



علوم و تحقیقات بذر ایران

سال پنجم / شماره دوم / ۱۳۹۷ (۱۰۸ - ۹۵)

DOI: 10.22124/jms.2018.2914

## اثر تنش خشکی بر برخی از خصوصیات مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاهچه‌ای در کلزا (*Brassica napus*)

مریم پسندیده ارجمنده<sup>۱\*</sup>، حبیب الله سمیع‌زاده لاهیجی<sup>۲</sup>، محمد محسن‌زاده گلفزانی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۲/۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۱۴

### چکیده

به منظور بررسی برخی صفات مرفولوژیک و فیزیولوژیک ژنوتیپ حساس (Hayola308) و متحمل (SLM046) به خشکی کلزا (*Brassica napus*)، آزمایشی به صورت فاکتوریل اسپلیت در زمان در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در شرایط کنترل شده انجام شد. عامل‌ها شامل ژنوتیپ و سطوح تنش بود که در زمان اسپلیت شدند. تنش خشکی با قطع آبیاری در مرحله قبل از گلدهی اعمال شد. صفات مورد بررسی در ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت پس از تنش اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد تنش خشکی سبب کاهش وزن خشک ریشه ژنوتیپ Hayola308 و همچنین افزایش معنی‌دار نسبت طول ریشه به طول ساقه، وزن تر ریشه و میزان مالون‌دالدهید در ژنوتیپ SLM046 می‌شود. در ۴۸ ساعت پس از تنش خشکی، وزن تر ساقه ژنوتیپ SLM046 بیش‌تر از ژنوتیپ Hayola308 بود. محتوای نسبی آب برگ در ۲۴ ساعت پس از تنش خشکی در ژنوتیپ SLM046 و Hayola308 به ترتیب ۸۸/۵۹٪ و ۳۸/۵۲٪ بود. میزان پراکسید هیدروژن در نمونه‌های تحت تنش ژنوتیپ Hayola308 بیش‌تر از نمونه‌های آبیاری‌شده بود. اختلاف معنی‌داری از نظر نشت الکتروولت در نمونه‌های مورد بررسی وجود نداشت. به طور کلی به نظر می‌رسد طول ریشه، نسبت طول ریشه به ساقه، محتوای نسبی آب، وزن تر ریشه و تفاوت وزن تر و خشک ساقه و ریشه بیش‌تر و همچنین عدم تغییر در وزن خشک ریشه و میزان پراکسید هیدروژن در ژنوتیپ SLM046 نسبت به ژنوتیپ Hayola308، عواملی مرتبط با تحمل به تنش ژنوتیپ SLM046 باشد.

واژه‌های کلیدی: پراکسید هیدروژن، ژنوتیپ حساس و متحمل، طول ساقه، محتوای نسبی آب

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد بیوتکنولوژی کشاورزی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۲- دانشیار، گروه بیوتکنولوژی کشاورزی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۳- استادیار، گروه بیوتکنولوژی کشاورزی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

\*نویسنده مسئول: maryam.pasandide1371@gmail.com

## مقدمه

ترتیب ۵۵ و ۳۶/۹ درصد کاهش یافتند. اثر تنش خشکی و گرما روی ماده خشک ریشه‌چه کلزا معنی‌دار بود. وزن خشک ریشه‌چه در اثر تنش خشکی از ۲/۸۳ به ۱/۶۳ کاهش یافت، در حالی که وزن خشک ساقه در اثر اعمال تنش خشکی کاهش معنی‌داری نشان نداد (-Seyed-ahmadi *et al.*, 2012). در تنش خشکی و گرما، غشای سلولی پایداری خود را از دست داده و در صورت قرار گرفتن برگ در یک محیط آبی مواد محلول از سلول‌های آن تراوش می‌یابد، لذا پایداری غشا به وسیله ارزیابی تراوش یون‌ها از آن تعیین می‌شود. میزان هدایت الکتریکی در محیط آبی خسارت تنش خشکی و گرما را به غشای سلولی نشان می‌دهد و به عنوان شاخصی از تحمل به تنش خشکی ارائه می‌شود (Sairam *et al.*, 2002). محتوای نسبی آب برگ ممکن است تعادل آب تأمین شده برای برگ و سرعت تعرق را بهتر از سایر اجزا منعکس کند، لذا آن شاخص مناسبی برای نشان دادن وضعیت آبی برگ می‌باشد (Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2010). ایجاد رادیکال‌های آزاد (ROS) در سلول‌های یوکاریوتی جزو اولین پاسخ‌های بیوشیمیایی سلول در مواجهه با تنش‌های زنده و غیرزنده است (Anjum *et al.*, 2011). افزایش میزان ROS می‌تواند سبب پراکسیداسیون لیپید، تخریب پروتئین، قطعه قطعه شدن اسید نوکلئیک (DNA) و در نهایت مرگ سلول شود. خسارت اکسیداتیو القا شده در تنش خشکی می‌تواند به طور مستقیم به لیپیدهای غشا حمله کرده و سبب افزایش پراکسیداسیون لیپید شده و در نتیجه سبب افزایش میزان مالون‌دآلدئید شود (Anjum *et al.*, 2011). از محتوای مالون‌دآلدئید به عنوان نشانگر مناسب برای تعیین خسارت اکسیداتیو استفاده می‌شود، زیرا پراکسیداسیون لیپیدهای غشا نشان‌دهنده افزایش میزان ROS در سلول‌ها است (Davey *et al.*, 2005; Anjum *et al.*, 2011). در آزمایشی اعمال تنش خشکی در کلزا، سبب افزایش میزان مالون‌دآلدئید شد (Mirzaee *et al.*, 2013). با توجه به این که تنش خشکی از رایج‌ترین تنش‌های محیطی در ایران است، انجام مطالعات مرفولوژیک و فیزیولوژیک به منظور بررسی واکنش ارقام حساس و متحمل به خشکی کلزا، می‌تواند به عنوان شاخصی برای شناخت نحوه سازگاری و تحمل به خشکی ارقام مفید واقع شود.

در طبیعت، گیاهان به طور مداوم در معرض تنش‌های زیستی و غیرزیستی قرار می‌گیرند (Anjum *et al.*, 2011). تأثیر عوامل مختلف مانند میزان وقوع و توزیع بارش، میزان تبخیر و ظرفیت نگهداری رطوبت خاک بر آب قابل دسترس گیاهان، تنش خشکی را به عاملی غیرقابل پیش‌بینی تبدیل کرده است (Barzana *et al.*, 2014). خشکی مهم‌ترین تنش محیطی در جهان است که سبب کاهش قابل توجه رشد و نمو و در نتیجه کاهش عملکرد بسیاری از گیاهان می‌شود. منابع آب قابل دسترس گیاهان در سال‌های اخیر کاهش یافته است (Anjum *et al.*, 2011). پس از سویا و نخل روغنی، کلزا سومین منبع تأمین روغن نباتی در سطح جهان به شمار می‌رود (Thomas *et al.*, 2016). کلزا (*Brassica napus*) از تیره شنبو یا چلیپاییان یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی یک‌ساله است که در تأمین انرژی و امنیت غذایی در سطح جهان نقش بسزایی دارد و بر-خلاف بیش‌تر گیاهان روغنی، در فصل پاییز قابل کشت بوده و از عملکرد بالایی برخوردار است. این گیاه روزبند و سرمادوست در مناطقی با زمستان سرد کشت می‌شود (Hatamvand *et al.*, 2014). تأثیر تنش خشکی بر خصوصیات مرفولوژیک گیاه متفاوت است. مکانیسم‌هایی که سبب تفاوت در میزان حساسیت به خشکی می‌شوند، هنوز به‌طور کامل شناخته نشده‌اند. تأثیر تنش خشکی، بر رشد ریشه و ساقه متفاوت است. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد تنظیمات متابولیکی گیاه به طور مستقیم تحت تأثیر وضعیت آب در خاک قرار می‌گیرد. در شرایط تنش خشکی رشد ریشه معمولاً کم‌تر از رشد ساقه تحت تأثیر قرار می‌گیرد. رشد ساقه و برگ در شرایط تنش خشکی می‌تواند به شدت کاهش یابد (Sharp, 2002). اعمال تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر کلزا نشان داد که خشکی باعث کاهش مقدار پتانسیل آب برگ، ارتفاع گیاه و وزن خشک قسمت‌های هوایی گیاه کلزا می‌شود (Shaabani *et al.*, 2009). نتایج تحقیقات هوانگ و همکاران (Huang *et al.*, 2015) نشان داد اعمال تنش خشکی در ارقام پاییزه کلزا سبب کاهش ارتفاع گیاهچه‌ها می‌شود. تنش خشکی در کلزا (*Brassica napus*) سبب کاهش طول ریشه، ماده خشک ریشه و افزایش قطر ریشه شد، به طوری که میانگین طول و ماده خشک ریشه به

## مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور بررسی اثر تنش خشکی بر گیاه کلزا (*Brassica napus*) به صورت فاکتوریل اسپلیت در زمان در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در شرایط کنترل شده انجام شد. عامل‌ها شامل ژنوتیپ و سطوح تنش بود که در زمان اسپلیت شدند. بذرهاى دو ژنوتیپ حساس (Hayola308) و متحمل (SLM046) به خشکی (Mirzaee et al., 2013; Mohsenzadeh-Golfazani et al., 2016) از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شدند. بذرها به مدت چهار روز به منظور جوانه‌زنی در پتری‌دیش مرطوب استریل قرار داده شدند. هر گلدان به عنوان یک واحد آزمایشی در نظر گرفته شد که با خاک مزرعه استریل و پیت‌ماس به نسبت برابر پر شدند. پنج عدد بذر جوانه‌زده و سالم در هر گلدان پلاستیکی با قطر دهانه ۳۰ سانتی‌متر در ۳ تکرار کشت شد. گلدان‌ها در شرایط ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی و دمای  $23 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد منتقل و در اتاقک رشد آزمایشگاه قرار داده شدند. آبیاری گلدان‌ها به طور منظم انجام شد. تنش خشکی، در مرحله قبل از گلدهی با قطع آبیاری اعمال شد. تقریباً ۷۲ ساعت پس از قطع آبیاری که کلیه گلدان‌ها آب خود را از دست داده بودند و به حدود ۳۰ درصد ظرفیت زراعی رسیده بودند (بر اساس روش وزنی تعیین FC و PWP)، به عنوان زمان شروع تنش در نظر گرفته شد (Fathi and Enayat-gholizadeh, 2011). نمونه‌برداری و بررسی برخی صفات مرفولوژیک و فیزیولوژیک در ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت پس از زمان شروع تنش خشکی انجام شد و همچنین از گیاهانی که به طور منظم و کامل آبیاری شده بودند به عنوان شاهد در تمامی زمان‌ها به طور جداگانه نمونه‌برداری شد. طول ساقه و ریشه برای نمونه‌های تحت تنش خشکی و نمونه‌های آبیاری شده در ۳ تکرار با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد. طول ساقه از یقه تا انتهای ساقه و طول ریشه از یقه تا انتهای ریشه اندازه‌گیری و مقادیر بر اساس سانتی‌متر گزارش شد. وزن تر اندام هوایی و ریشه برای هر کدام از نمونه‌های تحت تنش خشکی و کاملاً آبیاری شده در ۳ تکرار توسط ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم توزین شد. به منظور اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی و ریشه، نمونه‌های تحت تنش خشکی و همچنین نمونه‌های آبیاری شده به -

طور جداگانه در ورق‌های کاغذی قرار داده شدند و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده و سپس توزین شدند. پس از اندازه‌گیری وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی بر اساس گرم، وزن آب موجود در نمونه‌ها (WW) با تفریق وزن خشک (DW) از وزن تر (FW) ریشه و اندام هوایی از طریق رابطه (۱) به طور جداگانه در ۳ تکرار، محاسبه و یادداشت شد.

$$WW = FW - DW \quad \text{رابطه (۱)}$$

نسبت طول ریشه به طول ساقه نمونه‌های تحت تنش خشکی و نمونه‌های آبیاری شده هر دو ژنوتیپ حساس و متحمل به عنوان ضریب آلومتریک از طریق رابطه (۲) به طور جداگانه محاسبه شد.

$$\text{رابطه (۲)} = \frac{\text{طول ریشه}}{\text{طول ساقه}} = \text{ضریب آلومتریک}$$

شاخص پایداری غشای نمونه‌های تحت تنش خشکی و آبیاری شده ژنوتیپ حساس و متحمل به خشکی از طریق اندازه‌گیری میزان نشت الکترولیت‌های برگ به وسیله دستگاه EC سنچ ارزیابی شد. برای این منظور برگ تازه و سبز نمونه‌های تحت تنش و آبیاری شده ژنوتیپ حساس و متحمل در ۳ تکرار پس از جداسازی و توزین درون فالدکون حاوی آب مقطر با حجم ۲۰ میلی‌لیتر منتقل و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری شد. نشت ثانویه نیز از طریق اندازه‌گیری میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها پس از حرارت دادن به مدت یک ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. شاخص پایداری غشا از طریق رابطه (۳) و بر اساس درصد محاسبه شد (Shiferaw and Baker, 1996).

$$\text{رابطه (۳)} = \left( 1 - \frac{\text{نشت اولیه}}{\text{نشت ثانویه}} \right) \times 100 = \text{شاخص پایداری غشا}$$

جهت اندازه‌گیری میزان محتوای نسبی آب، ۳ تکرار از برگ سبز و میانی نمونه‌های تحت تنش خشکی و آبیاری شده ژنوتیپ‌های Hayola308 و SLM046، توسط تیغ تیز به یک اندازه برش داده شد و بلافاصله توزین گردید. وزن تر حداقل ۰/۵ گرم از هر کدام تهیه و به طور جداگانه یادداشت گردید. به منظور به‌دست آوردن وزن آماس، نمونه‌های برگ‌ی در پتری‌دیش حاوی آب مقطر در دمای اتاق قرار گرفتند و پس از ۲۴ ساعت توزین شدند. سپس

لیتر یدیدپتاسیم (KI) ۱ مولار به مخلوط فوق اضافه شد. مخلوط به مدت یک ساعت در تاریکی در دمای اتاق قرار گرفت. میزان جذب در ۳۹۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت و یادداشت شد. برای محاسبه غلظت  $H_2O_2$  از منحنی استاندارد ۱ KI مولار و TCA ۱ درصد در pH=7 و غلظت  $H_2O_2$  ۰ تا ۱۴ نانومول استفاده گردید. غلظت  $H_2O_2$  براساس نانومول در هر گرم وزن تر برگ گزارش گردید (Junglee et al., 2014).

### تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزار پردازش آماری SAS (نسخه ۹/۱) و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. با توجه به بالا بودن ضریب تغییرات در تعدادی از صفات برای صفات وزن تر و خشک ریشه، اختلاف وزن تر و خشک ریشه و محتوای مالون‌دالدهید از تبدیل داده جذری و برای صفات وزن خشک ساقه و نشت الکتروولیت از تبدیل داده زاویه‌ای استفاده شد. جهت رسم نمودارها از نرم افزار اکسل ۲۰۱۶ استفاده شد.

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد (جدول ۱) که اثر متقابل ژنوتیپ در زمان در صفت طول ریشه، وزن خشک و اختلاف وزن تر و خشک ساقه (وزن آب ساقه) معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل تنش در زمان برای صفات طول ریشه، وزن خشک ساقه، میزان مالون‌دالدهید و نسبت طول ریشه به طول ساقه معنی‌دار بود. با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) اثر ساده ژنوتیپ و همچنین تنش در صفت طول ساقه و اثر متقابل ژنوتیپ در تنش در صفات وزن خشک ریشه، اختلاف وزن تر و خشک ساقه (وزن آب ساقه)، میزان مالون‌دالدهید و نسبت طول ریشه به طول ساقه معنی‌دار بود. اختلاف معنی‌داری از نظر نشت الکتروولیت برگ در نمونه‌های مورد بررسی وجود نداشت. اثر متقابل سه جانبه ژنوتیپ در تنش در زمان برای صفات وزن تر ریشه و ساقه، اختلاف وزن تر و خشک ریشه (وزن آب ریشه)، محتوای نسبی آب و غلظت پراکسید هیدروژن معنی‌دار بود.

مشاهدات عینی نشان داد که ژنوتیپ Hayola308 و SLM046 دارای طول ساقه متفاوتی نسبت به یکدیگر بودند و نمونه‌هایی که تحت تنش خشکی بودند، طول

نمونه‌های برگ‌ی در آون دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده و توزین شدند. مقدار محتوای نسبی آب از طریق رابطه (۴) محاسبه و بر اساس درصد ارائه شد (Turner, 1981).  
رابطه (۴)

$$100 \times \left( \frac{\text{وزن خشک} - \text{وزن تر}}{\text{وزن خشک} - \text{وزن آماس}} \right) = \text{محتوای نسبی آب برگ}$$

به‌منظور اندازه‌گیری محتوای مالون‌دالدهید در نمونه‌های تحت تنش خشکی و همچنین نمونه‌هایی که به‌طور منظم آبیاری شده بودند، ۰/۲ گرم از بافت تازه برگ‌ی توزین و در هاون چینی محتوی ۵ میلی‌لیتر تری-کلرواستیک اسید (TCA) ۰/۱ درصد ساییده شد. عصاره حاصل با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ به مدت ۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰g سانتریفیوژ شد. سپس به یک میلی‌لیتر از محلول رویی، ۴ میلی‌لیتر محلول TCA ۴۰ درصد که حاوی ۰/۵ درصد تیوباربتوریک اسید (TBA) بود، اضافه گردید. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و سپس به مدت ۳۰ دقیقه در یخ سرد شد. پس از آن به مدت ۱۰ دقیقه و ۱۰۰۰۰g در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. شدت جذب این محلول با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر قرائت شد. جذب رنگیزه‌های غیراختصاصی در طول موج ۶۰۰ نانومتر و جذب کمپلکس قرمز مالون‌دالدهید و تیوباربتوریک اسید در طول موج ۵۳۲ نانومتر است که از میزان جذب در ۵۳۲ نانومتر کسر گردید. برای محاسبه مالون‌دالدهید از ضریب خاموشی معادل  $M^{-1} \text{ cm}^{-1}$   $1.05 \times 10^5$  استفاده شد. نتایج حاصل از این اندازه‌گیری بر حسب ماکرومول در هر گرم وزن تر برگ گزارش شد (Heath and Packer, 1968).

به‌منظور اندازه‌گیری غلظت پراکسید هیدروژن در هر گرم وزن تر، ۱۵۰ میلی‌گرم برگ تازه از نمونه‌های کاملاً آبیاری‌شده به عنوان شاهد و نمونه‌هایی که در تنش خشکی قرار گرفته بودند با ۳ تکرار در نیتروژن مایع خرد شد. ۱ میلی‌لیتر TCA ۱ درصد سرد به نمونه‌های پودر-شده اضافه گردید. سپس به مدت ۱۵ دقیقه و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و با سرعت ۱۲۰۰۰ rpm سانتریفیوژ شد. پس از آن ۰/۲۵ میلی‌لیتر بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار به ۲۵ ماکرولیتر از فاز رویی اضافه شد. سپس ۰/۵ میلی-

جدول ۱- مقادیر آماره‌های توصیفی صفات مختلف برای مؤلفه‌های اندازه‌گیری شده  
 Table 1. Descriptive statistics for components measured values of different traits

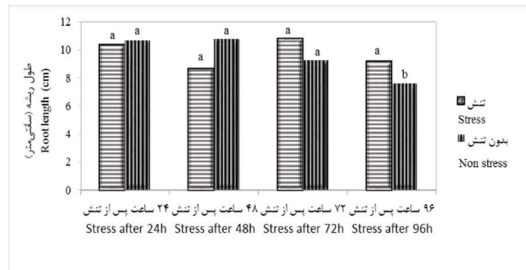
منابع تغییرات Source of variance	درجه آزادی df	پراکسید هیدروژن تانومول در هر گرم وزن تر) Hydrogen peroxide (nmol g <sup>-1</sup> fw)	مالون‌دالدهید (ماکرومول در گرم وزن تر) Malondialdehyde (μMig <sup>-1</sup> fw)	محتوای نسبی آب (%) Relative water content (%)	نسبت الکترولیت (%) Electrolyte leakage (%)	وزن آب ساقه (گرم) Water weight of shoot (g)	وزن آب ریشه (گرم) Water weight of root (g)	وزن خشک ساقه (گرم) Dry weight of shoot (g)	وزن خشک ریشه (گرم) Dry weight of root (g)	وزن تر ساقه (گرم) Fresh weight of shoot (g)	وزن تر ریشه (گرم) Fresh weight of root (g)	نسبت طول ریشه به طول ساقه root to shoot ratio	طول ساقه (سانتی‌متر) shoot length (cm)	طول ریشه (سانتی‌متر) Root length (cm)
ژنوتیپ Genotype	1	0.0007	27.03*	632.18**	0.0004	11.57**	0.18**	0.12**	0.0004	8.91**	0.14**	1.05**	59.63**	4.81
تنش Stress	1	0.003**	79.26**	407.56**	0.001	0.25	0.03**	0.08**	0.0004	0.009	0.01*	0.24**	10.54*	0.30
ژنوتیپ × تنش Genotype*Stress	1	0.0003	47.18**	513.34**	0.00001	3.33**	0.01*	0.003	0.01**	2.30*	0.02**	0.24**	5.67	2.16
خطای اول E <sub>1</sub>	8	0.0001	3.62	22.67	0.0004	0.12	0.002	0.03	0.00057	0.13	0.002	0.051	1.04	3.27
زمان Time	3	0.001**	77.86**	295.70**	0.004	1.97**	0.01**	0.09**	0.001	2.92**	0.01**	0.07	0.49	9.88**
ژنوتیپ × زمان Genotype*Time	3	0.0013**	4.74	406.95**	0.0006	1.06*	0.01**	0.04*	0.002	0.77	0.01*	0.03	3.56	6.04*
تنش × زمان Stress* Time	3	0.0014**	203.38**	608.11**	0.0009	0.62	0.02**	0.03*	0.002	0.52	0.02**	0.13**	2.11	9.24**
تنش × زمان × ژنوتیپ Genotype*Time*Stress	3	0.002**	5.94	488.23**	0.004	1.14*	0.01**	0.01	0.001	1.61**	0.01**	0.006	1.13	0.74
خطای آزمایش Mean Square of error	0.0001	3.81	24	22.72	0.0008	0.29	0.002	0.01	0.0008	0.32	0.002	0.02	1.52	1.45
ضریب تغییرات (%) CV%	11.70	11.50	-	5.65	3.50	21.04	15.26	10.53	18.51	20.20	14.16	14.72	12.14	12.53

\* و \*\* به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۵ و ۱ درصد  
 \*and\*\* significant at the 5% and 1% of probability levels, respectively

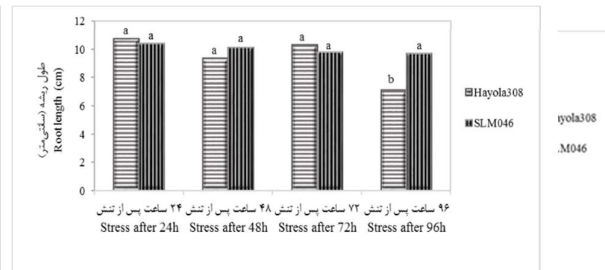
دآلدئید در ژنوتیپ Hayola308 معنی‌دار نبود (شکل ۷). چنانچه در شکل ۸ مشاهده می‌شود، با طولانی‌شدن زمان تنش میزان مالون‌دآلدئید افزایش یافت. میزان مالون-دآلدئید در نمونه‌هایی که به مدت ۴۸ ساعت تحت تنش خشکی قرار داشتند و نمونه‌هایی که به طور کامل آبیاری شده بودند، تفاوت معنی‌داری نداشت. در ۷۲ و ۹۶ ساعت پس از تنش، میزان مالون‌دآلدئید در نمونه‌های تحت تنش نسبت به نمونه‌های کاملاً آبیاری شده افزایش یافت. افزایش میزان مالون‌دآلدئید در نمونه‌هایی که به مدت ۹۶ ساعت تحت تنش خشکی بودند، بیش‌تر از نمونه‌هایی بود که به مدت ۷۲ ساعت در شرایط تنش قرار داشتند (شکل ۸). به طور مشابه در آزمایشی اعمال تنش خشکی در کلزا (*Brassica napus*) شد (Zhao et al., 2010). در آزمایش دیگری اعمال تنش خشکی بر گیاه کلزا سبب افزایش میزان مالون-دآلدئید در ژنوتیپ‌های Hayola308 و SLM046 شد (Mirzaee et al., 2013). وزن خشک ساقه ژنوتیپ Hayola308 در ۲۴ ساعت پس از تنش بیش‌تر از ژنوتیپ SLM046 بود اما با افزایش زمان تنش، اختلاف معنی-داری از نظر وزن خشک ساقه در ژنوتیپ‌ها وجود نداشت (شکل ۹). اختلاف معنی‌داری از نظر وزن خشک ساقه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی و آبیاری کامل وجود نداشت (شکل ۱۰).

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد اعمال تنش خشکی سبب کاهش وزن خشک ریشه برنج می‌شود (Nasiri et al., 2015). همان‌طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود، نمونه‌های آبیاری شده ژنوتیپ Hayola308 دارای وزن خشک ریشه بیش‌تری نسبت به نمونه‌های تحت تنش خشکی این ژنوتیپ بود. در مقابل هیچ‌گونه تفاوت معنی-داری از این نظر در نمونه‌های آبیاری شده و تحت تنش ژنوتیپ SLM046 وجود نداشت (شکل ۱۱). چنانچه در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود، نمونه‌های آبیاری شده و تحت تنش ژنوتیپ Hayola308 از نظر اختلاف وزن تر و خشک ریشه تفاوت معنی‌داری از نظر اختلاف وزن تر و خشک ریشه ژنوتیپ Hayola308 در ساعات مختلف تنش مشاهده نشد. اختلاف وزن تر و خشک ریشه نمونه‌های مربوط به ژنوتیپ SLM046 که به مدت ۹۶ ساعت تحت شرایط تنش

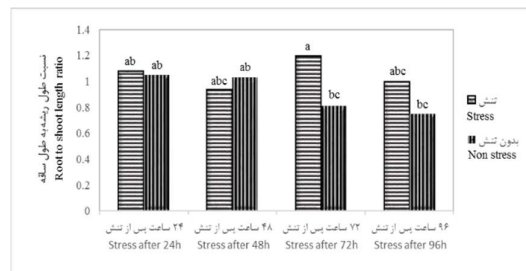
ساقه متفاوتی نسبت به نمونه‌هایی داشتند که به طور کامل آبیاری شده بودند (جدول ۱). نتایج تحقیقات نشان می‌دهد تنش خشکی سبب کاهش طول ریشه در کلزا می‌شود (Husen et al., 2014). همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌گردد، در ۹۶ ساعت پس از تنش خشکی، طول ریشه ژنوتیپ Hayola308 بر خلاف ژنوتیپ SLM046 کاهش یافت ولی در سایر زمان‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. به عبارت دیگر اختلاف معنی-داری از نظر طول ریشه در ژنوتیپ‌های SLM046 و Hayola308 در ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از اعمال تنش وجود نداشت (شکل ۱). در ۹۶ ساعت پس از تنش، طول ریشه نمونه‌های آبیاری شده و تحت تنش ژنوتیپ‌ها، اختلاف معنی‌داری نسبت به یکدیگر داشتند (شکل ۲). بررسی‌ها نشان می‌دهد اعمال تنش خشکی سبب افزایش نسبت طول ریشه به طول ساقه می‌شود (Wu and Cosgrove, 2000). همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌گردد، نسبت طول ریشه به طول ساقه ژنوتیپ SLM048 که تحت تنش خشکی قرار گرفته بود، بیش‌تر از نمونه‌های آبیاری شده این ژنوتیپ بود. در حالی که هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری از نظر این صفت در نمونه‌های تحت تنش خشکی و آبیاری شده ژنوتیپ Hayola308 مشاهده نشد. نسبت طول ریشه به طول ساقه در نمونه-های تحت تنش ژنوتیپ Hayola308 و SLM046 دارای تفاوت معنی‌دار بود (شکل ۳). در ۷۲ ساعت پس از تنش خشکی، بر خلاف سایر زمان‌ها، نسبت طول ریشه به طول ساقه ژنوتیپ‌ها افزایش معنی‌داری یافت (شکل ۴). در شرایطی که نمونه‌ها به طور منظم و کامل آبیاری شدند، اختلاف وزن تر و خشک ساقه ژنوتیپ Hayola308 و SLM046 تفاوتی نسبت به یکدیگر نداشتند. اما در شرایط تنش خشکی اختلاف وزن تر و خشک ساقه در ژنوتیپ SLM046 بیش‌تر از ژنوتیپ Hayola308 بود (شکل ۵). اختلاف وزن تر و خشک ساقه ژنوتیپ Hayola308 و SLM046 در زمان‌های مختلف تغییر نکرد. در ۷۲ و ۹۶ ساعت پس از تنش خشکی، اختلاف وزن تر و خشک ساقه ژنوتیپ SLM046 بیش‌تر از ژنوتیپ Hayola308 بود (شکل ۶). در شرایط تنش خشکی میزان مالون‌دآلدئید در ژنوتیپ SLM046 به طور معنی‌داری افزایش یافت. در حالی که افزایش میزان مالون-



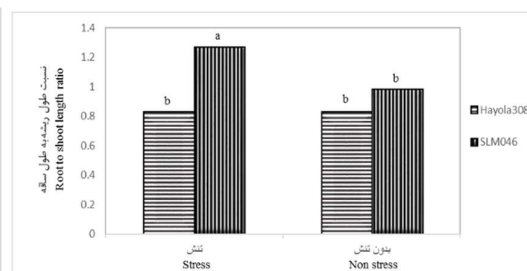
شکل ۲- اثر تنش بر طول ریشه در زمان‌های مختلف  
Figure 2. The effect of stress on root length at different times



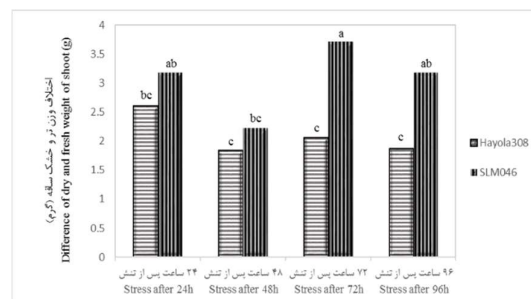
شکل ۱- اثر زمان بر طول ریشه ژنوتیپ‌ها  
Figure 1. The effect of time on root length of genotypes



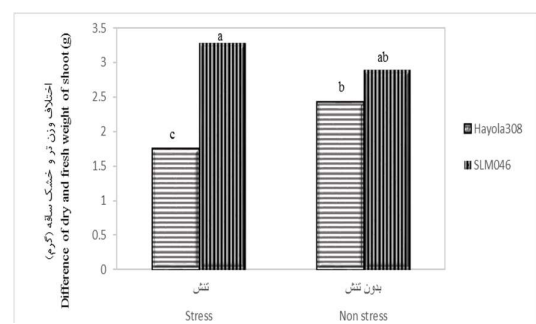
شکل ۴- اثر تنش بر نسبت طول ریشه به طول ساقه در زمان‌های مختلف  
Figure 4. The effect of stress on root to shoot length ratio at different times



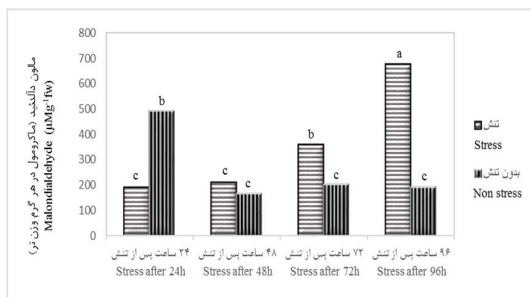
شکل ۳- اثر تنش بر نسبت طول ریشه به طول ساقه ژنوتیپ‌ها  
Figure 3. The effect of stress on root to shoot length ratio of genotypes



شکل ۶- اثر زمان بر اختلاف وزن تر و خشک ساقه ژنوتیپ‌ها  
Figure 6. The effect of time on difference of dry and fresh weight of shoot of genotypes

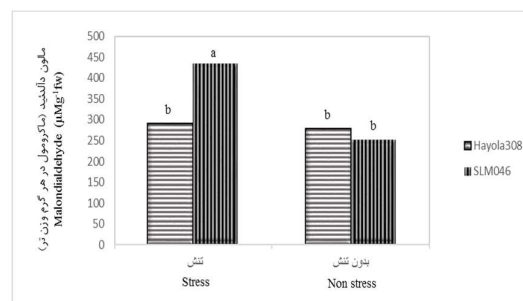


شکل ۵- اثر تنش بر اختلاف وزن تر و خشک ساقه ژنوتیپ‌ها  
Figure 5. The effect of stress on difference of dry and fresh weight of shoot of genotypes



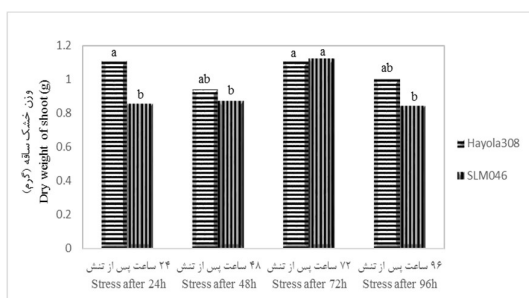
شکل ۸- اثر تنش بر میزان مالون دآلدئید در زمان-های مختلف

Figure 8. The effect of stress on at different times malondialdehyde level



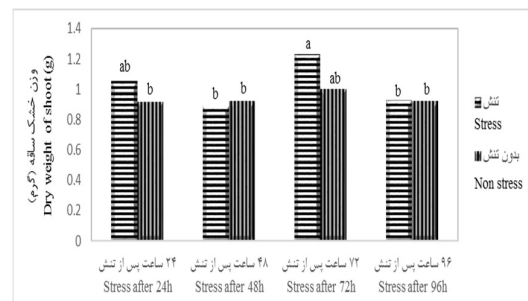
شکل ۷- اثر تنش بر میزان مالون دآلدئید ژنوتیپ‌ها

Figure 7. The effect of stress on malondialdehyde level of genotypes



شکل ۱۰- اثر تنش بر وزن خشک ساقه در زمان‌های مختلف

Figure 10. The effect of stress on dry weight of shoot at different times



شکل ۹- اثر زمان بر وزن خشک ساقه ژنوتیپ‌ها

Figure 9. The effect of time on dry weight of shoot of genotypes

هر دو ژنوتیپ Hayola308 و SLM046 هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری از نظر وزن تر ساقه در نمونه‌های تحت تنش خشکی و نمونه‌هایی که به طور کامل آبیاری شده بودند، وجود نداشت (شکل ۱۳). تفاوت معنی‌داری در وزن تر ریشه نمونه‌های تحت تنش و آبیاری‌شده ژنوتیپ Hayola308 مشاهده نشد. همچنین وزن تر ریشه ژنوتیپ SLM046 در ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از تنش خشکی تفاوت معنی‌داری نسبت به نمونه‌های کاملاً آبیاری‌شده نداشت اما وزن تر ریشه در نمونه‌های مربوط به ژنوتیپ SLM046 که به مدت ۷۲ و ۹۶ ساعت در شرایط تنش خشکی قرار گرفته بودند، بیش‌تر از نمونه‌هایی بود که به طور کامل آبیاری شده بودند (شکل ۱۴). همان‌طور که در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود، کم‌ترین محتوای نسبی آب برگ مربوط به ژنوتیپ Hayola308

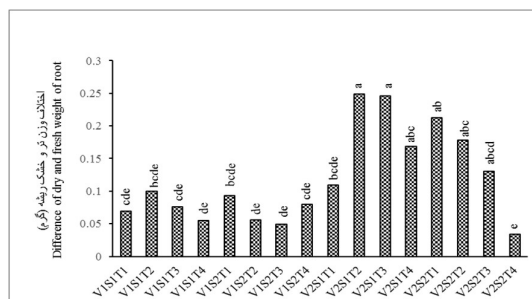
خشکی قرار گرفته بودند، اختلاف معنی‌داری نسبت به نمونه‌های کاملاً آبیاری‌شده داشتند. در ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت پس از تنش، اختلاف وزن تر و خشک ریشه ژنوتیپ SLM046 بیش‌تر از ژنوتیپ Hayola308 بود (شکل ۱۲). در آزمایشی اعمال تنش خشکی بر گیاه کلزا (*Brassica napus*) سبب کاهش وزن تر ساقه و ریشه شد (Razaviezadeh and Amoubeigi, 2013). وزن تر ساقه نمونه‌های ژنوتیپ SLM046 که به مدت ۴۸ ساعت تحت شرایط تنش خشکی قرار گرفته بودند، اختلاف معنی‌داری نسبت به ژنوتیپ Hayola308 داشتند. تفاوت معنی‌داری از نظر وزن تر ساقه ژنوتیپ Hayola308 و SLM046 در سایر زمان‌ها مشاهده نشد. وزن تر ساقه ژنوتیپ SLM046 در ۴۸ ساعت پس از تنش بیش‌تر از وزن تر ساقه ژنوتیپ Hayola308 بود. در



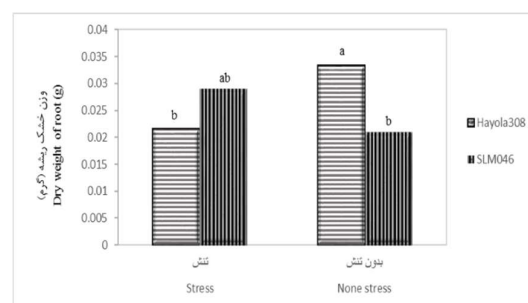
مشاهده می‌گردد، در ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از تنش خشکی میزان پراکسید هیدروژن در ژنوتیپ Hayola308 تفاوت معنی‌داری نسبت به نمونه‌های آبیاری شده داشت. به عبارت دیگر میزان پراکسید هیدروژن نمونه‌های تحت تنش ژنوتیپ Hayola308 بیش‌تر از نمونه‌های آبیاری شده بود. در حالی‌که تفاوت معنی‌داری از نظر غلظت پراکسید هیدروژن در نمونه‌های تحت تنش و آبیاری شده ژنوتیپ SLM046 مشاهده نشد.

مطالعه صفات مرفولوژیکی در خردل حبشی (*Brassica carinata*) نشان داد افزایش تنش خشکی سبب کاهش طول ریشه می‌شود (Husen *et al.*, 2014). در این پژوهش با افزایش زمان تنش خشکی، طول ریشه ژنوتیپ Hayola308 بر خلاف ژنوتیپ SLM046 کاهش یافت (شکل ۱). با توجه به این‌که بررسی نتایج در این پژوهش با استناد به معرفی ژنوتیپ SLM046 و Hayola308 به ترتیب به عنوان ژنوتیپ متحمل و حساس به خشکی در مطالعات قبلی صورت گرفته است (Mirzaee *et al.*, 2016; Mohsenzadeh-Golfazani *et al.*, 2013)، احتمالاً یکی از عوامل مؤثر در تحمل ژنوتیپ SLM046 به خشکی مرتبط با عدم کاهش طول ریشه آن در شرایط تنش خشکی است. ممکن است عدم کاهش طول ریشه، به این دلیل باشد که گیاه برای فرار از خشکی با حفظ طول ریشه به دنبال آب می‌باشد. در تنش خشکی، ریشه

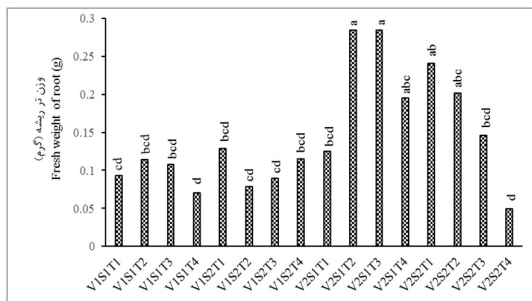
در ۲۴ ساعت پس از اعمال تنش خشکی بود. در سایر زمان‌ها اختلاف معنی‌داری از نظر محتوای نسبی آب برگ در نمونه‌های تحت تنش و نمونه‌های آبیاری شده ژنوتیپ Hayola308 وجود نداشت. به طور مشابه نتایج تحقیقات حامد و همکاران (Hamed *et al.*, 2014) نشان داد محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی در گیاه کلزا کاهش می‌یابد. همچنین در آزمایش دیگری اعمال تنش خشکی سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ در ارقام گیاه کلزا (*Brassica napus*) شد (Ullah *et al.*, 2012). هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری از نظر محتوای نسبی آب برگ در نمونه‌های تحت تنش خشکی ژنوتیپ SLM046 و نمونه‌هایی که به طور کامل آبیاری شده بودند، وجود نداشت. در ۲۴ ساعت پس از تنش خشکی، محتوای نسبی آب برگ در نمونه‌های تحت تنش و نمونه‌های آبیاری شده ژنوتیپ Hayola308 تفاوت معنی‌داری داشت. به عبارت دیگر در ۲۴ ساعت پس از تنش، نمونه‌هایی از ژنوتیپ Hayola308 که تحت تنش خشکی قرار گرفته بودند، محتوای نسبی آب برگ کم‌تری نسبت به نمونه‌هایی داشتند که به‌طور کامل آبیاری شده بودند. به طوری‌که محتوای نسبی آب برگ در ۲۴ ساعت پس از تنش خشکی در ژنوتیپ SLM046 و Hayola308 به ترتیب ۸۸/۵۹ و ۳۸/۵۲٪ بود. تنش خشکی سبب عدم تعادل در تولید و مهار گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) و در نتیجه افزایش پراکسید هیدروژن می‌شود (García-Mata and Lamattina, 2001). چنان‌چه در شکل ۱۶



شکل ۱۲- اثر تنش × زمان × ژنوتیپ بر اختلاف وزن تر و خشک ریشه  
Figure 12. The effect of genotype\*time\*stress on difference of dry and fresh weight of root

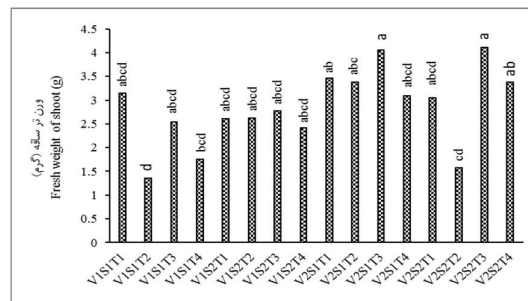


شکل ۱۱- اثر تنش بر وزن خشک ریشه ژنوتیپ‌ها  
Figure 11. The effect of stress on dry weight of root of genotypes



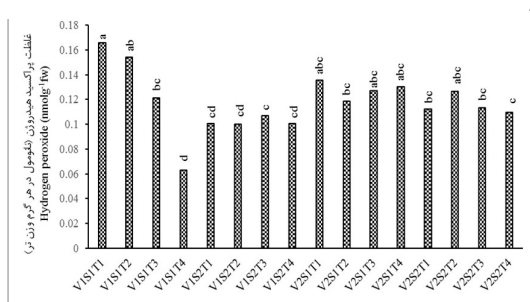
شکل ۱۴- اثر تنش × زمان × ژنوتیپ بر وزن تر ریشه

Figure 14. The effect of genotype\*time\*stress on fresh weight of root



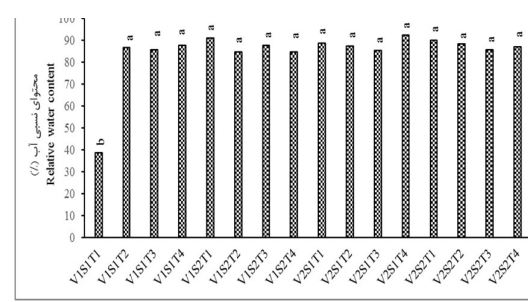
شکل ۱۳- اثر تنش × زمان × ژنوتیپ بر وزن تر ساقه

Figure 13. The effect of genotype\*time\*stress on fresh weight of shoot



شکل ۱۶- اثر تنش × زمان × ژنوتیپ بر غلظت پراکسید هیدروژن

Figure 16. The effect of genotype\*time\*stress on Hydrogen peroxide concentration



شکل ۱۵- اثر تنش × زمان × ژنوتیپ بر محتوای نسبی آب

Figure 15. The effect of genotype\*time\*stress on relative water content

در کلیه شکل‌های ۱۶-۱۲، V1، V2، S1، S2، T1، T2، T3 و T4 به ترتیب نشان‌دهنده ژنوتیپ حساس، متحمل، تنش، عدم تنش، ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت پس از تنش خشکی

به طور مشابه در آزمایشی اعمال تنش خشکی در گیاه لوبیا سبب کاهش وزن خشک ریشه ژنوتیپ حساس شد (Türkan *et al.*, 2005). کاهش وزن خشک ریشه ژنوتیپ Hayola308 در شرایط تنش خشکی را شاید بتوان یکی از دلایل حساسیت این ژنوتیپ به تنش خشکی دانست. احتمالاً عدم تغییر وزن خشک ریشه ژنوتیپ SLM046 در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط فاقد تنش عاملی مؤثر در تحمل به خشکی ژنوتیپ SLM046 است. افزایش وزن تر ریشه ژنوتیپ SLM046 در ۷۲ و ۹۶ ساعت پس از تنش نسبت به حالت آبیاری کامل ممکن است بیانگر جذب و حفظ آب بیش‌تر ریشه ژنوتیپ SLM046 در شرایط تنش خشکی باشد. همچنین در ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت پس از تنش، وزن تر ریشه ژنوتیپ SLM046 در مقایسه با ژنوتیپ Hayola308 بیش‌تر بود

برخلاف اندام هوایی به رشد ادامه می‌دهد که نتیجه این امر توسعه ریشه برای تأمین آب بیش‌تر و بهبود نسبت ریشه به اندام هوایی خواهد بود (Masinde *et al.*, 2006)، به طوری که تنش خشکی سبب افزایش معنی‌دار نسبت طول ریشه به طول ساقه ژنوتیپ SLM046 شد (شکل ۳). احتمالاً این امر مربوط به بیش‌تر بودن طول ریشه ژنوتیپ SLM046 نسبت به ژنوتیپ Hayola308 در شرایط تنش بوده است (شکل ۱). به طور کلی در شرایط محدودیت آب قابل دسترس در گیاهان، نسبت طول ریشه به طول ساقه در گیاهان افزایش می‌یابد. از این جهت که ریشه نسبت به ساقه، به محدودیت پتانسیل آب قابل دسترس حساسیت کم‌تری دارد (Wu and Cosgrove, 2000)، اعمال تنش خشکی سبب کاهش وزن خشک ریشه ژنوتیپ Hayola308 شد (شکل ۱۱).

همچنین در ابتدای تنش، ژنوتیپ SLM046 محتوای نسبی آب بیش‌تری نسبت به ژنوتیپ Hayola308 داشت (شکل ۱۵). محتوای نسبی آب بالا در گیاه به معنی توانایی برگ در حفظ مقادیر بیش‌تر آب در شرایط تنش است (Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2010). احتمالاً ژنوتیپ SLM046 توانایی بیش‌تری در حفظ آب برگ در شرایط تنش خشکی دارد. محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2015) نشان دادند که اعمال تنش خشکی در گیاه کلزا سبب افزایش محصولات پراکسیداسیون لیپیدی و در نتیجه افزایش میزان مالون-دآلدئید می‌شود. اعمال تنش خشکی سبب افزایش میزان مالون دآلدئید در ژنوتیپ SLM046 شد. با این‌که در مطالعات قبلی ژنوتیپ Hayola308 به عنوان ژنوتیپ حساس به خشکی معرفی شده است (Mirzaee *et al.*, 2016; Mohsenzadeh-Golfazani *et al.*, 2013)، افزایش میزان مالون دآلدئید در آن غیرمعنی‌دار بود (شکل ۸). این امر نشان می‌دهد که لزوماً افزایش میزان مالون-دآلدئید در گیاه نمی‌تواند به تنهایی نشان‌دهنده حساسیت گیاه به خشکی باشد. تنش خشکی سبب افزایش غلظت پراکسیدهایروژن در ژنوتیپ Hayola308 شد (شکل ۱۶). با وجود این‌که پراکسیدهایروژن می‌تواند به عنوان مولکول علامت‌دهی در مسیر پاسخ و واکنش گیاه به خشکی مفید واقع شود، اما افزایش بیش از حد این نوع از رادیکال آزاد می‌تواند سبب خسارت به پروتئین، DNA و لیپید شود (Cui *et al.*, 2016). بالعکس هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری از نظر غلظت پراکسیدهایروژن در نمونه‌های تحت تنش و آبیاری‌شده ژنوتیپ SLM046 وجود نداشت (شکل ۱۶). از آن جایی که تولید پراکسیدهایروژن امری اجتناب‌ناپذیر است (Anjum *et al.*, 2011)، احتمالاً ژنوتیپ SLM046 با مکانیسم‌های مختلف توانسته است آن را مهار کند. زیرا گیاهان برای کاهش اثرات تخریبی این مواد دارای مکانیسم‌هایی برای مهار و یا تغییر حالت این مواد در سیستم گیاهی هستند (Ozden *et al.*, 2009). بر خلاف سایر صفات مورد بررسی، درصد نشت الکترولیت برگ در نمونه‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۱). از آن جایی‌که نشت الکترولیت مرتبط با پایداری غشای سلولی در گیاهان است، احتمالاً تنش خشکی اعمال شده در این پژوهش، اثر معنی‌داری بر پایداری غشای نمونه‌های مورد بررسی نداشته است.

(شکل ۱۴). از آن جایی که تنش خشکی تفاوت معنی‌داری در وزن خشک ریشه ژنوتیپ SLM046 ایجاد نکرد (شکل ۱۱)، بیش‌تر بودن وزن تر ریشه ژنوتیپ SLM046 را احتمالاً می‌توان ناشی از جذب آب بیش‌تر و حفظ آن توسط ریشه این ژنوتیپ دانست. در ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت پس از تنش، اختلاف وزن تر و خشک ریشه ژنوتیپ SLM046 بیش‌تر از ژنوتیپ Hayola308 بود. با توجه به این‌که در ۹۶ ساعت پس از تنش خشکی، وزن تر ریشه ژنوتیپ SLM046 نسبت به حالت آبیاری کامل افزایش یافت (شکل ۱۴)، ولی وزن خشک آن در شرایط تنش و آبیاری کامل تغییری نکرد (شکل ۱۱)، احتمالاً تفاوت معنی‌دار اختلاف وزن تر و خشک ریشه ژنوتیپ SLM046 در ۹۶ ساعت پس از تنش، ناشی از جذب و حفظ آب بیش‌تر توسط ریشه ژنوتیپ SLM046 بوده است. وزن تر ساقه ژنوتیپ SLM046 در ۴۸ ساعت پس از تنش بیش‌تر از وزن تر ساقه ژنوتیپ Hayola308 بود (شکل ۱۳). همان‌طور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری از نظر وزن خشک ساقه ژنوتیپ‌ها در ۴۸ ساعت پس از تنش خشکی وجود ندارد. به عبارت دیگر اختلاف معنی‌دار وزن تر ساقه ژنوتیپ Hayola308 و SLM046 در ۴۸ ساعت پس از تنش احتمالاً ناشی از تفاوت وزن آب موجود در نمونه‌های مورد بررسی بوده است. در شرایطی که نمونه‌ها به طور کامل آبیاری شدند، اختلاف وزن تر و خشک ساقه ژنوتیپ Hayola308 و SLM046 هیچ تفاوتی با یکدیگر نداشتند اما در شرایط تنش خشکی اختلاف وزن تر و خشک ساقه ژنوتیپ Hayola308 کاهش یافت (شکل ۵). احتمالاً در شرایط تنش خشکی، ژنوتیپ Hayola308 قادر به حفظ آب موجود در ساقه نبوده است و به همین دلیل در ۷۲ و ۹۶ ساعت پس از تنش خشکی اختلاف وزن تر و خشک ساقه Hayola308 کم‌تر از SLM046 بود (شکل ۶). از آن جایی‌که اختلاف وزن تر و خشک ساقه، همان وزن آب موجود در ساقه است (معادله ۱)، بنابراین ممکن است کم‌تر بودن اختلاف وزن تر و خشک ساقه ژنوتیپ Hayola308 در شرایط تنش خشکی مربوط به وزن آب کم‌تر در ساقه و عاملی مؤثر در حساسیت این ژنوتیپ باشد. بر خلاف آن حفظ آب بیش‌تر و کاهش هدررفت آن در ساقه ژنوتیپ SLM046 را شاید بتوان عاملی مؤثر در تحمل به تنش خشکی این ژنوتیپ دانست.

## نتیجه‌گیری کلی

تنش، عدم تغییر در غلظت پراکسید هیدروژن با تداوم تنش خشکی، وزن تر ریشه و تفاوت وزن تر و خشک ساقه و ریشه بیش‌تر می‌باشد. به نظر می‌رسد در اکثر موارد، تفاوت در صفات مورد بررسی در ژنوتیپ SLM046 نسبت به ژنوتیپ Hayola308، عواملی مرتبط با تحمل به خشکی ژنوتیپ SLM046 باشد.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد ژنوتیپ SLM046 نسبت به ژنوتیپ Hayola308 در تنش خشکی دارای خصوصیات مانند طول ریشه، نسبت طول ریشه به طول ساقه و محتوای مالون دآلدئید بیش‌تر، همچنین محتوای نسبی آب بیش‌تر در ساعات ابتدایی

## منابع

- Anjum, S. A., Xie, X. Y., Wang, L. C., Saleem Ardalani, SH., Saeidi, M., Jalali Honarmand, S., Eghbal Ghobadi, M. and Abdoli, M. 2015. Effect of post anthesis drought stress on some agronomic and physiological traits related to source strength in four bread wheat genotypes. *Journal of Cereal Research*, 5(1): 45-65. **(Journal)**
- Barzana, G., Aroca, R., Bienert, G. P., Chaumont, F. and Lozano, G. M. 2014. New insights into the regulation of aquaporins by the arbuscular mycorrhizal symbiosis in maize plants under drought stress and possible implications for plant performance. *Journal of the American Phytopathological Society*, 27(4): 349-363. **(Journal)**
- Cui, L. L., Lu, Y. S., Li, Y., Yang, C. and Peng, X. X. 2016. Overexpression of glycolate oxidase confers improved photosynthesis under high light and high temperature in rice. *Journal of Frontiers in Plant Science*, 7(1165): 1-12. **(Journal)**
- Davey, M. W., Stals, E., Panis, B., Keulemans, J. and Swennen, R. L. 2005. High-throughput determination of malondialdehyde in plant tissues. *Journal of Analytical Biochemistry*, 347(2): 201-207. **(Journal)**
- Fathi, GH. and Enayat-gholizadeh, M. 2011. The effect of drought stress in growth stages on seed and oil yield of canola. *Crop Physiology*, 2(8): 97-114. (In Persian)**(Journal)**
- García-Mata, C. and Lamattina, L. 2001. Nitric oxide induces stomatal closure and enhances the adaptive plant responses against drought stress. *Journal of American Society of Plant Biologists*, 126: 1196-1204. **(Journal)**
- Hamed, A., Akbari, Gh. A., Khoshkholqsim, N. A., Shiranirad, A. H., Jabbari, H. and Tabatabaee, S. A. 2014. Evaluation of the agronomic characteristics and some physiological traits of canola varieties under drought stress. *Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences*, 7(2): 155-171. (In Persian)**(Journal)**
- Hatamvand, M., Hasanloo, T., Dehghannayeri, F., Shiranirad, A. H., Tabatabaee, S. A. and Hosseini, S. M. 2014. Evaluation of some physiological and biochemical indices of canola cultivars in response to drought stress. *Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences*, 7(2): 173-185. (In Persian)**(Journal)**
- Heath, R. L. and Packer, L. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Journal of Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125(1): 189-198. **(Journal)**
- Huang, Q., Zhao, Y., Liu, C., Zou, X., Cheng, Y., Fu, G., Xu, J., Zhang, X. and Lu, G. 2015. Evaluation of and selection criteria for drought resistance in Chinese semiwinter rapeseed varieties at different developmental stages. *Journal of Plant Breeding*, 134(5): 542-550. **(Journal)**
- Husen, A., Iqbal, M. and Aref, I. M. 2014. Growth, water status, and leaf characteristics of *Brassica carinata* under drought and rehydration conditions. *Brazilian Journal of Botany*, 37(3): 217-227. **(Journal)**
- Junglee, S., Urban, L., Sallanon, H., Félicie, L. and Lauri, F. 2014. Optimized assay for hydrogen peroxide determination in plant tissue using potassium iodide. *American Journal of Analytical Chemistry*, 5: 730-736. **(Journal)**
- Masinde, P. W., Stutzel, H., Agong, S. and Goand-Fricke, A. 2006. Plant growth, water relations and transpiration of two species of african nightshade (*Solanum villosum* Mill. ssp. *Miniatum* (Bernh. Ex Willd.) Edmonds and *S. sarrachoides* Sendtn.) Under water-limited conditions. *Journal of Scientia Horticulturæ*, 110: 7-15. **(Journal)**

- Mirzaee, M., Moieni, A. and Ghanati, F. 2013. Effects of drought stress on the lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities in two canola (*Brassica napus* L.) cultivars. Journal of Agricultural Science and Technology, 15(3): 593-602. (In Persian)(**Journal**)
- Mohammadi, N., Baghizadeh, A. and Rajaei, P. 2015. Effect of  $\beta$ -amino butyric acid (BABA) on relative leaf water content, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in rapeseed (*Brassica napus* L.) plants under drought stress. Journal of Plant Researches (Iranian Journal of Biology), 28(4): 844-860. (In Persian)(**Journal**)
- Mohsenzadeh-Golfazani, M., Mohammad, F., Hasani-Kumleh, S. H., Samizadeh-Lahiji, H. 2016. Grouping of some canola genotypes in various drought stress treatment in germination stages based on multivariate statistical methods. Iranian Journal of Seed Science and Research, 3(2): 53-65. (In Persian)(**Journal**)
- Nasiri, M., Meskarbashi, M., Hassibi, P. and Pirdashti, H. 2015. Screening of rice genotypes by some morphological and physiological traits under drought stress condition. Journal of Plant Production Research, 22(2): 95-117. (In Persian)(**Journal**)
- Ozden, M., Demirel, U. and Kahraman, A. 2009. Effects of proline on antioxidant system in leaves of grapevine (*Vitis vinifera* L.) exposed to oxidative stress by  $H_2O_2$ . Journal of Scientia Horticulturae, 119(2): 163-168. (**Journal**)
- Razaviezadeh, R. and Amoubeigi, M. 2013. The effect of drought stress and paclobutrazol on the accumulation of flavonoids and minerals in vitro in canola (*Brassica napus*). Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research, 31(3): 12-22. (In Persian)(**Journal**)
- Sairam, R. K., Rao, K. V. and Srivastava, G. C. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. Journal of Plant Science, 163(5): 1037-1046. (**Journal**)
- Sánchez-Rodríguez, E., Rubio-Wilhelmi, M., Cervilla, L. M., Blasco, B., Rios, J. J., Rosales, M. A., Romero, L. and Ruiz, J. M. 2010. Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. Journal of Plant Science, 178(1): 30-40. (**Journal**)
- Seyed-ahmadi, A., Gharineh, M. H., Bakhshandeh, A., Fathi, Gh. and Naderi, A. 2012. Study of terminal drought stress on yield, yield components oil and protein, percentage and root growth canola under ahvaz climate conditions. Journal of the Plant Production (Agronomy, Breeding and Horticulture), 34(2): 53- 66. (In Persian)(**Journal**)
- Shaabani, A., Kamgarhaghghi, A., Spaskah, A., Emami, Y. and Honar, T. 2009. Effect of water stress on physiological parameters of oil seed rape (*Brassica napus*). Journal of Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources), 13(49): 31-42. (In Persian)(**Journal**)
- Sharp, R. 2002. Interaction with ethylene: changing views on the role of abscisic acid in root and shoot growth responses to water stress. Journal of Plant, Cell and Environment, 25: 211-222. (**Journal**)
- Shiferaw, B. and Baker, D. A., 1996. An evaluation of drought screening techniques for *Eragrostis tef*. Journal of Tropical Science, 36: 74-85. (**Journal**)
- Thomas, C., Alcock, T., Graham, N., Hayden, R., Matterson, S., Wilson, L., Young, S., Dupuy, L., White, P., Hammond, J., Danku, J., Salt, D., Sweeney, A., Bancroft, I. and Broadley, M. 2016. Root morphology and seed and leaf ionic traits in a *Brassica napus* L. diversity panel show wide phenotypic variation and are characteristic of crop habit. Journal of Bio Med Central Plant Biology, 16: 214-232. (**Journal**)
- Türkan, İ., Bor, M., Özdemir, F. and Koca, H. 2005. Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. Journal of Plant Science, 168(1): 223-231. (**Journal**)
- Turner, N. C. 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. Journal of Plant and Soil, 58(1): 339-366. (**Journal**)
- Wu, Y. and Cosgrove, D. 2000. Adaptation of roots to low water potentials by changes in cell wall extensibility and cell wall proteins. Journal of Experimental Botany, 51(350): 1543-1553. (**Journal**)
- Zhao, L. Y., Wang, W. and Song, Y. W. 2010. Changes of photosynthesis and membrane damage of *Brassica napus* under soil water stress. Journal of Henan Agricultural Sciences, 8: 33-35. (**Journal**)



## The effect of drought stress on some morphological and physiological characters in canola seedling (*Brassica napus*)

Maryam Pasandideh Arjmand<sup>1</sup>, Habib-o-llah Samizadeh Lahijji<sup>2</sup>, Mohammad Mohsenzadeh Golfazani<sup>3</sup>

Received: April 26, 2017

Accepted: September 5, 2017

### Abstract

In order to study some morphological and physiological traits of susceptible (Hayola308) and tolerant (SLM046) genotypes of canola to drought stress, an experiment was conducted in CRD design with factorial split in time arrangement. The applied factors were genotype (susceptible and tolerant) and irrigation condition (non-stress and stress). The stress was applied at before flowering time and the traits were measured at 24, 48, 72 and 96 hours after it in both condition. The result showed a reduction in dry weight of root in Hayola308 genotype, and a significant increase in root to shoot length ratio, fresh weight of root and malondialdehyde level (MDA) in SLM046 genotype. The 48 hours after drought stress, the fresh weight of shoot in SLM046 genotype was higher than Hayola308 genotype. Relative water content (RWC) in SLM046 and Hayola308 at 24 hours after stress were 88.59% and 38.52%, respectively. In Hayola308 genotype, hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) content in stress condition was higher than non-stress ones. There was not a significant difference among studied treatments for electrolyte leakage. In general, the increase of root length, root to shoot length ratio, RWC, fresh weight of root and the difference between fresh and dry weight of root and shoot and no change in dry weight of root and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> content in SLM046 genotype indicated that this genotype had traits which could assign tolerance to drought stress.

**Key words: Hydrogen peroxide; RWC; Shoot length; Susceptible and tolerant genotypes**

### How to cite this article

Pasandideh Arjmand, M., Samizadeh Lahijei, H. and Mohsenzadeh Golfazani, M. 2018. The effect of drought stress on some morphological and physiological characters in canola seedling (*Brassica napus*). Iranian Journal of Seed Science and Research, 5(2): 95-108. (In Persian)(**Journal**)

DOI: [10.22124/jms.2018.2914](https://doi.org/10.22124/jms.2018.2914)

### COPYRIGHTS

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to the Iranian Journal of Seed Science and Research

The content of this article is distributed under Iranian Journal of Seed Science and Research open access policy and the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY4.0) License. For more information, please visit <http://jms.guilan.ac.ir/>

1. MSc. student in Agricultural Biotechnology, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

2. Associate Professor, Department of Agricultural Biotechnology, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

3. Assistant Professor, Department of Agricultural Biotechnology, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

\* Corresponding author Email: [maryam.pasandideh1371@gmail.com](mailto:maryam.pasandideh1371@gmail.com)