Archive of SID

Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 50, No 4, Winter 2018 (99-110)
DOI: 10.22059/IJFCS.2018.260605.654491

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۵۰، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۸ (ص ۱۱۰-۹۹)

بررسی برخی پاسخ‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاه دارویی چیا (*Salvia hispanica* L.) به رژیم‌های مختلف رطوبتی

امیرمحمد جمشیدی[۱]، علی احمدی[۲*]، مجتبی کریمی[۳]، بابک متشرع‌زاده[٤]

۱. دانشجوی دکتری، فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه تهران ۲. استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه تهران

۳. استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد ٤. دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/٤/۳ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۹/۱۳)

چکیده

گیاه چیا به دلیل وجود ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در برگ و به ویژه محتوی بالای امگا-۳ در دانه‌های آن، به‌تازگی در سرتاسر جهان اهمیت اقتصادی زیادی پیدا کرده است. این درحالی است که تاکنون اطلاعات کافی در زمینه شیوه‌های مدیریت زراعی این گیاه در مزرعه بخصوص تأثیر دسترسی به آب در مراحل تولید و استقرار آن، وجود ندارد. به‌منظور بررسی تأثیر رژیم‌های مختلف رطوبتی بر برخی صفات رشدی و فیزیولوژیکی گیاه دارویی چیا، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران ، واقع درکرج انجام شد. تیمارها شامل رژیم های رطوبتی در چهار سطح ٦٦(شاهد)، ۵۷، ٤۳ و ۳۵ درصد ظرفیت زراعی خاک بودند. نتایج نشان داد که رژیم‌های مختلف رطوبتی تأثیر معنی‌داری بر اغلب صفات مورد بررسی داشت. صفات محتوای نسبی آب برگ، بیوماس کل بوته، ارتفاع بوته، تعداد گره، تعداد شاخه جانبی و سطح برگ نهایی با افزایش شدت تنش خشکی کاهش یافتند، بطوریکه حداقل مقدار این صفات در سطح رطوبتی ٤۳ درصد ظرفیت زراعی خاک به دست آمد. بالاترین درصد نشت یونی غشاء و وزن خشک ریشه در سطح رطوبتی ٤۳ درصد ظرفیت زراعی خاک به‌دست آمد. کمترین میزان فلورسانس کمینه در سطح رطوبتی ٦٦ درصد ظرفیت زراعی و در مقابل کمترین عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در سطح رطوبتی ٤۳ درصد ظرفیت زراعی خاک مشاهده شد. بطور کلی با توجه به سیر نزولی تغییرات صفات رشدی و فیزیولوژیکی چیا در پاسخ به کاهش رطوبت خاک و عدم تحمل تنش شدید رطوبتی، به‌نظر می‌رسد این گیاه در مرحله رشد رویشی نیازمند تأمین رطوبت کافی جهت حفظ کارکرد غشاء و فرایندهای فتوسنتزی باشد.

واژه‌های کلیدی: بیوماس، تنش خشکی، سطح برگ، فلورسانس کلروفیل

Evaluation of some growth and physiological responses of Chia (*Salvia hispanica* L.) to various moisture regimes

Amir Mohammad Jamshidi[1], Ali Ahmadi[2], Mojtaba Karimi[3], Babak Motesharezadeh[4]

1. Ph. D student of Crop Physiology, University of Tehran, Iran
2. Professor, Department of Agronomy, University of Tehran, Iran
3. Assistant professor, Department of Agronomy, Shahrekord University, Iran
4. Associate professor, Department of Soil Science, University of Tehran, Iran

(Received:June 24, 2018 - Accepted: December 4, 2018)

ABSTRACT

Chia (*Salvia hispanica* L.), has achieved economic importance due to the products which are obtained from its leaves with antioxidant capacity and especially its seeds, because they contain omega 3. However, there is a lack of information on optimal agronomic management practices and especially the influence of water availability on its establishment and production. To evaluate the effect of various moisture regimes on some growth and physiological parameters of the medicinal plant of chia, a greenhouse experiment conducted at the university of Agriculture and natural Resources of Tehran, based on randomized complete blocks design with three replications.The treatments incorporate moist regimes that have been applied at 66, 57 and 43 and 35% Levels of soil Field capacity. Results demonstrated that diverce moisture regimes had a meaningful influence on most pre-examined parameters. Relative water content (RWC), the total biomass of plant, plant height, accessory branch, node number and the ultimate Leaf area decreased with increasing drought stress such that the lowest value of stated parameters is obtained in the 43% soil Field capacity. Also the highest value of ELI and root weighthad been obtained through 43% soil Field capacity. The lowest value of Fo and Fv/Fm was observed and affiliated with 66% and 43% soil Field capacity, respectively. Generally, concerning the decreasing trend of growth and physiological parameters of chia in response to drought stress and intolerance in severe water stress, it seems, in the growing stage, it needs to sufficient moisture to maintain the membrane function and Photosynthetic processes.

Keywords: Biomass, chlorophyll fluorescence, drought stress, leaf area

* Corresponding author E-mail: ahmadia@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

متکی بودن اقتصاد ایران به درآمدهای نفتی و تأثیرپذیری درآمدها از مسائل سیاسی و اقتصادی به نوبه خود، آسیب‌پذیری اقتصاد کشور را به همراه داشته است. یکی از راه‌های مقابله با این چالش، توسعه تولیداتی است که ضمن بهبود وضع اقتصاد داخلی سبب افزایش صادرات غیرنفتی شوند. این در حالی است که امروزه اهمیت گیاهان دارویی و شناساندن نقش حیاتی آن در پیشبرد اهداف ملی، منطقه‌ای و جهانی برای تحقق سلامت و نشاط جوامع، خودکفایی دارویی، ایجاد اشتغال، توسعه اقتصادی، امنیت غذایی و حضور فعال در بازارهای جهانی بر کسی پوشیده نیست.

چیا (*Salvia hispanica* L.) گیاه علفی یک‌ساله و روزکوتاه است که متعلق به خانواده نعناعیان بوده و خاستگاه آن جنوب مکزیک و شمال گواتمالا است (Ayerza, 1995). چیا به‌صورت تجاری در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری رشد می‌کند. در آرژانتین، استرالیا، بولیوی، کلمبیا، گواتمالا، مکزیک و پرو، و برخی مناطق دیگر مانند استرالیا، آفریقا، اروپا (Bochicchio *et al*., 2015)، و جنوب آسیا (Epling, 1940; Jansen *et al*., 1991; Perry & Metzger, 1980) کشت می‌شود. بر پایه گزارش آلنبرانت و همکاران (۲۰۱۴)، بزرگ‌ترین مرکز تولید دانه چیا کشور مکزیک است که تولیدات خود را بیشتر به ژاپن، آمریکا و اروپا صادر می‌کند (Alenbrant *et al*., 2014). این گیاه به خاک‌های اسیدی و خشکی نیمه‌مقاوم است (Ayerza& Coates, 2005). به تازگی به‌عنوان یک محصول تجاری و جایگزین برای کمک به تنوع و ثبات اقتصاد محلی در جنوب آمریکا، و همچنین در مناطق خشک و نیمه خشک که در آن مناطق دسترسی به آب محدودیت اصلی تولید دانه‌های روغنی است- در نظر گرفته شده است. چیا به صورت تجاری برای مصارف انسانی به عنوان دانه، آرد و روغن در آمریکا، استرالیا، اروپا و آسیای جنوب شرقی مورد کشت و کار قرار می‌گیرد (Mohd Ali *et al*., 2012). علاوه براین چیا به عنوان یک منبع مهم پروتئین، فیبر خوراکی، مواد معدنی و ترکیبات فعال زیستی نیز شناخته می‌شود (Marineli *et al*., 2014; Reyes-Caudillo *et al*., 2008). دانه چیا و روغن آن به جهت دارا بودن توکوفرول‌ها، فیتواسترول‌ها، کاروتنوئیدها (Álvarez-Chávez *et al*., 2008; Ixtaina *et al*., 2011) و ترکیبات فنولی (Martínez-Cruz & Paredes-López, 2014; Reyes-Caudillo *et al*., 2008) به عنوان منبع جدیدی از آنتی اکسیدان‌ها در نظر گرفته می‌شوند که دارای پتانسیل محافظت مصرف‌کننده در مقابل انواع بیماری‌ها بوده و همچنین تأثیرات مفیدی بر سلامتی انسان دارد (Ullah *et al*., 2016).

کشور ایران با میانگین ۱۴۴ میلی‌متر بارندگی در سال (یک‌سوم میانگین بارندگی در جهان) و ۳۰۴۴ میلی‌متر تبخیر جزومناطق خشک جهان به شمار می‌آید (Ghamarnia, 2000). همچنین تحقیقات نشان داده اند که رشد و عملکرد محصولات کشاورزی در بسیاری از مناطق دنیا تحت تأثیر تنش‌های زیستی و غیر زیستی قرار می‌گیرد و به همین علت اختلاف زیادی بین عملکرد واقعی و عملکرد بالقوهٔ گیاهان دیده می‌شود. این در حالی است که افزایش بی رویهٔ جمعیت جهان و قرار گرفتن بیش از ۱۶ درصد از مناطق قابل استفاده کرهٔ زمین در معرض خشکی و کمبود آب شیرین (Demirevska *et al*., 2008)، تهدید جدی برای تولید کشاورزی جهانی و امنیت غذایی به شمار می‌آید. بنابراین با توجه به ویژگی‌های اقلیمی ایران، انتخاب گیاهانی با نیاز آبی پایین و ارزش افزوده بالا در جهت تأمین امنیت غذایی و پیشبرد توسعه اقتصادی ضرورت دارد.

قرارگرفتن گیاه در معرض تنش خشکی به اختلالات جدی فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی شامل کاهش آماس سلولی، کاهش رشد، کاهش سرعت فتوسنتز، کاهش هدایت روزنه‌ای و آسیب اجزای سلولی منجر می‌شود (Janda *et al*., 2007). گیاهان در سطوح مولکولی، سلولی و فیزیولوژی به تنش پاسخ می‌دهند. پاسخ گیاه به تنش به گونه و ژنوتیپ مربوطه (Rampino *et al*., 2006)، مدت و شدت تنش (Battaglia *et al*., 2008)، مرحله نموی و سن گیاه (Zhu *et al*., 2005)، نوع اندام و سلول و ساختار زیرسلولی (Battaglia *et al*., 2007) بستگی دارد. از جمله شاخص‌های خسارت مطالعه شده در گیاهان بررسی افزایش میزان خروج یون‌ها از غشای سلولی

www.SID.ir

Archive of SID

است. تغییرپذیری در نشت الکترولیت یکی از نخستین نشانه‌های آسیب تنش خشکی است و یک غشای پایدار که در شرایط تنش وظایف خود را به‌خوبی انجام دهد، محور اصلی سازش به تنش خشکی است (Valentivic *et al*., 2006). لذا پایداری غشای سلولی در اثر شرایط خشکی به‌عنوان شاخصی از تحمل در نظر گرفته می‌شود (Abbasi *et al*., 2014). علاوه بر این کاهش محتوای نسبی آب تحت تنش از دیگر نشانه‌های کمبود آب در بافت‌های گیاهان است (Valentovic *et al*., 2006). محتوای نسبی آب به عنوان یک شاخص مفید در گزینش برای تحمل به خشکی ارزیابی شده است (Dedio, 1975). هم‌چنین اهمیت محتوای نسبی آب به عنوان یک شاخص مقاومت به خشکی به وسیله Schonfeld *et al*. (1988) نیز پیشنهاد شده‌است.

تأثیر تنش خشکی بر اندام‌های هوایی مانند برگ، ساقه و اندام‌های زایشی به خوبی مستند شده است (Bowman *et al*., 2013; Zhu *et al*., 2005; Bray, 1993). تنش خشکی توسعه سلول و برگ، طویل شدن ساقه و شاخص سطح برگ را کاهش می‌دهد (Gerik *et al*., 1996). آهنگ رشد برگ، ساقه و ریشه به علت وابستگی به توسعه سلول، به تنش آب بسیار حساس است (Hsiao, 1976). محدود شدن فتوسنتز یکی از عوامل کاهش رشد گیاهان در شرایط کم آبی و تنش خشکی است. فتوسیستم II نقش مهمی در پاسخ فتوسنتزی به عوامل محیطی در گیاهان عالی بر عهده دارد. سنجش فلورسانس کلروفیل در سال‌های اخیر در مطالعات اکوفیزیولوژی گیاهی به عنوان یک روش سریع، حساس و غیرتخریبی برای بررسی وضعیت کلروفیل گیاهی بسیار مورد توجه و استفاده قرار گفته است. مقدار فلورسانس کلروفیل به عنوان معیاری برای سنجش سالم بودن غشای تیلاکوئیدی و کارایی نسبی انتقال الکترون از فتوسیستم II به فتوسیستم I درنظرگرفته می‌شود. نسبت Fv/Fm حداکثر کارآیی کوآنتومی فتوسیستم II برای تبدیل نور جذب شده به انرژی شیمیایی را نشان می‌دهد، که تنش‌های محیطی با تأثیر بر فتوسیستم II باعث کاهش این نسبت می‌شوند (Baker &Rosenqvist, 2004). شاخص Fv/Fm در بسیاری از مطالعات مرتبط با اثر تنش در گیاهان بررسی شده است. با این حال اطلاعات اندکی در زمینه پاسخ‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاه چیا به شرایط متفاوت رطوبتی خاک وجود دارد.

با توجه به اهمیت و کاربردهای مختلف گیاه دارویی چیا، بویژه در صنعت داروسازی و تغذیه، و همچنین با درنظرگرفتن وضعیت اقلیمی گرم و خشک حاکم بر ایران و خصوصیات اکولوژیکی این گیاه دارویی، هدف از این تحقیق بررسی برخی پاسخ‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاه دارویی چیا به رژیم های مختلف رطوبتی بود تا از این طریق شناخت لازم جهت کاشت در مزرعه و توسعه آن فراهم آید.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۹۵ در گلخانه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، واقع در کرج، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل چهار سطح رژیم رطوبتی ۶۶ (شاهد)، ۵۷، ۴۳ و ۳۵ درصد ظرفیت زراعی خاک بود که بر روی گیاه داوریی چیا (*Salvia hispanica* L.) رقم Tzotzol اعمال شد. بذر این گیاه از دانشگاه پیزا (University of Pisa) در کشور ایتالیا، تهیه شد. گلدان‌ها در شرایط دمایی ۲±۲۵ درجه سلسیوس روز و ۲±۱۴ درجه سلسیوس شب با رطوبت ۶۰-۵۵ درصد و شرایط نوری تقریبا ۶۰۰۰ لوکس به صورت ۱۳ ساعت روشنایی قرار گرفتند.

اندازه قطر و ارتفاع گلدان‌ها به ترتیب ۳۰ و ۳۵ سانتی‌متر بود که تا ۲ سانتی‌متر زیر لبه آنها از خاک پر شد. خاک مورد استفاده شامل خاک مزرعه (لوم رسی)، ماسه بادی و کود دامی با نسبت‌های ۵۰، ۲۵ و ۲۵ درصد بود. جهت تعیین درصد عناصر غذایی، pH و EC خاک یک نمونه دو کیلوگرمی به منظور آزمایش تجزیه خاک برداشت و موارد مورد نظر اندازه‌گیری شد (جدول ۲). پس از آماده‌سازی گلدان‌ها، تعداد سه بذر در هر گلدان کشت و پس از سبز شدن بذرها، در مرحله چهاربرگی بوته ها تنک و در هرگلدان یک بوته نگهداری شد. آبیاری تا زمان استقرار کامل گیاهچه‌ها و حصول ظرفیت زراعی با آب معمولی انجام شد. رژیم‌های

www.SID.ir

Archive of SID

رطوبتی بر اساس ترکیبی از علائم ظاهری گیاه (درجات مختلف پژمردگی) و درصد رطوبت خاک (θ) (یا درصدهای مختلف از ظرفیت زراعی خاک[1]) اعمال شد. بدین ترتیب، که آبیاری تیمار شاهد قبل از ظهور هرگونه علائم پژمردگی و با رسیدن رطوبت خاک گلدان به ۱۷/۲ درصد (معادل ۶۶ درصد ظرفیت زراعی خاک) انجام شد. آبیاری تیمار تنش ملایم با ظهور علائم پژمردگی ملایم هنگامی که رطوبت خاک به ۱۴/۹ درصد (معادل ۵۷ درصد ظرفیت زراعی خاک) رسید، انجام شد. در حالی‌که آبیاری تیمار تنش نسبتاً شدید و شدید به ترتیب با ظهور علائم پژمردگی نسبتاً شدید و شدید و در مرحله‌ای که رطوبت خاک (θ) برابر با ۱۱/۲ (۴۳درصد ظرفیت زراعی خاک) و ۹/۳ درصد (۳۵ درصد ظرفیت زراعی خاک) بود، انجام گرفت. اعمال رژیم‌های رطوبتی در مرحلهٔ رشد رویشی (۵۵ روز بعد از سبز شدن)- مرحله‌ای که بوته‌ها کاملاً در خاک مستقر شدند-انجام شد و تا زمان برداشت ادامه یافت. طول دوره تنش پنج هفته طول کشید. طی دوره اعمال تنش‌های رطوبتی برخی شاخص‌های مرتبط با تنش و صفات فیزیولوژیکی مانند شاخص هدایت الکتریکی (ELI)، محتوای نسبی آب برگ، فلورسانس کلروفیل و میزان سبزینگی (SPAD) و در زمان برداشت صفات مورفولوژیکی مرتبط با تنش مانند سطح برگ، ارتفاع، وزن ریشه و وزن خشک اندام هوایی اندازه‌گیری شدند.

شاخص هدایت الکتریکی (ELI) بافت‌های خسارت دیده گیاه در برگ‌های کاملاً سالم بخش میانی ساقه و پس از اعمال تنش اندازه‌گیری شد. برای این منظور ۸۰ میلی‌گرم برگ پس از برش افقی، به مدت ۲۴ ساعت در داخل لوله‌های آزمایش حاوی ۱۰ سی‌سی آب مقطر قرار گرفتند و به مدت ۴۵ دقیقه در دستگاه شیکر قرار داده شده و پس‌ازآن مقدار EC_1 قرائت شد. سپس محتوی لوله آزمایش به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش (۹۵ درجه سانتی گراد) و ۴۵ دقیقه در دستگاه شیکر قرار گرفته و در پایان مقدار هدایت الکترولیتی (EC_2) آن با استفاده از دستگاه EC متر تعیین شد. در نهایت مقدار شاخص خسارت (I) براساس فرمول زیر محاسبه گردید (Stuart, 1939):

معادله (۱)

$$I = \frac{Ec1}{Ec2} \times 100$$

جهت اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، از هر گیاه موجود در گلدان، یک برگ به‌تصادف انتخاب و پس از قطع شدن، درون کیسه‌های نایلونی قرار گرفت، و به‌سرعت به آزمایشگاه منتقل گردید. وزن تر با ترازوی دیجیتال LIBROR مدل ALE-40SM ساخت شرکت Shimatzu با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شد و سپس به منظور تعیین وزن در حالت تورژسانس، به مدت ۶ ساعت در آب مقطر قرار گرفته و سپس وزن شدند. در پایان، به‌منظور تعیین وزن خشک آنها، برگ‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. محتوای نسبی آب برگ‌ها (RWC) با استفاده از فرمول زیر به دست آمد (Soomro *et al*., 2011) که در آن،DW: وزن خشک، FW: وزن‌تر و TW: وزن اشباع می‌باشد.

معادله (۲)

$$RWC = \frac{FW-DW}{TW-DW} \times 100$$

برای اندازه‌گیری متغیرهای فلورسانس کلروفیل از دستگاه Chlorophyll Fluorimeter مدل Hansatech LTD Pocket PEA ساخت کشور انگلیس استفاده شد. نمونه‌گیری از برگ‌های شاخه اصلی (برگ‌های کاملاً توسعه یافته) انجام گرفت. روش کار به این صورت بود که از هر گلدان، برگ مورد نظر از قسمت‌های مرکزی گیاه انتخاب شده و به مدت ۲۰ دقیقه در گیره‌های مخصوص جهت ایجاد شرایط تاریکی قرارگرفتند و پس از این مدت، با قرار دادن سنسور دستگاه روی این گیره‌ها شاخص‌های مربوطه (Fo, Fv/Fm) توسط دستگاه ثبت شد.

در هفته پایانی آزمایش جهت اندازه‌گیری سبزینگی برگ جوان (شاخص اسپد SPAD) ، از یک دستگاه کلروفیل‌متر دستی(SPAD 502 Chlorophyll Meter) ساخت کشور ژاپن استفاده شد. برای این منظور، به

1. Field capacity

www.SID.ir

Archive of SID

طورتصادفی از هر گیاه پنج برگ جوان انتخاب شده و قرائت جداگانه از هر برگ انجام گردید. در نهایت میانگین این قرائت‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

در زمان برداشت بوته‌ها، تعداد گره هاو شاخه‌های جانبی شمارش شد و ارتفاع نهایی بوته‌ها با استفاده از خط‌کش مدرج اندازه‌گیری و یادادشت شدند. سپس جهت سهولت استخراج ، بعد از آبیاری کامل گلدان‌ها، ریشه‌های گیاهان با دقت تفکیک و شستشو شده و بعد از آبگیری اولیه، داخل پاکت‌های کاغذی گذاشته شدند.

در پایان جهت تعیین وزن خشک، پاکت نمونه‌های برگی، ساقه و ریشه در آون در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک و سپس توزین شدند. وزن خشک کل اندام هوایی (بیوماس) از مجموع وزن خشک ساقه و برگ به‌دست آمد.

به علت بروز تنش شدید و عدم تحمل گیاه در رژیم رطوبتی ۳۵ درصد ظرفیت زراعی خاک، گیاهان مربوط به این سطح از تیمار رطوبتی اندکی بعد از شروع تنش از بین رفتند. لذا تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم افزار **SAS ver 9.2** برای سه سطح باقیمانده رطوبتی انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون **LSD** در سطح احتمال پنج درصد انجام شده و شکل های مربوطه با استفاده از نرم‌افزار **Excel** رسم شدند.

جدول ۱- مشخصات تیمارهای آزمایشی

Table 1. Characteristics of experimental treatments.

Irrigation Regimes	Soil water content	Field capacity (F.C)	Plant Status
Control	17.2	66	Fresh plants
Moderate	14.9	57	Mild wilt
Severe	11.2	43	Severe wilt
Very Severe	9.3	35	Very severe wilt

جدول ۲. مشخصات خاک

Table 2. Characteristics of soil.

K mg/kg	P mg/kg	Texture -	Silt %	Clay %	Sand %	N %	OC %	EC $dS.m^{-1}$	pH
91	12.9	Sa.L	23	14	63	0.05	0.43	2.68	6.88

جدول ۳- مقایسه میانگین برخی شاخص‌های مورفولوژیک گیاه چیا در رژیم های مختلف رطوبتی

Table 3. Mean comparison of some morphological characteristics of chia plant under various moist regimes.

		Leaf Area (mm^2/plant)	Height (cm)	Root Weight (g)	branch weight (g)	Leaf Weight (g)	Accessory Branch	Node Number	Total Biomass (g)
Soil Moisture Conditions	66 % F.C (Control)	4295.3 a	163.0 a	2.9 b	18.7 a	10.37 a	16.0 a	12.0 a	28.6 a
	57% F.C	4179.3 ab	157.0 b	3.6 b	17.2 ab	9.94 a	13.3 b	9.0 ab	27.4 a
	43% F.C	3826.7 b	152.0 b	4.6 a	14.8 b	8.0 b	11.3 c	7.6 b	23.7 b
Treatment		*	*	*	*	**	**	*	**
C.V (%)		3.90	2.34	13.52	7.34	5.18	9.20	15.20	4.76

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴- میانگین کارایی فلورسانس کلروفیل، سبزینگی برگ (SPAD) و برخی شاخص‌های فیزیولوژیک گیاه چیا در رژیم‌های مختلف رطوبتی.

Table 4. The average chlorophyll fluorescence efficiency, SPAD and Some physiological parameters of chia plant under various moist regimes.

		SPAD	Fo	Fv/Fm	Relative water content (%)	ELI (%)
Soil Moisture Conditions	66 % F.C (Control)	46.6 a	250.33 b	0.90 a	77.0 a	16.3 c
	57% F.C	45.227 a	258.67 ab	0.85 ab	75.3 a	28.5 b
	43% F.C	44.373 a	296.67 a	0.70 b	69.3 b	42.8 a
Treatment		ns	*	*	*	**
C.V (%)		8.97	6.80	8.5	4.12	23.2

ns * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: Not significant and significant at 1 and 5 % probability levels, respectively

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از تأثیر رژیم-های مختلف رطوبتی بر برخی صفات رشدی و فیزیولوژیکی گیاه چیا نشان داد که اثر سطوح مختلف رطوبتی بر تمامی صفات مورد مطالعه به‌جز شاخص سبزینگی **(SPAD)** معنی‌دار بود (جدول ۳ و ۴).

شاخص‌های رشدی و بیوماس کل

سطح برگ نهایی: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تغییرات سطح برگ نهایی در واکنش به رژیم‌های مختلف رطوبتی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). طبق نتایج مقایسه میانگین، اگرچه سطح رطوبتی شاهد (۶۶ درصد ظرفیت زراعی) با سطح رطوبتی ۵۷ درصد ظرفیت زراعی اختلاف معنی‌داری نداشت اما به‌طورکلی با افزایش شدت تنش رطوبتی، سطح برگ نهایی کاهش یافت، به‌طوری‌که کمترین مقدار سطح برگ در سطح رطوبتی ۴۳ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد (جدول ۳).

ارتفاع بوته: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که سطوح مختلف رطوبتی تأثیر معنی‌داری (پنج درصد) بر ارتفاع نهایی بوته چیا داشته است (جدول ۳). با توجه به نتایج مقایسه میانگین، کمترین و بیشترین میزان ارتفاع بوته به ترتیب مربوط به سطوح سوم (۴۳ درصد ظرفیت زراعی) و شاهد (۶۶ درصد ظرفیت زراعی) بود، هرچند که سطح سوم رطوبتی با سطح دوم (۵۷ درصد ظرفیت زراعی) اختلاف معنی‌داری نداشت.

تعداد شاخه‌های جانبی: طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، رژیم‌های مختلف رطوبتی تأثیر معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) بر تعداد شاخه‌های جانبی چیا داشته است (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین، با افزایش شدت تنش رطوبتی تعداد شاخه‌های جانبی کاهش یافت. بیشترین تعداد شاخه جانبی در سطح رطوبتی شاهد (۶۶ درصد ظرفیت زراعی) به دست آمد، درحالی‌که کمترین تعداد آن مربوط به سطح رطوبتی سوم (۴۳ درصد ظرفیت زراعی) بود (جدول ۳).

تعداد گره ساقه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که سطوح مختلف رطوبتی تأثیر معنی‌داری بر صفت تعداد گره ساقه داشته است (جدول ۳). طبق نتایج مقایسه میانگین بیشترین تعداد گره در سطح رطوبتی شاهد (۶۶ درصد ظرفیت زراعی) به دست آمد و کمترین تعداد آن نیز در سطح رطوبتی ۴۳ درصد ظرفیت زراعی به دست آمد، اگرچه تیمار مربوط به سطح رطوبتی ۵۷ درصد ظرفیت زراعی با سایر تیمارهای رطوبتی اختلاف معنی-داری نداشت (جدول ۳).

وزن خشک ریشه: طبق نتایج تجزیه واریانس داده ها، صفت وزن خشک ریشه تحت تأثیر معنی‌دار (پنج درصد) رژیم‌های مختلف رطوبتی خاک قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که برخلاف صفات مرتبط با اندام‌های هوایی گیاه، بیشترین وزن خشک ریشه در سطح رطوبتی ۴۳ درصد ظرفیت زراعی به دست آمد و

www.SID.ir

Archive of SID

کمترین مقدار آن نیز در سطح رطوبتی شاهد به دست آمد، هرچند سطح رطوبتی ۵۷ درصد ظرفیت زراعی اختلاف معنی‌داری با شاهد از نظر وزن ریشه تولید شده نداشت (جدول ۳).

وزن خشک برگ: وزن خشک برگ تحت تأثیر معنی‌دار (یک درصد) رژیم‌های مختلف رطوبتی قرار گرفت (جدول ۳). طبق نتایج مقایسه میانگین کمترین مقدار وزن خشک برگ در سطحرطوبتی ۴۳ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد و سطح رطوبتی شاهد و ۵۷ درصد ظرفیت زراعی در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۳).

وزن خشک ساقه: وزن خشک ساقه نیز تحت تأثیر معنی‌دار رژیم‌های مختلفی رطوبتی خاک قرار گرفت، بطوریکه کمترین و بیشترین مقدار وزن خشک ساقه در سطوح شاهد (۶۶ درصد ظرفیت زراعی) و ۴۳ درصد ظرفیت زراعی خاک به دست آمد، درحالیکه در این صفت، سطح رطوبتی ۵۷ درصد زراعی اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد و ۴۳ درصد ظرفیت زراعی نداشت (جدول ۳).

بیوماس کل: بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، صفت بیوماس کل، به‌عنوان یک شاخص کلی جهت ارزیابی تأثیر رژیم رطوبتی بر استقرار و رشد گیاه چیا، تحت تأثیر معنی‌دار (یک درصد) سطوح مختلف رطوبتی قرار گرفت (جدول ۳). اگرچه سطح رطوبتی شاهد (۶۶ درصد ظرفیت زراعی) و سطح دوم رطوبتی خاک (۵۷ درصد ظرفیت زراعی) تفاوت معنی‌داری نداشتند و در یک گروه آماری قرار گرفتند، اما نتایج نشان داد که روند تغییرات بیوماس کل با افزایش شدت تنش به‌صورت کاهشی بود، بطوریکه کمترین میزان آن در سطح رطوبتی سوم (۴۳ درصد ظرفیت زراعی) به دست آمد (جدول ۳).

ارتباط مستقیمی بین افزایش میزان تنش خشکی و هر یک از شاخص‌های رشد وجود دارد. علت این پدیده اثر منفی تنش خشکی بر فرایندهای فتوسنتز، تغذیه، روابط هورمونی و آبی گیاه است (Chabak, 1996). با توجه به اینکه عمده‌ترین عامل مؤثر بر رشد و تولید گیاهان زراعی میزان جذب نور توسط برگ‌ها و تبدیل آن به مواد فتوسنتزی است، لذا افزایش میزان سطح برگ گیاه باعث افزایش میزان جذب نور و درنتیجه افزایش عملکرد گیاه خواهد شد (Sajadi Nik & Yadavi, 2014; Nurbakhsh *et al*., 2014). بااین‌حال در مراحل نمو رویشی حتی تنش بسیار جزئی می‌تواند سرعت رشد برگ و در مراحل بعدی رشد، تعداد برگ و شاخص سطح برگ را کاهش دهد. افت هدایت روزنه‌ای و میزان فتوسنتز خالص و همچنین کاهش میزان تبخیر و تعرق در شرایط تنش خشکی در گیاه چیا گزارش شده است (Herman *et al*., 2016). در شرایط تنش خشکی به منظور کاهش تعرق و حفظ رطوبت گیاه، سطح برگ کاهش می‌یابد که این عمل همراه با افزایش ضخامت برگ است (Abbasi, 2003). به‌طور کلی از اثرات کمبود آب، کاهش توسعه سلول از طریق نقصان در آماس سلول است که این امر سبب کاهش ارتفاع ساقه، سطح برگ و فتوسنتز می‌گردد. همچنین گزارش شده است که در شرایط تنش خشکی، گیاه با کاهش تعداد و کوچک‌تر کردن سطح برگ، سطح فتوسنتزکننده خود را کاهش می‌دهد و در پی کاهش سطح برگ، ظرفیت فتوسنتزی گیاه کاهش می‌یابد (Gordner *et al*., 1985)، که این عمل باعث تلفات بیشتر برگ و کاهش سطح فتوسنتز کننده می‌گردد.

کاهش وزن خشک بیوماس کل بوته در نتیجه تنش خشکی در چیا گزارش شده است (Herman *et al*., 2016). همچنین کاهش وزن خشک ریشه، ساقه و برگ و ارتفاع بوته در گیاهان مختلفی مانند اسفرزه، بومادران و بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) نیز در شرایط تنش خشکی گزارش شده است (Lebaschi & Shariphi-Ashorabadi, 2004; Hasani, 2006). کاهش رشد و درنتیجه کاهش ارتفاع و رشد برگ و ریشه و همچنین تغییر نسبت رشد شاخ و برگ و ریشه در شرایط تنش آبی در گیاهان مختلف مشاهده شده است. به‌طورکلی دسترسی آب از طریق افزایش طول میانگره‌ها و تعداد گره‌ها ارتفاع بوته را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اختلاف ارتفاع بوته در اغلب گیاهان ناشی از خصوصیات ژنتیکی و تغییر شرایط محیطی است و ازآنجاکه تقسیم و افزایش اندازه سلول به تنش خشکی بسیار حساس است، بنابراین به نظر می‌رسد که در تیمارهای تحت تنش آبی، افزایش اندازه سلول تحت تأثیر قرار گرفته و با ممانعت از

www.SID.ir

Archive of SID

رشد طولی ساقه، سبب کاهش ارتفاع بوته می‌گردد. سایرمحققان نیز طی آزمایشاتی علت کاهش ارتفاع در شرایط تنش آبی را به کاهش سرعت رشد و اندازه سلول نسبت دادند. آنان همچنین ذکر کردند که با کاهش میزان آب خاک، رشد و طویل شدن ساقه کاهش می‌یابد (Ludlow & Muchow, 1990).

طبق نتایج به‌دست آمده در این تحقیق وزن خشک اندام‌های هوایی در شرایط مطلوب رطوبتی، بالاتر از شرایط تنش بود و با کاهش مقدار آب در دسترس، روند نزولی شدیدتر بود. محدودیت سطح برگ می‌تواند اولین خط دفاعی برای مقابله با تنش خشکی باشد، بنابراین کاهش پتانسیل آب در دوره کم آبی، سبب کاهش آب بافت‌های گیاه شده که نتیجه آن کاهش سطح برگ، کوچک شدن برگ‌ها و کاهش طول ساقه است (Shao *et al*., 2008). به دنبال کاهش رشد اندام‌های هوایی بخصوص برگ‌ها، تغییرات ثانویه در گیاه اتفاق می‌افتد. یکی از تغییرات مورفولوژیکی مهم، تلاش برای ایجاد تعادل بین رشد بخش هوایی و بخش ریشه توسط گیاه می‌باشد. لذا به‌نظر می‌رسد کاهش بخش هوایی گیاه در شرایط تنش، از طرفی یکی از راهکارهای گیاه برای کاهش تبخیر و تعرق و حفظ روابط آبی در حالت مطلوب و از طرف دیگر تلاش برای دریافت رطوبت بیشتر از طریق گسترش ریشه باشد که برآیند این اقدامات سبب بهبود مقاومت به تنش خواهد بود. گزارش شده است که در گیاهان سازگار با شرایط تنش، حتی اگر طول اندام‌ها کاهش یابد مقدار کاهش در اندام زیرزمینی به مراتب باید کمتر از اندام هوایی باشد تا بتواند با ایجاد تعادل در نسبت ساقه به ریشه، شرایط تنش را بهتر تحمل کند (Falahi *et al*., 2009).

فلورسانس کلروفیل

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، پارامترهای فلورسانس کلروفیل تحت تأثیر معنی‌دار رژیم‌های مختلف رطوبتی قرار گرفتند (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش شدت تنش آبی، فلورسانس کمینه (Fo) افزایش و عملکردکوانتومی فتوسیستمII (Fv/Fm) کاهش یافت. کمترین میزان فلورسانس کمینه در سطح رطوبتی شاهد (۶۶ درصد ظرفیت زراعی) و در مقابل کمترین عملکردکوانتومی فتوسیستم II در سطح رطوبتی ۴۳ درصد ظرفیت زراعی خاک مشاهده شد و در هر دو صفت، سطح رطوبتی ۵۷ درصد ظرفیت زراعی با سطح رطوبتی شاهد و ۴۳ درصد ظرفیت زراعی اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴).

واکنش گیاهان به کمبود آب بر اساس ویژگی‌های ژنتیکی، بیوشیمیایی و مورفولوژیکی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در این راستا هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب، پرولین، غلظت کلروفیل و کارایی فتوسنتزی به‌عنوان شاخص‌هایی برای ارزیابی شرایط محدودیت آبی در بررسی‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (Maccaferri *et al*., 2011).

اگرچه در سطوح پایین تنش تغییرات فلورسانس کمینه (Fo) در اثر تنش خشکی معنی‌دار نبود اما سطوح بالای تنش سبب افزایش معنی‌دار این شاخص نسبت به شرایط تنش خفیف و شاهد شد. افزیش فلورسانس اولیه می‌تواند نشان‌دهنده تخریب مراکز واکنش PSII، دگرگونی ساختار و تغییر در رنگدانه‌های فتوسیستم II در شرایط تنش خشکی باشد (Havaux& Niyogi,1999). گزارش شده است که تنش خشکی به تنهایی تغییرات معنی‌داری در Fo ایجاد نمی‌کند و معمولاً تنش گرما به تنهایی یا در ترکیب با تنش خشکی می‌تواند موجب انهدام یا تخریب در مرکز واکنش فتوسیستم II شود (Havaux *et al*., 1998). لذا یک دلیل احتمالی افزایش این شاخص در آزمایش جاری ممکن است به دلیل شرایط دمایی محیط گلخانه در زمان نمونه‌برداری باشد. با این حال افزایش Fo صرفاً در اثر تنش خشکی، توسط برخی پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است که با نتایج آزمایش حاضر همسو می‌باشد (Mamnoei & Seyed Sharifi, 2010; Javadipour *et al*., 2012).

در این تحقیق عملکردکوانتومی فتوسیستم II در واکنش به افزایش شدت تنش رطوبتی روند نزولی داشت. Fv/Fm بیانگر حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II برای تبدیل نور جذبی به انرژی شیمیایی است. علاوه بر این Fv/Fm به عنوان شاخص سرزندگی شناخته می‌شود و به طور گسترده‌ای به عنوان شاخصی معتبر برای نشان دادن اختلال ناشی از تنش در مراکز فتوشیمیایی و بازدارندگی نوری استفاده شده است

www.SID.ir

Archive of SID

(Hong *et al*., 2000; Amirjan *et al*., 2009). کاهش این پارامتر نشان از کاهش حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II است (Amirjan *et al*., 2009). نتایج حاصل از بررسی‌ها مؤید این مطلب است که کمپلکس آزادکننده اکسیژن فتوسیستم II و مراکز واکنش فتوسیستم II تحت تنش خشکی تخریب می‌شوند. اثر تخریبی تنش خشکی بر پروتئین D_1 که در ساختمان فتوسیستم II قرار دارد نیز گزارش شده است (Lu & Zhang, 1998; Zlatev & Yordanov, 2004). کاهش سرعت انتقال الکترون و عملکرد کوانتومی فتوسیستم II گیاه در شرایط تنش خشکی ممکن است به دلیل تخریب سیکل کلوین، به تأخیر افتادن احیاء کوئینون‌ها و همچنین تخریب زنجیره انتقال الکترون غشا تیلاکوئید باشد (Tilahun & Sven, 2003). لذا کاهش نسبت Fv/Fm در شرایط تنش خشکی می‌تواند نشان دهنده این موضوع باشد که انتقال الکترون از فتوسیستم II به فتوسیستم I تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفته و کاهش می‌یابد (Lu & Zhang, 1998).

محتوای نسبی آب برگ

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده ها محتوای نسبی آب برگ در واکنش به رژیم‌های مختلف رطوبتی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش شدت تنش رطوبتی محتوای نسبی آب برگ روند نزولی داشت، هرچند سطح دوم رطوبتی (۵۷ درصد ظرفیت زراعی) اختلاف معنی-داری با تیمار شاهد (به ترتیب ۶۶ درصد ظرفیت زراعی) نداشت اما تیمار شاهد با سطح رطوبتی ۴۳ درصد ظرفیت زراعی اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۳). محتوای نسبی آب برگ یک شاخص قابل اعتماد و موثر است و به طور وسیعی برای تعیین حساسیت و تحمل گیاهان به تنش خشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Gunasekera & Berkowitz, 1992; Sanchez-Rodriguez *et al*., 2010). همچنین محتوای نسبی آب برگ می‌تواند توانایی گیاه را برای در امان بودن از شدت تنش تحت تأثیر قرار دهد و درنتیجه بر عملکرد و پایداری آن موثر باشد. کاهش محتوای نسبی آب به کاهش قابلیت دسترسی به آب در شرایط تنش کم آبی مربوط می‌باشد.تنش آبی از طریق افزایش محدودیت‌های روزنه‌ای، موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ، Co_2 زیر روزنه‌ای و سرعت تعرق، سرعت فتوسنتز، و هدایت مزوفیلی می‌گردد. رابطه مثبت و معنی-دار این صفت با صفات سرعت تعرق، هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز تأیید شده است (Jalalvand *et al*., 2017).

نشت یونی

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، رژیم‌های مختلف رطوبتی تأثیر معنی‌داری (۱ درصد) بر میزان نشت یونی غشاء سلول‌های برگ چیا داشته است (جدول ۴). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش شدت تنش رطوبتی خاک میزان نشت یونی افزایش یافت. به-طوریکه کمترین میزان مربوط به سطح رطوبتی ۶۶ درصد ظرفیت زراعی و بیشترین آن در شرایط سطح رطوبتی ۴۳ درصد ظرفیت زراعی به دست آمد (جدول ۳). مطالعات نشان داده که در صورت بروز تنش در گیاه، غشاهای سلولی اولین محل درک تنش هستند. در نتیجه اولین خسارت‌های ایجاد شده در گیاه و در پی آن می‌توان نخستین پاسخ‌ها به تنش را در سطح غشاهای سلولی نیز مطالعه کرد. میزان هدایت الکتریکی در محیط آبی، شدت آسیب‌رسانی تنش خشکی به غشاء سلولی را نشان می-دهد، و میزان پایداری غشاء سلول به‌خوبی با تحمل دیگر فرایندهای گیاهی به تنش از جمله فتوسنتز در ارتباط است (Masoumi *et al*., 2013). با محدود شدن فرآورده‌های فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی، رشد گیاه و در نهایت عملکرد آن نیز کاهش می‌یابد و از سویی غشاهای زیستی (بیولوژیک) به عنوان نخستین هدف تنش‌های غیرزنده در گیاهان در اولویت آسیب قرار می گیرند (Bajji *et al*., 2002). در ادامه آسیب به غشای سلول ها، تراوایی افزایش یافته و به نشت الکترولیتی سلول و در نهایت پژمردگی گیاه منجر می‌شود (Blume & Ebercon, 1981). همچنین گزارش شده است که یکی از آسیب‌های جدی تنش خشکی به آسیب‌رسانی به غشاء و رهاسازی یون‌ها از سلول به فضای بین سلولی مربوط است. این پدیده نتیجه تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن است که به پراکسیداسیون چربی‌ها، نفوذپذیری غشای سلولی و آسیب‌رسانی به سلول منجر می‌شود (Sairam *et al*., 2002). افزایش در نشت یونی در اثر

www.SID.ir

Archive of SID

تنش خشکی در گیاهان مختلف گزارش شده است (Borsani *et al*., 2001; Gue *et al*., 2001; Kabiri *et al*., 2014).

نتیجه گیری کلی

در این تحقیق، تنش خشکی سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ، بیوماس کل بوته، ارتفاع بوته، تعداد گره، تعداد شاخه جانبی و سطح برگ نهایی گیاه چیا شد. همچنین بیشترین میزان خسارت به غشاء سلولی و بالاترین میزان وزن خشک ریشه در شرایط تنش شدید (سطح رطوبتی ۴۳ درصد ظرفیت زراعی) خاک به‌دست آمد. علاوه بر این عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در پاسخ به تنش خشکی کاهش یافت. لذا با توجه به نتایج به‌دست آمده در این آزمایش و عدم تحمل گیاه در سطوح خیلی شدید تنش (۳۵ درصد ظرفیت زراعی خاک)، به‌نظر می‌رسد رشد رویشی گیاه چیا نیازمند تأمین رطوبت کافی خاک در سطح ۵۷ درصد ظرفیت زراعی، جهت رشد و عملکرد مناسب در این دوره می باشد، با این حال این نتایج نیاز به بررسی و تحقیق بیشتر دارد.

REFERENCES

1. Abbasi, A. R., Sarvestani, R., Mohammadi, B. & Bagheri, A. (2014). Drought stress-induced changes at physiological and biochemical levels in some common vetches (*Vicia sativa* L.) genotypes. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16, 505-516.
2. Abbasi, P. (2003). Effects of different levels salinity and water stress on growth characteristics and physiological traits *Aeluropus* spp. Ph.D thesis. Islamic Azad University of Tehran. Iran. (In Persian with English Summary).
3. Alenbrant, R., Benetoli da Silva, T., Soares de Vasconcelos, A., Mourão, W. & Corte, J. (2014). O cultivo da Chia no Brasil: Futuro e perspectivas. *Journal of Agricultural Science, Umuarama*, 3:161-179.
4. Alvarez-Cha ´ vez, L. M., Valdivia-Lo ´ pez, M. A., Aburto-Jua ´ rez, M. L. & Tecante, A. (2008). Chemical characterization of the lipid fraction of Mexican chia seed (*Salvia hispanica* L.). *International Journal of Food Properties*, 11, 687-697.
5. Amirjan, M.R., Iranbakhsh, A. & Abnosi, M. H. (2009). Molecular mechanism of photosynthesis. Arak University, P.o. Box38156.
6. Ayerza, R. (1995). Oil content and fatty acid composition of chia (*Salvia hispanica* L.) from five northwestern locations in Argentina. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 72(9), 1079-1081.
7. Ayerza, R. & Coates, W. (2005). Chia: Rediscovering a forgotten crop of the Aztecs. University of Arizona Tucson, Arizona. http://www.uky.edu/Ag/CDBREC/introsheets/chia.pdf.
8. Bajji, M., Kinet, J. & Lutts, S. (2002). The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat. *Plant Growth Regulation*, 36, 61-70.
9. Baker, N. R. & Rosenqvist, E. (2004). Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany*, 55: 607-1621.
10. Battaglia, M., Solorzano, R. M., Hernandez, M., Cuellar-Ortiz, S., Garcia-Gomez, B., Marquez, J. & Covarrubias, A. A. (2007). Proline-rich cell wall proteins accumulate in growing regions and phloem tissue in response to water deficit in common bean seedlings. *Planta*, 225, 1121-1133.
11. Blume, A. & Ebercon, A. (1981). Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. *Crop Science*, 27(1), 43-47.
12. Bochicchio, R., Rossi, R., Labella, R., Bitella, B., Permiola, M. & Amato, M. (2015). Effect of sowing density and nitrogen top-dress fertilization on growth and yield of Chia (*Salvia hispanica* L.) in a Mediterranean environment. *Italian Journal of Agronomy*, 10:163-166.
13. Borsani, O., Valpuesta, V. & Botella, M. A. (2001). Evidence for a role of salicylic acid in the oxidative damage generated by NaCl and osmotic stress in Arabidopsis seedlings. *Plant Physiology*, 126, 1024-1030.
14. Bowman, M. J., Park, W., Bauer, P. J., Udall, J. A. & Page, J.T. (2013). RNA-Seq transcriptome profiling of upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) root tissue under water-deficit stress. *PLOS ONE*, 8(12): e82634.
15. Bray, E. A. (1993). Molecular responses to water deficit. *Plant Physiology*, 103: 1035-1040.
16. Chabak, B. (1996). Assess the physiological indexes of drought resistance in white peas. Master's thesis, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University of Karaj.
17. Dedio, W. (1975). Water relations in wheat leaves as screening tests for drought resistance. *Canadian Journal of Plant Science*, 55: 369-378.

www.SID.ir

Archive of SID

18. Demirevska, K., Simova-Stoilova, L., Vassileva, V., Vaseva, I., Grigorova, B. & Feller, U. (2008). Drought-Induced Leaf protein alteration in sensitive and tolerant wheat varieties. *Field Crop Research*, 34: 79-102.
19. Epling, C. C. (1940). A Revision of salvia, subgenus Calosphace. Verlag des Repertoriums, Fabeckstr. 49, Berlin.
20. Fallahi, J., Ebadi, T. & Ghorbani, R. (2009). The effect of salt and osmotic stress on seed germination of clary (*Salvia sclarea* L.). *Environmental stress and agricultural science*, 1: 57-67.
21. Gardner, F.P., Pearce, R. B. & Mitchell, R. L. (1985). Physiology of crop plants. *Publication of Iowa State University*. p. 327.
22. Gerik, T. J., Faver, K. L., Thaxton, P. M. & El-Zik, K. M. (1996). Late season water stress in cotton: I. Plant growth, water use and yield. *Crop Science*, 36:914-921.
23. Ghamarnia, H. & Gowing, J. W. (2005). Effect of water stress on three wheat cultivars. ICID 21st European Regional Conference. 15-19 May. Frankfurt (Oder) and Slubice-Germany and Poland.
24. Gue, B., Liang, Y. C., Zhu, Y. G. & Zhao, F. J. (2007). Role of salicylic acid in alleviating oxidative damage in rice roots (*Oryza sativa*) subjected to cadmium stress. *Environmental Pollution*, 147, 743-749.
25. Gunasekera, D. & Berkowitz, G. A. (1992). Evaluation of contrasting cellular level acclimation responses to leaf water deficits in three wheat genotypes. *Plant Science*, 86: 1-12.
26. Hasani, A. (2006). The effect of water stress on growth, yield and essential oil of Badrashbu. *Iranian Journal of Medical & Aromatic Plants*, 22(3): 256-261.
27. Havaux, M. & Niyogi, K. K. (1999). The violoxanthin cycle protects plants from photooxidative damage by more than one mechanism. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96: 8762-8767.
28. Havaux, M., Emez, M. & Lannoye, R. (1998). Selection de varieties de ble dur (*Triticum durum* Desf.) et de ble tendre (*Triticum aestivum* L.) adapteesd a la secheresse par la mesure de l’ extinction de la fluorescence de la chlorophylle in vivo. *Agronomie*, 8(3): 193-199.
29. Herman, S., Garrido, M., Baginsky, C., Valenzuela, A., Morales, L., Valenzuela, C., Pavez, S. & Alister, S. (2016). Effect of water availability on growth, water use efficiency and omega3 (ALA) content in two phenotypes of chia (*Salvia hispanica* L.) established in the arid Mediterranean zone of Chile. *Agricultural Water Management*, 173: 67‑75.
30. Hong, Z., Lakkineni, K., Zhang, Z. & Verna, P. S. (2000). Removal of feedback inhibition of 1‑pyrroline-5-carboxylate synthetase results in increased proline accumulation and protection of plant from osmotic stress. *Plant Physiology*, 122, 1129‑1136.
31. Hsiao, T.C. (1973). Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology*, 24: 519-570.
32. Ixtaina, V. Y., Martínez, M. L., Spotorno, V., Mateo, C. M., Maestri, D. M., Diehl, B. W. K., Nolasco, S. M. & Tomás, M. C. (2011). Characterization of Chia seed oils obtained by pressing and solvent extraction. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24:166–174.
33. Jalalvand, A., Andalibi, B., Tavakoli, A. & Moradi, M. (2017). Evaluation of CCC and SA on some physiologic traits and Essential oil of Dracocephalum moldavica (*Dracocephalum moldavica* L.) under drought stress. *Plant Production Science*, 24(4): 111-128.
34. Janda, T., Horvath, G., Szalai, G. & Paldi, E. (2007). Role of salicylic acid in the induction of abiotic stress tolerance. Salicylic Acid: A plant Hormone. Springer Publishers, Dordrecht, the Netherlands. 91-150.
35. Jansen, P. C. M, Lemmens, R. H. M. J, Oyen, L. P. A, Siemonsma, J. S, Stavast, F. M. & Valkenburg, J. L. C. H. (1991). Plant resources of South-East Asia basic list of species and commodity grouping Pudoc, Wageningen, Netherlands.
36. Javadipour, Z., Movahhedi Dehnavi, M. & Balouchi, H. R. (2012). Evaluation of photosynthesis parameters, chlorophyll content and fluorescence of safflower cultivars under saline condition. *Electronic Journal of Crop Production*, 6(2): 35-56. (In Persian with English Summary).
37. Kabiri, R., Nasibi, F. & Farahbakhsh, H. (2014). Effect of exogenous salicylic acid on some physiological parameters and alleviation of water stress in *Nigella sativa* plant under hydroponic culture. *Plant Production Science*, 50, 43-51.
38. Lebaschi, M. H. & Shariphi-Ashorabadi, A. (2004). Indexes Growth of some species of medicinal plants invarious conditions of water stress. *Iranian Journal of Medical & Aromatic Plants*, 20(3): 249-261.
39. Lu, C. & Zhang, J. (1998). Effects of water stress on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and photo inhibition in wheat plants. *Australian Journal of Plant Physiology*, 25: 883.
40. Ludlow, M. M. & Muchow, R. C. (1990). A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. *Advances in Agronomy*, 43: 107-153.

www.SID.ir

Archive of SID

41. Maccaferri, M., Sanguineti, M. C., Demontis, A., El-Ahmed, A., Garcia Del Moral, L., Maalouf, F., Nachit, M., Nserallah, N., Ouabbou, H., Rhouma, S., Royo, C., Villegas, D. & Tuberosa, R. (2011). Association mapping in durum wheat grown across a broad range of water regimes. *Journal of Experimental Botany*, 62: 409-438.
42. Mamnoei, E. & Seyed Sharifi, R. (2010). Study the effects of water deficit on chlorophyll fluorescence indices and the amount of proline in six barley genotypes and its relation with canopy temperature and yield. *Journalof Plant Biology*, 5: 51-62. (In Persian with English Summary).
43. Marineli, R. S., Aguiar Moraes, E., Alves Leinquiste, S., Teixeira Godoy, A., Nogueira Eberlin, M. & Maróstica, M. R. (2014). Chemical characterization and antioxidant potential of Chilean seeds and oil (*Salvia hispanica* L.). LWT- *Food Science and Technology*, 59:1304–1310.
44. Martı´ nez-Cruz, O. and Paredes-Lo´ pez, O. (2014). Phytochemical profile and nutraceutical potential of chia seeds (*Salvia hispanica* L.) by ultra-high performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography* A, 1346, 43‑48.
45. Masoumi, A., Kafi, M., Nabati, J., Khazaei, R. & Davari, K. (2013). Effect of drought stress on water status and leaf electrolyte leakage, photosynthesis and chlorophyll fluorescence in different growth stages of two *Kochia scoparia* massifs in saline conditions. *Iranian Jouranl of Field Crop Reserech*, 10(3), 476-484. (In Farsi).
46. Mohd Ali, N., Yeap, S. K., Ho, W. Y., Beh,B. K., Tan, S. W. & Tan, S. G. (2012). The promising future of chia, *Salvia hispanica* L. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, ID 171956.9 pages.
47. Nurbakhsh, F., Koocheki, A. R. & Nassiri Mahallati, M. (2014). Effects of planting pattern and seed ratio on growth indices of intercropped sesame (*Sesamum indicum* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agroecology*, 7(3): 285-298. (In Persian with English Summary).
48. Perry, L. and Metzger, J. (1980). Medicinal plants of East and Southeast Asia: attributed properties and uses. *The MIT Press, Cambridge*.
49. Rampino, P., Pataleo, S., Gererdi, C., Mita, G. & Perrotta, C. (2006). Drought response in wheat: physiological and molecular analysis of resistant and sensitive genotypes. *Plant, Cell & Environment*, 29, 2143‑2152.
50. Reyes-Caudillo, E., Tecante, A. & Valdivia-López, M. A. (2008). Dietary fibre content and antioxidant activity of phenolic compounds present in Mexican chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. *Food Chemistry*, 2008, 107, 656‑663.
51. Sairam, R. K., Rao, K. V. & Srivastava, G. C. (2002). Diferential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyt concentration. *Plant Science*, 163, 1037-1046.
52. Sajadi Nik, R. & Yadavi, A. R. (2014). Effect of nitrogen fertilizer, vermicompost and nitroxin on growth indexes, phonological stages and grain yield of sesame. *Journal of Crop Production*, 6(2): 73-99. (In Persian with English Summary).
53. Sanchez-Rodriguez, E., Rubio-Wilhelmi, M., Cervilla, L. M., Blasco, B., Rios, J. J. & Rosales, M. A. (2010). Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. *Plant Science*, 178: 30-40.
54. Schonfeld, M A., Johnson, R. C., Carver, B. F. & Mornhinweg, D. W. (1988). Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. *Crop Science*, 28:526-531.
55. Shao, H. B., Chu, L. Y., Jaleel, C. A. & Zhao, C. X. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes rendus biologies*, 331(3): 215-225.
56. Soomro, M., Markhand, H. & Soomro, B. A. (2011). Screening Pakistani cotton for drought tolerance. *Pakistan Journal of Botany*, 44(1), 383-388.
57. Stuart. N. W. (1939). Comparative cold hardiness o f scion roots from fifty apple varieties. Proceedings. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1939(37): 330-4.
58. Tilahun, A. & Sven, S. (2003). Mechanisms of drought resistance in grain: PSII stomatal regulationand root growth. *Ethiopian Journal of Science and Technology*, 26: 137-144.
59. Ullah R., Nadeem, M., Khalique, A., Imran, M., Mehmood, S., Javid, A. & Hussain, J. (2016). Nutritional and therapeutic perspectives of Chia (*Salvia hispanica* L.): a review. *Journal of Food Science and Technology*, 53(4): 1750‑1758.
60. Zhu, X., Gong, H., Chen, G., Wang, S. & Zhang, C. (2005). Different solute levels in two spring wheat cultivars induced by progressive field water stress at different developmental stages. *Journal of Arid Environments*, 62, 1‑14.
61. Zlatev, Z. S. & Yordanov, I. T. (2004). Effects of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in bean plants. Bulg. *Journal of Plant Physiology*, 30: 3-18.

www.SID.ir