

بررسی تغییرات صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در برخی ارقام کلزا تحت تنش شوری

معروف خلیلی^{۱*}، محمدرضا نقوی^۲، سید جواد طالب زاده^۳

۱- دانشیار بخش کشاورزی، دانشگاه پیام نور، ایران

۲ و ۳- استادیار بخش کشاورزی، دانشگاه پیام نور، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۲۷ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۴)

چکیده

برای بررسی تأثیر تنش شوری روی کلزا، ده رقم کلزای بهاره تهیه شده از موسسه تحقیقات، اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج در مرحله رشد رویشی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور مهاباد در سال ۱۳۹۶ مورد ارزیابی قرار گرفتند. آزمایش در دو سطح شوری از نوع کلرید سدیم (سطح صفر (شاهد) و ۲۵۰ میلی مول) به روش کشت هیدروپونیک اجرا شد. اندازه گیری صفات مورد مطالعه در پایان مرحله روزت و قبل از مرحله ساقه دهی، پس از دو هفته تنش انجام گرفت. نتایج نشان داد که تنش شوری علاوه بر کاهش ارزش صفات مورفولوژیکی، باعث ایجاد عدم تعادل در غلظت های یونی، افزایش غلظت Na^+ و کاهش K^+ و K^+/Na^+ می شود. در ضمن در شرایط تنش، درصد تراوش الکترولیتی، غلظت پرولین و گلیسین بتائین بالاتر از شاهد بود در حالی که میزان محتوای آب نسبی برگ کاهش یافت. در مجموع، متحمل ترین و حساس ترین ارقام به ترتیب رقم SW5001 و Sarigol بودند. صفاتی مانند وزن خشک بوته، شاخص کلروفیل و نسبت پتاسیم به سدیم در رقم متحمل SW5001 به ترتیب برابر با ۱۰/۸۹، ۴۱/۵۳ و ۱۶/۸۰ و در رقم حساس Sarigol به ترتیب برابر با ۸/۷۰، ۳۸/۱۰ و ۸/۲۵ بود. بنابراین بین ارقام مورد مطالعه از لحاظ پاسخ به تنش شوری تنوع وجود داشت که این تنوع در مطالعات تکمیلی و در نهایت در برنامه های اصلاحی می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

واژه های کلیدی: تجمع محلول های آلی، تنش کلرید سدیم، روابط آبی، روابط یونی، کلزای بهاره.

Evaluation of changes in morphological, physiological and biochemical traits of some canola cultivars under salinity stress

Marouf Khalili^{1*}, Mohammad Reza Naghavi¹, Seyyed Javad Taleb Zadeh¹

1- Department of Agriculture, Payam Noor University, Iran

(Received: January 17, 2018 - Accepted: April 24, 2019)

ABSTRACT

To investigate the effects of salinity stress on canola, ten cultivars of spring canola obtained from Karaj Seed and Plant Improvement Institute, were evaluated in vegetative growth stage in the greenhouse of Payam-e- Noor University of Mahabad, in 2017. The experiment was carried out in two salinity levels of Sodium Chloride (zero (control) and 250 mM) using a hydroponic system. Traits were measured at the end of rosette and before the stem elongation stages, after two weeks of salinity stress. The results showed that in addition to morphological depreciation, salinity stress caused imbalance in ionic concentration, increased Na^+ concentration, and decreased K^+ and K^+/Na^+ . Meanwhile amount of the electrolyte leakage, proline and glycine betaine was higher under stress than control condition while the RWC was decreased. Generally, the most tolerant and susceptible cultivars were SW5001 and Sarigol respectively. Traits such as plant dry weight, chlorophyll index and K^+/Na^+ were 10.89, 41.53 and 16.80 respectively in tolerant SW5001 cultivar and were of 8.70, 38.10 and 8.25, respectively in Sarigol susceptible variety. Therefore, there was diversity between the studied cultivars in terms of response to salinity stress, which could be used in complementary studies and ultimately in plant breeding programs.

Keywords: Accumulation of organic solutions, ionic relations, sodium chloride stress, spring canola, water relations.

* Corresponding author E-mail: m_khalili@pnu.ac.ir

مقدمه

به‌طور کلی، فرآیندهای فیزیولوژیکی در گیاهان، عمدتاً تابع میزان آب موجود در گیاه است و به‌طور غیرمستقیم، تحت تأثیر تنش شوری قرار دارد (Chaparzadeh *et al.*, 2003). تنظیم اسمزی، یک مکانیسم سازگاری به کمبود آب در اثر خشکی یا شوری است که با افزایش میزان املاح در سلول‌ها می‌تواند باعث حفظ تورم و فرآیندهای مربوط در پتانسیل‌های آب پایین شود (Cuin *et al.*, 2009). حفاظت از پتانسیل اسمزی مثبت برگ، با تجمع ترکیباتی مانند مانیتول، رافینوز، تری هالوز، پرولین و گلیسین بتائین که اصطلاحاً محلول‌های سازگار^۱ نامیده می‌شوند به‌دست می‌آید (Verslues *et al.*, 2007). به‌نظر می‌رسد که تنظیم اسمزی، نوعی سازگاری به تنش باشد، به‌طوری‌که افزایش مقدار مواد محلول در سلول می‌تواند منجر به حفظ تورژسانس و فرآیندهای مرتبط با تورژسانس مانند باز و بسته شدن روزنه‌ها، رشد ساقه، فتوسنتز و توسعه ریشه‌ها در لایه‌های عمیق خاک در پتانسیل‌های پایین شود (Ashraf & Harris, 2013). از جمله رویدادهای مهم بیوشیمیایی در گیاهان تحت تنش، تغییرات به صورت کاهش یا افزایش پروتئین، محلول‌های قندی و پرولین می‌باشد (Paleg & Aspinall, 1989). پرولین نوعی اسمولیت برای تنظیم اسمزی است و توزیع آن، ساختار دیواره سلولی و پروتئین‌ها را پایدار و رادیکال‌های آزاد را تمیز می‌کند. میزان تجمع پرولین در شرایط تنش متوسط یا شدید، نسبت به سایر اسید آمینه‌ها افزایش می‌یابد. پرولین به‌عنوان یک مخزن ذخیره نیتروژن و یا ماده محلولی که پتانسیل اسمزی سیتوپلاسم را کاهش می‌دهد عمل می‌نماید و گیاه را در تحمل به تنش یاری می‌دهد (Saadia *et al.*, 2012). اسمولایتهایی که نقش مهمی در تنظیم اسمزی ایفا می‌کنند، وابسته به نوع گونه گیاهی هستند. گلیسین بتائین نیز یک محلول سازگاری است که در پاسخ به تنش اسمزی انباشته می‌شود و تجمع آن، یک واکنش مهم سازشی گیاه در برابر تنش است (Pandey & Penna, 2017). از طرف

شوری یکی از تنش‌های غیرزیستی مهم است که عملکرد گیاهان را کاهش می‌دهد. از طرف دیگر، گیاهان در مواجهه با تنش، از خود واکنش نشان می‌دهند ولی همه ژنوتیپ‌های گیاهی، واکنش یکسانی به تنش شوری ندارند و احتمال می‌رود در میان ژنوتیپ‌های موجود، برخی تحمل بیشتری نسبت به تنش شوری داشته باشند. ساده‌ترین اقدام در اصلاح گیاهان برای تحمل به شوری یا تنش‌های محیطی دیگر، ارزیابی ژنوتیپ‌های مختلف در مواجهه با تنش مورد نظر و انتخاب ژنوتیپ‌هایی با تحمل بیشتر است. این روش، مستلزم وجود تنوع درون گونه‌ای کافی و وجود روش‌های مناسب برای غربال کردن تعداد زیادی گیاه است (Munns & Tester, 2008). تنش شوری علاوه بر کاهش ارتفاع گیاه، سطح برگ و ماده خشک کل، موجب کاهش محصول نیز می‌شود. در اثر تنش شوری، سطح برگ و ارتفاع گیاه، خیلی سریع‌تر از سایر شاخص‌های مورفولوژیکی کاهش می‌یابد زیرا تجمع ماده خشک توسط گیاه، حاصل میزان فتوسنتز خالص و سطح فتوسنتز کننده گیاه است. ژنوتیپ‌های مقاوم، گرایش به حفظ مقادیر بالای این متغیرها دارند (Su *et al.*, 2013) به‌طوری‌که شوری باعث کاهش تعداد برگ و ارتفاع بوته می‌شود. چنین کاهش‌ی در صفات مذکور، طی مطالعات متعدد گزارش شده است (Cuin *et al.*, 2009). توصیه می‌شود که گزینش برای تحمل به شوری، بر اساس خصوصیات فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و بیوشیمیایی صورت گیرد. برای این منظور، استفاده از شاخص‌های بیوشیمیایی مانند تجمع پرولین، گلیسین بتائین، فندها یا نسبت $Na^+/Ca^{++}, Na^+/K^+$ و غیره کاربرد بیشتری داشته است. در گیاهان تحت تنش، K^+ به برگ‌ها انتقال داده می‌شود در حالی‌که Na^+ به شکل یکنواخت‌تری توزیع می‌شود. از این رو، نسبت K^+/Na^+ در گیاهان واقع در شرایط نرمال، بیشتر از گیاهان تحت تنش می‌باشد. با افزایش شوری محیط، این نسبت کاهش نشان می‌دهد (Pandey & Penna, 2017).

^۱Compatible solution

شد، ارزش صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی مانند ارتفاع بوته، وزن خشک بوته، تعداد و سطح برگ، محتوای آب نسبی برگ، شاخص کلروفیل و میزان پرولین تحت تنش شوری کاهش یافت. در آزمایش دیگری روی کلزا در شرایط تنش شوری، ارتفاع و وزن خشک بوته و عملکرد، تحت تاثیر تنش شوری کاهش یافت ولی یون سدیم افزایش و یون پتاسیم و همچنین نسبت پتاسیم به سدیم کاهش یافت (He & Cramer, 1993). همچنین گزارش شده است که تحت تنش شوری در گیاه کلزا، اسمولیت‌ها از جمله پرولین به ویژه در ارقام متحمل افزایش یافت (Saadia et al., 2012). در این راستا و با توجه به اهمیت موضوع، این پژوهش با هدف مطالعه صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در برخی ارقام کلزا تحت تنش شوری و شناسایی ارقام متحمل و حساس در جهت استفاده از آن‌ها در برنامه‌های اصلاحی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، پاسخ ده رقم کلزای بهاره در مرحله رشد رویشی (گیاهچه‌ای) به تنش شوری، به روش آبکشت یا هیدروپونیک (با ترکیب مواد ارائه شده در جدول ۱) در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور مهاباد در سال ۱۳۹۶ مورد ارزیابی قرار گرفتند. مواد گیاهی مورد استفاده در این پژوهش شامل ارقام Olga, Sarigol, Heros, Cracker, Option500, Comet, Hyola308, Amica, Eagle و SW5001 بودند که جزو ارقام بهاره کلزای موجود در کشور می‌باشند و از موسسه تحقیقات، اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شدند. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام گرفت. عامل اول شامل شوری از نوع کلرید سدیم در دو سطح صفر (شاهد) و ۲۵۰ میلی‌مول و عامل دوم ارقام کلزا بودند. برای یکنواختی کار و عدم تداخل سرعت جوانه‌زنی بذرها بر تیمارهای شوری، ارقام مختلف به صورت نشاء تهیه شدند. نشاکاری، پنج روز پس از خیساندن آخرین رقم انجام شد و شروع تنش، سه هفته بعد از نشاء گیاهچه‌ها در بستر اصلی بود. اعمال تنش به صورت تدریجی انجام شد و هر روز ۵۰ میلی‌مول

دیگر، روزه‌ها نقش مهمی در تبخیر و تعرق، فتوسنتز و تنفس گیاه به عهده دارند (Monneveux & Belhassen, 1996). بسته شدن روزه‌ها، لازمه نگهداری پتانسیل آب بالاست اما این عمل موجب کاهش هدایت روزه‌ای، جذب کربن و فتوسنتز می‌شود (Merano et al., 2002).

شاخص کلروفیل برگ‌ها، یک شاخص مفید برای بهره‌وری از پتانسیل فتوسنتزی و قدرت عمومی گیاه می‌باشد (Alonso et al., 2002). همچنین اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل، روشی نسبتاً جدید است که برای ارزیابی فعالیت‌های فتوسنتزی گیاهان به کار می‌رود (Kocheva et al., 2004). از نسبت Fv/Fm به عنوان یک شاخص گزینش قابل اطمینان برای شرایط دارای تنش، استفاده شده است (Schreiber et al., 1994). Mohammadian et al. (2003) گزارش کردند که میزان عملکرد فتوشیمیایی در فتوسیستم II (Fv/Fm)؛ تحت شرایط تنش کاهش یافت. از طرف دیگر، در شرایط پتانسیل آبی کم که در شرایط تنش خشکی و شوری ایجاد می‌شود، هدایت روزه‌ای کاهش می‌یابد که در نتیجه منجر به کاهش غلظت گاز دی اکسید کربن در برگ می‌شود و در نهایت فتوسنتز را کاهش می‌دهد. همچنین، درصد تراوش الکترولیتی که مشابه شاخص پایداری غشا می‌باشد و در واقع هر دو به یک مفهوم می‌باشند، متأثر از خصوصیات غشا سلولی است و در مطالعه Nayyar (2003) ژنوتیپ‌های حساس، دارای مقادیر بالایی برای این صفت بودند. کاهش پایداری غشا یا همان افزایش درصد تراوش الکترولیتی، نشان دهنده میزان پراکسیداسیون لیپیدها توسط گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشد (Chaparzadeh et al., 2003). کاهش تجمع پراکسید هیدروژن و پراکسیداسیون لیپیدها و در نتیجه افزایش پایداری غشا (کاهش درصد تراوش الکترولیتی) در ژنوتیپ‌های گندم متحمل به تنش خشکی نیز گزارش شده است. به عبارتی، تکامل ساختاری غشا سلول را می‌توان توسط تراوش الکترولیتی اندازه‌گیری کرد که این بخش ممکن است تحت تاثیر دهیدراسیون و تنش غیر مستقیم اکسایشی قرار گیرد (Pandey & Penna, 2017). در آزمایشی که توسط Su et al. (2013) روی کلزا انجام

محتوای آب نسبی برگ‌ها به روش Morant-Manceau *et al.*, (2004) و سطح ویژه برگ، از طریق محاسبه نسبت سطح برگ (سانتی‌متر مربع) به وزن خشک برگ (گرم) به دست آمدند (Arias, 2007).

کلرید سدیم اضافه شد و دو هفته پس از اعمال کامل تنش شوری و در پایان مرحله روزت، نمونه برداری برگ (برگ دوم از بالای بوته) از کلیه واحدهای آزمایشی انجام شد. سپس صفات مورد مطالعه با استفاده از روش مناسب خود اندازه‌گیری شدند. برای این منظور،

جدول ۱- مشخصات محلول هوگلند مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Hoagland solution specifications used in the experiment

Used concentration	Element name
15 mM	NO ₃
6 mM	K
2 mM	Mg
8 mM	Zn
100 mM	B
8 mM	Mn
2 mM	Cu
2 mM	Mo
5 mM	Ca
4 mg/l	Fe as Fe-EDTA

تجزیه واریانس بر اساس طرح آزمایشی و همچنین مقایسه میانگین برای سطوح تنش و ارقام، به روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد و با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. همچنین تجزیه خوشه‌ای با استفاده از این نرم‌افزار و به روش وارد، با برش تجزیه تابع تشخیص انجام شد.

نتایج و بحث

اثر تنش شوری بر صفات مورفولوژیک

ارتفاع و وزن خشک بوته، وزن خشک برگ و تعداد برگ در بوته، صفات مورفولوژیکی بودند که تحت تأثیر تنش شوری مقدار آن‌ها کاهش یافت و بین سطوح تنش از لحاظ این صفات اختلاف معنی‌داری وجود داشت. با توجه به معنی‌دار نبودن اثر متقابل رقم در تنش، این صفات در متوسط سطوح تنش مقایسه شدند (جدول ۲). نتایج نشان داد که بین ارقام از نظر این صفات در متوسط سطوح تنش اختلاف معنی‌داری وجود دارد. در این مطالعه، بیشترین میانگین ارتفاع بوته مربوط به ارقام Hyola308، SW5001، Option500 و Cracker و کمترین آن مربوط به رقم Sarigol بود. همچنین تحت شرایط تنش، رقم SW5001 و Sarigol به ترتیب دارای بیشترین و کمترین وزن خشک بوته بودند (جدول ۳). این نتایج با یافته‌های حاصل از تحقیقات Dreicer *et al.* (2003) در کلزا مطابقت داشت. از طرف دیگر، تعداد

برای تعیین پتانسیل آب برگ، از دستگاه محفظه فشار (مدل Soil Moisture Equipment crop, Sanat Barbara, CA) و برای پتانسیل اسمزی، از دستگاه اسمومتر (مدل Osmomat o10, Gonotec) استفاده شد. همچنین دمای برگ و میزان هدایت روزنه‌ای برگ، به ترتیب با استفاده از دماسنج مادون قرمز و دستگاه پرومتر (Delta-T Devices, Cambridge, UK) اندازه‌گیری شدند. از طرف دیگر، برای تعیین فلورسانس از دستگاه فلورومتر (مدل Opti Science, OS-30MSA)، برای شاخص کلروفیل برگ‌ها از دستگاه کلروفیل‌متر (مدل SPAD-502, Mlolta, Japan) و برای اندازه‌گیری یون‌های Na⁺ و K⁺ از دستگاه فلاپم فتومتر (مدل Genway Model PFP7/C) استفاده شد. همچنین غلظت پرولین برگ و میزان گلايسين بتائين به ترتیب به روش نین‌هیدرین^۱ Bates *et al.* (1973) و Grieve & Grattan (1983) و با اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد و اندازه‌گیری تراوش الکترولیتی (EL^۲) با روش Nayyar (2003) صورت گرفت. علاوه بر این صفات، ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، وزن خشک برگ در بوته و وزن خشک بوته‌ها نیز اندازه‌گیری و ثبت شد. در این آزمایش، برای افزایش اعتبار نتایج، در هر واحد آزمایشی از میانگین چهار نمونه استفاده شد. پس از جمع‌آوری داده‌های مربوط به صفات مورد مطالعه،

²Electrolyte leakage

¹ Ninhydrin

شرایط شاهد و تنش از نظر دمای برگ تفاوت معنی-داری وجود دارد در حالی که تفاوت بین ارقام گندم در آزمایش آن‌ها معنی‌دار نبود. محققان نشان داده‌اند که گیاهانی که دمای برگ کمتری دارند، از سرعت فتوسنتز بالاتری برخوردارند. سرعت فتوسنتزی کم در گیاهانی که دمای برگ بالاتری دارند می‌تواند ناشی از افزایش تنفس باشد (Hortensteiner & Krautler, 2011).

اثر تنش شوری بر صفات مرتبط با فتوسنتز

فلورسانس کلروفیل، شاخص کلروفیل و هدایت روزنه‌ای، از جمله صفات فیزیولوژیکی هستند که با فتوسنتز گیاه در ارتباطند. در این آزمایش، تحت شرایط تنش، هدایت روزنه‌ای، فلورسانس کلروفیل و شاخص کلروفیل کاهش یافت و بین ارقام نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده شد در حالی که برای همه این صفات به جز هدایت روزنه‌ای، اثر متقابل رقم در تنش معنی‌دار نشد. میانگین فلورسانس کلروفیل در ارقام SW5001، Cracker و Hyola308 بالا بود در حالی که تحت شرایط تنش، این صفت در ارقام Sarigol و Comet میانگین پایینی را به خود اختصاص داد (جدول ۳). شاخص حساس تحمل سیستم فتوسنتزی به تنش‌های محیطی، بررسی فلورسانس کلروفیل می‌باشد (Maxwell & Johnson, 2000).

Baker & Rosenquist (2004) گزارش کردند که فلورسانس تحت شرایط تنش، کلروفیل کاهش می‌یابد. الگوی تغییر فلورسانس کلروفیل مشاهده شده در این مطالعه، مشابه الگوی گزارش شده توسط برخی محققین می‌باشد (Jafarinia & Shariati, 2012). ارقام SW5001، Cracker و Hyola308 از جمله ارقامی بودند که میانگین شاخص کلروفیل بیشتری را به خود اختصاص دادند ولی Sarigol و Comet دارای میانگین پایین‌تری بودند (جدول ۳). گزار شاتی در مورد کاهش میزان کلروفیل تحت شرایط تنش خشکی وجود دارد (Hortensteiner & Krautler, 2011). همچنین گزارش شده است که میزان کلروفیل ارقام حساس و متحمل تحت تنش خشکی کاهش می‌یابد ولی میزان کاهش این صفت برای ارقام حساس بیشتر است (Sairam & Tyagi, 2004).

برگ در بوته و وزن خشک برگ در این آزمایش، تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفتند (جدول ۲). تحت تنش شوری تعداد برگ در بوته و وزن خشک برگ کاهش یافتند و ارزش این صفات در ارقام Sarigol و Hyola308 به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار بود. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان بیان داشت که تنش شوری، با کاهش فشار تورژسانس، سبب کاهش رشد و توسعه سلول‌های گیاه، به ویژه در برگ‌ها می‌شود و به همین دلیل، اثر محسوس تنش در این حالت، به صورت تعداد کمتر برگ‌ها، کاهش وزن خشک برگ‌ها و اندازه کوچکتر آن‌ها و ارتفاع کمتر گیاهان مشاهده می‌شود. علاوه بر آن، چون تنش شوری موجب اختلال در جذب عناصر غذایی و بر هم زدن تعادل یونی در گیاه می‌شود، می‌توان کاهش رشد و توسعه برگ‌ها و ساقه را به کمبود عناصر غذایی و اختلال تغذیه‌ای ناشی از شوری نسبت داد (Mirmohammadi meibodi & Ghareyazi, 2002). بر اساس سایر گزارشات نیز تنش شوری باعث کاهش تعداد برگ و ریشه، کاهش سطح برگ و وزن خشک بوته و برگ می‌شود (Raghar & Jams, 1994; Cicek & Cakirlar, 2002).

اثر تنش شوری بر برخی صفات فیزیولوژیک

سطح ویژه و دمای برگ از جمله صفاتی بودند که در این آزمایش تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفتند (جدول ۲). تحت تنش شوری موجب افزایش این دو صفت شد. از آن جت که اثر متقابل تنش در رقم برای صفت سطح ویژه برگ معنی‌دار بود (جدول ۲)، مقایسه میانگین سطوح تنش برای شرایط شاهد و تنش شوری به صورت جداگانه صورت گرفت (شکل ۱). در مجموع، ارزش این صفات در ارقام Sarigol و SW5001 به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار بود. Arous *et al.* (1997) بیان داشتند که افزایش سطح ویژه برگ تحت تنش ممکن است به دلیل سازگاری با شرایط تنش اتفاق افتد. همچنین کاهش در وزن خشک برگ که باعث نازکی برگ و افزایش شاخص سطح برگ می‌شود، ممکن است ناشی از کاهش مواد خشک ناپایدار و یا افزایش ضخامت دیواره سلولی باشد (Lu & Neumann, 1999). از طرف دیگر، Winter *et al.* (1988) گزارش کردند که بین

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه ارقام کلزا تحت تنش شوری

Table 2. Variance analysis of the studied traits in canola cultivars under salinity stress

S.O.V	degree of freedom	Mean of squares																	
		Plant Height	Plant Dry Weight	Number Leaf in Plant	Leaf Dry Weight	Leaf Specific Area	Leaf Temperature	Leaf Conductivity Stomata	SPAD	Chlorophyll fluorescence	LWP	Osmotic Potential	Na ⁺	K ⁺	K ⁺ /Na ⁺	Electrolyte leakage	Relative Water Content	Proline content	Glycine Betaine
Replication	3	6.98 ^{ns}	1.04 ^{ns}	6.05**	0.018 ^{ns}	232.56 ^{ns}	0.158 ^{ns}	0.038**	3.78 ^{ns}	0.010 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.014 ^{ns}	0.134*	0.0249 ^{ns}	2.52*	475.98 ^{ns}	5.67 ^{ns}	0.046 ^{ns}	0.039 ^{ns}
Stress	1	853.14**	18.67**	26.99**	5.60**	2998.65**	36.67**	0.039**	549.84**	0.042**	11.13**	0.98**	15.56**	3.005**	25.76**	2456.87**	876.56**	22.50**	0.079*
cultivar	9	55.98**	7.78**	12.87**	0.234**	1568.34**	10.53**	0.044**	33.12**	0.035**	0.064**	0.059**	0.052**	0.029**	11.66**	756.87**	45.67**	8.49**	0.039 ^{ns}
cultivar×stress	9	8.98 ^{ns}	0.049 ^{ns}	0.98 ^{ns}	0.018 ^{ns}	1458.46**	0.098 ^{ns}	0.041**	7.90 ^{ns}	0.023 ^{ns}	0.010 ^{ns}	0.008 ^{ns}	0.011 ^{ns}	0.013 ^{ns}	1.32 ^{ns}	143.67 ^{ns}	39.83**	2.047**	0.025 ^{ns}
Error	57	11.13	0.039	1.89	0.020	694.29	0.179	0.014	10.43	0.032	0.014	0.011	0.015	0.011	1.08	265.50	12.67	0.036	0.036
CV (%)		7.98	9.68	12.50	13.19	14.12	9.56	14.12	11.46	6.83	14.76	11.12	9.65	9.50	12.34	18.75	5.38	6.36	7.96

* and ** represent significantly different at 5% and 1% of probability levels, respectively.

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می باشد

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف تنش شوری و ارقام بر صفات مطالعه شده در کلزا

Table 3. Mean comparison of the effects of salinity stress levels and cultivars on the studied traits in canola

	Plant Height (cm)	Plant Dry Weight (g)	Number Leaf in Plant (no.)	Leaf Dry Weight (g)	Leaf Temperature (°C)	SPAD	Chlorophyll fluorescence	LWP (MPa)	Osmotic Potential (MPa)	Na ⁺ (mg.g ⁻¹)	K ⁺ (mg.g ⁻¹)	K ⁺ /Na ⁺	Electrolyte leakage (%)	Glycine Betaine (μmol.g fw ⁻¹)
Stress levels														
Control	82.11	11.85	18.64	1.95	22.45	41.78	0.8287	-1.05	-0.99	1.98	36.88	18.64	62.78	1.03
Salinity stress (250mM)	65.46	8.58	14.50	1.56	26.67	38.12	0.7545	-1.99	-1.49	3.53	15.70	4.50	98.22	6.73
Difference	±16.65**	±3.27**	±4.14**	±0.39**	±4.22**	±3.66**	±0.0742**	±0.94**	±0.50**	±1.55**	±21.18**	±14.14**	±35.44**	±5.70*
cultivars														
Cracker	79.45a	9.98ab	17.56a	1.75ab	24.15b	41.43a	0.8156a	-1.14a	-1.45a	1.88ab	29.43a	15.63ab	71.77cd	5.25a
Sarigol	67.02b	8.70b	14.02c	1.45b	25.85c	38.10c	0.7689b	-1.85c	-1.19b	2.58c	21.22c	8.25d	86.49a	1.98ab
Heros	72.28ab	8.98b	14.45bc	1.73ab	24.40b	39.85b	0.7990ab	-1.55b	-1.23b	2.45bc	28.45ab	11.62bc	83.40abc	4.67ab
Olga	71.53ab	8.99b	14.37bc	1.71ab	24.15b	39.95b	0.7995ab	-1.71bc	-1.24b	2.37bc	27.33ab	10.10c	83.15abc	2.67ab
Option500	79.33a	9.95ab	14.95bc	1.69ab	24.35b	39.55b	0.7993ab	-1.69bc	-1.32ab	2.11b	27.50ab	13.05b	81.65abcd	2.23ab
Comet	72.67ab	9.03b	14.08c	1.53b	24.76b	38.01c	0.7684b	-1.78c	-1.34ab	1.88ab	21.12c	11.25bc	71.75cd	5.45a
SW5001	80.42a	10.89a	17.55a	1.89a	23.10a	41.53a	0.8178a	-1.19a	-1.41a	1.76a	29.23a	16.80a	70.88d	6.58a
Amica	73.14ab	10.09ab	16.58b	1.56b	24.33ab	40.04b	0.7899ab	-1.59b	-1.31ab	2.28bc	25.65b	11.26bc	84.33ab	2.90ab
Hyola308	78.89a	10.03ab	17.63a	1.90a	23.12a	41.44a	0.8195a	-1.15a	-1.43a	1.79a	29.22a	16.35a	73.88bcd	5.67a
Eagle	75.23ab	9.93ab	16.59b	1.55b	25.56c	40.56ab	0.7895ab	-1.55b	-1.32ab	2.40bc	29.45a	12.28bc	81.43abcd	3.78ab

* and ** represent significantly different at 5% and 1% of probability levels, respectively.

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می باشد

محیط، این نسبت کاهش می‌یابد (Pandey & Penna, 2017). بهترین وضعیت را از نظر این صفت، رقم SW5001 و نامطلوبترین وضعیت را رقم Sarigol داشت.

در بسیاری از مطالعات، اثرات یونی به تحمل تنش شوری ربط داده شده است (He & Cramer, 1993; Pandey & Penna, 2017). در ارقام کلزای مورد مطالعه، تحمل ارقام با میزان Na^+ رابطه عکس داشت. در این راستا گزارش شده است که درجه تحمل شوری با انباشتگی Na^+ همبستگی منفی دارد. این موضوع نشان‌دهنده درجه متفاوت تحمل بافتی یا سلولی نسبت به Na^+ است. غلظت بالای این یون در برگ‌ها، عدم کارایی K^+ و عکس‌العمل نامناسب روزه‌ها را در پی دارد. به بیان دیگر، میزان بالای جذب Na^+ با جذب عناصر دیگر بویژه K^+ رقابت ایجاد می‌کند که منجر به کمبود K^+ می‌شود (جدول ۳). نتایج نشان دادند که یک مکانیسم انتقال یون برای Na^+ وجود دارد که بر علیه تجمع K^+ در ارقام می‌باشد. در گیاه تحت تنش، کاهش آماس سلول‌های نگهدارنده روزه می‌تواند از کمبود K^+ القا شود و از این رو، جذب انتخابی این یون، باعث تنظیم بهتر سلول‌های روزه و متابولیسم خواهد شد (He & Cramer, 1993). نسبت پایین K^+/Na^+ شاخص مسمومیت گیاه می‌باشد. زیرا Na^+ فعالیت آنزیم‌های وابسته به K^+ را مختل می‌کند و در نهایت باعث کاهش رشد می‌شود (He & Cramer, 1993).

اثر تنش شوری بر روابط آبی

برای بررسی اثر تنش شوری بر روابط آبی، تراوش الکترولیتی، پتانسیل اسمزی، پتانسیل کل آب برگ و محتوای آب نسبی برگ مورد مطالعه قرار گرفت. تجزیه واریانس نشان داد که اثر شوری بر این صفات معنی‌دار بود و بین ارقام از نظر صفات فوق اختلاف معنی‌داری وجود داشت ولی اثر متقابل رقم×شوری برای این صفات، بجز محتوای آب نسبی برگ غیر معنی‌دار بود (جدول ۲). در سطح شوری ۲۵۰ میلی مول نمک، درصد تراوش الکترولیتی بالاتر از شاهد بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های ارقام از لحاظ در صد

از طرف دیگر، تحت شرایط تنش کمبود آب، هدایت روزه‌های کاهش یافت که حاکی از بسته شدن روزه‌ها و جلوگیری از خروج آب به صورت بخار آب می‌باشد. با این حال، رقم SW5001 در شرایط تنش، بالاترین هدایت روزه‌ای را داشت در حالی که کمترین مقدار این صفت مربوط به رقم Sarigol بود (جدول ۳). برای این صفت نیز بین سطوح تنش، اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۲). یکی از صفاتی که به‌عنوان معیار تحمل تنش شناخته شده است، هدایت روزه‌ای است که کاهش مقدار این صفت تحت شرایط تنش، حاکی از بسته شدن روزه‌ها و جلوگیری از خروج آب به صورت بخار آب می‌باشد. با این وجود و در شرایط تنش، مقدار این صفت در ارقام متحمل بیشتر از ارقام حساس می‌باشد (Jia & Gray, 2004).

اثر تنش شوری بر روابط یونی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش و رقم بر هر سه ویژگی مورد مطالعه شامل غلظت Na^+ ، K^+ و K^+/Na^+ معنی‌دار بود ولی اثر متقابل رقم×شوری معنی‌دار نبود. معنی‌دار نشدن اثر متقابل، نشان‌دهنده پاسخ یونی یکسان ارقام در سطوح مختلف تنش بود (جدول ۲). تنش شوری باعث ایجاد عدم تعادل در غلظت‌های یونی می‌شود به طوری که با افزایش غلظت نمک کلرور سدیم، غلظت Na^+ افزایش معنی‌دار یافت و در سطح شوری ۲۵۰ میلی مول، مقدار بیشتری نسبت به شاهد داشت. در مورد K^+ ، روند غلظت عکس Na^+ بود. نسبت K^+/Na^+ در سطح شاهد، بیشتر از سطح شوری ۲۵۰ میلی مول بود (جدول ۳). با این‌که با افزایش شوری محیط، غلظت Na^+ در تمام ارقام افزایش داشت و این افزایش در رقم Sarigol و سه رقم Heros، Eagle و Olga بیشتر از سایر ارقام بود، در مورد K^+ و تحت تنش شوری محیط، ارقام SW5001، Hyola308، Cracker و Egale بیشترین غلظت را داشتند (جدول ۳). در گیاهان تحت تنش، K^+ به برگ‌ها انتقال داده می‌شود، در حالی که Na^+ به شکل یکنواخت‌تری توزیع می‌شود. از این رو، نسبت K^+/Na^+ در گیاهان واقع در شرایط نرمال، بیشتر از گیاهان تحت تنش می‌باشد و با افزایش شوری

از طرف دیگر، مقدار آب نسبی برگ با افزایش تنش شوری کاهش نشان یافت (جدول ۳) و تفاوت بین دو سطح تنش معنی دار بود. اگرچه بین ارقام کلزا از نظر این خصوصیت اختلاف معنی داری وجود داشت ولی بیشتر ارقام دارای مقدار آب نسبی برگ بالایی بودند (جدول ۳). رقم SW5001 همراه با رقم Hyola308، ارقام برتر از لحاظ این ویژگی بودند و ارقام Sarigol، Option500 و Comet کمترین محتوای آب نسبی برگ را داشتند (جدول ۳). گزارش‌های مختلف نشان داده‌اند که ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شوری و خشکی، دارای مقدار آب نسبی برگ بیشتری نسبت به ژنوتیپ‌های حساس هستند (Morant-Manceau *et al.*, 2004). در طی تنش، تعادل آب گیاهان به هم می‌خورد و در نتیجه محتوای آب نسبی برگ و پتانسیل آب برگ کاهش می‌یابد (Bajjii *et al.*, 2001). گزارش‌های متعدد نشان می‌دهند که ارقام متحمل به تنش نسبت به ارقام حساس، توانایی بالایی در حفظ محتوای آب نسبی برگ دارند (Martinez *et al.*, 2004).

اثر تنش شوری بر صفات بیوشیمیایی

تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که تولید پرولین و گلیاسین بتائین تحت تأثیر تنش شوری قرار داشت و مقدار این صفات بر اثر تنش شوری افزایش یافت. اثر رقم بر تغییرات پرولین معنی دار بود ولی بر گلیاسین بتائین غیرمعنی دار بود. در بین ده رقم کلزا، از لحاظ غلظت پرولین تفاوت معنی داری وجود داشت و با توجه به معنی دار بودن اثر متقابل تنش در رقم، مقایسات میانگین در سطوح تنش به‌طور جداگانه انجام شد ولی در مورد گلیاسین بتائین، تفاوت بین ارقام غیرمعنی دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱) نشان داد که افزایش پرولین در ارقام SW5001، Cracker و Hyola308 بیشتر از سایر ارقام و در Sarigol، Option500 و Comet کمترین مقدار بود. در شرایطی که سلول‌ها در معرض دهیدراسیون آرام قرار می‌گیرند، محلول‌های سازگار کننده در سلول‌ها تجمع می‌یابند و در نتیجه محتوای آب سلولی با وجود

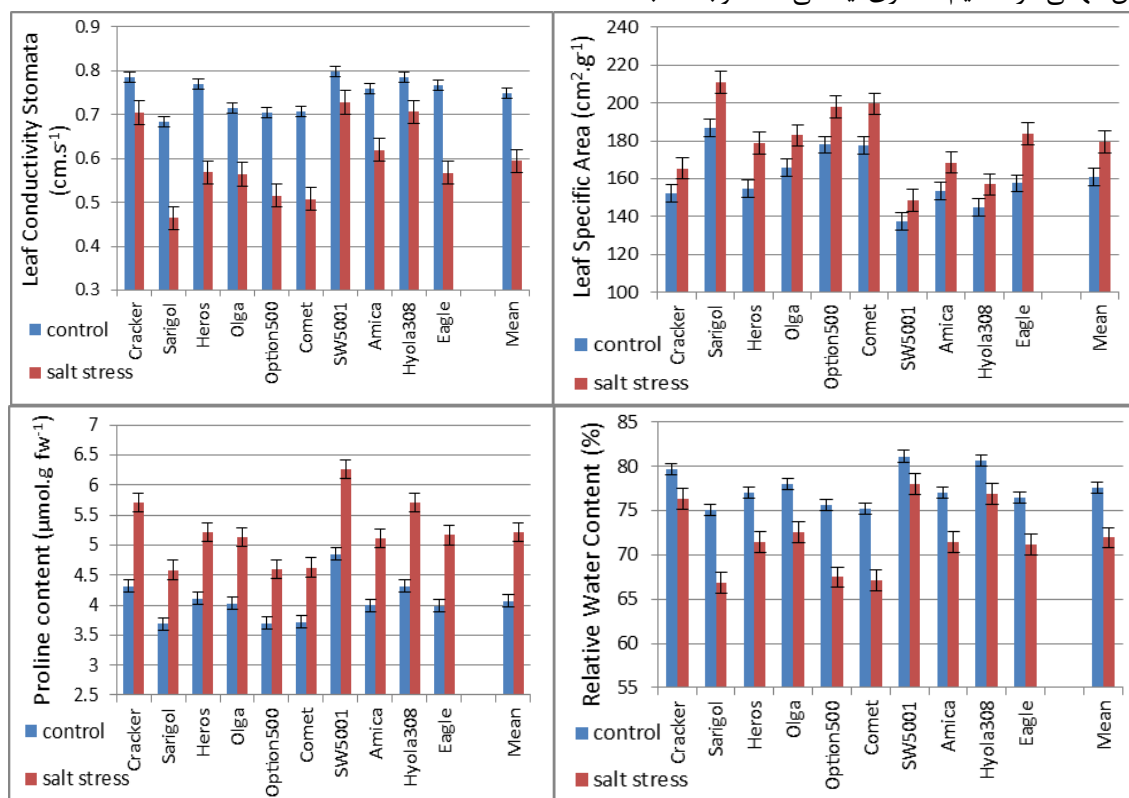
تراوش الکترولیتی نشان داد که در ارقام حساس، درصد این صفت تحت تنش افزایش داشت (جدول ۳). در مطالعه Nayyar (2003) نیز ژنوتیپ‌های حساس دارای مقادیر بالایی برای این صفت بودند. درصد تراوش الکترولیتی که مشابه شاخص پایداری غشا می‌باشد و در واقع هر دو به یک مفهوم می‌باشند، متأثر از خصوصیات غشا سلولی است. کاهش پایداری غشا یا همان افزایش درصد تراوش الکترولیتی، نشان‌دهنده میزان پراکسیداسیون لیپیدها توسط گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشد (Chaparzadeh *et al.*, 2003).

پتانسیل اسمزی در بین ارقام مورد مطالعه اختلاف معنی داری نشان داد و Hyola308، Cracker و SW5001 به ترتیب کمترین (منفی‌ترین) و Sarigol، Olga و Comet به ترتیب بیشترین (مثبت‌ترین) مقدار این صفت را در متوسط سطوح تنش نشان دادند. تنش شوری، پتانسیل آب برگ را از -0.99 مگاپاسکال در شرایط شاهد به -1.49 مگاپاسکال در شرایط تنش کاهش داد. این نتایج با گزارشات Moustafa *et al.* (1996) مطابقت دارد. دیگر محققان گزارش کرده‌اند که ارقام متحمل در مقایسه با ارقام حساس، از پتانسیل آب برگ بهتری برخوردارند (Musick *et al.*, 1994). از طرف دیگر، کاهش پتانسیل آب و پتانسیل اسمزی برگ، مکانیسم‌هایی برای بقای گیاه به هنگام مواجه شدن با تنش کمبود آب محسوب می‌شوند (Chimenti *et al.*, 2002).

کاهش در پتانسیل اسمزی، منجر به حفظ آماس سلولی تحت شرایط تنش می‌گردد. تنظیم اسمزی از طریق افزایش و تجمع نمک‌های محلول در سلول‌های گیاهی صورت می‌گیرد و مکانیسمی برای حفظ تورژسانس سلولی است و اثرات مخرب تنش آبی را در بافت‌های مختلف تعدیل می‌کند. تنظیم اسمزی در نتیجه تجمع انواع محلول‌ها در یک سلول در پاسخ به تنش صورت می‌گیرد. بنابراین تحت تنش، پتانسیل اسمزی کاهش می‌یابد و آب جذب سلول می‌شود و این امر باعث حفظ تورژسانس سلول می‌شود. از این رو، تنظیم اسمزی در ارقام متحمل بیشتر از حساس است (Pandey & Penna, 2017).

نوع گونه گیاهی هستند. پرولین و گلاسیسین بتائین، محلول‌های سازگاری هستند که در پاسخ به تنش اسمزی انباشته می‌شوند و تجمع این محلول‌ها، یک عکس‌العمل مهم سازشی است (Saadia *et al.*, 2012).

کاهش پتانسیل آبی بافت حفظ می‌شود. گونه‌ها و ارقام مختلف با توجه به نوع محلول‌هایی که در خود انباشته می‌کنند، با یکدیگر فرق می‌کنند (Chaparzadeh *et al.*, 2003; Saadia *et al.*, 2012) و اسمولایت‌هایی که نقش مهمی در تنظیم اسمزی ایفا می‌کنند، وابسته به



شکل ۱- مقایسه اثرات متقابل معنی‌دار تنش × رقم بر صفات ارقام کلزای بهاره در دو شرایط شاهد و تنش شوری
Figure 1. Comparison of the significant effects of cultivar × stress on spring canola cultivar traits under control and salinity stress conditions

افزایش نشان داده بود. عدم دخالت گلاسیسین بتائین در تحمل تنش و اثر مثبت بر میزان رشد گیاه تحت تنش شوری در گونه‌های *Agropyron*, *Triticum*, *Brassica* و *Elymus* گزارش شده است (Makela *et al.*, 1996; Khalid *et al.*, 2015). این گزارش‌های ضد و نقیض در رابطه با گلاسیسین بتائین می‌تواند به واسطه شرایط مختلف آزمایشی و یا تفاوت‌های واقعی بین گونه‌ها و ژنوتیپ‌های گیاهی، در پاسخ به تنش شوری باشد. رابطه بین تجمع گلاسیسین بتائین و تحمل تنش وابسته به گونه و حتی وابسته به ژنوتیپ است.

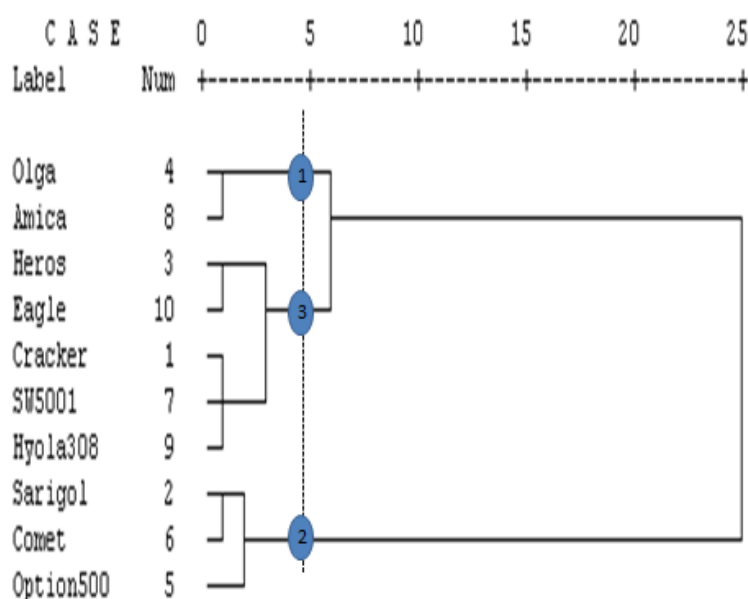
تجزیه خوشه‌ای

تجزیه خوشه‌ای یکی از کاراترین روش‌های آماری چند

گزارش‌های مختلف نشان می‌دهند که میزان پرولین، یکی از مهم‌ترین معیارهای تحمل تنش در اغلب گونه‌های گیاهی است و همچنین گزارش شده است که میزان پرولین در ارقام حساس به شوری، یک تا یک سوم غلظت این اسمولایت در ارقام مقاوم می‌باشد (Verslues *et al.*, 2007). در رابطه با میزان گلاسیسین بتائین که در بین ارقام اختلاف معنی‌داری نداشت، به نظر می‌رسد که بر خلاف پرولین، تولید این ماده و افزایش آن تحت تنش شوری، یک پاسخ غیراختصاصی است. در واقع نقشی که به گلاسیسین بتائین در رابطه با تنش شوری و القای مقاومت نسبت داده می‌شود، در این آزمایش و با این ارقام کلزا مشاهده نشد. اگرچه میزان این ماده تحت تنش شوری و با افزایش آن

مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی متوسطی بودند. در گروه دوم، ارقام Comet، Sarigol و Option500 قرار گرفتند که دارای حداقل مقادیر مطلوب برای اکثر صفات مورد مطالعه بودند. گروه سوم را ارقام SW5001، Hyola308 و Cracker، همراه با ارقام Heros و Eagle به خود اختصاص دادند و دارای حداکثر مقادیر مطلوب برای اکثر صفات مورد مطالعه بودند (شکل ۲ و جدول ۳).

متغیره است که برای گروه‌بندی مشاهدات بر اساس چند متغیر به کار می‌رود. تجزیه خوشه‌ای نه تنها روشی مناسب برای گروه‌بندی مشاهدات است، بلکه کارایی خوبی برای کاهش داده‌ها دارد (Sharma, 1996). در این راستا، دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای، ارقام را بر اساس صفات ارزیابی شده به سه گروه در شرایط شاهد و تنش شوری تقسیم کرد. همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، در شرایط شاهد، ارقام Olga و Amica در گروه اول قرار گرفتند و دارای صفات

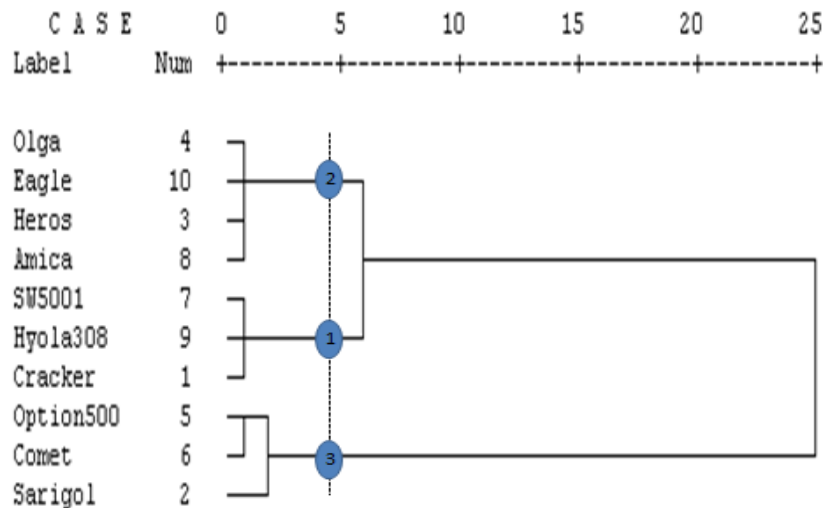


شکل ۲- دندروگرام ارقام کلزای بهاره براساس صفات مورد مطالعه، با استفاده از روش Ward و برش توسط تابع تشخیص تحت شرایط شاهد

Figure2. Spring canola cultivars dendrogram based on studied traits using Ward method and cutting by discriminative function analysis under control condition

دادند و می‌توان آن‌ها را به‌عنوان رقم نیمه متحمل در نظر گرفت. خوشه سوم شامل ارقام Option500، Comet و Sarigol بود که دارای نامناسبترین جایگاه از نظر اکثر صفات بودند و می‌توان این ارقام را حساس-ترین ارقام تحت تنش شوری به‌شمار آورد (شکل ۳ و جدول ۳).

بر اساس شکل ۳، برای شرایط تنش شوری، ارقام SW5001، Hyola308 و Cracker در گروه یک قرار گرفتند و دارای صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی با ارزش بالا بودند و به‌عنوان ارقام متحمل شناخته شدند. در گروه دوم، ارقام Olga، Heros و Eagle قرار گرفتند که از نظر اکثر صفات مورد مطالعه، وضعیت نسبتاً مطلوب و حد وسطی را نشان



شکل ۳- دندروگرام ارقام کلزای بهاره براساس صفات مورد مطالعه با استفاده از روش Ward و برش توسط تابع تشخیص تحت شرایط تنش شوری

Figure3. Spring canola cultivars dendrogram based on studied traits using Ward method and cutting by discriminative function under salinity stress condition

نظر، جایگاه نامطلوبی داشت. بنابراین به نظر می‌رسد که برای ایجاد جمعیت‌های در حال تفرق و همچنین استفاده مستقیم از رقم SW5001 برای کشت در اراضی شور و در راستای حفظ صفات مرتبط با افزایش عملکرد در شرایط تنش‌زا، ایجاد تلاقی بین این دو رقم راهگشا است و توصیه می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج بدست آمده، رقم SW5001 نسبت به سایر ارقام مورد مطالعه از لحاظ روابط یونی و آبی و تجمع محلول‌های آلی تحت تنش شوری کلرید سدیم در وضعیت مطلوبتری قرار داشت و رقم Sarigol از این

REFERENCES

- Allen, S. G., Dobrenz, A. K., Schonhorst, M. H. & Stones, J. E. (1985). Heritability of NaCl tolerance in germination of alfalfa seeds. *Agronomy Journal*, 77, 90-101.
- Alonso, M., Rozados, M. J., Vega, J. A., Perez-Gorostiaga, P., Cuinas, P., Fonturbel, M. T. & Fernandes, C. (2002). Biochemical responses of *Pinus pinaster* tree to fire- induced trunk girdling and crown scorch: Secondary metabolites and pigments as needle chemical indicators. *Journal of Chemical Ecology*, 28, 687-700.
- Araus, J. L., Ceccarelli, S. & Grando, S. (1997). Relationship between leaf structure and carbon isotope discrimination in field-grown barley. *Plant Physiology and Biochemistry*, 35, 533-541.
- Arias, D. (2007). Calibration of LAI-2000 to estimate leaf area index and assessment of its relationship with stand productivity in six native and introduced tree species in Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 247, 85-193.
- Ashraf, M. & Harris P. J. C. (2013). Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica*, 51, 163-190.
- Bajjii, M., Lutts, S. & Kinet, K. M. (2001). Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf) cultivars performing in arid conditions. *Plant Science*, 60, 669-681.
- Baker, N. R. & Rosenquist, E. (2004). Application of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: An examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany*, 55, 1607-1627.
- Bates, L. S., Walderen, R. D. & Taere, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207.

9. Chaparzadeh, N., Khavari-Nejad, R. A., Navari-Izzo, F. & Izzo, R. (2003). Water relations and ionic balance in *Calendula officinalis* L. under salinity conditions. *Agrochimica*, 47(1-2), 69-79.
10. Chimenti, C. A., Pearson, J. & Hall, A. J. (2002). Osmotic adjustment in maize: Genetic variation and association with water uptake. In: G.O. Edmeades, (Ed.). *Developing Drought and Low N-Tolerant Maize*. (pp. 200-203). CIMMYT, Mexico.
11. Cicek, N. & Cakirlar, H. (2002). The effect of salinity on some physiological parameters in two maize cultivars. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 28, 66-74.
12. Cuin, T.A., Tian, Y., Betts, S. A. Chalmandrier, R. & Shabala, S. (2009). Ionic relations and osmotic adjustment in durum and bread wheat under saline conditions. *Functional Plant Biology*, 36, 110-119.
13. Dreecer, F., Rodriguaz, D. & Leon, M. (2003). Interactive effects of and N stress on wheat and canola. <http://www.regional.org.aulasa/2003/p/7/dreecer>.
14. EL-Sharkawi, I., Springuele, V. & EL-sharkawi, H. M. 1999. Germination of some crop plant seeds under salinity stress. *Seed Science and Technology*, 7, 27-37.
15. Flowers, T. J. & Yeo, A. R. (1997). Breeding for salt resistance in plants. In: P. K. Jaiwal, R. P. Singh, & A. Gulati, (Eds.). *Strategies for Improving Salt Tolerance in Higher Plants*. (pp. 247-264.). Oxford & IBH Publishing Co. Pvt. Ltd. New Dehli, Calcutta, and Enfield (USA).
16. Greenway, H. & Munns, R. (1980). Mechanisms of tolerance in non-halophyts. *Annual Review of Plant Physiology*, 31, 149-190.
17. Grieve, C. M. & Grattan, S. R. (1983). Rapid assay for determination of water soluble quaternary ammonium compounds. *Plant and Soil*, 70, 303-307.
18. He, T. & Cramer, G. R. (1993). Growth and ion accumulation of two rapid-cycling *Brassica* species in response to seawater salinity. *Plant and Soil*, 153, 19-31.
19. Hortensteiner, S. & Krautler, B. (2011). Chlorophyll breakdown in higher plants. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1807, 977-988.
20. Jia, Y. & Gray, V. M. (2004). Interrelationships between nitrogen supply and photosynthetic parameters in *Vicia faba* L. *Photosynthetica*, 41(4), 605-610.
21. Jafarinia, M. & Shariati, M. (2012). Effects of salt stress on photosystem II of canola plant (*Brassica napus* L.) probing by chlorophyll a fluorescence measurements. *Iranian Journal of Science & Technology*, A1, 71-76.
22. Jones, H. G. (1983). *Plants and microclimate: A quantitative approach to environmental plant physiology*. Camb. Univ. Press, Camb. London.
23. Keshta, M. M., Hammad, K. M. & Sorour, W. A. I. (1999). Evaluation of rapeseed genotypes in saline soil. *Proceedings of the 10th International Rapeseed Congress*. September 26-29, Canberra, Australia.
24. Khalid, A., Athar, H. U. R., Zafar, Z. U., Akram, A., Hussain, K., Manzour, F., Al-Qurainy and Ashraf, M. (2015). Photosynthetic capacity of canola (*Brassica napus* L.) plants as affected by glycinebetaine under salt stress. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 88, 78-86.
25. Kocheva, K., Lambrev, P., Georgiev, G., Goltsev V. & Karabaliev, M. (2004). Evaluation of chlorophyll fluorescence and membrane injury in the leaves of barley cultivars under osmotic stress. *Bioelectrochemistry*, 63, 127-124.
26. Kumar, A. & Singh, D. P. (1998). Use of physiological indices as a screening technique for drought tolerance in oilseed *Brassica* species. *Annals of Botany*, 81, 413-420.
27. Kumar, A., Singh, P., Singh, D. P., Singh, H. & Sharma, H. C. (1984). Difference in osmoregulation in *Brassica* species. *Annals of Botany*, 54, 537-541.
28. Kuroda, M., Qzawa, T. & Imagawa, H. (1990). Changes in chloroplast peroxidase activities in relation to chlorophyll loss in barley leaf segments. *Physiologia Plantarum*, 80, 555-560.
29. Lu, Z. & Neumann, P. M. (1999). Low cell-wall extensibility can limit maximum leaf growth rates in rice. *Crop Science*, 39, 126-130.

30. Makela, P., Peltonen-Sainio, P., Jokinen, K., Pehu, E., Setaia, H., Hinkkanen, R. & Somersalo, S. (1996). Uptake and translocation of foliar-applied glycine betaine in crop plants. *Plant Science*, 121, 221-230.
31. Martinez, J. P., Luttus, S., Schanck, A. & Banjji, M. (2004). Is osmotic adjustment required for water stress resistance in the Mediterranean shrub *Atriplex halimus* L. *Journal of Plant Physiology*, 16, 1041-1051.
32. Maxwell, K. & Johnson, G. N. (2000). Chlorophyll fluorescence-a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 51, 659-668.
33. Merano, H., Escalona, J. M., Bota, J., Gulias, J. & Flexas, J. (2002). Regulation of photosynthesis of C₃ plant in response to progressive drought: stomatal conductance as a reference parameter. *Annals of Botany*, 89, 895-905.
34. Mirmohammadi meibodi, S. A. M. & Ghareyazi, B. (2002). *Physiological and Breeding aspects of salinity stress in crops*. Isfahan University of Technology Press. Isfahan, Iran. (In Persian).
35. Mohammadian, R., Rahimian, H., Moghaddam, H. & Sadeghian, S. Y. (2003). The effect of early season drought on chlorophyll a fluorescence in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Pakistan Journal of Biological Science*, 6(20), 1763-1769.
36. Monneveux, P. & Belhassen, E. (1996). The diversity of drought adaptation in wide. *Plant Growth Regulation*, 20, 85-92.
37. Morant-Manceau, A., Pradier, E. & Tremblin, G. (2004). Osmotic adjustment, gas exchanges and chlorophyll fluorescence of a hexaploid triticale and its parental species under salt stress. *Journal of Plant Physiology*, 161, 25-33.
38. Moustafa, M., Boersma, A. L. & Krostad, E. (1996). Response of four spring wheat cultivars to drought stress. *Crop Science*, 36, 982-986.
39. Munns, R. & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-681.
40. Musick, J. T., Jones, O. R., Stewart, B. A. & Dusek, D. A. (1994). Water-yield relationships for irrigated and dryland wheat in the U.S. southern plains. *Agronomy Journal*, 86, 980-986.
41. Nayyar, H. (2003). Accumulation of osmolytes and osmotic adjustment in water-stressed wheat (*Triticum aestivum*) and maize (*Zea mays*) as affected by calcium and its antagonists. *Environmental and Experimental Botany*, 50, 253-264.
42. Paleg, L. G. & Aspinall, D. (1989). *The physiology and biochemistry of drought resistance in plant* (Chapter 1 and 2). (pp.1-24). Academic Press, Sydney.
43. Pandey, M. & Penna S. (2017). Time course of physiological, biochemical, and gene expression changes under short-term salt stress in *Brassica juncea* L. *The Crop Journal*, 5(3), 219-230.
44. Raghar, C. S. & Jams, R. A. (1994). Effect of saline water on growth, yield and contributory characters of various corn cultivars. *Agriculture Research*, 15, 351-356.
45. Saadia, M., Jamil, A., Akram, N. A. & Ashraf, M. (2012). A study of proline metabolism in canola (*Brassica napus* L.) seedlings under salt stress. *Molecules*, 17, 5803-5815.
46. Sairam, R. K. & Tyagi, A. (2004). Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Current Science*, 86, 407-422.
47. Schreiber, U., Bilper, W. & Neubauer, C. (1994). Chlorophyll fluorescence as a non-intrusive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis. In: E.D. Schulze & M. Caldwell (Eds). *Ecophysiology of Photosynthesis*. (Ecological studies, Vol 100). (pp. 49-70). Springer, Berlin Heidelberg, New York.
48. Sharma, S. (1996). *Applied Multivariate Techniques*. John Wiley and Sons, Inc., USA.
49. Srinivas, V. & Bala Subramanian, D. (1995). Proline is a protein compatible hydrotrope. *Langmuir*, 11, 2830-2833.
50. Su, J. J., Wu, S., Xu, Z. J., Qiu, S., Luo, T. T., Yang, Y. M., Chen, Q. T., Xia, Y. Y., Zou, S., Huang, B. L. & Huang, B. Q. (2013). Comparison of salt tolerance in *Brassicac*s and some related species. *American Journal of Plant Sciences*, 4, 1911-1917.

51. Verslues, P. E., Kim, Y. S. & Zhu, J. K. (2007). Altered ABA, Proline and hydrogen peroxide in an Arabidopsis glutamate: glyoxylate aminotrasferase mutant. *Plant Molecular Biology*, 64, 205-217.
52. Winter, S. R., Musick, J. T. & Porter, K. B. (1988). Evaluations of screening techniques for breeding drought-resistant winter wheat. *Crop Science*, 28, 512-516.
53. Wyn Jones, R. G., Gorham, J. & McDonnell, E. (1984). Organic and inorganic solutecontents as selection criteria for salt tolerance in the Triticeae. In: R. Staples & G. H. Toennissen (Eds.). (pp. 189-203). *Salinity Tolerance in Plants: Strategies for Crop Improvement*. Wiley and Sons, New York.