

ارزیابی تحمل سرما در تعدادی از ژنوتیپ‌های مختلف کلزا در مرحله گیاهچه‌ای و ارتباط آن با نشانگرهای ریزوماهواره

زهرا برزن^۱، مسعود دهداری^{۲*} و رضا امیری فهلیانی^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۶/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۹/۱۱)

چکیده

سرما یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زیستی است که رشد و تولید کلزا را در بسیاری از نقاط ایران تحت تأثیر قرار می‌دهد. به منظور شناسایی ارقام متحمل به سرما در کلزا در مرحله گیاهچه‌ای و ارتباط آن با نشانگرهای ریزوماهواره، این پژوهش به صورت دو آزمایش جداگانه در دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج اجرا شد. در آزمایش اول ۲۴ ژنوتیپ کلزا تحت تأثیر درجه حرارت‌های پنج و ۲۵ (شاهد) درجه سلسیوس در مرحله گیاهچه‌ای قرار گرفتند. ۱۰ روز بعد از اعمال تیمارها تعدادی از ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک اندازه‌گیری شدند. بیشترین میزان تنوع ژنوتیپی در حالت عدم تنش (۲۵ درجه سلسیوس) و تنش (۵ درجه سلسیوس) مربوط به وزن خشک ریشه به ترتیب با مقادیر ۶۲/۲۲ و ۶۰/۷۷ بود. تجزیه خوشه‌ای براساس صفات اندازه‌گیری شده، ژنوتیپ‌ها را در چهار گروه قرار داد و ژنوتیپ CR3198 متحمل به سرما در مرحله گیاهچه‌ای تشخیص داده شد. این ژنوتیپ در شرایط سرما (پنج درجه سلسیوس) از نظر صفات طول ریشه (۱۸/۲۵ سانتی‌متر)، وزن خشک ریشه (۰/۳ گرم)، میزان سبزی‌نگی (۳۹/۷۱ عدد اسپاد) و FV/Fm (۰/۷۹۱۵) دارای میزان بالا و از نظر نشت الکترولیتی (۱۳/۰۲ درصد) دارای کمترین مقدار بود. ژنوتیپ‌های متحمل به سرما در کلزا دارای بنيه و توانایی اولیه بالایی بودند. در آزمایش دوم ارتباط بین ۱۰ جفت نشانگر ریزوماهواره و صفات مهم مرتبط با تنش سرما بررسی شد. نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون لجستیک نشان داد که برخی نشانگرهای ریزوماهواره مرتبط با ویژگی‌های اندازه‌گیری در شرایط سرما از جمله وزن خشک ساقه و ریشه و شاخص تحمل تنش سرما بودند. در این میان نشانگرهای Na10-B08، Na12-E09 و Ra2-E11 مرتبط با شاخص تحمل سرما در کلزا در مرحله گیاهچه‌ای بودند. در مجموع نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند برای بهبود تحمل سرما در کلزا در مرحله گیاهچه‌ای به کار روند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه لجستیک، شاخص تحمل به تنش، شدت تنش، فلورسانس کلروفیل، نشت الکترولیت

۱، ۲ و ۳. به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

*. مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: adehdari@yu.ac.ir

مقدمه

کلزا به عنوان یک گیاه روغنی خوراکی از زمان جنگ جهانی دوم مورد توجه قرار گرفته و امروزه بعد از سویا مقام دوم را در تأمین روغن خوراکی به خود اختصاص داده است (۹). روغن، با ارزش ترین جزء دانه کلزا است و اگرچه میزان و ترکیب آن به طور عمده به صورت ژنتیکی تعیین می شود، ولی به طور قابل توجهی تحت تأثیر شرایط محیطی نیز قرار می گیرد (۸). از میان تنش های محیطی، سرما و دمای پایین در ایجاد خسارت به میزان محصولات تولیدی نقش مهمی ایفا می کند (۵ و ۱۷). تنش سرما، اکثر ویژگی های زراعی و فیزیولوژیکی گیاه را تحت تأثیر خود قرار می دهد؛ کاهش فتوسنتز و در نهایت کاهش عملکرد از جمله موارد مهم در این زمینه محسوب می شود (۲). گرچه گیاهان تدابیری را جهت تحمل درجه حرارت های معمول در محیط رشدشان به کار بسته اند، ولی با این وجود در محیط های جدید یا وقتی دما از محدوده طبیعی آن پایین تر می رود، دچار آسیب دیدگی می شوند (۲۸). دمای پایین، رشد گیاه کلزا را در مناطقی از ایالات متحده نیز محدود کرده است (۲۸). در اواخر سال ۲۰۰۷، تنش سرما (نزدیک به صفر درجه) و یخ زدگی (۵- درجه سلسیوس) منجر به آسیب قابل توجه به بسیاری از مزارع کلزا در ایالتی در آلاباما، شد (۶). در مناطق سردسیر کشور که کشت پاییزه کلزا متداول است در مرحله گیاهچه ای خسارات زیادی به این گیاه در سال های اخیر وارد شده است (۱۲). کلزا به دمای پایین در مرحله رویشی بسیار حساس است به گونه ای که گیاه تحت تنش از بین می رود و در صورتی که گیاه رشد کند در نهایت بذر ناچیزی تولید می کند (۱). براساس گزارش شاکری (۲۲) در سال ۱۳۹۱ بیشتر مزارع کلزای استان های فارس، کهگیلویه و بویراحمد و لرستان در اثر سرما (نزدیک به صفر درجه) در مرحله گیاهچه ای از بین رفتند. مهم ترین واکنش گیاهان حساس به سرمازدگی، بازدارندگی سریع فتوسنتز است که حتی در شدت های متوسط نور نیز می تواند منجر به خسارت نوری و یا اختلال در فعالیت فتوسیستم II شود. این فرآیند با کاهش متابولیسم کربن همراه است که باعث کاهش ذخیره

فرآورده های انتقال الکترون در چرخه نوری و عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط نوری می شود (۱۴).

در مطالعه ای موسوی و همکاران (۱۸) با بررسی تحمل به سرما در ۱۶ رقم کلزا براساس شاخص های تحمل به تنش شامل STI و Tol (شاخص تحمل) سه رقم متحمل و یک رقم حساس به سرما معرفی نمودند که در این مطالعه ژنوتیپ ۲۰۰۵ به عنوان متحمل ترین رقم گزارش شد. به طور کلی، در ارقام پاییزه کلزا که نسبت به ارقام بهار عملکرد بالاتری دارند، کشت و تولید عملکرد بالا بر اثر تنش سرما محدود می شود، به گونه ای که برخی مواقع سبب کاهش عملکرد گیاه تا ۷۰ درصد می شود (۱۶). بنابراین، ایجاد تنوع ژنتیکی و گزینش ژنوتیپ های متحمل به سرما برای موفقیت تولید محصول حائز اهمیت است. امروزه شناسایی نشانگرهای مولکولی مرتبط با ویژگی های مهم گیاهان به خصوص تحمل به انواع تنش ها از اهمیت خاصی برخوردار است. در کلزا (۱۹ و ۲۱) نشانگرهای مولکولی مرتبط با صفات مهم گزارش شده است. اما در خصوص تحمل به سرما در گیاهان مختلف هم نظیر گیاه چمن ژاپنی (*Zoysia wild*) (۱۳) و در برنج (۲۵) چندین نشانگر پیوسته با ویژگی های مرتبط با تحمل به سرما معرفی کردند.

با توجه به خسارت زیاد تنش سرما در مرحله گیاهچه ای در مناطق مختلف ایران (از جمله شمال فارس، استان همدان، کهگیلویه و بویراحمد، چهارمحال و بختیاری و غیره)، و عدم وجود گزارش در خصوص بررسی تحمل به سرما در ژنوتیپ های کلزا و نشانگرهای مولکولی مرتبط، این پژوهش با به کارگیری تعدادی از ژنوتیپ های متداول و جدید کلزا و ۱۰ جفت نشانگر مولکولی ریزماهواره جهت ارزیابی تحمل به سرما طراحی شد.

مواد و روش ها

در فروردین ۱۳۹۲ آزمایش مقدماتی در دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج به صورت کرت های یکبار خرد شده در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. دماهای مختلف

جدول ۱. نام، منشأ و محل جمع‌آوری ژنوتیپ‌های کلزای مورد استفاده

شماره	ژنوتیپ	منشأ	محل جمع‌آوری	شماره	ژنوتیپ	منشأ	محل جمع‌آوری
۱	CR3198	کانادا	IPK	۱۳	H4722	---	ایران
۲	CR3133(Nugget)	کانادا	IPK	۱۴	H4815	---	ایران
۳	CR679(Kroko)	آلمان	IPK	۱۵	H6059	---	ایران
۴	CR3250	لهستان	IPK	۱۶	H6486	---	ایران
۵	CR677(Kosa)	آلمان	IPK	۱۷	K9209	---	ایران
۶	CR3248	پاکستان	IPK	۱۸	W6018	---	ایران
۷	CR3141(Golden)	کانادا	IPK	۱۹	H609	---	ایران
۸	CR3189	رومانی	IPK	۲۰	Q6501	---	ایران
۹	CR3152(Regent)	کانادا	IPK	۲۱	SWK5380	---	ایران
۱۰	CR3195(Marnoo)	استرالیا	IPK	۲۲	Okapi	---	ایران
۱۱	CR3186(Callypso)	آلمان	IPK	۲۳	Talaei	---	ایران
۱۲	H1750J	---	Iran	۲۴	Tasillo	---	ایران

Ipk: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research

به‌عنوان عامل اصلی (۰، ۵، ۱۰ و ۲۵ (شاهد) درجه سلسیوس) و ژنوتیپ‌های کلزا به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. این ژنوتیپ‌ها شامل ۱۱ ژنوتیپ تهیه شده از مؤسسه (Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (IPK)) آلمان و ۱۳ ژنوتیپ (شامل سه ژنوتیپ و ۱۰ لاین) جمع‌آوری شده از مراکز تحقیقاتی ایران بودند (جدول ۱). در ابتدا بذور با هیپوکلریت سدیم ۰/۵ درصد به مدت پنج دقیقه ضدعفونی و تعداد ۱۰ الی ۱۲ عدد بذر از هر ژنوتیپ در گلدان‌های حاوی مخلوط خاک، ماسه و کود حیوانی به ترتیب به نسبت ۲:۱:۱ کشت و در مرحله چهار برگی برای رسیدن به تعداد هفت بوته تنک شدند. سپس به منظور اعمال تنش سرما، گلدان‌ها در مرحله چهار برگی (حدوداً یک ماه پس از کشت) درون اتاقک رشد با دمای مورد نظر (با توجه به سطوح دمایی ذکر شده)، دوره نوری ۱۴/۱۰ ساعت (شب/روز) قرار داده شدند (۲). پس از گذشت ده روز گلدان‌ها از اتاقک رشد بیرون آورده شدند و بعد از اندازه‌گیری ارتفاع بوته برحسب سانتی‌متر، بوته‌ها از گلدان‌ها به دقت خارج شدند و بعد از شستشو اندام هوایی از ریشه جدا شد سپس صفات مختلف گیاهچه شامل طول ریشه برحسب

سانتی‌متر، وزن خشک ریشه و اندام هوایی با قرار دادن در دمای ۷۲ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت برحسب گرم اندازه‌گیری شدند.

سایر ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری در مرحله گیاهچه‌ای شامل میزان سبزی‌نگی برگ با استفاده از دستگاه اسپد (مدل SPAD-502 Readings Minolta, Japan) در روز آخر سرمادهی بود. قرائت روی قسمت میانی پهنک جوان‌ترین برگ چهار بوته برحسب واحد SPAD اندازه‌گیری شد و از میانگین آنها برای تجزیه و تحلیل استفاده شد. خصوصیات فتوسنتزی با استفاده از دستگاه فتوسنتز متر (مدل LC4-004, England) و فلوری‌متر (مدل OS1-FL, USA) اندازه‌گیری شدند. بدین‌منظور در هر گلدان از یک بوته، جوان‌ترین برگ را انتخاب و بعد از حدود ۲۰ دقیقه سازگاری به تاریکی فلش نور به محل دریچه گیره متصل و داده‌های مربوط به فلورسانس بیشینه (Fm) و فلورسانس متغیر (Fv) قرائت شد و کارایی فتوسنتز (Fv/Fm) II محاسبه شد. اندازه‌گیری پارامترهای فتوسنتزی برگ‌ها شامل فتوسنتز خالص (A)، تبخیر و تعرق (E)، کارایی مصرف آب لحظه‌ای (A/E)، هدایت روزنه‌ای

جدول ۲. فهرست و ویژگی‌های آغازگرهای ریزماهواره مورد استفاده

نام آغازگر	توالی آغازگر رفت	توالی آغازگر برگشت	اندازه (جفت باز)
Na10-B08	AGAGAAAAACACTTCCCGCC	GTGAGCTTTGCGAAACACG	100-145
Na12-C08	GCAAACGATTTGTTTACCCG	CGTGATAGGGTGATCTAGATGGG	220-320
Na12-E09	CATGAGAACAAGATGGGTTTCG	CTGAAACTTGAGCAAAGCCC	247-320
Na14-C12	CACATTTTGGTTCAATTCGG	TACGACGCTGGTTTCGATTC	180-240
Ol10-G06	GACAAAGTTCCCTTGTAATGGC	TGTAATCATCACACATTTTGGG	150-210
Ra2-A11	GACCTATTTTAATATGCTGTTTACG	ACCTCACCGGAGAGAAATCC	120-185
Ra2-D04	TGGATTCTCTTTACACACGCC	CAAAACAAAATGTGTGAAGCC	105-150
Ra2-E07	ATTGCTGAGATTGGCTCAGG	CCTACACTTGCGATCTTCACC	120-150
Ra2-G08	ATGTCCGGATAACCGAATCC	GAAGCTTTTCAATTTTAAAGTTCTCTC	297-404
Ra2-E11	GGAGCCAGGAGAGAAGAAGG	CCCAAACTTCCAAGAAAAGC	120-185

(۵ درجه سلسیوس) و Y_s جهت گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مشابه براساس صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از داده‌های استاندارد شده، از تجزیه خوشه‌ای به روش وارد استفاده شد. از آزمون‌های T^2 کاذب (Pseudo T square test) و سی.سی.سی. (Cubic clustering criterion) برای تشخیص تعداد مناسب گروه‌ها استفاده شد. سپس با رسم نمودار سه‌بعدی Y_P ، STI و Y_s ژنوتیپ‌های مناسب جهت کشت در شرایط ۲۵ درجه سلسیوس (شاهد) و ۵ درجه سلسیوس (تنش سرما) شناسایی شدند.

برای شناسایی نشانگرهای ریزماهواره مرتبط با مهم‌ترین ویژگی‌های تحمل به سرما، از امتیازهای صفر و یک ده آغازگر ریزماهواره (جدول ۲) که در مطالعه دیگر (۳) به‌دست آمده بودند، استفاده شد. بررسی ارتباط بین نشانگرها و صفات به کمک مدل لجستیک (Binary logistic regression) انجام شد. این تجزیه با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ و با در نظر گرفتن مشاهدات مربوط به نشانگرها به‌عنوان متغیر تابع و سایر ویژگی‌ها به‌عنوان متغیر مستقل صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثرات اصلی تنش سرمایی و ژنوتیپ برای کلیه صفات اندازه‌گیری شده، معنی‌دار بودند. بنابراین ژنوتیپ‌ها واکنش‌های متفاوتی نسبت به سرما از لحاظ ویژگی‌هایی مورد بررسی داشتند. با مقایسه سطوح مختلف سرما به‌وسیله معیار شدت تنش یعنی

(gs) و میزان CO_2 بین سلولی (CI) نیز در همان روز انجام گرفت. این اندازه‌گیری‌ها روی جوان‌ترین برگ کاملاً باز شده و بین ساعت ۱۰ صبح تا ۱۴ بعد از ظهر انجام گرفت. در نهایت نشأت الکترولیت به‌روش بلترانو و رونکو (۴) اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1، مقایسه میانگین‌ها به‌روش LSD و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel صورت گرفت. ضریب تغییرات فنوتیپی، ژنتیکی (۱۰) و وراثت‌پذیری عمومی (۲۳) با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند:

$$CV_p = (S_p / \mu) \times 100 \quad (1)$$

$$CV_g = (S_g / \mu) \times 100 \quad (2)$$

در روابط فوق S_p و S_g به‌ترتیب نشان‌دهنده انحراف معیار فنوتیپی و ژنتیکی و μ نشان‌دهنده میانگین صفات مربوطه است. شدت تنش (Stress Intensity) برای کلیه صفات اندازه‌گیری شده، با استفاده از فرمول زیر به‌دست آمد:

$$SI = 1 - (\bar{Y}_s / \bar{Y}_p) \quad (3)$$

در این معادله: $\bar{Y}_p$ میانگین کلیه ژنوتیپ‌ها برای صفات در شرایط بدون تنش (۲۵ درجه سلسیوس)، $\bar{Y}_s$ میانگین کلیه ژنوتیپ‌ها برای صفات در شرایط تنش (۵ درجه سلسیوس). شاخص تحمل به تنش (Stress Tolerance Index) نیز با فرمول زیر محاسبه شد (۱۱):

$$STI = (Y_p \times Y_s) / \bar{Y}_p^2 \quad (4)$$

وزن خشک هر ژنوتیپ در شرایط بدون تنش (۲۵ درجه سلسیوس)، Y_p وزن خشک هر ژنوتیپ در شرایط تنش

جدول ۳. میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس برای صفات اندازه‌گیری شده در ژنوتیپ‌های کلزا مورد مطالعه

وزن خشک ساقه	وزن خشک ریشه	وزن خشک ساقه	ارتفاع ساقه	طول ریشه	میزان سلولی	میزان CO ₂	میزان تیخیر و تعرق	کازایی مصرف آب لحظه‌ای	نشت الکترولیت	میزان سبزیگی	Fv/Fm	درجه آزادی	منابع تغییرات
۰/۴۰۵**	۳/۱۴**	۲۶/۰۹**	۱۷۳۳/۱۳**	۱۲۴/۰۳**	۶۴۶۴۶۳**	۶۰	۰/۰۶	۷۶۹۹/۹**	۵۲۹۱۷/۹**	۳۳۹۸/۶**	۰/۳۶۶**	۳	دما
۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۳۹	۳۹/۵۹	۰/۰۶	۳۰۷۱۶**	۶۰	۰/۰۶	۳/۵	۱۳	۳۰/۴	۰/۰۰۱	۱۲	خطای ۱
۰/۰۲۹**	۰/۳۳۵**	۶۹/۱۹**	۷۵/۰۶**	۵/۰۳**	۳۰۷۱۶**	۳۰۷۱۶**	۵/۰۳**	۴۷/۹**	۳۱۴۴/۳**	۱۳۵/۵**	۰/۰۱۷**	۳۳	ژنوتیپ
۰/۰۰۹**	۰/۰۸۶**	۵/۱۶**	۱۰/۹۱**	۱/۲۸**	۹۹۲۳**	۹۹۲۳**	۱/۲۸**	۳۳۷/۸**	۳۷۴/۴**	۱/۸۴**	۰/۰۱۱**	۹۶	ژنوتیپ × دما
۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۳۳	۶/۹۳	۰/۱۳	۹۵	۹۵	۰/۱۳	۵/۱	۹/۷	۱۳/۸	۰/۰۰۳	۲۷۶	خطای ۲
۲۰/۴۷	۱۲/۳۱	۱۳/۱۱	۱۳/۳۳	۲۷/۱	۳/۶	۳/۶	۲۷/۱	۲۵/۱	۹/۵	۹/۵	-	-	ضریب تغییرات (%)
۰/۴۶	۰/۳۳	۰/۳۶	۰/۲۷	۰/۶۶	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۶۶	۰/۸۱	۰/۷۲	۰/۲۲			شدت تنش

** نشان دهنده معنی‌داری در سطح یک درصد

میزان تأثیری که سطوح سرما بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده داشتند، در نهایت سطح سرمای ۵ درجه سلسیوس به‌عنوان تنش در نظر گرفته شد و سایر محاسبات صرفاً در این سطح و شرایط شاهد (۲۵ درجه سلسیوس) صورت پذیرفت.

نتایج حاصل از آمار توصیفی در جدول ۴ آورده شده‌است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود در شرایط تنش سرما (۵ درجه سلسیوس)، میانگین بیشتر صفات (به‌جز میزان نشت الکترونیکی) کاهش یافتند. در بین صفات فیزیولوژیکی بررسی شده بیشترین ضریب تنوع ژنتیکی در شرایط عدم تنش سرما به کارایی مصرف آب لحظه‌ای به‌میزان $93/93$ درصد و نشت الکتروولیت به‌میزان $90/32$ درصد و کمترین میزان آن به Fv/Fm ($1/17$ درصد) تعلق داشت. در مجموع میزان تنوع در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش کمتر بود. در شرایط تنش سرما علاوه بر دو صفت فوق صفات وزن خشک ریشه، ارتفاع ساقه و تبخیر و تعرق نیز دارای مقادیر بالایی بودند. هرچه تنوع موجود در صفات بیشتر باشد، انتخاب در آنها از کارایی بالاتری برخوردار است. اگر واریانس ژنتیکی در محیط تنش بزرگ‌تر از شرایط بدون تنش باشد، انتخاب در محیط تنش از بازدهی ژنتیکی بالاتری نسبت به انتخاب در شرایط بدون تنش و انتخاب در دو محیط برخوردار خواهد بود (۱۵). در این مطالعه این وضعیت برای صفات تبخیر و تعرق و طول ریشه برقرار بود. اما برای سایر صفات انتخاب در شرایط بدون تنش مفید خواهد بود. بیشترین میزان تغییرات فنوتیپی در بین صفات فیزیولوژیکی مربوط به نشت الکتروولیت در حالت تنش و کارایی مصرف آب لحظه‌ای در حالت عدم تنش بوده است. زمانی که میزان وراثت‌پذیری، ضریب تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی پایین باشند، نشان‌دهنده این است که ارزش اصلاح صفات برای انتخاب مستقیم پایین است. بنابراین، صفاتی مثل نشت الکتروولیت که از نظر این سه پارامتر مقادیر بالایی داشت را می‌توان به‌عنوان یک صفت مطلوب برای انتخاب غیر مستقیم برگزید. این نتایج با یافته‌های محقق دیگر مطابقت داشت (۲).

بیشترین میزان تنوع ژنوتیپی در حالت عدم تنش مربوط به

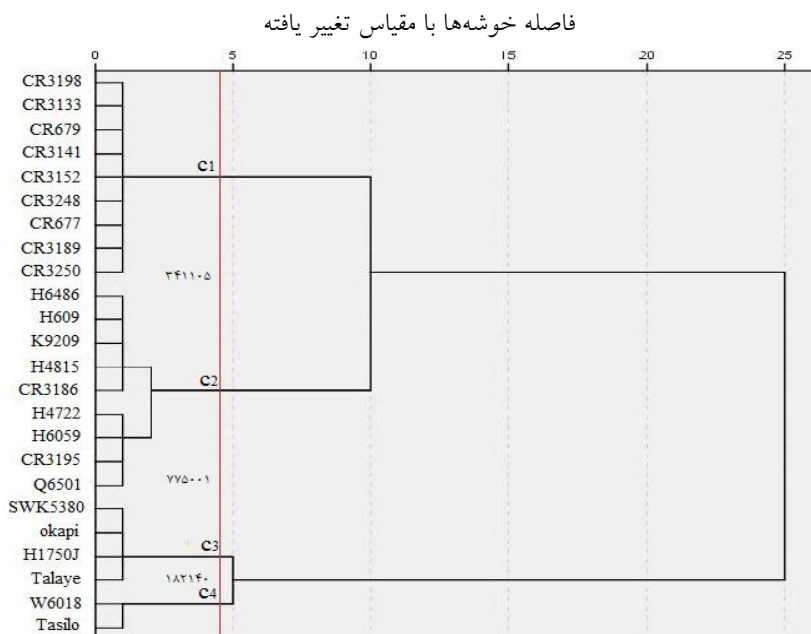
وزن خشک ریشه با میزان $62/22$ و در حالت تنش نیز به همین صفت با میزان $60/77$ تعلق داشت. ضرایب تنوع فنوتیپی کلیه صفات از ضریب تنوع ژنتیکی زیادتر بودند که نشان‌دهنده تأثیر عوامل محیطی بر این صفات است، اما تأثیر این عوامل کم بود. این نتیجه نشان‌دهنده این است که قسمت اعظم صفات مورد نظر قابل انتقال به نتاج می‌باشند. بیشتر بودن قابلیت توارث در این بررسی حاکی از آن است که اثرات محیطی قسمت اندکی از تغییرات فنوتیپی این صفات را به‌وجود می‌آورند، در نتیجه انتخاب براساس این صفات مؤثر است. گزارش شده که تحمل به سرما در کلزا، صفت کمی است که به‌وسیله تعداد زیادی ژن کوچک اثر با اثر افزایشی کنترل می‌شود (۲۴ و ۲۶).

براساس معیار توان سوم خوشه‌ها و T^2 کاذب هتلینگ دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای در شرایط بدون تنش در فاصله مقیاس تغییر یافته تقریبی $4/75$ برش داده شد که ژنوتیپ‌ها در چهار گروه متفاوت قرار گرفتند. گروه اول تا چهارم به‌ترتیب ۹، ۹، ۴ و ۲ ژنوتیپ را شامل شدند که در نظر اول بر وجود تنوع ژنتیکی در میان ژنوتیپ‌ها دلالت دارد (شکل ۱). گروه اول (c_1) شامل ژنوتیپ‌های CR3198, Golden, Krokro, Regent, CR3248, Kosa, CR3189 و CR3250 بودند. این ژنوتیپ‌ها که همه از IPK ارسال شده بودند از نظر صفات فلئورسانس کلروفیل و طول ریشه دارای بیشترین مقدار بودند. گروه دوم (c_2)، خود به دو زیرگروه تفکیک شد، که زیرگروه اول شامل ژنوتیپ‌های H6486, H609, K9209, H4815 و Calypso و زیرگروه دوم شامل ژنوتیپ‌های H4722, H6059, Marnoo و Q6501 بودند. ارقام مربوط به این گروه از نظر کلیه صفات به‌جز صفت هدایت روزنه‌ای، مقدار نسبتاً کمی داشتند.

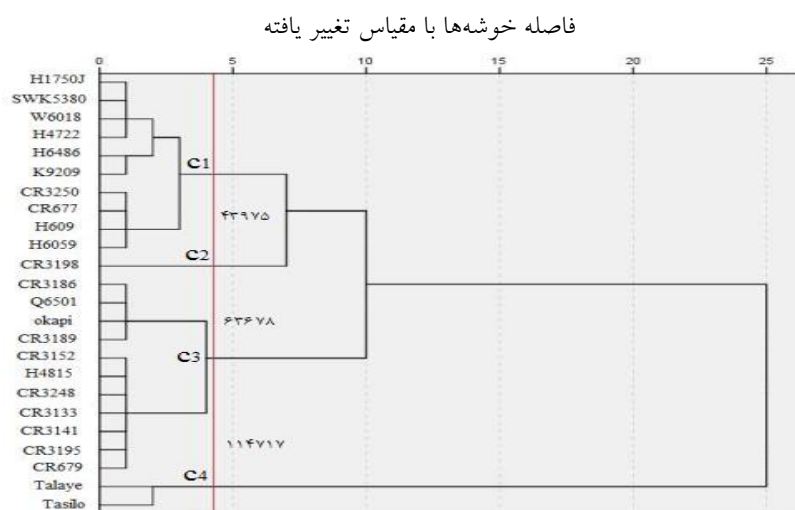
گروه سوم (c_3) شامل ژنوتیپ‌های H1750J, SWK5380، اکاپی و طلایه بود. این ژنوتیپ‌های نیز از نظر صفت وزن خشک ساقه دارای مقدار بالایی بودند. در نهایت ژنوتیپ‌های تاسیلو و W6018 در گروه چهارم (c_4) قرار گرفتند که دارای

جدول ۴. برآورد برخی پارامترهای آماری برای صفات مورد مطالعه در شرایط تنش سرما (۵ درجه سلسیوس) و بدون تنش (۲۵ درجه سلسیوس)

وزن خشک ساقه (میلی گرم)	وزن خشک ریشه (میلی گرم)	وزن خشک ساقه (سانتی متر)	ارتفاع ساقه (سانتی متر)	طول ریشه (سانتی متر)	میزان CO ₂ بین سلولی	میزان CO ₂ در لیتر	تبخیر و تعرق (میلی مول بر مترمربع بر ثانیه)	کارایی مصرف آب لحظای CO ₂ بر میلی مول آب)	نشت الکترولیت (درصد)	میزان سبزینگی (عدد اسپاد)	Fv/Fm	شرایط دمایی (درجه سلسیوس)	پارامتر
۰/۲۳	۰/۴۹	۶/۲۷	۲۴/۷۶	۲۴/۷۶	۳۶۱/۱۵	۳/۱۴	۲۲/۰۵	۱۰/۸۱	۴۶/۷۶	۰/۸۶	۲۵	۲۵	میانگین
۰/۱۲	۰/۱۵	۴/۰۳	۱۷/۹۶	۱۷/۹۶	۲۴۵/۱۴	۱/۰۷	۴/۲۸	۳۹/۲۰	۳۶/۶۲	۰/۸۲	۵	۵	
۴۱/۰۶	۶۲/۲۲	۵۴/۷۲	۹/۲۵	۹/۲۵	۲۳/۵۸	۳۳/۳۸	۹۳/۹۳	۹۰/۳۲	۸/۴۳	۱/۱۷	۲۵	۲۵	ضرب تنوع ژنتیکی
۲۶/۶۴	۶۰/۷۷	۴۶/۷۶	۱۱/۷۵	۱۱/۷۵	۱۶/۲۸	۵۳/۰۰	۴۵/۴۸	۴۸/۴۲	۸/۴۹	۱/۷۲	۵	۵	
۴۲/۳۳	۶۲/۳۴	۵۵/۰۳	۱۱/۹۱	۱۱/۹۱	۲۳/۶۶	۳۴/۶۴	۸۴/۴۲	۹۰/۳۳	۱۰/۲۰	۱/۱۷	۲۵	۲۵	ضرب تنوع فونیتی
۲۸/۰۸	۶۱/۰۹	۴۷/۲۲	۱۳/۵۸	۱۳/۵۸	۱۵/۳۴	۵۳/۶۲	۴۶/۸۲	۴۸/۵۰	۹/۰۵	۲/۱۱	۵	۵	



شکل ۱. دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها به روش وارد براساس صفات مورد مطالعه در شرایط عدم تنش سرما (دمای ۲۵ درجه سلسیوس). اعداد مربع فاصله اقلیدسی گروه‌ها را نشان می‌دهند.



شکل ۲. دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها به روش وارد بر اساس صفات مورد مطالعه در شرایط تنش سرما (دمای ۵ درجه سلسیوس). اعداد مربع فاصله اقلیدسی گروه‌ها را نشان می‌دهند.

آزمون‌های فوق در فاصله مقیاس تغییر یافته تقریبی ۴/۷ ژنوتیپ‌ها به چهار گروه تقسیم شدند. گروه اول تا چهارم به ترتیب ۱۰، ۱، ۱۱ و ۲ ژنوتیپ را شامل شدند که بیانگر وجود تنوع ژنتیکی در میان ارقام در شرایط سرما بود (شکل ۲). گروه اول (C_۱) شامل ژنوتیپ‌های H1750J، SWK5380، W6018،

بیشترین میزان CO₂ بین سلولی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بودند. بیشترین فاصله بین گروه‌های C_۳ و C_۴ مشاهده شد. بنابراین، برای دستیابی به هتروزیس حداکثر، می‌توان ژنوتیپ‌های این گروه‌ها را با هم تلاقی داد. در شرایط تنش سرما (۵ درجه سلسیوس) براساس

متفاوت است، که این خود بیانگر تنوع از نظر تحمل به سرما در ژنوتیپ‌ها می‌باشد. در مطالعه‌ای با بررسی تحمل به سرما در چهار رقم زمستانه کلزا تفاوت معنی‌داری میان آنها گزارش شد. معیار انتخاب در این پژوهش نسبت F_v/F_m و هدایت الکتریکی در مرحله گیاهچه‌ای بود (۷). این گونه تنوع‌ها میان ارقام مختلف کلزا، از نظر ویژگی‌های مهمی مثل درصد بقا، کارایی مصرف آب، میزان فتوسنتز خالص و هدایت روزنه‌ای در شرایط سرما نیز گزارش شده است (۲۴ و ۲۷).

ژنوتیپ‌های Golden و CR3189 متحمل به سرما، در مرحله گیاهچه‌ای وزن خشک اندام هوایی بالاتری در هر دو شرایط تنش و بدون تنش داشتند. در گروه‌بندی از طریق تجزیه خوشه‌ای این دو ژنوتیپ جزء ژنوتیپ‌های نسبتاً مقاوم بودند. گزارش شده که شاخص STI می‌تواند به‌عنوان بهترین شاخص جهت دستیابی به ارقام پرمحصول، در هر دو شرایط محیطی استفاده شوند (۱۱). ژنوتیپ‌های Regent، CR3248، CR3250، Kosa، Kroko، Nugget، W6018، K9209، H6059، H4722، Callypso، H1750J، H609، CR3198T، Q6501، SWK5380 حساس به تنش سرما، دارای ماده خشک بالا در شرایط بدون تنش و میزان ماده خشک کم در شرایط تنش بودند و بنابراین فقط برای کاشت در شرایط بدون تنش سرمایی هستند. ژنوتیپ‌های متحمل به سرما در کلزا باید از بینه اولیه خوبی برخوردار باشند. ژنوتیپ‌های اکاپی، تاسیلو، H6486 و CR3195، ماده خشک کمتری در شرایط تنش و بدون تنش داشتند. لذا این ارقام در هیچ‌کدام از شرایط آزمایش توصیه نمی‌شوند.

ارتباط بین نشانگرهای مولکولی و ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در مرحله گیاهچه‌ای

تجزیه لجستیک نشان داد که ضریب تأثیر B در برخی مکان‌ها برای ویژگی‌های اندازه‌گیری شده مثبت و بزرگ بود (جدول ۵)، بنابراین، این احتمال وجود دارد که مکان‌های موردنظر با

H4722، H6486، K9209، Kosa، CR3250، H609 و H6059 بودند. در این گروه ژنوتیپ‌های H1750J، SWK5380، W6018، H4722، H6486، K9209 و H609 مربوط به یک اقلیم و از ایران جمع‌آوری شده بودند. ژنوتیپ‌های Kosa و CR3250 نیز مربوط به مناطق معتدله آلمان و لهستان هستند. اعضای این گروه از نظر وزن تر ریشه، کمترین مقادیر را به خود اختصاص دادند، این ژنوتیپ‌ها ارتفاع متوسط تا کوتاه داشتند. گروه دوم (۲) تنها شامل ژنوتیپ CR3198 بود. این ژنوتیپ از نظر صفات طول ریشه، وزن خشک ریشه، میزان سبزی‌نگی، F_v/F_m ، F_v ، F_m ، F_0 و سرعت فتوسنتز دارای میزان بالا و از نظر نشت الکترولیتی دارای کمترین مقدار بود. بنابراین، می‌توان گفت ژنوتیپ متحمل به سرما است. گروه سوم (۳) خود به دو زیرگروه تفکیک شد. زیرگروه اول چهار ژنوتیپ به نام‌های Callypso، Q6501، اکاپی و CR3189 در خود جای داد و زیرگروه دوم شامل هفت ژنوتیپ (Regent، H4815، CR3248، Nugget، Golden، Marnoo و Kroko) شد. این ژنوتیپ‌ها از نظر صفات F_v/F_m ، F_v ، F_m ، محتوی کلروفیل، سرعت فتوسنتز، کارایی مصرف آب لحظه‌ای، هدایت روزنه‌ای، وزن تر و خشک ریشه، ارتفاع ساقه و وزن خشک اندام هوایی دارای مقادیر نسبتاً زیاد بودند و برخی ژنوتیپ‌های موجود در این گروه مثل CR3248 دارای نشت الکترولیتی پایینی بودند. بنابراین ژنوتیپ‌های این گروه را می‌توان نسبتاً متحمل به سرما در مرحله گیاهچه‌ای دانست. در نهایت گروه چهارم (۴) شامل دو رقم به نام‌های طلایه و تاسیلو بودند که این دو ژنوتیپ بیشترین فاصله ژنتیکی را با سایر ژنوتیپ‌ها داشتند. این دو رقم از نظر تمامی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک به جز صفت میزان CO_2 بین سلولی و نشت الکترولیت دارای کمترین میزان بودند. بنابراین، ژنوتیپ‌های این گروه از جمله حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به سرما در مرحله گیاهچه‌ای بودند.

ملاحظه می‌شود که علی‌رغم اینکه تعداد گروه‌ها در هر دو شرایط سرمای پنج درجه و بدون سرما (۲۵ درجه) یکسان است اما ژنوتیپ‌های داخل گروه‌ها در بیشتر موارد

جدول ۵. ضرایب تأثیر B در تجزیه لجستیک دوتایی بین صفات گیاه کلزا و امتیازهای نشانگرهای SSR

Ra2-E11	Ra2-G08	Ra2-E07	Ra2-D04	Ra2-A11	OI10-G06	Na14-C12	Na12-E09	Na12-C08	Na10-B08	آغازگر صفات
-۱۰۳۷/۰۷	-۱۳۶۷/۴۲	-۸/۶۴	-۳۸۵۷۱/۴۹	-۸/۲۱	-۱۲/۰۸	۰	۶۸۱/۱۳*	۰	۵۷۸/۷۰*	وزن خشک ریشه
-۵۰۴۷۹/۹۱	۸۳۰۷/۷۹**	-۱۲/۹۹	۷۵۷۹/۸۹**	۸/۱۱	-۴۱/۵۲	۰	۱۵/۷۱	۰	۵۷۳/۹۱*	وزن خشک ساقه
۴۸۰/۱۵*	۴۵/۰۹	-۰/۰۴	-۹۰۶/۳۸	۰/۰۶	۰/۰۰	۰	-۰/۱۹	۰	۵/۵۰	کلروفیل
-۱۹۸/۶۴	-۶/۳۹	۱/۶۵	-۳۷۲/۱۶	۳/۴۲	۰/۷۱	۰	۲۶۴۵**	۰	-۸/۱۷	ارتفاع ساقه
-۸۷/۶۱	۱۱/۶۷	۰/۱۳	-۲۰۸/۷۲	۰/۰۸	۰/۰۸	۰	-۰/۰۷	۰	۰/۳۸	نشت الکترولیت
-۹۱۹/۳۲	۶/۴۵	-۰/۲۲	۲۵۷۶/۹۱**	۰/۶۳	-۱/۴۰	۰	۰/۰۳	۰	-۲۲/۵۷	کارایی مصرف آب لحظه‌ای
-۴۱۴۳/۹۳	۴۴/۴۶	-۱/۶۵	-۵۱۵۴/۹۵	-۰/۶۷	-۸/۷۳	۰	-۲/۲۵	۰	-۳۱/۵۷	تبخیر و تعرق
-۳۱/۱۴	-۴/۰۳	۰/۰۰	۸/۵۹	۰/۰۱	-۰/۰۶	۰	-۰/۰۲	۰	-۱/۱۲	میزان CO ₂ مزوفیلی
۴۴۷۵/۰۶**	-۵۱۴/۸۳	۲/۲۶	-۲۱۰۵۵/۰۶	۳/۴۲	-۳/۴۷	۰	۲۵۲۲**	۰	۲۹۲۲**	شاخص تحمل تنش

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

با مطالعه بر روی میزان تلقیح خوشه ۲۳ رقم برنج گزارش کردند. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، در این مطالعه هم چند نشانگر SSR مرتبط با ویژگی‌های تحمل به سرما در کلزا شناسایی شدند که در این میان با توجه به نتایج بخش اول آزمایش، نشانگرهای مرتبط با شاخص تحمل به تنش یعنی نشانگرهای Na10-B08، Na12-E09 و Ra2-E11 و نشانگر مرتبط با صفت کارایی مصرف آب لحظه‌ای یعنی Ra2-D04، می‌توانند در برنامه‌های اصلاحی جهت بهبود تحمل به سرما در کلزا مفید واقع شوند.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش حاکی از تنوع وسیع میان ژنوتیپ‌های درون گونه‌ای از نظر ویژگی‌های مختلف است. به عبارت دیگر ژرم‌پلاسِم کافی برای بهبود تحمل به سرما در مرحله گیاهچه در این گیاه وجود دارد. در این میان ژنوتیپ CR3198 نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها تحمل به سرمای بالاتری از خود نشان داد. با توجه به نتایج این پژوهش صفت نشت الکترولیتی و وزن خشک ریشه و ساقه در مرحله بعد، می‌توانند به عنوان معیارهای تحمل به تنش سرما در مرحله گیاهچه‌ای به کار روند. از طرف دیگر تنوع از نظر ویژگی‌های مختلف، بیانگر وجود مکانیسم‌های متفاوت تحمل به سرما در کلزا است. به علاوه استفاده از نشانگرهای شناسایی شده در این مطالعه می‌تواند انتخاب در مرحله گیاهچه‌ای را قابل اعتمادتر و آسان‌تر کند. نظر به اینکه سرمای زودرس پاییزه در بیشتر نقاط جهان، به ارقام زمستانه کلزا در مرحله گیاهچه‌ای خسارت شدید وارد می‌کند (۱۸ و ۲۰) و نشان داده شده که تحمل به سرمای ارقام در شرایط کنترل شده (اتاقک رشد) دارای همبستگی زیادی با تحمل به سرما در شرایط مزرعه است (۱۲) نتایج این مطالعه می‌تواند برای کشت ارقام کلزا در مناطقی که خطر سرمازدگی وجود دارد، مفید واقع شود.

صفات اندازه‌گیری شده در شرایط دمای پنج درجه ارتباط داشته باشد، وقتی ضریب تأثیر (B) یک متغیر مستقل بر متغیر وابسته مثبت و بزرگ باشد، مرتبط با وجود باند است و اگر منفی باشد مرتبط با عدم باند است. بنابراین در این تجزیه اعداد مثبت و معنی‌دار در نظر گرفته می‌شوند. طبق جدول ۵ مکان ریزماهواره‌ای Na10-B08 با صفات وزن خشک ریشه (ضریب تأثیر $578/7^*$)، وزن خشک ساقه (ضریب تأثیر $573/91^*$) و شاخص تحمل به تنش (ضریب تأثیر 2922^{**})؛ نشانگر Na12-E09 با صفت وزن خشک ریشه (ضریب تأثیر $681/13^*$)، ارتفاع ساقه (ضریب تأثیر 2645^{**}) و شاخص تحمل به تنش (ضریب تأثیر 2522^{**})؛ نشانگر Ra2-D04 با وزن خشک ساقه (ضریب تأثیر $7579/89^{**}$) و کارایی مصرف آب لحظه‌ای (ضریب تأثیر $2576/91^{**}$)؛ نشانگر Ra2-G08 فقط با وزن خشک ساقه (ضریب تأثیر $480/15^*$) و در نهایت نشانگر Ra2-E11 با میزان سبزی‌نگی (ضریب تأثیر $480/15^*$) و شاخص تحمل به تنش (ضریب تأثیر $4475/06^{**}$) مرتبط بودند. درحالی‌که سایر نشانگرها با هیچ‌کدام از صفات ضریب تأثیر مثبت و معنی‌دار نشان ندادند.

امروزه یافتن نشانگرهای مولکولی مرتبط با صفات مهم در انواع گیاهان به امری متداول در برنامه‌های اصلاحی تبدیل شده است. سمیع‌زاده و همکاران (۲۱) دو نشانگر RAPD که احتمالاً مرتبط با طول غلاف در کلزا هستند را شناسایی کردند. راجکان و همکاران (۱۹) دو نشانگر RAPD مرتبط با میزان اسید لینولنیک و یک نشانگر RAPD مرتبط با میزان اسید اروسیک در کلزای بهار را گزارش کردند، اما در خصوص تحمل به سرما در گیاهان مختلف هم مطالعاتی برای یافتن نشانگرهای مولکولی پیوسته انجام شده است. گیو و همکاران (۱۳) در مطالعه‌ای توانستند سه نشانگر SSR مرتبط با تحمل به سرما در گیاه چمن ژاپنی (*Zoysia wild*) شناسایی و معرفی کنند. سوح و همکاران (۲۵) هشت نشانگر SSR مرتبط با تحمل به سرما را

منابع مورد استفاده

1. Ahmad Jan, S., N. Bibi, Z. Khan Shinwari, M. Ashiq Rabbani, S. Ullah and A. Qadir and Nadar Khan. 2017. Impact of salt, drought, heat and frost stresses on morpho-biochemical and physiological properties of *Brassica species*: An updated review. *Journal of Rural Development and Agriculture* 2(1): 1-10.
2. Asghari, A., S. A. Mohammadi, M. Moghadam, M. Toorchi and A. Dabagh-Mohammadi Nasab. 2005. Mapping of cold resistance genes in rapeseed (*Brassica napus* L.) using microsatellite markers. *Iranian Journal of Crop Sciences* 7: 202-211. (In Farsi).
3. Barzan, Z., M. Dehdari and R. Amiri Fahliani. 2015. Study of genetic diversity in rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes using microsatellite markers. *Journal of Agricultural Biotechnology* 7(1): 29-41. (In Farsi).
4. Beltrano, J. and E. Ronco. 2008. Improved tolerance of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) to drought stress and rewatering by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus claroideum*. *Journal of Plant Physiology* 20: 29-31.
5. Burbulis, N., V. Jonytienė, A. Blinstrubienė, R. Kuprienė, V. Liakas and I. Vagusevičienė. 2012. Cold tolerance of *Brassica napus* L. as influenced by weather conditions during wintering. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 10: 277-280.
6. Cebert, E. and W. Rufina. 2007. Genetic variation among winter canola cultivars to freezing temperatures during flowering and early seed formation. In: Proceedings of the ASA-CSSACSSA. International Annual Meetings, New Orleans, Louisiana, PP: 4-8.
7. Chengci, C., J. Grant, N. Karnes, W. David, J. Gregory and J. Duane. 2005. Determining the feasibility of early seeding canola in the Northern Great Plains. *Agronomy Journal* 97: 1252-1262.
8. Dhawan, A. K. 1985. Freezing in oiled *Brassica* spp. some factors affecting injury. *Journal of Agricultural Sciences* 104: 513- 518.
9. FAO. 2008. Available online at <http://FAO.org>. FAOSTATE. Agriculture Statistics.
10. Farshadfar, E. 2000. Application of Quantitative Genetics in Plant Breeding. Razi UnivPress, Iran. (In Farsi).
11. Fernandez, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: C. G. Kuo, (Ed.). In: Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress. AVRDC Publication, Tainan, Taiwan. PP. 257-270.
12. Fowler, D. B., L. V. Gusta and N. J. Tyler. 1981. Selection for winterhardiness in wheat. III. Screening methods. *Crop Science* 21: 896-901.
13. Guo, H. L., J. P. Xuan, J. X. Liu, Y. M. Zhang and Y. Q. Zheng. 2012. Association of molecular markers with cold tolerance and green period in zoysiagrass (*Zoysia willd* L.). *Breeding Science* 62: 320-327.
14. Jamali, B. 2011. Cultivation of canola. Available online at: <http://www.agri-borkhar.ir/Portals/5/zerat-kolza.doc>.
15. Joshi, S. C., S. Chandra and L. M. S. Palni. 2007. Differences in photosynthetic characteristics and accumulation of osmoprotectants in saplings of evergreen plant grown inside and outside a glasshouse during the winter season. *Photosynthetica* 45: 594-600.
16. Kafi, M., A. Borzouei, A. Kamandi and J. Nabati. 2008. Environmental Stress Physiology of Plants. Publications Jihad Mashhad University. Mashhad. (In Farsi).
17. Kumar, D. 1997. Crop Response to Abiotic Stresses, Vol 2: Oilseed. Scientific Publishers Jodhpur, India.
18. Mossavi, A., B. Alizadeh, M. Khodarahmi and KH. Mostavafi. 2012. Investigation of cold resistance in winter canola (*Brassica napus* L.) cultivars in feld condition. *Journal of Agronomy and Plant Breeding* 8(3): 29-37. (In Farsi).
19. Rajcan, I., K. J. Kasha, L. S. Kott and W. D. Beversdorf. 1999. Detection of molecular markers associated with linolenic and erucic acid levels in spring rapeseed (*Brassica napus* L.). *Euphytica* 105: 173-181.
20. Roy, B. and A. K. Basu. 2009. Abiotic Stress Tolerance in Crop Plants: Breeding and Biotechnology. New India Publishing Agency (NIPA). Pitam Pura, New Delhi.
21. Samizadeh, H., B. Yazdisamadi, M. R. Behamta, A. Taleii and G. R. Stringham. 2007. Study of pod length trait in doubled haploid *Brassica napus* population by molecular markers. *Journal of Agricultural Science and Technology* 9: 129-136. (In Farsi).
22. Shakeri, A. 2010. Agricultural Annual Report. Available online at: <http://www.farsnews.com/newstext.php>.
23. Singh, B. D. 2005. Plant Breeding: Principles and Methods (7th Ed.). Kalyani Publishing, New Delhi.
24. Singh, S. K., V. G. Kakani, D. Brand, B. Baldwin and K. R. Reddy. 2008. Assessment of cold and heat tolerance of winter-grown canola (*Brassica napus* L.) cultivars by pollen based parameters. *Journal Agronomy and Crop Science* 194(3): 225-236.

25. Suh, J. P., Y. C. Cho, J. H. Lee, S. B. Lee, J. Y. Jung, I. S. Choi, M. K. Kim, C. K. Kim and K. K. Jena. 2013. SSR analysis of genetic diversity and cold tolerance in temperate rice germplasm. *Plant Breeding and Biotechnology* 1: 103-110.
26. Thomashow, M. F. 1990. Molecular genetics of cold acclimation in higher plants. *Advances in Genetics* 28: 99-131.
27. Urban, M. O., M. Klíma, P. Vítámvás, J. Vasek, A. A. Hilgert-Delgado and V. Kucera. 2013. Significant relationships among frost tolerance and net photosynthetic rate, water use efficiency and dehydrin accumulation in cold-treated winter oilseed rapes. *Journal of Plant Physiology* 170: 1600–1608.
28. Willenborg, J., R. Gulden, E. Johnson and S. Shirliffe. 2004. Germination characteristics of polymer-coated canola (*Brassica napus* L.) seeds subjected to moisture stress at different temperatures. *Agronomy Journal* 96: 786-791.

Evaluation of Cold Tolerance in Rapeseed (*Brassica napus* L.) Genotypes at Seedling Stage and its Association with Microsatellite Markers

Z. Barzan¹, M. Dehdari^{2*} and R. Amiri Fahliani³

(Received: September 14-2016; Accepted: December 2-2017)

Abstract

Cold is one of the most important abiotic stresses, limiting growth and yield of rapeseed in cold prone areas in Iran. In order to study the cold tolerance of selected popular rapeseed genotypes in Iran and its relationship with SSR markers, this research was conducted in two separate experiments. In the first experiment 24 genotypes of rapeseed were exposed to 25°C (as control) and 5°C (as cold stress) treatments at seedling stage. Ten days after implementing cold treatment (about 30 days after sowing), an array of morphological and physiological characteristics were measured. A wide genetic variation was observed among genotypes for the measured traits. The maximum of the genetic diversities of morphological characters in cold and non-stress conditions (60.77 and 62.22, respectively) was observed for the root dry weight. Cluster analysis classified genotypes into four groups based on the measured characters and CR3198 was the genotype identified as cold tolerant at seedling stage. This genotype indicated the greatest root length (18.25 cm), root dry weight (0.3 g), SPAD value (39.71) and Fv/Fm (0.79) and the smallest electrolyte leakage (13.02) under cold stress (5°C) treatment. Cold tolerant genotypes were characterized by a high seedling vigor. In the second experiment relationships between ten pairs of SSR markers and cold-related traits were investigated. Results of binary logistic regression showed that some SSR markers were associated with shoot and root dry weight and cold stress tolerance index. Three SSR markers including Na10-B08, Na12-E09 and Ra2-E11 were found to be related to cold stress tolerance index of rapeseed at seedling stage. In general, results of this investigation can be used for improving cold tolerance of rapeseed seedlings in breeding programs.

Keywords: Binary logistic analysis, Stress tolerance index, Stress intensity, Chlorophyll fluorescence, Electrolyte leakage

1, 2, 3. MSc. Student, Associate Professor and Assistant Professor, Respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Yasouj, Yasouj, Iran.

*. Corresponding Author, Email: adehdari@yu.ac.ir