	$^{MN}1.34^{cd}$
100%		0.5	$^{AB}2.02^{b}$	$^{AB}0.95^{b}$	$^{JK}36.0^{de}$	$^{L}1.44^{b}$
	10	0	$^{C}1.65^{c}$	$^{C}0.85^{bc}$	$^{IJ}39.6^{cd}$	$^{LM}1.39^{bc}$
		0.5	$^{A}2.13^{a}$	$^{A}1.01^{a}$	$^{K}32.6^{e}$	$^{JK}1.54^{a}$
	Control		$^{GHI}0.95$	$^{IJ}0.47$	$^{AB}57.1$	$^{K}1.5$
	0	0	$^{F-I}1.00^{c}$	$^{HI}0.52^{de}$	$^{A-C}54.9^{a}$	$^{IJ}1.58^{e}$
		0.5	$^{C}1.62^{ab}$	$^{F}0.65^{c}$	$^{HI}41.7^{d}$	$^{G}1.7^{c}$
	5	0	$^{EF}1.20^{bc}$	$^{HI}0.48^{e}$	$^{C-E}52.5^{ab}$	$^{HI}1.63^{d}$
75%		0.5	$^{B}1.94^{ab}$	$^{E}0.8^{b}$	$^{FG}48.3^{bc}$	$^{DE}1.88^{a}$
	10	0	$^{DE}1.34^{bc}$	$^{HI}0.54^{d}$	$^{GH}44.6^{cd}$	$^{F}1.76^{b}$
		0.5	$^{B}1.91^{ab}$	$^{BC}0.90^{a}$	$^{IK}36.6^{e}$	$^{D}1.91^{a}$
	Control		$^{I}0.89$	$^{K}0.37$	$^{A}62.1$	$^{HI}1.63$
	0	0	$^{HI}0.9^{c}$	$^{J}0.42^{c}$	$^{AB}57.1^{a}$	$^{GH}1.68^{d}$
		0.5	$^{FGH}1.08^{b}$	$^{IJ}0.48^{bc}$	$^{A-C}54.4^{bc}$	$^{CD}1.93^{bc}$
	5	0	$^{HI}0.87^{c}$	$^{J}0.40^{c}$	$^{A-C}55.3^{ab}$	$^{E}1.83^{c}$
50%		0.5	$^{EF}1.22^{a}$	$^{G}0.68^{ab}$	$^{D-F}49.2^{d}$	$^{B}2.1^{a}$
	10	0	$^{EFG}1.15^{ab}$	$^{I}0.50^{abc}$	$^{C-E}52.9^{c}$	$^{C}1.98^{b}$
		0.5	$^{C}1.66^{a}$	$^{CD}0.84^{a}$	$^{IJ}38.9^{e}$	$^{A}2.16^{a}$

جدول ۳. ادامه

Table 3. Continued

تنش رطوبتی Moisture stress	نیترات کلسیم $Ca(NO_3)_2$	پوترسین Putrescine	تعداد دانه در کپسول Grain per capsule	تعداد کپسول در بوته Capsule per plant	عملکرد دانه Grain yield
	---------- mM ----------				$kg.ha^{-1}$
	Control		$^{G}48.2$	$^{J}49.9$	$^{HIJ}621.1$
100%	0	0	$^{F}53.0^{d}$	$^{IJ}51.5^{e}$	$^{GHI}628.6^{d}$
		0.5	$^{DE}62.0^{bc}$	$^{D}72.1^{c}$	$^{E}760.9^{c}$
	5	0	$^{E}57.9^{cd}$	$^{G}60.2^{d}$	$^{FG}670.7^{d}$
		0.5	$^{B}72.3^{a}$	$^{BC}75.2^{b}$	$^{B}847.7^{b}$
	10	0	$^{CD}65.9^{b}$	$^{BC}74.8^{bc}$	$^{DE}726.9^{c}$
		0.5	$^{A}77.1^{a}$	$^{A}78.1^{a}$	$^{A}919.2^{a}$
75%	Control		$^{H}41.6$	$^{KI}42.3$	$^{J}581.5$
	0	0	$^{H}43.3^{c}$	$^{HI}52.7^{e}$	$^{HIJ}616.5^{c}$
		0.5	$^{E}59.7^{b}$	$^{D}70.3^{c}$	$^{C}775.9^{b}$
	5	0	$^{E}59.9^{b}$	$^{F}64.4^{d}$	$^{FGH}654.3^{c}$
		0.5	$^{BC}70.3^{a}$	$^{CD}72.7^{b}$	$^{CD}765.9^{b}$
	10	0	$^{BC}68.8^{a}$	$^{D}71.6^{bc}$	$^{B}837.4^{ab}$
		0.5	$^{B}71.0^{a}$	$^{AB}76.5^{a}$	$^{A}908.9^{a}$
50%	Control		$^{I}27.4$	$^{I}37.3$	$^{I}376.8$
	0	0	$^{I}29.4^{d}$	$^{K}43.4^{e}$	$^{I}394.5^{e}$
		0.5	$^{FG}50.6^{b}$	$^{G}60.6^{c}$	$^{IJ}604.9^{cd}$
	5	0	$^{H}41.4^{c}$	$^{H}54.7^{d}$	$^{K}495.9^{de}$
		0.5	$^{F}52.8^{b}$	$^{E}67.4^{b}$	$^{FGH}659.7^{ab}$
	10	0	$^{G}43.3^{c}$	$^{FG}62.4^{c}$	$^{IJ}610.7^{bc}$
		0.5	$^{E}59.7^{a}$	$^{D}71.6^{a}$	$^{EF}690.6^{a}$

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی‌دار توسط آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد. حروف سمت راست برش‌دهی اثرات متقابل سه فاکتور براساس تنش رطوبتی و حروف سمت چپ مقایسه میانگین اثرات به‌صورت کلی با اضافه شدن شاهد (عدم محلول‌پاشی) را نشان می‌دهد.

Similar letters in each column were significantly different at the 5% level based on the LSD test. The letters on the right show compare the mean of the interactions of the three factors based on moisture stress and the letters on left compare the mean of the effects in general with the addition of a control (no spraying).

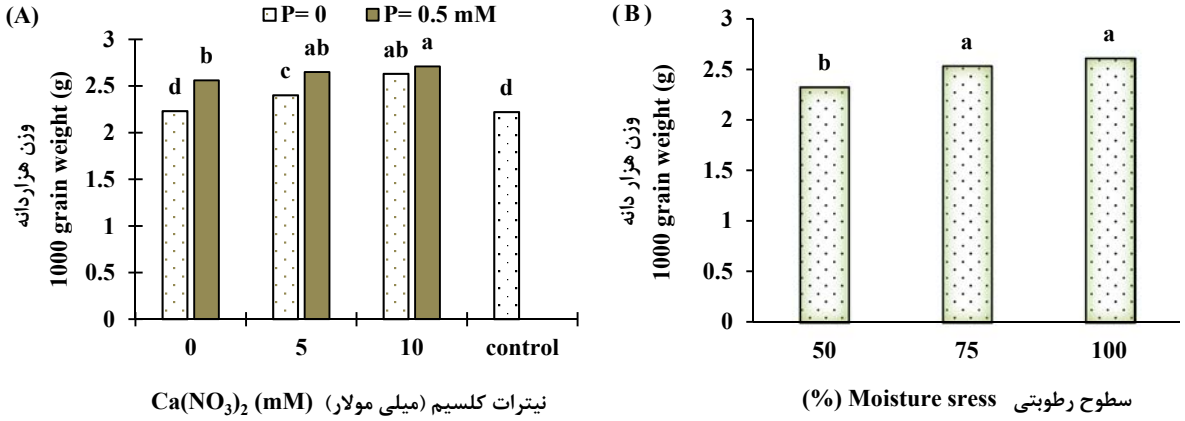
عملکرد و اجزای عملکرد دانه

نتایج عملکرد و اجزای عملکرد نیز نشان داد که عملکرد دانه و اجزای عملکرد از قبیل تعداد دانه در کپسول و تعداد کپسول در بوته علاوه بر اثرات اصلی تحت تأثیر اثر متقابل نیترات کلسیم × تنش رطوبتی، تنش رطوبتی × پوترسین، پوترسین × نیترات پتاسیم و اثرات سه‌گانه تنش رطوبتی × نیترات کلسیم × پوترسین قرار گرفت (جدول ۲). وزن هزار دانه تنها تحت تأثیر تنش رطوبتی، نیترات کلسیم، پوترسین و اثر متقابل پوترسین × نیترات کلسیم قرار گرفت (جدول ۲).

برهمکنش اثرات سه‌گانه نشان داد، ایجاد محدودیت در رطوبت موجب کاهش تعداد دانه در کپسول، تعداد کپسول در بوته و عملکرد دانه کنجد شد. به‌عنوان‌مثال محدودیت ۲۵٪ در نیاز آبی (تیمار ۷۵٪) موجب کاهش ۱۳/۶٪ تعداد دانه در کپسول، ۱۵٪ تعداد کپسول در بوته و ۶/۳٪ عملکرد دانه شد که این تغییرات در تیمار ۵۰٪ نیاز آبی به ۴۳٪، ۲۵٪ و ۳۹/۴٪ افزایش یافت (جدول ۳). کاربرد نیترات کلسیم و پوترسین علاوه بر بهبود عملکرد و اجزای عملکرد در کنجد، موجب کاهش تأثیرات منفی تنش رطوبتی بر این صفات شد. محلول‌پاشی ۱۰ میلی‌مولار نیترات کلسیم و ۰/۵ میلی‌مولار پوترسین در شرایط بدون تنش موجب بهبود ۴۵٪ تعداد دانه در کپسول، ۵۱٪ تعداد کپسول در بوته و ۴۷/۹٪ عملکرد دانه در مقایسه با محلول‌پاشی آب مقطر شد. کاربرد هم‌زمان نیترات کلسیم و پوترسین در تیمار ۵۰٪ نیاز آبی نیز موجب شد، تعداد دانه در کپسول ۲۰٪، تعداد کپسول در بوته ۴۴٪ و عملکرد دانه ۱۱٪ در مقایسه با شاهد (عدم محلول‌پاشی و عدم تنش) بهبودیافته که این امر خود می‌تواند یک راه‌کار افزایش تحمل به تنش در این گیاه باشد (جدول ۳).

مقایسه میانگین مربوط به وزن هزار دانه نیز نشان داد که تنش رطوبتی موجب کاهش وزن هزار دانه در کنجد شد. به‌طوری‌که در نیاز آبی ۷۵٪ وزن هزار دانه با افت ۳٪ تغییرات غیر معنی‌دار بوده ولی در محدودیت ۵۰٪ با افت ۱۰٪ این کاهش معنی‌دار بود (شکل ۱). نتایج محلول‌پاشی بر وزن هزار

دانه نیز مشخص کرد که کاربرد نیترات کلسیم موجب افزایش وزن هزار دانه در کنجد شده و استفاده از پوترسین در این شرایط موجب افزایش تأثیرات نیترات کلسیم شد. بالاترین وزن هزار دانه از مصرف ۱۰ میلی‌مولار نیترات کلسیم و ۰/۵ میلی‌مولار پوترسین به دست آمد که با تیمار شاهد و تیمار آب مقطر ۱۸٪ اختلاف نشان داد (شکل ۱).



شکل ۱. اثر متقابل پوترسین و نیترات کلسیم (A) و اثر تنش رطوبتی بر روی وزن هزار دانه (B). حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح حداقل ۵ درصد (LSD) معنی‌دار است.

Fig. 1. Effect of interaction putrescine and calcium nitrate (A) and Effect of moisture stress on (B) on 1000-grain weight. Different letters indicate a significant difference at the level of at least 5% (LSD).

مطالعاتی که روی کنجد انجام شد، نشان داد که تنش رطوبتی به‌طور معنی‌داری موجب کاهش اجزای عملکرد می‌شود که با نتایج این مطالعه نیز مطابقت دارد (Dahanayake et al., 2015; Eskandari and Kazemi, 2019; Dargahi et al., 2011). ازآنجایی‌که عملکرد دانه نتیجه تغییر در اجزاء عملکرد است کاهش در اجزاء عملکرد باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود (Sarmadnia and Kocheki, 2000). در این مطالعه نیز مشاهده شد تعداد دانه در کپسول بیشتر از تعداد کپسول در بوته وزن هزار دانه تحت تأثیر تنش قرارگرفته و علت افت عملکرد در شرایط تنش می‌تواند مربوط به آن باشد (جدول ۳). تنش خشکی با کاهش فتوسنتز و کاهش مواد پرورده باعث کاهش تعداد کپسول و ریزش آن‌ها و درنهایت کاهش عملکرد دانه می‌شود (Ansar et al., 2019).

گزارش‌های متعددی حاکی از آن است که محلول‌پاشی با پلی‌آمین‌ها منجر به افزایش عملکرد در گیاهان می‌شود (Gerami et al., 2019; Faraji-Mehmani et al., 2016). در آزمایشی بررسی اثر پلی‌آمین‌ها روی گیاه گندم گزارش گردید که کاربرد پلی‌آمین‌ها منجر به بهبود تعداد خوشه، وزن خوشه و عملکرد گندم گردید (Gupta and Gupta, 2011)، کاربر پوترسین موجب بهبود تعداد دانه و وزن هزار دانه در رازیانه (*Foeniculum vulgare* L.) در شرایط تنش خشکی شد (Parmoon et al., 2019). مشابه یافته‌های آزمایش حاضر، محلول‌پاشی کلسیم موجب بهبود عملکرد دانه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) تحت تنش آبی (Ibrahim et al., 2016) و کنجد تحت تنش خشکی را تائید کرده است (Fathi et al., 2017; Amirfazli et al., 2015). اثر افزایش تنظیم‌کننده‌های رشد بر عملکرد دانه از طریق بهبود سرعت فتوسنتز، بهبود در اختصاص اسمولیت‌ها، افزایش دوره گلدهی، افزایش دوره مؤثر و سرعت پر شدن مؤثر دانه، گزارش شده است (Jiang et al., 2013; Ye et al., 2010).

نتیجه‌گیری نهایی

مشاهده شد که کنجد یک تحمل نسبی به محدودیت رطوبتی داشته به‌طوری‌که تنش ۷۵٪ نیاز آبی تأثیر معنی¬داری بر عملکرد و اجزای عملکرد نداشته و تنش ۵۰٪ نیاز آبی با توجه به ذخیره ۳۶٪ آب مصرفی موجب کاهش ۴۰٪ عملکرد دانه در این گیاه شد. همچنین مشاهده شد که تنش رطوبتی سبب افزایش دو برابری تولید پرولین در گیاه شده که با توجه به

نقش پرولین در مقاومت به تنش می‌توان از مکانیسم‌های تحمل به تنش در این گیاه نام برد. محلول‌پاشی پوترسین و نیترات کلسیم موجب افزایش تحمل به تنش و بهبود عملکرد و اجزای عملکرد کنجد شد. کاربرد همزمان پوترسین و نیترات کلسیم دارای اثر هم‌افزایی بوده به‌طوری‌که بیشترین کارایی محلول‌پاشی از استفاده همزمان از ۱۰ میلی‌مولار نیترات کلسیم و ۰/۵ میلی‌مولار پوترسین مشاهده شد.

منابع

Ansar, Z., Baradaran-Firoozabadi, M., Galeshi, S., Gholami, A., Parsiyan, M., 2019. Effect of marjoram and Thyme on yield, yield components and antioxidant enzymes of sesame under water deficit stress conditions. Journal of Crops Improvement (Journal of Agriculture). 21, 149-166. [In Persian].

Ansar, Z., Baradaran Firouzabadi, M., Galeshi, S., Gholami, A., Parsaian, M., 2019. The effect of *Origanum vulgare* and *Zatria mutifora* essence on yield, yield components and antioxidant enzymes of *Sesamum indicum* L under drought stress. Journal of Crops Improvement. 21(2), 149-166. https://doi.org/10.22059/jci.2019.268418.2107

Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyhenoloxidases in *Beta vulgaris*. Plant Physiology. 24, 1-15. https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1

Ashraf, M., 2003. Relationships between leaf gas exchange characteristics and growth of differently adapted populations of Blu panicgrass (*Panicum antidotale* Retz.) under salinity or waterlogging. Plant Science 165, 69-75. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(03)00128-6

Bakry, C., El-Hariri, B., Sadak, D. Sh., 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. 8, 3503–3514. https://doi.org/10.1007/s11738-014-1762-y

Bates, L.S., Waldren, R. P., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free prolin for water stress studies. Plant and Soil. 39, 205-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060

Behroz, Z., Khodabandeh, N., Madani. H., 2009. Study of bush accumulation and division of nitrogen fertilizer on agronomic characteristic of local sesame jiroft area. New Finding in agricultural. 4, 91-99. [In Persian with English Summary].

Abbasi, A., Shekari, F., Mosavi, S.B., Javanmard, A., 2017. The effect of zinc sulfate on quantity and of wheat grain under drought stress. Cereal Research. 7, 217-233. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22124/c.2017.2548

Abu-Kpawoh, J.C., Xi, Y.F., Zhang, Y.Z., Jin, Y.F., 2002. Polyamine accumulation following Hot water dips influence chilling injury and decay in friar plum fruit. Food Chemistry and Toxicology. 67, 2649-2653. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb08793.x

Ahmadi, A., Backer, A., 2000. Stomatal and non-stomatal limitations of photosynthesis under water stress condition in wheat plant. Iranian Journal Agriculture Science. 31, 813-825. [In Persian with English Summary].

Ahmad, P., Sarwat, M., Bhat, N.A., Wani, M.R., Kazi, A.G., Tran, L.S., 2015. Alleviation of cadmium toxicity in (*Brassica juncea* L.) by calcium application involves various physiological and biochemical strategies. Plos One.10, 1-17. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0114571

Ahmadi, J., Seyfi, M.M., Amini, M., 2012. Effect of spraying micronutrients Fe, Zn and Ca on grain and oil yield of sesame (*Sesamus indicum* L.) varieties. Journal of Crop production. 5(3), 115-130. [In Persian with English Summary].

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements – FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture organization of the United Nations. Italy. 304p.

Amirfazli, N., Heydai, M., Zafariyan, Ph., Ghorbani, H., 2015. Evalution of sesame leaf chlorophyll index under drought stress and foliar application on Calcium nitrate. p. 309-313. Set of National Conference on New ideas in Agriculture Environment Tourism. Ardebil. Iran. [In Persian].

Bybordi, A., 2012. Study effect of salinity on some physiologic and morphologic properties of two grape cultivars. Life Science Journal. 9, 1092-1101.

Dahanayake, N., Alawathugoda, C.J., Ranawake, A. L., 2015. Effect of water stress on yield and some yield components of three selected oil crops; groundnut, sunflower and sesame. International Journal of Scientific and Research Publications. 5,1-5.

Dargahi, Y., Asghari, A., Shkarpour, M., Rasol zadeh, A., Eshghi, A., Shiri, M. R., 2011. Evaluation of water stress tolerance in sesame cultivars based on tolerance indices. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 21, 119-133. [In Persian with English Summary].

El-Quesni, F.E.M., Mahgoub, M. H Kandil, M.M., 2010. Impact of foliar spray of inorganic fertilizer and bioregulator on vegetative growth and chemical composition of *Syngonium Podophyllum* L. plant at Nubaria. Journal of American Science. 6, 288-294.

Eskandari, H., Kazemi, K., 2019. Evaluation of the effect of irrigation levels and soil fertility management on sesame seed and oil yield (*Sesamum indicum* L.). Environmental Stresses in Crop ScienceS. 12, 111-122. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22077/escs.2018.1254.1256

Faraji-mehmani, A., Esamaielpour, B., Sefikon, F., Khorramdel, S., 2016. Effect of foliar spraying with salicylic acid and Putrescine on growth characteristics and yield of summer savory (*Satureja hortensis* L.). Iranian Journal of Field Crops Research. 14, 73-85. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22067/gsc.v14i1.33631

Fathi, A., Firoozabad, M., Ameriyan, M.R., Gholipour, M., 2017. Effect of sodium nitroprusside and calcium carbonate on some physiological traits of sesame under salinity tension conditions. Crop Physiology Journal. 35(9), 5-20. [In Persian with English Summary].

Gerami, M., Akbarpour, V., 2019. The effect of putrescine and salicylic acid on physiological characteristics and antioxidant in *Stevia rebaudiana* B. under salinity stress. Journal of Crop Breeding. 11, 40-54. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.29252/jcb.11.29.40

Ghasemi Siani, E., Fallah, S., Tadayyon, A., 2011. Study on yield and seed quality of *Plantago ovata* Forssk under different nitrogen treatments and deficit irrigation. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 27, 517-528. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2011.6392

Gholipour, S., Ebadi, A., 2017. Study of adaptation metabolites and antioxidant enzymes activity of wheat genotypes under moisture stress conditions. Journal of Plant Process and Function. 19, 219-232. [In Persian with English Summary].

Gupta, S., Gupta, N. K., 2011. Field efficacy of exogenously applied putrescine in wheat (*Triticum aestivum* L.) under water-stress conditions. The Indian Journal of Agricultural Sciences. 81, 516-519.

Hajiboland, R., Ebrahimi, N., 2011. Growth, photosynthesis and phenolic metabolism in tobacco plants under salinity and application of polyamines. Iranian Journal of Plant Biology. 8, 13-26. [In Persian with English Summary].

Harirforoush, M., Sorooshzade, A., Ghnati, F., 2019. Study the effect of potassium nitrate and polyamines putrescine on the growth and biochemical characteristics of canola under flooded conditions. Journal of Plant Process and Function. 8(30), 341-351. [In Persian with English Summary].

Hosseinzadeh, S.R., Cheniany, M., 2014. Effects of foliar application of methanol on physiological characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Iranian Journal of Pulses Research. 5, 71-82. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22067/ijpr.v1393i2.47031

Ibrahim, M.F.M., Faisal, A., 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.

Jiang, W.B., Huang, H.Y., Hu, Y.W., Zhu, S.W., Wang, Z.Y., Lin, W.H., 2013. Brassinosteroid regulates seed size and shape in Arabidopsis. Plant Physiology. 162, 1965–1977. https://doi.org/10.1104/pp.113.217703

Jinn-Chin, Y. Lao-Dar, J., Denise, Y. F., Cheng-Wei, L., Sheng-Ju, W., 2009. Exogenous putrescine reduces flooding-induced oxidative damage by increasing the antioxidant properties of Welsh onion. Scientia

Horticulturae. 120, 306-314. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.11.020

Lawlor, D.W., Cornic, G., 2006. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant, Cell and Environment. 25, 275-294. https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00814.x

Madani, B., Mirshekari, A., Sofa, A., Muda Mohamad, M.T., 2016. Preharvest calcium applications improve postharvest quality of papaya fruits (*Carica papaya* L. cv. Eksotika II). Journal of Plant Nutrition. 39, 1483-1492. https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1143500

Mauad, M., Crusciol, C.A.C., Nascente, A.S., Filho, H.G. Lima, G.P., 2016. Effects of silicon and drought stress on biochemical characteristics of leaves of upland rice cultivars. Revista Ciencia Agronomica Journal. 47, 532-539. https://doi.org/10.5935/1806-6690.20160064

Meher, Shivakrishna, P., Ashok Reddy, K., Manohar Rao, D., 2018. Effect of PEG-6000 imposed drought stress on RNA content, relative water content (RWC), and chlorophyll content in peanut leaves and roots. Saudi Journal of Biological Sciences. 25, 285- 289. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.04.008

Mehrabi, Z., Ehsanzadeh, P., 2011. A study on physiological attributes and grain yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars under different soil moisture regimes. Journal of Crops Improvement. 1, 75-88. [In Persian with English Summary].

Mensah, J.K., Obadoni, B.O., Eruotor, P., Onome-Trieguna, F., 2006. Simulated flooding and drought effects on germination, growth and yield parameters of sesame. African Journal Biotechnology 13, 1249-1253.

Moghadam, A., Shiranirad, A.H., Khorgami, A., Rafiei, M., 2011. Study of effects of drought stress on growth stage on grain yield and chlorophyll amount of leaves of 4 spring cultivars in Khorramabad weather conditions. Crop Physiology Journal. 9, 107-119. [In Persian with English Summary].

Munns, R., Termaat, A., 1986. Whole-plant responses to salinity. Australian Journal of Plant Physiology. 13, 143-160. https://doi.org/10.1071/PP9860143

Mustafavi, S.H., Naghdi Badi, H., Sękara, A., Mehrafarin, A., Janda, T., Ghorbanpour, M., Rafiee, H., 2018. Polyamines and their possible mechanisms involved in plant physiological processes and elicitation of secondary metabolites. Acta Physiologiae Plantarum. 40, 102. https://doi.org/10.1007/s11738-018-2671-2

Nikolaeva, M.K., Maevskaya, S.N., Shugaev, A.G., Bukhov, N.G., 2010. Effect of drought on cholorophyll content and antioxidant enzyme activities in leaves of tree wheat cultivars varying in productivity. Russian Journal of Plant Physiology. 57, 87-95 .

Parmoon, G., Ebadi, A., Jahanbakhsh, S., & Hashemi, M. 2019. Physiological response of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) to drought stress and plant growth regulators. Russian Journal of Plant Physiology, 66, 795-805.

Sadeghi Lotfabadi, S., Kafi, M., Khazai, H.R., 2010. Effect of calcium, potassium and method of application on sorghum (*Sorghum bicolor* L.) morphological and physiological traits in the presence of salinity. Journal of Water and Soil. 24, 385-393. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.3255

Sarmadnia, Gh, H., Koocheki, A., 2000. Physiological aspects of dryland. Ferdowsi University of Mashhad Publication. 424p. [In Persian].

Shams, H., 2009. Quantitative and qualitative changes of bovine plant aerial part due to solubility of Calcium nitrate. Journal of Medicinal Plants. 8, 138-144. [In Persian with English Summary].

Sharafzadeh, S., Zare, M., 2011. Effect of drought stress on qualitative and quantitative characteristics of some medicinal plants from Lamiaceae family. Advances in Environmental Biology 5, 2058-2062.

Shu, S., Guo, S. R., Yuan, L.Y., 2012. A review: polyamines and photosynthesis. In: Najafpour, M (ed.), Advances in Photosynthesis–Fundamental Aspects. pp. 440-484. IntechOpen, London. https://doi.org/10.5772/1385

Shyu, Y. S., Hwang, L.S., 2002. Antioxidative activity of the crude extract of lignan glycosides from unroasted Burma black sesame meal. Food Research International. 35, 357-

365. https://doi.org/10.1016/S0963-9969(01)00130-2

Siddiqui, M.H., Khaishany, M.Y., Qutami, M.A., Whaibi, M.H., Grover, A., Ali, H.M., Wahibi, M.S., Bukhari, N.A., 2015. Response of different genotypes of faba bean plant to drought stress. International Journal of Molecular Sciences. 16, 10214-10227.

Tan, W., Meng, Q. W., Brestic, M., Olsovska, K. Yang, X. H., 2011. Photosynthesis is improved by exogenous calcium in heat-stressed tobacco plants. Journal of Plant Physiology. 168, 2063–2071. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2011.06.009

Tavallali, V., Rahemi, M., Panahi, B., 2008. Calcium induces salinity tolerance in pistachio rootstocks. Fruits. 63, 285-296 . https://doi.org/10.1051/fruits:2008024

Ye, Q., Zhu, W., Li, L., Zhang, S., Yin, Y., Ma, H., Wang, X., 2010. Brassinosteroids control male fertility by regulating the expression of key genes involved in Arabidopsis anther and pollen development. proceeding of the National Academy Science USA. 107, 6100–6105.

Yiu, J.C., Juang, L.D., Tan Fang, D.Y., Cheng-Wei, L., 2009. Exogenous putrescine reduces flooding-induced oxidative damage by increasing the antioxidant properties of Welsh onion. Science Horticulture. 120, 306-314. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.11.020

Zegaoui, Z., Planchais, S., Cabassa, S., Djebbar, R., Belbachir, O.A., Carol, P., 2017. Variation in relative water content, proline accumulation and stress gene expression in two cowpea landraces under drought. Journal of Plant Physiology. 218, 26-34. https://doi.org/10.1016/10.1016/j.jplph.2017.07.009