

بررسی اثر کمبود آب بر عملکرد دانه و برخی صفات فیزیولوژیکی سه رقم کلزا (*Brassica napus* L.)

سید محمد حسینی^۱، پیمان حسینی^{۲*} و بهرام اندرزبان

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز

* ۲- نویسنده مسئول: استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه چمران اهواز (p.hassibi@scu.ac.ir)

۳- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اهواز

تاریخ پذیرش: ۹۱/۳/۱۰

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۰/۶

چکیده

به منظور بررسی اثر تنش کمبود آب در مراحل ساقه رفتن و گلدهی بر برخی صفات فیزیولوژیکی شامل ماده خشک اندام هوایی، عملکرد دانه، کل قندهای محلول و نشاسته، پرولین و پتانسیل اسمزی ارقام کلزا این تحقیق در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اول ارقام شامل هایولا ۳۰۸، هایولا ۴۰۱ و RGS003، و عامل دوم تنش کمبود آب، شامل تنش در مرحله ابتدای ساقه رفتن تا ابتدای گلدهی (D_۱)، تنش در مرحله ابتدای ظهور خورجین‌ها (D_۲) و آبیاری نرمال (D_۳) یا شاهد، بودند. نتایج نشان داد که رقم هایولا ۴۰۱، کمترین کاهش، و رقم هایولا ۳۰۸ بیشترین کاهش را در میزان ماده خشک اندام هوایی و عملکرد دانه داشتند. کمترین میزان ماده خشک اندام هوایی در رقم هایولا ۳۰۸ در شرایط اعمال تنش در مرحله ابتدای ساقه رفتن تا ابتدای ظهور خورجین‌ها (۲۲ گرم در بوته) و بیشترین میزان ماده خشک اندام هوایی در رقم هایولا ۴۰۱ (۷۴ گرم در بوته) در شرایط نرمال آبیاری مشاهده شد. در شرایط تنش میزان ماده خشک اندام هوایی در تمام ارقام مورد بررسی کاهش یافت و میزان این کاهش در زمان تنش در مرحله گلدهی نسبت به مرحله ابتدای ساقه رفتن بیشتر بود که نشان دهنده حساس تر بودن آن نسبت به ساقه رفتن به تنش کمبود آب بود. همچنین اثر متقابل تنش کمبود آب و رقم در صفات کل قندهای محلول و نشاسته، میزان اسیدآمین پمولین، پتانسیل اسمزی ($p \leq 0/01$)، ماده خشک اندام هوایی و عملکرد دانه ($p \leq 0/05$) دارای تفاوت معنی دار بود. همچنین در شرایط تنش میزان کل قندهای محلول و پرولین برگ به دلیل شرکت در فرآیند تنظیم اسمزی برای کاهش تأثیر منفی تنش افزایش یافت و در رقم هایولا ۴۰۱ میزان این افزایش بیشتر بود. میزان پتانسیل اسمزی در زمان اعمال تنش کاهش یافت و کمترین میزان پتانسیل اسمزی در رقم هایولا ۴۰۱ و بیشترین آن در رقم هایولا ۳۰۸ مشاهده شد. کاهش (منفی تر شدن) میزان پتانسیل اسمزی دلیل بر متحمل بودن رقم هایولا ۴۰۱ به تنش کمبود آب ارزیابی گردید. کمترین پتانسیل اسمزی برگ در شرایط اعمال تنش در مرحله ابتدای ساقه رفتن تا ابتدای ظهور خورجین‌ها در رقم هایولا ۴۰۱ (۲/۲۳- مگاپاسکال) و بیشترین پتانسیل اسمزی برگ در رقم هایولا ۳۰۸ و در آبیاری نرمال (۱/۶۵- مگاپاسکال) مشاهده شد. در این تحقیق با توجه به نتایج بدست آمده به ترتیب ارقام هایولا ۴۰۱، RGS003 و هایولا ۳۰۸ متحمل، نیمه متحمل و حساس به تنش کمبود آب ارزیابی شدند.

کلید واژه ها: کلزا، پرولین، پتانسیل اسمزی، تنش کمبود آب، عملکرد دانه، کل قندهای محلول

مقدمه

بودن ذخایر غنی از اسیدهای چرب، حاوی پروتئین نیز هستند. کنجاله دانه‌های روغنی در تغذیه دام و طیور به عنوان یک مکمل پروتئین، و به صورت غیرمستقیم در

دانه‌های روغنی پس از غلات دومین ذخایر غذایی جهان را تشکیل می‌دهند. این محصولات علاوه بر دارا

قبیل کاهش رنگدانه های فتوسنتزی به خصوص کلروفیل باشد (لولر و کورنیک^۶، ۲۰۰۲). وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه حساس به خشکی با افزایش تنش خشکی کاهش یافته که احتمالاً به دلیل بسته شدن روزنه ها و کاهش فتوسنتز برگ می باشد (قربانی جاوید و همکاران، ۱۳۸۶). در بررسی مقایسه سازگاری *Brassica napus* و *Brassica juncea* در شرایط تنش کمبود آب بیان گردید که در هر دو گونه به دلیل کاهش در فشار آماس، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک کاهش یافت اما مقدار آن در گونه *Brassica napus* بیشتر بود (رایت و همکاران^۷، ۱۹۹۵). در بررسی تنظیم زیست ساخت پرولین، تولید و انتقال پرولین در گیاهان اظهار نمودند یکی از وظایف اصلی قندها پایداری متابولیسم گیاه است. بعلاوه قندها می توانند به عنوان یک سیستم دفاعی در زمان وقوع تنش، فشار آماس را در سطح بالایی نگه دارند (کیشور و همکاران، ۲۰۰۵)^۸. در تأثیر تنش بر ارقام دیپلوئید و آمفی دیپلوئید کلزا نتیجه گرفته شد که در تنش کمبود آب میزان قندهای محلول برگ در ارقام متحمل بالاتر است. اما در تنش بسیار شدید به دلیل کاهش میزان آب خارج سلولی میزان قندهای محلول در ارقام حساس بیشتر می باشد (اشرف و همکاران^۹، ۲۰۰۱). در بررسی تحمل به یخ زدگی و میزان قند محلول موثر بر تنش آبی در طول سرما در جذب و عدم جذب قند در گیاه کلم گزارش گردید که میزان تجمع قند و نشاسته در ارقام، یکی از معیارهای تحمل گیاه به شرایط تنش می باشد و ارقام متحمل تر میزان قند محلول و نشاسته بیشتری را به دلیل شرکت در فرایند تنظیم اسمزی در خود ذخیره می کنند (هیدکازو و همکاران^{۱۰}، ۱۹۹۸). در بررسی واکنش فتوسنتز و میزان پرولین برگ های گیاه روغنی گلرنگ تحت تنش

ترکیب غذایی انسان قابل مصرف بوده و در اغلب کشورها با توجه به وفور پروتئین های حیوانی نیز مورد مصرف قرار می گیرد (گوشه، ۱۳۸۲). کلزا از لحاظ اهمیت، سومین گیاه روغنی در جهان به شمار می آید و روغن استخراج شده از آن با توجه به ترکیب اسیدهای چرب برای مصارف انسانی و صنعتی مورد استفاده قرار می گیرد (انگادی و همکاران^۱، ۲۰۰۲). گیاه کلزا با داشتن اسیدهای چرب با ارزش و پروتئین محتوی اسید آمینه های مورد نیاز بدن انسان با داشتن ۴۹-۴۰ درصد روغن و ۳۹-۳۵ درصد پروتئین (در کنجاله)، یکی از مهمترین گیاهان صنعتی به شمار می رود (خواجه پور، ۱۳۷۷). تنش خشکی یکی از شایع ترین تنش های محیطی است و تقریباً هر ساله حدود ۲۵ درصد از تولید محصولات کشاورزی در جهان را تحت تاثیر قرار می دهد، همچنین تنش کمبود آب بیش از سایر تنش ها تولید و بهره وری را محدود می کند (یاماگوچی و همکاران^۲، ۲۰۰۲) گیاه کلزا در مراحل رویشی و زایشی نسبت به تنش کم آبی حساس است اما بیشترین حساسیت آن در مرحله ی زایشی می باشد (رائو و بویر^۳، ۱۹۸۷؛ اشلگل^۴، ۱۹۸۶). تنش کمبود آب یکی از مهمترین تنش های محیطی در مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می شود و می تواند رشد و نمو گیاهان زراعی را در این مناطق محدود سازد. با توجه به مرحله فنولوژیکی گیاه کلزا، تنش کمبود آب خسارات متفاوتی را بوجود می آورد. مرحله گلدهی حساس ترین مرحله وقوع تنش کمبود آب است (تورلینگ و کاویتا^۵، ۱۹۹۲). در شرایط تنش کمبود آب، کاهش ماده خشک اندام هوایی می تواند به دلیل کاهش فشار آماس سلول و سطح برگ گیاه و همچنین کاهش سرعت فتوسنتزی به دلیل محدودیت های بیوشیمیایی ناشی از کمبود آب از

6- Lawler & Cornic
7- Wright *et al.*
8- Kishor *et al.*
9- Ashraf *et al.*
10- Hidekazo *et al.*

1- Angadi *et al.*
2- Yamaguchi *et al.*
3- Rao & Boyer
4- Shlegl
5- Turling & Kaveeta

چون فشار آماس را در حد بالایی نگه می‌دارد، و توانایی بیشتری را برای تنظیم اسمزی از خود نشان می‌دهد (اشرف و همکاران، ۲۰۰۱). با توجه به وقوع خشکسالی های طولانی مدت در استان خوزستان و کمبود تحقیقات پایه ای فیزیولوژیک و لزوم شناخت برخی ساز و کارهای تحمل و یا حساسیت ارقام مورد کشت کلزا در منطقه، این تحقیق با هدف ارزیابی برخی خصوصیات فیزیولوژیکی اثر تنش کمبود آب در ارقام مختلف کلزا طی مراحل رویشی و زایشی و همچنین تعیین حساسترین و متحمل‌ترین مرحله رشدی گیاه در برابر تنش کمبود آب صورت پذیرفت.

مواد و روش ها

این تحقیق در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز با مختصات جغرافیایی 48° ، 40° طول جغرافیایی و 20° ، 31° عرض جغرافیایی و ارتفاع ۱۸ متر از سطح دریا انجام گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. براساس آزمون خاک مشخص شد خاک از نوع لومی رسی و دارای $1/3$ درصد ماده آلی، 230 میلی گرم در کیلوگرم پتاسیم، 8 میلی گرم در کیلوگرم فسفر، 0.07 درصد نیتروژن بود و میزان pH آن $7/2$ و هدایت الکتریکی آن $1/28$ دسی زیمنس بر متر بود. عوامل این آزمایش شامل ارقام کلزا (هایولا ۳۰۸، هایولا ۴۰۱ و RGS) و تنش کمبود آب [۱- ابتدای ساقه رفتن تا ابتدای گلدهی (D_1)، ۲- از ابتدای گلدهی تا ابتدای ظهور خورجین ها (D_2)، ۳- از ابتدای ساقه رفتن تا ابتدای ظهور خورجین ها (ابتدای ساقه رفتن + مرحله گلدهی) (D_3)، ۴- شرایط نرمال آبیاری (D_4)] در سه تکرار انجام گرفت. در هر تکرار تعداد ۱۲ تیمار، برای هر تیمار چهار گلدان و در مجموع تعداد ۱۴۴ گلدان در این آزمایش مورد استفاده قرار گرفت. زمان اعمال D_1 در مرحله ساقه رفتن در تاریخ ۱۳۸۷/۱۱/۱۴، D_2 در

خشکی گزارش شد برای اینکه گیاه بتواند در شرایط تنش تحمل بیشتری را از خود نشان دهد میزان قند محلول و نشاسته در زمان وقوع تنش افزایش می‌یابد و با ادامه تنش و طولانی شدن دوره آن، مقدار قند به دلیل مصرف کاهش یافته و نشاسته به اجزای ساده‌تر تبدیل، و مقدار آن کاهش می‌یابد (سیچین و همکاران^۱، ۲۰۰۶) در آزمایش تأثیر تنش کمبود آب بر روی صفات فیزیولوژیکی کلزا نتیجه گرفته شد که در زمان وقوع تنش کمبود آب و کاهش پتانسیل آب برگ در ارقام متحمل کلزا، میزان جذب پتاسیم از ریشه و انتقال آن به اندام‌های هوایی و همچنین میزان ذخیره پرولین در سلول افزایش می‌یابد (مرادشاهی و همکاران^۲، ۲۰۰۴). در بررسی پاسخ فتوسنتز و میزان پرولین گیاه روغنی گلرنگ تحت تنش کمبود آب گزارش گردید که میزان پرولین در برگ های جوان بیشتر بوده و در شرایط تنش، تجمع پرولین در برگ افزایش می‌یابد (سیچین و همکاران، ۲۰۰۶). در بررسی پاسخ فیزیولوژیکی گیاه کلم به تنش شوری و خشکی اظهار شد در زمان بروز تنش کم‌آبی میزان پتانسیل اسمزی افزایش می‌یابد و در واقع پتانسیل اسمزی ارتباط مستقیمی با تنظیم اسمزی دارد، در این مواقع ارقام با جذب یون هایی مانند Na^+ و دیگر یون ها درون سلول، میزان پتانسیل اسمزی را بالا برده که افزایش آن سبب بالا رفتن فشار آماس می‌شود. در واقع در ارقام متحمل گیاه برای سازگار شدن در برابر تنش پتانسیل اسمزی سلول های خود را کاهش می‌دهد (ماگیو و همکاران^۳، ۲۰۰۵). در بررسی واکنش ارقام دیپلوئید و آمفی‌دیپلوئید کلزا به تنش خشکی بیان گردید که در زمان تنش در ارقام مورد مطالعه میزان فشار اسمزی به دلیل جذب مواد محلول بیشتر در سلول افزایش یافته و هر چه گیاه توانایی بیشتری در بالا بردن فشار اسمزی داشته باشد، در برابر تنش متحمل تر است،

1- Cechin *et al.*

2- Moradshahi *et al.*

3- Maggio *et al.*

گلدان‌ها بعد از رسیدن به ۷۵ درصد AW (حداکثر تا زمانی که ۷۵ درصد آب قابل استفاده خاک تخلیه شد) از لحاظ وزنی تا پایان دوره در همین وزن نگهداری شدند. وزن تمامی گلدان‌های این آزمایش و با سنگریزه‌های موجود در آن ۱۰ کیلوگرم شامل ۸/۵ کیلوگرم وزن خاک موجود در گلدان با رطوبت ۶/۵ درصد و ۱/۵ کیلوگرم آن مربوط به وزن خود گلدان به علاوه سنگریزه‌های موجود در کف آن به عنوان زهکش بود. درصد رطوبت در FC و PWP^3 یا نقطه پژمردگی دائم با استفاده از منحنی رطوبتی خاک بدست آمد. زمانی که ۷۵ درصد رطوبت گلدان‌ها تخلیه شد (رطوبت به ۱۴/۵ درصد وزنی رسید) تنش اعمال گردید. در تیمار آبیاری نرمال، زمانی که حداکثر ۲۵ درصد رطوبت خاک تخلیه شد (رطوبت به ۲۱/۵ درصد وزنی رسید) تمام گلدان‌ها در همین وضعیت نگهداری شدند. در طی مدت اعمال تنش، گلدان‌ها در هر روز دو بار توسط ترازوی دیجیتال دارای دقت ± 5 گرم توزین شده و با توجه به محاسبات انجام شده وزن گلدان‌های تیمار آبیاری نرمال برابر ۱۱۱۵۶ گرم و وزن گلدان‌های تیمارهای تنش معادل ۱۰۶۰۰ گرم ثابت نگهداشته شدند. ماده خشک اندام هوایی گیاه با برداشت چهار بوته از هر تیمار بر حسب گرم در بوته، عملکرد دانه بر حسب گرم در چهار بوته، پرولین از بافت تر گیاهی به روش بیتس و همکاران^۴ (۱۹۷۳) و قرائت با دستگاه اسپکتروفوتومتر، کل قندهای محلول و نشاسته به روش تغییر داده شده شلیگل (۱۹۸۶) با استفاده از فنل-اسیدسولفوریک و قرائت با دستگاه اسپکتروفوتومتر، پتانسیل اسمزی برگ به وسیله دستگاه اسمومتر مارک وسکور ساخت کشور آمریکا به روش مارتینز و همکاران^۵ (۲۰۰۴) و استفاده از فرمول ونت هوف اندازه‌گیری شدند.

ابتدای گلدهی در تاریخ ۱۳۸۷/۱۲/۱۰ و اعمال D_3 در ابتدای ساقه رفتن در تاریخ ۱۳۸۷/۱۱/۱۴ بود. در هر گلدان پانزده بذر بعد از عمل ضد عفونی کشت گردید و در مرحله چهار برگی با عمل تنک کردن تعداد آنها به چهار بوته در هر گلدان کاهش یافت. برای تامین عناصر غذایی از کودهای اوره، سوپر فسفات و نترات پتاسیم استفاده شد که با در نظر گرفتن حجم هر گلدان و رعایت تناسب آن با توجه به توصیه فنی زراعت کلزا برای یک هکتار اعمال گردید. کودهای سوپر فسفات و نترات پتاسیم در زمان کشت و کود اوره در سه مرحله ابتدای کشت، ابتدای ساقه رفتن و ابتدای ظهور خورجین‌ها به صورت سرک داده شد. اعمال تنش کمبود آب به روش وزنی (حسینی، ۱۳۸۸؛ قربانی جاوید، ۱۳۸۶) انجام گرفت. در این روش برای تیمار آبیاری نرمال وضعیت آب خاک گلدان‌ها در ۲۵ درصد AW (آب قابل استفاده برای گیاه) و برای اعمال تیمارهای تنش وضعیت آب خاک گلدان‌ها در ۷۵ درصد AW نگه داشته شد. آب قابل استفاده برای گیاه از طریق فرمول زیر محاسبه شد:

$$AW = FC - PWP$$

که در این فرمول:

FC = ظرفیت زراعی مزرعه

PWP = نقطه پژمردگی دائم

قبل از اعمال تنش کمبود آب، گیاهان به مدت ۳۶ روز تا رسیدن به مرحله ابتدای ساقه رفتن در شرایط مطلوب از نظر رطوبت خاک نگهداری شدند. زمانی که پتانسیل رطوبتی خاک پایین تر از ظرفیت مزرعه^۲ (FC) و حداکثر تا ۲۵ درصد AW یا آب قابل استفاده رسید (حداکثر تا زمانی که فقط ۲۵ درصد آب قابل استفاده خاک تخلیه شد، آبیاری مجدد برای رسیدن به حد مطلوب رطوبتی بر اساس روش وزنی انجام گرفت). برای اعمال تنش در مراحل ساقه رفتن و گلدهی، تمامی

3- Permanent Wilting Point

4- Bates *et al.*

5- Martinez *et al.*

1- Available Water

2- Field capacity

نتایج و بحث

ماده خشک اندام هوایی: کمترین مقدار در رقم

هایولا ۳۰۸ به مقدار ۲۳ گرم در بوته در شرایط تنش کمبود آب در مرحله ساقه رفتن تا ابتدای ظهور خورجین‌ها و بیشترین میزان در رقم هایولا ۴۰۱ و در شرایط نرمال آبیاری به میزان ۷۴ گرم در بوته بدست آمد (شکل ۱). مرحله گلدهی نسبت به مرحله ساقه رفتن به تنش کمبود آب حساس‌تر بود و در هر سه رقم مورد مطالعه تنش در ابتدای ساقه رفتن به میزان کمتری مقدار ماده خشک اندام هوایی را کاهش داد و کمترین میزان کاهش ماده خشک اندام هوایی در شرایط تنش در رقم هایولا ۴۰۱ و بیشترین میزان کاهش در رقم هایولا ۳۰۸ مشاهده شد. در هر سه سطح تنش و آبیاری نرمال بیشترین میزان ماده خشک اندام هوایی به ترتیب در ارقام هایولا ۴۰۱، RGS و هایولا ۳۰۸ مشاهده شد که می‌تواند دلیل بر متحمل‌تر بودن رقم هایولا ۴۰۱ نسبت به دو رقم دیگر باشد. به نظر می‌رسد در شرایط تنش کمبود آب، کاهش ماده خشک اندام هوایی به سبب کاهش تورگر سلول و همچنین کاهش سرعت رشد، فنوسنتز و تولید آسمیلات‌ها و افزایش سرمایه گذاری گیاه برای تولید ترکیبات تنظیم کننده وضعیت اسمزی در سلولها مانند قندهای محلول و پرولین حادث شده است. این نتایج با تحقیقات لولر و همکاران (۲۰۰۲) و قربانی جاوید و همکاران (۱۳۸۶) منطبق بود.

عملکرد دانه: کمترین عملکرد دانه به میزان چهار

گرم در بوته در شرایط تنش در مرحله ابتدای ساقه رفتن تا ابتدای ظهور خورجین‌ها در رقم RGS و بیشترین آن در شرایط آبیاری نرمال در رقم هایولا ۴۰۱ به میزان ۹/۱ گرم در بوته بدست آمد (شکل ۲). نتایج حاصله با گزارش رایت و همکاران (۱۹۹۵) در بررسی مقایسه سازگاری *Brassica juncea* و *Brassica napus* در شرایط تنش کمبود آب مطابقت داشت.

کل قندهای محلول: بیشترین میزان قندهای

محلول در برگ رقم هایولا ۴۰۱ و در شرایط تنش در

مرحله ابتدای ساقه رفتن تا ابتدای گلدهی (۱۵۳/۵۸ میلی‌گرم برگرم وزن خشک برگ) و کمترین میزان قندهای محلول در برگ رقم هایولا ۳۰۸ در زمان تنش در مرحله ابتدای گلدهی تا ابتدای ظهور خورجین‌ها (۴۵/۸۲ میلی‌گرم برگرم وزن خشک برگ) مشاهده شد. این نتیجه حساس‌تر بودن گیاه کلزا در مرحله گلدهی نسبت به مرحله ساقه رفتن را نشان داد (شکل ۳). به نظر می‌رسد هر چه رقم نسبت به تنش متحمل‌تر باشد، توانایی بیشتری برای تولید قندهای محلول در برگ از خود نشان می‌دهد. رقم هایولا ۴۰۱ بیشترین میزان قندهای محلول در برگ را دارا بود و بیشترین مقدار قندهای محلول در زمان تنش در مرحله ابتدای ساقه رفتن تا ابتدای گلدهی بود و بعد از آن با ادامه تنش در این رقم به دلیل مصرف قندهای محلول در مسیر بیوسنتزی پرولین میزان ذخیره آن در برگ کاهش یافت (شکل ۲). اما ارقام RGS و هایولا ۳۰۸ که تحمل کمتری در برابر تنش نسبت به هایولا ۴۰۱ را دارا بودند نتوانستند در زمان اعمال تنش قندهای محلول را به میزان زیاد در برگ‌های خود انباشته نمایند. یکی از وظایف اصلی قندها شرکت در فعالیت‌های متابولیکی گیاه بوده، همچنین قندها می‌توانند به عنوان یک سیستم دفاعی در زمان وقوع تنش، فشار آماس را در سطح بالایی نگه‌دارند. لذا در تنش کمبود آب میزان قندهای محلول برگ در ارقام متحمل بالاتر بود. البته در تنش‌های بسیار شدید احتمالاً به دلیل خسارت به غشاء پلاسمایی سلول‌ها و اختلال در فعالیت پمپ‌های آنتی پورتر ساکارز/Pi ممکن است میزان تجمع قندهای محلول در ارقام حساس بالاتر باشد. این نتایج با تحقیقات اشرف و همکاران (۲۰۰۱) در بررسی تأثیر تنش بر ارقام دیپلوئید و آمفی دیپلوئید کلزا، کیشور و همکاران (۲۰۰۵) در بررسی تنظیم زیست ساخت پرولین، تولید و انتقال پرولین در گیاهان و حسیبی و همکاران (۱۳۸۹) در بررسی نقش برخی محافظت کننده‌های سرمایی منطبق بود.

رقم RGS در تمام مراحل اعمال تنش دارای میزان پرولین نسبتا یکسانی بود. در شرایط آبیاری نرمال به دلیل وضعیت مناسب آبی در سلول‌های برگ، میزان اسیدآمین پرولین در سطح پایینی بود. بیشترین میزان اسیدآمین پرولین در شرایط تنش در مرحله ابتدای ساقه رفتن تا ابتدای ظهور خورجین‌ها در رقم هایولا ۴۰۱ (۲۵/۶۴ میلی گرم بر کیلوگرم وزن تر برگ) و کمترین میزان پرولین برگ در رقم RGS در شرایط آبیاری نرمال (۲/۳۴ میلی گرم بر کیلوگرم وزن تر برگ) مشاهده شد (شکل ۴). همچنین در تیمار آبیاری نرمال بیشترین میزان پرولین به ترتیب در ارقام هایولا ۳۰۸، RGS و هایولا ۴۰۱ مشاهده شد. جالب توجه اینکه رقم هایولا ۴۰۱ که در این تحقیق متحمل به خشکی ارزیابی شد در شرایط نرمال کمترین میزان پرولین برگ را داشت. نتایج حاصله با گزارش‌های مرادشاهی و همکاران (۲۰۰۴) در آزمایش تأثیر تنش کمبود آب بر روی صفات فیزیولوژیکی کلزا و سیچین و همکاران (۲۰۰۶) در بررسی پاسخ فتوسنتز و میزان پرولین برگ‌های گیاه روغنی گلرنگ تحت تنش کمبود آب مشابَهت داشت.

پتانسیل اسمزی: کمترین (منفی ترین) مقدار پتانسیل اسمزی برگ در شرایط تنش در مرحله ابتدای ساقه رفتن تا ابتدای ظهور خورجین‌ها در رقم هایولا ۴۰۱ (۲/۲۳- مگاپاسکال) و بیشترین پتانسیل اسمزی برگ در رقم هایولا ۳۰۸ و در آبیاری نرمال (۱/۶۵- مگاپاسکال) مشاهده شد (شکل ۶). به نظر می‌رسد کاهش پتانسیل اسمزی یکی از راهکارهای تحمل گیاهان در برابر تنش بوده و کاهش پتانسیل اسمزی در زمان وقوع تنش می‌تواند یکی از راههای القای تحمل در برابر تنش کمبود آب و ممانعت از پسابیدگی سلول‌های گیاهی باشد. رقم هایولا ۴۰۱ به دلیل تحمل بالا در برابر تنش در زمان تنش در مرحله ابتدای ساقه رفتن تا ابتدای ظهور خورجین‌ها و به دلیل طولانی تر بودن دوره تنش نسبت به مرحله ابتدای ساقه رفتن تا ابتدای گلدهی و همچنین ابتدای گلدهی تا ابتدای ظهور خورجین‌ها، کمترین

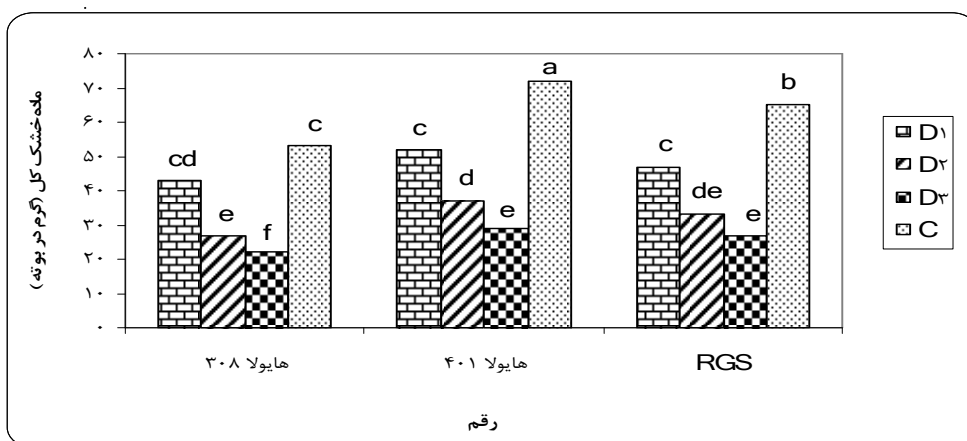
نشاسته: بیشترین میزان نشاسته برگ در رقم هایولا ۴۰۱ در شرایط تنش در مرحله ابتدای ساقه رفتن تا ابتدای گلدهی (۱۵۳/۴۱ میلی گرم برگرم وزن خشک برگ) و کمترین میزان نشاسته در رقم RGS و در شرایط تنش در مرحله ابتدای ساقه رفتن تا ابتدای ظهور خورجین‌ها (۷۰/۲۳ میلی گرم برگرم وزن خشک برگ) مشاهده شد (شکل ۴) زیرا در شرایط تنش نشاسته به قند تبدیل شده تا اثرات تنش را کاهش دهد. افزایش تجمع قند به دلیل مصرف نشاسته تجمع یافته در گیاه می‌تواند یکی از معیارهای تحمل گیاه کلزا به شرایط تنش خشکی در نظر گرفته شود زیرا ارقام متحمل تر میزان قند محلول بیشتری را به دلیل شرکت در فرایند تنظیم اسمزی در خود ذخیره می‌کنند. در زمان وقوع تنش خشکی برای اینکه گیاه بتواند تحمل بیشتری را از خود نشان دهد مقدار قندهای محلول را افزایش داد اما با ادامه تنش و طولانی شدن دوره آن، مقدار قند به دلیل مصرف در فرآیندهای متابولیکی کاهش و نشاسته نیز به اجزای ساده تر قند تبدیل، اما به دلیل شرکت در فرآیندهای متابولیکی مقدار آن نیز کاهش می‌یابد. نتایج به دست آمده با تحقیقات هیدکازو و همکاران (۱۹۹۸) در بررسی تحمل به یخ زدگی و میزان قند محلول موثر بر تنش آبی در طول سرما در جذب و عدم جذب قند در گیاه کلم و سیچین و همکاران (۲۰۰۶) در بررسی واکنش فتوسنتز و میزان پرولین برگ‌های گیاه روغنی گلرنگ تحت تنش خشکی انطباق داشت.

اسید آمینه پرولین: در رقم هایولا ۴۰۱، میزان اسیدآمین پرولین در برگ به دلیل شرکت آن در فرآیند تنظیم اسمزی برای القای تحمل در برابر شرایط تنش افزایش یافت (شکل ۵). ارقام هایولا ۴۰۱ و هایولا ۳۰۸ طی تنش در مرحله ابتدای ساقه دهی تا ابتدای ظهور خورجین‌ها به دلیل طولانی تر بودن دوره تنش نسبت به اعمال تنش در مرحله ابتدای ساقه رفتن تا ابتدای گلدهی و ابتدای گلدهی تا ابتدای ظهور خورجین‌ها، پرولین بیشتری را در برگ‌های خود مجتمع کردند (شکل ۵).

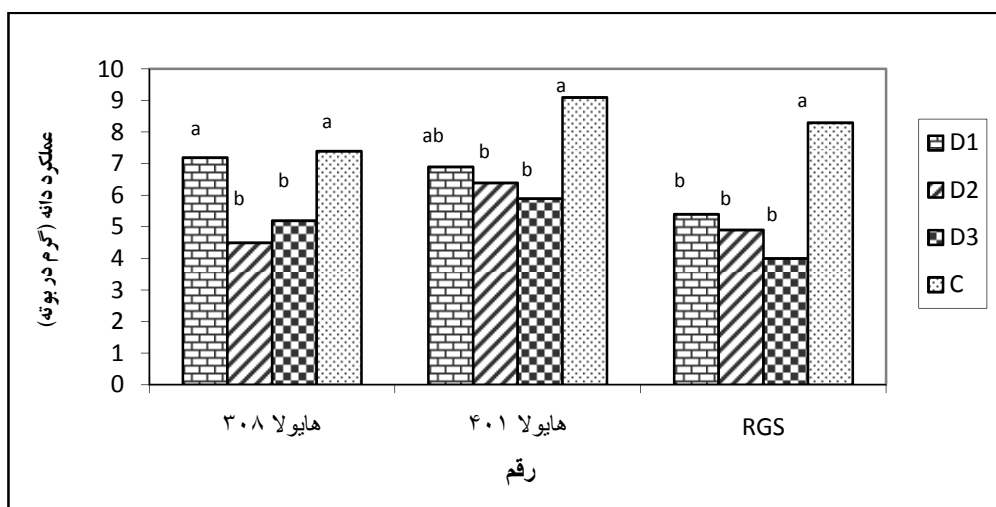
سازگار شدن در برابر تنش خشکی پتانسیل اسمزی خود را کاهش داد. از طرفی ثابت شده است که در زمان وقوع تنش خشکی در ارقام متحمل کلزا، میزان پتانسیل اسمزی به دلیل جذب املاح بیشتر در سلول کاهش یافته و هر چه گیاه توانایی بیشتری در منفی تر کردن پتانسیل اسمزی داشته باشد، در برابر تنش متحمل تر است زیرا فشار آماس را در حد بالایی نگه داشته، و توانایی بیشتری را برای تنظیم اسمزی از خود نشان می‌دهد. ماگیو و همکاران (۲۰۰۵) در بررسی پاسخ فیزیولوژیکی گیاه کلم به تنش شوری و خشکی و اشرف و همکاران (۲۰۰۱) در بررسی واکنش ارقام دیپلوئید و آمفی‌دپلوئید کلزا به تنش خشکی گزارش‌های مشابهی داشتند.

میزان پتانسیل اسمزی برگ را دارا بود، اما در شرایط آبیاری نرمال میزان پتانسیل اسمزی در هر سه رقم در سطح بالایی بود (شکل ۶). رقم هایولا ۴۰۱ نسبت به RGS و رقم RGS نسبت به هایولا ۳۰۸ توانایی بیشتری را در منفی تر کردن پتانسیل اسمزی از خود نشان دادند، که می‌تواند دلیل بر متحمل تر بودن هایولا ۴۰۱ نسبت به RGS و RGS نسبت به هایولا ۳۰۸ باشد.

در زمان بروز تنش کم آبی میزان پتانسیل اسمزی کاهش یافت. پتانسیل اسمزی ارتباط مستقیمی با تنظیم اسمزی ناشی از تجمع قندهای محلول و پرولین داشت. این امر سبب بالا رفتن فشار آماس سلول‌ها بویژه در ارقام متحمل گردید. در واقع در ارقام متحمل گیاه برای

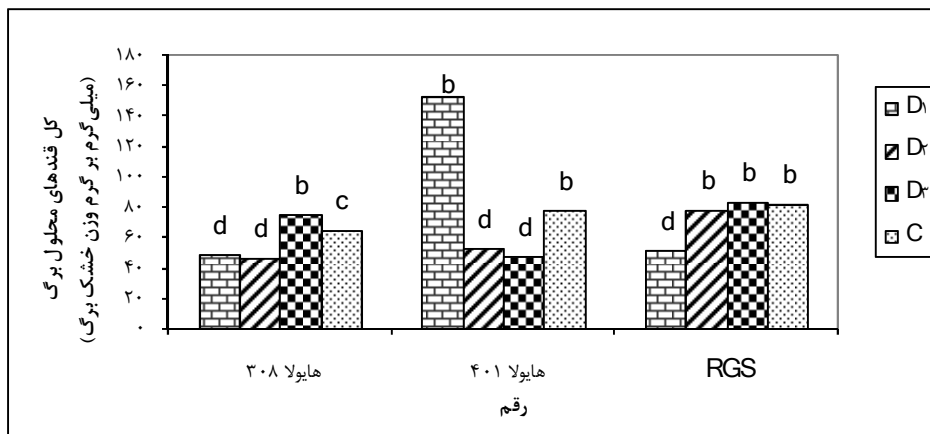


شکل ۱- مقایسه میانگین ماده خشک اندام هوایی به روش دانکن در سطح احتمال ۵٪

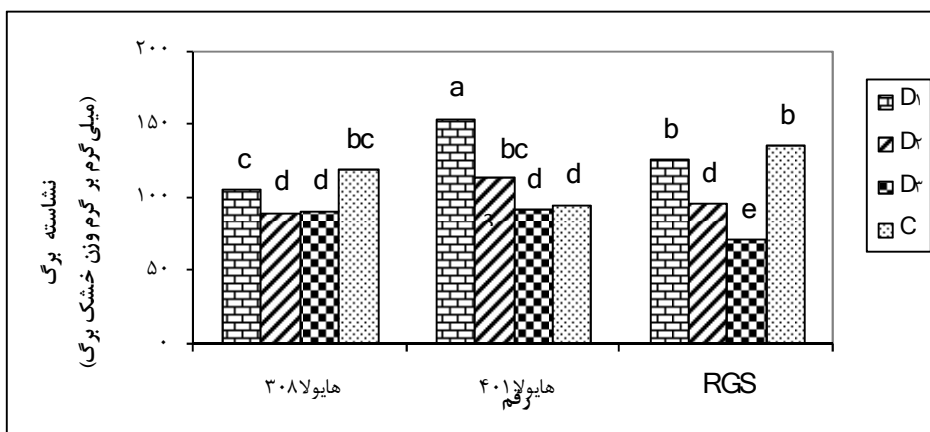


شکل ۲- مقایسه میانگین عملکرد دانه به روش دانکن در سطح احتمال ۵٪

حسینی و همکاران: بررسی اثر کمبود آب بر عملکرد...

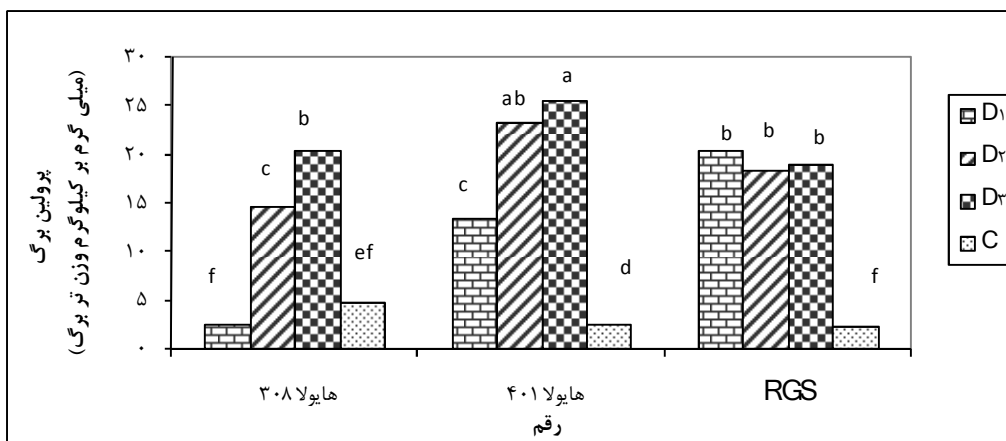


شکل ۳- مقایسه میانگین کل قندهای محلول برگ به روش دانکن در سطح احتمال ۵٪



شکل ۴- مقایسه میانگین نشت برگ به روش دانکن در سطح احتمال ۵٪

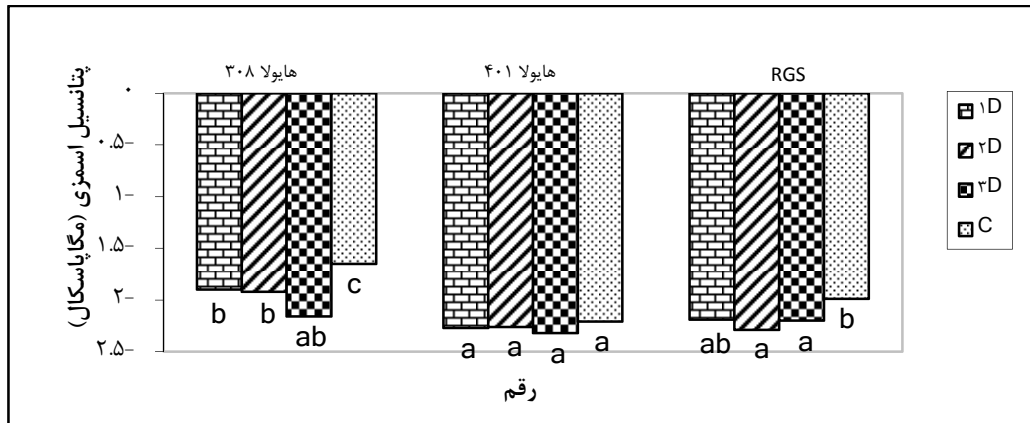
(حروف مشابه در هر ستون به لحاظ آماری در سطح ۵٪ معنی دار نمی‌باشند)



شکل ۵- مقایسه میانگین پرولین برگ به روش دانکن در سطح احتمال ۵٪

(حروف مشابه در هر ستون به لحاظ آماری در سطح ۵٪ معنی دار نمی‌باشند)

D1 = تنش در ابتدای ساقه رفتن تا ابتدای گلدهی D2 = تنش در ابتدای گلدهی تا D3 = تنش در ابتدای ساقه رفتن تا ظهور خورجین ها
 D4 = شرایط نرمال آبیاری تا ظهور خورجین ها



شکل ۶- مقایسه میانگین پتانسیل آسمزی به روش دانکن در سطح احتمال ۵٪

D1 = تنش در مرحله ساقه رفتن تا ابتدای گلدهی
 D2 = تنش در مرحله ساقه رفتن تا ظهور خورجین ها
 D3 = تنش در مرحله ساقه رفتن تا ظهور خورجین ها
 D4 = شرایط نرمال آبیاری

وضعیت آبی سلول های خود مقدار بیوستتر پرولین را افزایش دادند.

در سطح سوم تنش که طولانی ترین مدت تنش خشکی را دارا بود، افزایش قندهای محلول سبب افزایش مقدار نشاسته در برگ شد. پس سازوکار سنتز نشاسته تحت تاثیر تنش قرار نگرفته است. از طرفی با افزایش قندهای محلول پتانسیل آسمزی کاهش و عملکرد دانه افزایش یافت. در صورتیکه افزایش نشاسته سبب افزایش پتانسیل آسمزی (مثبت تر شدن آن) گردید. افزایش پرولین توانست بطور معنی داری عملکرد دانه را افزایش دهد. بنظر می رسد در تنش های طولانی مدت علاوه بر قندهای محلول، کلزا با بیوستتر پرولین از منشاء قندها می تواند باعث کاهش خسارت به عملکرد دانه شود. در آبیاری نرمال افزایش مقدار نشاسته برگ سبب کاهش معنی دار قندهای محلول در برگ شد زیرا قندها به نشاسته تبدیل شده اند. همچنین کاهش پتانسیل آسمزی موجب افزایش معنی دار عملکرد. حسیبی و همکاران (۱۳۸۹) در بررسی نقش برخی محافظت کننده های سرمایی نتیجه گرفتند که منشا تولید پرولین قندها بوده و چنانچه امکان زیست ساخت پرولین در شرایط تنش

نتایج همبستگی صفات: در سطح اول تنش بین

مقدار ماده خشک اندام هوایی و نشاسته همبستگی مثبت و معنی داری وجود داشت. افزایش قندهای محلول بطور معنی دار نشاسته را کاهش داد و با افزایش قندهای محلول پتانسیل آسمزی کاهش پیدا کرد و منفی تر شد. در یک نگاه کلی بنظر می رسد تنش خشکی در این مرحله، سبب اختلال در سنتز نشاسته به سبب کاهش فعالیت آنزیم های درگیر در تولید آن گردیده است بگونه ای که برخلاف انتظار افزایش قندها مقدار نشاسته را افزایش نداد ولی با نگاهی دقیق تر شاید بتوان این فرآیند را یک پاسخ سریع به تنش خشکی ارزیابی کرد زیرا به واسطه مواجه شدن گیاه کلزا با کاهش آب سلول ها سریع ترین راه برای کاهش پتانسیل آسمزی و بهبود وضعیت آبی سلول ها افزایش میزان قندهای محلول می باشد. احتمالاً در تنش های کوتاه مدت در کلزا این فرآیند را می توان یک مکانیزم تحمل محسوب کرد. قابل ذکر است که این نتیجه قبلاً در هیچ یک از منابع گزارش نشده بود. در سطح دوم تنش افزایش پرولین برگ سبب کاهش معنی دار پتانسیل آسمزی شد. بنابراین در این سطح از تنش خشکی، گیاهان کلزا برای بهبود

فراهم نباشد، افزایش قندهای محلول نمی‌تواند پرولین را افزایش دهد. همچنین همبستگی منفی قندهای محلول با پرولین را گزارش دادند. مراد شاهی و همکاران (۲۰۰۴) تغییرات فیزیولوژیکی گیاه کلزا در شرایط تنش گزارش دادند که در زمان وقوع تنش به دلیل کاهش قندها، غلظت روغن و عملکرد روغن کاهش خواهد یافت (نتایج نشان داده نشده).

بیوسنتز نشاسته در مرحله گلدهی و عدم تبدیل قندها به نشاسته روی داده است. میزان پتانسیل اسمزی در زمان اعمال تنش کاهش یافت و کمترین میزان پتانسیل اسمزی در رقم هایولا ۴۰۱ و بیشترین آن در رقم هایولا ۳۰۸ مشاهده شد. کاهش (منفی تر شدن) میزان پتانسیل اسمزی می‌تواند دلیل بر متحمل بودن رقم هایولا ۴۰۱ به تنش کمبود آب در نظر گرفته شود زیرا کاهش پتانسیل اسمزی باعث بالا نگه داشتن فشار آماس شده و اثرات منفی تنش را کاهش می‌دهد. همچنین کمترین پتانسیل اسمزی در همه ارقام و در سطوح مختلف تنش، در مرحله ابتدای ساقه رفتن تا ابتدای گلدهی روی داد. کربوهیدرات‌ها (به ویژه ال- گلوتامات) منشاء مسیر بیوسنتزی پرولین بوده لذا در شرایط تنش قندها به پرولین تبدیل شده اند. با توجه به نتایج بدست آمده از اولین سطح تنش و در یک نگاه کلی بنظر می‌رسد تنش خشکی در این مرحله، سبب اختلال در سنتز نشاسته به سبب کاهش فعالیت آنزیم‌های درگیر در تولید آن گردیده است به گونه‌ای که بر خلاف انتظار، افزایش قندها مقدار نشاسته را افزایش نداد. ولی با نگاهی دقیق‌تر شاید بتوان این فرآیند را یک پاسخ سریع و کم هزینه گیاه کلزا به تنش خشکی ارزیابی کرد زیرا بواسطه مواجه شدن گیاه با کاهش آب سلول‌ها، سریع‌ترین راه برای کاهش پتانسیل اسمزی و بهبود وضعیت آبی سلول افزایش میزان قندهای محلول می‌باشد. احتمالاً در تنش‌های کوتاه مدت در کلزا این فرآیند را می‌توان یک مکانیزم تحمل محسوب کرد. ولی در تنش‌های طولانی مدت پرولین می‌تواند نقشی اساسی‌تر در بهبود وضعیت آبی سلول در گیاه کلزا ایفا نماید. این یافته سابقه گزارش در هیچ یک از منابع مورد بررسی را دارا نبود.

نتایج بدست آمده در این آزمایش نشان داد در شرایط تنش خشکی میزان ماده خشک اندام هوایی کاهش یافت و میزان این کاهش در زمان اعمال تنش در مرحله گلدهی نسبت به مرحله ابتدای ساقه رفتن بیشتر بود. با توجه به نتایج بدست آمده به ترتیب ارقام هایولا ۴۰۱، RGS003 و هایولا ۳۰۸ متحمل، نیمه متحمل و حساس به تنش کمبود آب ارزیابی شدند. این نتیجه نشان دهنده حساس‌تر بودن مرحله گلدهی نسبت به ساقه رفتن به تنش کمبود آب ارزیابی شد. اعمال تنش در هر دو مرحله ساقه رفتن و گلدهی میزان ماده خشک اندام هوایی را بیشتر از هر یک از مراحل ساقه رفتن و گلدهی کاهش داد. همچنین در زمان اعمال تنش میزان پرولین و کل قندهای محلول برگ در همه ارقام افزایش نشان داد که دلیل این افزایش احتمالاً به دلیل شرکت قندها و پرولین در فرآیند تنظیم اسمزی و کاهش اثرات ناشی از تنش خشکی است. میزان این افزایش در رقم هایولا ۴۰۱ بیشتر بود که می‌تواند دلیل بر متحمل‌تر بودن این رقم نسبت به RGS و هایولا ۳۰۸ باشد. مقدار نشاسته برگ در زمان اعمال تنش در مرحله ابتدای ساقه رفتن تا ابتدای گلدهی افزایش و سپس در مرحله گلدهی کاهش یافت. این کاهش احتمالاً به دلیل کاهش مشارکت قندها در

نتیجه گیری

منابع

۱. خواجه‌پور، م. ر. ۱۳۷۷. تولید نباتات صنعتی. انتشارات جهاد دانشگاهی. دانشگاه صنعتی اصفهان، صص: ۴۵-۴۷.
۲. حسینی، پ، م. نبی پور و مرادی، ف. ۱۳۸۹. بررسی نقش برخی محافظت‌کننده‌های سرمایی در القای تحمل تنش دمایی پایین به گیاهچه‌های برنج. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی، ۳ (۱): ۳۹-۵۶.

۳. حسینی، م. ۱۳۸۸. تاثیر تنش کمبود آب بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی سه ژنوتیپ کلزا در شرایط آب و هوایی اهواز. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۳۷ ص.
۴. قربانی جاوید، م. اکبری، ق. آ. مرادی، ف. و الله آبادی، ا. ۱۳۸۶. ارزیابی ماده خشک، رابطه آبی و تنظیم اسمزی دو ژنوتیپ یونجه یکساله تحت تنش خشکی. فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۴(۳): ۳۵۱-۳۳۶.
۵. گوشه، م. ۱۳۸۲. گزارش نهایی تعیین عمق و دور آبیاری در زراعت کلزا. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، صص: ۱ و ۱۱.
6. Angadi, C.V., Cutforth, H.W., Conkey, B.G.M., and Gan, Y. 2002. Canola yield formation under different plant population and water use levels. In proc. Soils and Crop Work Shop 54: 123-145.
7. Ashraf, M., Nazir, N., and McNeilly, T. 2001. Comparative salt tolerance of amphidiploid and diploid Brassica species. Plant Science, 160: 683-689.
8. Bates, L.S., Waldern, R.P., and Tear, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant soil, 39: 205-207.
9. Cechin, I., Rossi, S., Oliveira, V., and Fumis, T. 2006. Photosynthetic responses and proline content of mature and young leaves of sunflower plants under water deficit. Photosynthetica, 44(1): 143-146.
10. Ghobadi, M., Bakhshande, M., Fathi, G., Gharine, M. H., Alamisaeed, K., Naderi, A., and Ghobadi, M.E. 2006. Short and long periods of water stress during different growth stages of canola (*Brassica napus* L.): effects on yield, yield components, seed oil and protein contents. Journal of Agronomy, 5(2): 336-341.
11. Hidekazu, S., Kazuo, I., and Kunihiko, O. 1998. Freezing tolerance and soluble sugar contents affected by water stress during cold-acclimation and de-acclimation in cabbage seedlings. Scientia Horticulture, pp: 161-169.
12. Kishor, P.B.K., Sangama, S., Amrutha, R.N., Laxmi, P.S., Naidu, K.R., and Rao, K.S. 2005. Regulation of proline in higher plants: its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. Current Science, 88(3): 424-438.
13. Lawlor, D.W., and Cornic, G. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant, Cell and Environment, 25: 275 – 294.
14. Maggio A, Pscale, S.D., Ruggiero, C., and Barbeieri, G. 2005. Physiological response of field-grown cabbage to salinity and drought stress. European Journal of Agronomy, 23: 57- 67.
15. Martinez, J.P., Lutls, S., Schanck, A., and Bajji, M. 2004. Is osmotic adjustment required for water stress resistance in the Mediterranean shrub *Atriplex halimius* L. Plant Physiology, 161: 1041-1051.
16. Moradshahi, A., Salehi, E., and Kholdebarin, B. 2004. Some physiological responses of canola (*Brassica napus* L.) To water deficit stress under laboratory conditions. Iranian Journal of Science & Technology, Transaction A, 28, A1.

17. Rao, I.M., Sharp, R.E., and Boyer, S.S. 1987. Leaf magnesium alters photosynthetic response to low water potentials in sunflower, *Plant Physiology*, 84: 1214.
18. Richard, R.A., and Thurling, N. 1987. Variation between and within species of rape seed (*Brassica campestris* and *Brassica napus* L.) in response to drought stress and growth and development under natural drought stress. *Australian Journal Agriculture Research*, 29: 479-490.
19. Shlegl, H.G. 1986. Die verwertung orgngischer souren durch chlorella lincht. *Planta*. pp: 47-51.
20. Thurling, N., and Kaveeta, R. 1992. Yield improvement of oilseed rape (*Brassica napus* L.) in a low rainfall environment, agronomic performance of lines selected on the basis of preanthesis development, *Australian Journal of Agricultural, Research*, 439: 623-633.
21. Wright, P.R., Morgan, J.M., Jossop, R.S., and Cass, A. 1995. Comparative adaptation of canola (*Brassica napus* L.) and Indian mustard (*Brassica juncea* L.) to wtater deficit. *Field Crops Research.*, 42: 1-13.
22. Yamaguchi-Shinozaki, K., Kasuga, M., Liu, Q., Akashima, K.N., and Sakuma, Y. 2002. Biological mechanisms of drought stress response. *JIRCAS Working Report*, pp: 1-8.