



## ارزیابی ژنتیکی لاین‌های جو از نظر مقاومت طوقه به یخ‌زدگی و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی

الناز فرج‌زاده<sup>۱</sup>، \* محمد مقدم<sup>۲</sup>، سعید اهری‌زاد<sup>۳</sup>، کاظم قاسمی‌گل‌عدانی<sup>۴</sup>

سیدابوالقاسم محمدی<sup>۱</sup> و سمیرا هامیان<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه تبریز، آستاند گروه زراعت و اصلاح نباتات،

دانشگاه تبریز، <sup>۲</sup>دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۲/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۳/۰۳

### چکیده

به منظور ارزیابی ژنتیکی ۴۰ لاین جو از نظر مقاومت به یخ‌زدگی براساس درصد بقای طوقه، یک آزمایش گلخانه‌ای در قالب طرح کرت‌های خرد شده با ۲ تکرار اجرا شد. لاین‌های جو در کرت‌های فرعی و ۵ سطح دما (۸-، ۱۱-، ۱۳-، ۱۵- و ۱۷- درجه سانتی‌گراد) در کرت‌های اصلی منظور شدند. افزون بر این در مورد صفات فیزیولوژیکی، که بعد از عادت‌دهی و قبل از اعمال دماهای یخ‌زدگی اندازه‌گیری شدند، تجزیه داده‌ها بر مبنای طرح بلوک‌های کامل تصادفی صورت گرفت. درصد زنده‌مانی در دماهای ۱۵- و ۱۷- درجه سانتی‌گراد صفر بود. تجزیه واریانس داده‌ها بر پایه طرح کرت‌های خرد شده در دماهای ۸-، ۱۱- و ۱۳- درجه سانتی‌گراد نشان داد که اثر دما، لاین و برهم‌کنش دما در لاین بر درصد بقای طوقه معنی‌دار است. اختلاف معنی‌داری نیز بین لاین‌های مورد مطالعه از نظر  $LT_{50}$ ، درصد وزن خشک برگ، درصد وزن خشک طوقه، درصد آب برگ، درصد آب طوقه، درصد آب گیاهچه، اتلاف نسبی آب برگ و میزان پرولین در شرایط بعد از عادت‌دهی مشاهده شد. صفات  $LT_{50}$ ، درصد وزن خشک برگ، درصد آب برگ، درصد آب گیاهچه و میزان پرولین بعد از عادت‌دهی از وراثت‌پذیری بالایی برخوردار بودند و میزان پرولین بعد از عادت‌دهی بیش‌ترین توان دوم ضریب تغییرات ژنتیکی را دارا بود. گروه‌بندی لاین‌ها براساس  $LT_{50}$  و درصد زنده‌مانی در دماهای ۸-، ۱۱-، ۱۳- و ۱۵- درجه سانتی‌گراد، لاین ۳۶ (رقم Schulyer) را به‌عنوان لاین مقاوم‌تر به یخ‌زدگی طوقه و لاین‌های ۹ (با شجره (Alger / (CI10117/Choyo..)، ۳۱ (رقم ماکویی) و ۱۵ (با شجره K-096M3) را به‌عنوان لاین‌های مطلوب از نظر مقاومت به یخ‌زدگی طوقه و نیز بیش‌تر صفات فیزیولوژیکی تعیین کرد.

**واژه‌های کلیدی:** پرولین، جو، درصد زنده‌مانی طوقه، مقاومت به یخ‌زدگی،  $LT_{50}$

\* مسئول مکاتبه: [mmoghaddam@tabrizu.ac.ir](mailto:mmoghaddam@tabrizu.ac.ir)

## مقدمه

تنش سرما و خسارت‌های ناشی از آن مشکلی جهانی است و تلاش‌های زیادی برای بهبود مقاومت به یخ‌زدگی در گیاهان زراعی صورت گرفته است (بک و همکاران، ۲۰۰۴). بیش‌تر روش‌های مورد استفاده برای ارزیابی مقاومت غلات به سرما، روش‌های مستقیم است که با قرار گرفتن گیاهان یا گیاهچه‌ها در محیط‌های طبیعی و یا کنترل شده (مانند سردخانه و اتاق رشد) صورت می‌گیرد. در عین حال این روش‌ها هزینه بالا و خطای آزمایشی زیادی دارند و از این‌رو برخی پژوهش‌گران از روش‌های غیرمستقیم مانند بررسی تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی (اندازه‌گیری محتوای آب بافت، میزان اتلاف آب بافت، میزان پرولین، قندها و...) در مرحله عادت‌دهی و نیز نشان‌گرهای مولکولی استفاده می‌کنند (سالسکو و براون، ۲۰۰۱؛ فاولر و لیمین، ۲۰۰۲؛ پراسیل و همکاران، ۲۰۰۷). با وجود این، روش‌های غیرمستقیم معمولاً تنها برخی از فرآیندهای درگیر در کنترل اختلافات ژنوتیپی در تحمل به یخ‌زدگی را توصیف می‌کنند و بنابراین، تنها بخشی از پتانسیل ژنتیکی موجود در یک برنامه اصلاحی مورد استفاده قرار می‌گیرد (سالسکو و براون، ۲۰۰۱). در ارزیابی‌های مزرعه‌ای، هر چند که زنده‌مانی گیاهان زراعی در زمستان تحت تأثیر عوامل بسیاری است (سالسکو و بران، ۲۰۰۱)، ولی باز هم در بیش‌تر برنامه‌های اصلاحی به غربال‌نهایی ارقام در مزرعه اهمیت زیادی داده می‌شود (فاولر و لیمین، ۲۰۰۲). روش‌های آزمایشگاهی نیز به‌علت کنترل دما و تکرارپذیری، مورد توجه هستند. در این راستا شاخص مناسب آزمایشگاهی برای ارزیابی مقاومت به یخ‌زدگی عبارت از  $LT_{50}$  است (فاولر و لیمین، ۲۰۰۲؛ پراسیل و همکاران، ۲۰۰۷).

قرار گرفتن در معرض دمای پایین باعث ایجاد تغییرات قابل اندازه‌گیری در صفات مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی می‌شود که بیش‌تر با تحمل به سرما همبستگی دارند (فاولر و همکاران، ۱۹۹۹). بقای گیاهان در معرض دماهای پایین به ظرفیت و توانایی آن‌ها به خو گرفتن به سرما در پاسخ به محرک‌های محیطی وابسته است (کالبر و همکاران، ۲۰۰۶). بیش‌ترین میزان تحمل به یخ‌زدگی در گیاهان در پاسخ به دماهای کم (تقریباً تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد) القا می‌شود که این پدیده عادت‌دهی به سرما نام دارد (توماشو، ۱۹۹۸). تجمع ساکاروز و سایر قندهای ساده در طی عادت‌دهی به تثبیت غشاها در برابر یخ‌زدگی کمک می‌کند. این فعالیت‌ها از توسعه خسارت‌های سلولی جلوگیری می‌کنند (ماهاجان و توتیجا، ۲۰۰۵). در بیش‌تر گیاهان تجمع پرولین آزاد در پاسخ به تنش‌های زیستی و غیرزیستی رخ می‌دهد (هیر و کرس، ۱۹۹۷). همبستگی معنی‌داری بین میزان پرولین در شرایط بعد

از عادت‌دهی و مقاومت به یخزدگی در گندم گزارش شده است (دورفلینگ و همکاران، ۱۹۹۰). به اعتقاد برخی از پژوهش‌گران در طی عادت‌دهی به سرما وزن خشک طوقه و اندام‌های هوایی افزایش یافته و درصد آب طوقه کاهش نشان می‌دهد. تجمع ماده خشک اشاره به تولید انرژی در طی دوره عادت‌دهی دارد (فاولر و کارلز، ۱۹۷۹). پراسیل و همکاران (۲۰۰۱) بیان نمودند که بیش‌تر تغییرات در محتوای آب برگ‌های بالغ به‌علت کاهش آب نیست، بلکه به‌علت تجمع زیاد ماده خشک می‌باشد. تحمل به یخزدگی طوقه نیز یکی از مهم‌ترین صفات برای ارزیابی سازگاری زمستانی محسوب می‌شود. در پژوهشی رابطه بین شاخص بقای مزرعه‌ای و  $LT_{50}$  طوقه در گندم و جو عادت‌دهی شده به سرما بررسی شده و همبستگی بالایی بین آن‌ها گزارش شده است (بریجر و همکاران، ۱۹۹۶). گزینش برای تحمل به یخزدگی طوقه در نهایت باعث گزینش ارقام، ژرم‌پلاسم‌ها و جمعیت‌هایی با سازگاری زمستانی بالا می‌شود (مارشال و کولب، ۱۹۸۲؛ لیوینگستون و همکاران، ۲۰۰۴). به‌طورکلی تحمل به یخزدگی به مجموعه پیچیده‌ای از صفات وابسته است که از فعالیت بسیاری از ژن‌ها ناشی می‌شود. در نتیجه تعدادی از دانشمندان استفاده از چند روش را برای تعیین تحمل به یخزدگی گیاهان توصیه می‌کنند (فاولر و لیمین، ۲۰۰۲؛ پراسیل و همکاران، ۲۰۰۷).

گنج‌خانلو (۲۰۰۸) ۴۰ ژنوتیپ جو را در دماهای ۶-، ۱۰-، ۱۴-، ۱۶- و ۱۸- درجه سانتی‌گراد ارزیابی کرد و چند ژنوتیپ، به‌ویژه رقم Schulyer، را که از بالاترین درصد زنده‌مانی طوقه و کم‌ترین مقدار  $LT_{50}$  برخوردار بودند، شناسایی کردند. این پژوهش به‌منظور تکمیل آزمایش قبلی با همان ژنوتیپ‌ها ولی در دماهای متفاوت (۸-، ۱۱-، ۱۳-، ۱۵- و ۱۷-) در راستای شناسایی لاین‌های متحمل به یخزدگی در جو و تعیین ارتباط برخی از صفات فیزیولوژیکی، از جمله میزان پرولین قبل و بعد از عادت‌دهی، با درصد بقای طوقه صورت گرفت.

### مواد و روش‌ها

مواد گیاهی مورد استفاده شامل ۴۰ لاین جو بود که بذره‌های آن‌ها از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شد (جدول ۱).

جدول ۱ - مشخصات لاین‌های جو مورد استفاده در آزمایش.

شماره لاین	شماره لاین	کد یا نام لاین	شماره لاین	کد یا نام لاین	شماره لاین	کد یا نام لاین	شماره لاین	کد یا نام لاین	شماره لاین
۱	۲۱	A1C84-14	۲۱	Walfajre/Miraj 1	۱	EC79-10			
۲	۲۲	A1C84-15	۲۲	Knik/Rbr/Wa2196-63/3/EBC(A)	۲	EC79-13			
۳	۲۳	A2C 84-5	۲۳	Lignee 131/4341 N/Oroslan	۳	EC79-18			
۴	۲۴	A2C84-6	۲۴	YEA389-3/YEA475.4	۴	EC80-7			
۵	۲۵	A2C84-8	۲۵	Alger/(CI10117)CHOYO..	۵	EC80-11			
۶	۲۶	A2C84-11	۲۶	Ceres/W12192/Emir/3/Karoon	۶	EC80-13			
۷	۲۷	A2C84-12	۲۷	Coss/OWB 71080-44-JH	۷	EC81-11			
۸	۲۸	A2C84-14	۲۸	Comp 89-9Cr-7907/Atem/(Alpha)HC1905/(Robur)/3/...	۸	EC81-13			
۹	۲۹	A2C84-18	۲۹	Alger/(CI10117)Chooyo..	۹	EC82-5			
۱۰	۳۰	A2C84-17	۳۰	Arar/Productive	۱۰	EC82-10			
۱۱	۳۱	ماگویی	۳۱	Np106/Mim14133-Gvaxduois//Gi10143	۱۱	EC82-11			
۱۲	۳۲	CB74-2	۳۲	L.131/Gerbe//Ager-Ceres/3/(Scotia/Wa...)	۱۲	EC83-4			
۱۳	۳۳	ریحان	۳۳	Arar/L.1242	۱۳	EC83-5			
۱۴	۳۴	کوبیر	۳۴	GkOmega	۱۴	EC83-10			
۱۵	۳۵	73M4-30	۳۵	K-096M3	۱۵	EC83-12			
۱۶	۳۶	Schulyer	۳۶	Schulyer/(M.RNB89.80/NB1905/L.527)	۱۶	EC83-15			
۱۷	۳۷	L.1242	۳۷	Makouee/Zarjow/80-5151	۱۷	EC83-17			
۱۸	۳۸	Athis	۳۸	Star/Durdy	۱۸	A1C84-7			
۱۹	۳۹	EM80-7	۳۹	F2//Radical/Karat/3/Radical/4/Xemus	۱۹	A1C84-9			
۲۰	۴۰	EM80-9	۴۰	Kozir/330	۲۰	A1C84-12			

لاین‌های جو در قالب طرح کرت‌های خرد شده در ۲ تکرار در گلخانه و اتاقک رشد دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز ارزیابی شدند. به‌علت نبود فضای کافی در اتاقک رشد، تکرارها با فاصله زمانی به‌صورت بلوک‌های کامل تصادفی در اتاقک رشد منظور شدند. دما به‌عنوان عامل اصلی با ۵ سطح ۸-، ۱۱-، ۱۳-، ۱۵- و ۱۷- درجه سانتی‌گراد و لاین به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. به این منظور، گلدان‌های پلاستیکی با خاک زراعی و خاک برگ به نسبت ۲ به ۱ پر شدند. در هر گلدان ۴ لاین و از هر لاین به‌منظور به‌دست آوردن اطمینان از سبز شدن کامل ۱۵ بذر ضد‌عفونی شده توسط مانکوزب به نسبت دو در هزار، در عمق ۱ سانتی‌متری با فاصله ۲ سانتی‌متر روی ردیف و ۴ سانتی‌متر بین ردیف‌ها کاشته شدند. تعداد ۱۰ گلدان برای هر سطح دمایی در هر تکرار منظور شد. بعد از یک هفته گلدان‌ها تنک شدند. آبیاری به‌صورت منظم و در مواقع لزوم انجام گرفت. دمای گلخانه روی ۲۱ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. گلدان‌ها تا مرحله ۴-۳ برگی در گلخانه نگهداری و سپس به اتاقک رشد منتقل شدند و به‌مدت ۳ هفته در دمای روز ۴ و دمای شب ۲ درجه سانتی‌گراد با ۱۴ ساعت روشنایی (شدت نور ۲۵۰ میکرومول/مترمربع/ثانیه) و ۱۰ ساعت تاریکی عادت‌دهی شدند. بعد از عادت‌دهی از هر لاین یک گیاهچه انتخاب و قسمت برگ، طوقه و ریشه جدا گردید و وزن تر برگ‌ها و طوقه‌ها بلافاصله تعیین شد. سپس وزن خشک آن‌ها بعد از ۴۸ ساعت قرار گرفتن در آونی با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد تعیین گردید. بعد از آن درصد وزن خشک برگ و طوقه محاسبه شد. افزون بر این، وزن تر و خشک گیاهچه از مجموع وزن تر و خشک طوقه و برگ به‌دست آمد. در نهایت درصد آب برگ، طوقه و گیاهچه براساس وزن تر بافت از رابطه زیر محاسبه شد.

$$100 \times (\text{وزن تر} / (\text{وزن خشک} - \text{وزن تر})) = \text{درصد آب بافت}$$

میزان اتلاف نسبی آب برگ در شرایط بعد از عادت‌دهی از فرمول زیر به‌دست آمد (یانگ و همکاران، ۱۹۹۱):

$$RWL = [(W_1 - W_2) / W_3 (T_2 - T_1)] \times 100$$

که در آن، RWL: میزان اتلاف نسبی آب برگ،  $W_1$ : وزن تر برگ،  $W_2$ : وزن برگ بعد از قرار گرفتن در هوای آزاد به‌مدت ۴۸ ساعت،  $W_3$ : وزن خشک برگ و  $T_2 - T_1$  عبارت از فاصله زمانی بین دو اندازه‌گیری است.

برای اندازه‌گیری میزان پرولین، نمونه‌گیری قبل و بعد از عادت‌دهی صورت گرفت و غلظت پرولین در بافت‌های برگ‌ها کاملاً گسترش یافته در شرایط منجمد (۸۰- درجه سانتی‌گراد) به روش بیتس و همکاران (۱۹۷۳) اندازه‌گیری شد.

به منظور ارزیابی درصد زنده‌مانی طوقه، بعد از این‌که بوته‌ها عادت‌دهی شدند، همه ریشه‌های آن‌ها از ۲ سانتی‌متری پایین طوقه و برگ‌ها از ۱ سانتی‌متری بالای طوقه طوری قطع شدند تا بازیافت گیاهان با تولید ریشه و ساقه جدید میسر شود. سپس هر ۱۰ طوقه مربوط به یک لاین دسته‌بندی شد و شماره لاین توسط برچسب‌هایی به آن متصل شد. نمونه‌ها در ظرف‌های آلومینیومی که روی هر یک شماره گلدان و دمای مربوطه نوشته شده بود، قرار گرفتند؛ نمونه‌ها در دور ظروف طوری قرار داده شدند که طوقه‌ها به دیواره آن بچسبند. وسط ظرف‌ها با ماسه مرطوب پر شد. تمامی ظروف هر دما در سینی جداگانه گذاشته شد. سپس همه نمونه‌ها در سردخانه در دمای ثابت ۲- درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و بعد از ۱۸-۱۲ ساعت به تدریج دما کاهش داده شد و از ۸- درجه سانتی‌گراد هر ۲ ساعت یک‌بار، با مشاهده دمای موردنظر، سینی شامل نمونه‌های آن دما از سردخانه خارج و طوقه‌ها در یخچال معمولی با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا ذوب شوند. روز بعد بوته‌های مربوط به هر دما در یک خط در داخل گلدان کاشته شدند و برای هر دما از یک لاین ۱۰ بوته منظور شد. بوته‌های کشت شده به مدت ۲۱ روز در گلخانه‌ای با دمای ۲۱ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و بعد یادداشت‌برداری برای تعیین تعداد بوته‌های زنده و غیرزنده صورت گرفت و درصد زنده‌مانی طوقه از رابطه زیر محاسبه شد:

$$۱۰۰ \times (\text{تعداد گیاهچه‌ها قبل از انجماد} / \text{تعداد گیاهچه‌ها بعد از انجماد}) = \text{درصد زنده‌مانی طوقه}$$

به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، نظر به این‌که صفات فیزیولوژیکی بعد از عادت‌دهی و میزان پرولین قبل و بعد از عادت‌دهی اندازه‌گیری شدند، تجزیه واریانس داده‌ها بر مبنای طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۲ تکرار انجام پذیرفت، ولی برای آزمون انجماد از طرح اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۲ تکرار استفاده شد. با توجه به این‌که بیش‌تر داده‌های مربوط به درصد زنده‌مانی در دماهای ۱۵- و ۱۷- درجه سانتی‌گراد صفر بودند و سبب غیرنرمال شدن و غیریک‌نواختی واریانس‌های خطا شدند، داده‌های مربوط به این دو دما در تجزیه واریانس منظور نگردید. LT50 لاین‌های مورد مطالعه با استفاده از داده‌های مربوط به درصد زنده‌مانی در همه دماها و تبدیل پروبیت

محاسبه شد (دوسپکاف، ۱۹۸۴). بنابراین، تجزیه واریانس این صفت نیز در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی صورت گرفت. مقایسه میانگین لاین‌ها از طریق آزمون LSD انجام شد. در مواردی که برخی از فرض‌های تجزیه واریانس صادق نبودند، داده‌ها قبل از تجزیه، مورد تبدیل مناسب قرار گرفتند. واریانس‌های ژنتیکی و محیطی، توان دوم ضریب تغییرات ژنتیکی و وراثت‌پذیری (بین لاین‌ها) در واحد میانگین تیمارها بر مبنای امید ریاضی میانگین مربعات به شرح زیر برآورد شدند.

$$V_G = (MS_L - MS_E) / r$$

$$V_E = MS_E$$

$$CV_G^2 = (V_G / \bar{Y}^2) \times 100$$

$$h^2 = V_G / V_{Ph}$$

$$V_{Ph} = V_G + V_E / r$$

که در آن‌ها،  $V_G$ : عبارت از برآورد واریانس ژنتیکی،  $MS_L$ : میانگین مربعات لاین‌ها،  $MS_E$ : میانگین مربعات خطا،  $r$ : تعداد تکرار،  $V_E$ : برآورد واریانس خطا،  $CV_G$ : ضریب تغییرات ژنتیکی،  $\bar{Y}$ : میانگین کل،  $h^2$ : وراثت‌پذیری بین لاین‌ها و  $V_{Ph}$ : برآورد واریانس فنوتیپی در واحد میانگین تیمارها است. خطای استاندارد وراثت‌پذیری نیز از فرمول جذر واریانس نسبت‌ها (کمپتورن، ۱۹۶۹) برآورد شد. برای گروه‌بندی لاین‌های جو براساس صفات مورد مطالعه، تجزیه کلاستر بر مبنای داده‌های استاندارد شده، مقیاس توان دوم فاصله اقلیدسی و با استفاده از روش Ward انجام شد. تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS13، STATISTICA و MSTATC صورت گرفت.

### نتایج و بحث

نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس درصد زنده‌مانی طوقه‌های ۴۰ لاین جو در سه دمای ۸-، ۱۱- و ۱۳- درجه سانتی‌گراد نشان داد که F مربوط به دما، لاین و برهم‌کنش دما و لاین در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۲). معنی‌دار شدن برهم‌کنش بیان‌گر آن است که اختلاف لاین‌ها در دماهای مختلف یکسان نبوده است. از این‌رو، مقایسه میانگین لاین‌ها از نظر درصد زنده‌مانی طوقه با توجه به رفتار متفاوت لاین‌ها در دماهای مختلف، در هر دما به صورت جداگانه صورت گرفت (جدول ۳). با کاهش دما درصد زنده‌مانی در تمام لاین‌ها کاهش یافت. به‌طورکلی با توجه به مجموع

نتایج در دماهای انجماد (۸-، ۱۱-، ۱۳-، ۱۵- و ۱۷- درجه سانتی‌گراد)، لاین‌های ۱، ۹، ۱۴، ۱۵، ۱۸، ۳۱ و ۳۶ درصد زنده‌مانی بالایی را نسبت به سایر لاین‌ها داشتند. گنج‌خانلو (۲۰۰۸) با ارزیابی لاین‌های مشابه، در آزمون انجماد طوقه در دو دمای ۶- و ۱۰- درجه سانتی‌گراد لاین شماره ۳۶ را به‌عنوان لاین‌های مقاوم‌تر معرفی کردند. به‌نظر می‌رسد که لاین زمستانی و ۶ ردیفه شماره ۳۶ (رقم Schulyer) و در مرتبه بعدی لاین شماره ۱۵ از ثبات بیش‌تری نسبت به سایر لاین‌ها از نظر مقاومت به یخ‌زدگی برخوردار هستند. نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به صفات فیزیولوژیکی، میزان پرولین و  $LT_{50}$  طوقه براساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی نشان داد که بین لاین‌های جو از نظر  $LT_{50}$  طوقه، درصد وزن خشک برگ، درصد آب برگ، درصد آب گیاهیچه و میزان پرولین بعد از عادت‌دهی در سطح احتمال ۱ درصد و از نظر درصد وزن خشک طوقه، درصد آب طوقه و درصد اتلاف نسبی آب برگ در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد که نشان‌گر وجود تنوع در لاین‌های جو از نظر صفات مورد اشاره است. بین لاین‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌داری برای وزن تر طوقه، وزن تر برگ، میزان پرولین قبل از عادت‌دهی و اختلاف میزان پرولین قبل و بعد از عادت‌دهی مشاهده نشد (جدول ۴). با توجه به این‌که اختلاف میزان پرولین از تفاضل دو سری داده قبل و بعد از عادت‌دهی به‌دست آمده است، بزرگی ضریب تغییرات این صفت نسبت به میزان پرولین قبل و بعد از عادت‌دهی به‌علت تجمیع خطاهای دو متغیر قابل توجیه است.

جدول ۲- تجزیه واریانس مربوط به درصد زنده‌مانی طوقه در لاین‌های جو در آزمون انجماد.

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
تکرار	۱	۶۳۳/۷۵ <sup>ns</sup>
دما	۲	۱۳۵۱۵۸/۷۵ <sup>**</sup>
خطای اصلی	۲	۹۵۳/۷۵
لاین	۳۹	۱۰۸۴/۵۲ <sup>**</sup>
دما × لاین	۷۸	۴۴۹/۷۸ <sup>**</sup>
خطای فرعی	۱۱۷	۱۶۷/۵۹
ضریب تغییرات (درصد)		۳۴/۶۳

<sup>\*\*</sup> معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، <sup>ns</sup> غیرمعنی‌دار.



از نظر  $LT_{50}$  طوقه لاین‌های ۱۵، ۳۱ و ۳۶ میانگین  $LT_{50}$  کم‌تری را نسبت به سایر لاین‌ها دارا بودند (جدول ۵). گنج‌خانلو (۲۰۰۸) با ارزیابی همان لاین‌ها، ژنوتیپ‌های شماره ۳۶، ۱۵، ۱۸، ۹ و ۳۱ را دارای مقاومت بیش‌تر به انجماد طوقه معرفی کرد. گانشان و همکاران (۲۰۰۹) میزان  $LT_{50}$  را برای گندم زمستانه نورااستار، ۲۳- درجه سانتی‌گراد و برای گندم بهاره مانیتو، ۱۳/۳- درجه سانتی‌گراد عنوان کردند. میرزایی‌اصل و همکاران (۲۰۰۲)، اسکینر و همکاران (۲۰۰۵) و اسکینر و گارلند-کمپبل (۲۰۰۸) محدوده  $LT_{50}$  را برای گندم به‌ترتیب ۸/۲- تا ۱۶/۷-، ۹/۵- تا ۱۵/۷- و ۹/۵- تا ۱۹/۵- درجه سانتی‌گراد گزارش کردند. در حالی‌که متوسط میزان  $LT_{50}$  در این آزمایش ۹/۶۶- درجه سانتی‌گراد بود. گنج‌خانلو (۲۰۰۸) نیز با بررسی ژنوتیپ‌های جو در دماهای مختلف (۶-، ۱۰-، ۱۴-، ۱۶- و ۱۸- درجه سانتی‌گراد) متوسط  $LT_{50}$  طوقه را ۱۰/۱۴- درجه سانتی‌گراد گزارش کرد. علت این تفاوت را می‌توان به مقاوم‌تر بودن گندم به سرما در مقایسه با جو نسبت داد (گوستا و اوکونر، ۱۹۸۷). به‌طورکلی به‌نظر می‌رسد که بعد از لاین ۳۶ (رقم Schulyer)، لاین‌های ۱۵ و ۳۱ (رقم ماکویی) از نظر  $LT_{50}$  طوقه و درصد زنده‌مانی طوقه در دماهای انجماد مختلف از مقاومت خوبی به یخ‌زدگی نسبت به سایر لاین‌ها برخوردار بودند.

مقایسه میانگین مربوط به صفات فیزیولوژیکی نشان داد که به‌طورکلی لاین‌های ۱۵، ۹ و ۳۱ (رقم ماکویی) و ۳ در مجموع دارای صفات مطلوب بودند (جدول ۶)، زیرا از نظر درصد وزن خشک طوقه و درصد وزن خشک برگ دارای میانگین بالا و از نظر درصد آب طوقه، درصد آب برگ، درصد آب گیاهچه و میزان اتلاف نسبی آب برگ دارای میانگین پایینی بودند. محتوای آب طوقه و برگ با عادت دادن به سرما کاهش می‌یابد. میرزایی‌اصل و همکاران (۲۰۰۲) با بررسی ژنوتیپ‌های گندم گزارش کردند که در شرایط عادت‌دهی، ژنوتیپ‌های مقاوم به سرما از محتوای آب طوقه و برگ کم‌تر و ژنوتیپ‌های حساس از محتوای آب طوقه و برگ بیش‌تری برخوردار هستند. بافت‌های با محتوای آب کم در گندم در مقایسه با بافت‌های دارای محتوای آب زیاد مقاومت بیش‌تری به سرما تحت دماهای عادت‌دهی مشابه دارند. مقایسه لاین‌های برخوردار از  $LT_{50}$  پایین و لاین‌های دارای بیش‌ترین میزان پرولین در شرایط بعد از عادت‌دهی نشان داد که وجه مشترک کمی بین آن‌ها وجود دارد (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد که میزان پرولین در این گیاه، بسیار حساس به شرایط آزمایش بوده و با تغییر شرایط، واکنش گیاهان از نظر تولید پرولین تغییر می‌یابد. مازوکوتلی و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که در

ژنوتیپ‌های جو و گندم محتوای کل اسید آمینه طی عادت‌دهی و در آزمون‌های انجماد تغییر پیدا می‌کند، ولی تجمع پرولین نقشی در پاسخ به سرما ندارد. بررسی سه ژنوتیپ حساس، نیمه‌مقاوم و مقاوم گندم (جوادیان و همکاران، ۲۰۱۰) نشان داد که در ۳ هفته اول عادت‌دهی میزان پرولین در دو ژنوتیپ حساس و نیمه‌مقاوم به سرعت و به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. این تجمع در ژنوتیپ مقاوم تا هفته چهارم نیز ادامه داشت. همچنین تجمع پرولین در ژنوتیپ‌های زمستانه گندم بیش‌تر از ژنوتیپ‌های بهاره بود. مقدار  $LT_{50}$  این ژنوتیپ‌ها به ترتیب ۶-، ۱۵- و ۲۶- درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد.

وراثت‌پذیری صفات مختلف به همراه خطای استاندارد آن‌ها در جدول ۷ درج شده است.  $LT_{50}$ ، درصد وزن خشک برگ، درصد آب برگ، درصد آب گیاهیچه و میزان پرولین بعد از عادت‌دهی از وراثت‌پذیری بالا برخوردار بودند. این وراثت‌پذیری‌ها معنی‌دار نیز بودند زیرا مقادیر آن‌ها از ۲ برابر خطای استاندارد خود بیش‌تر شدند. در حالی‌که وزن خشک طوقه، درصد آب طوقه و درصد اتلاف آب برگ دارای وراثت‌پذیری پایین و غیرمعنی‌داری بودند. پایین بودن میزان وراثت‌پذیری، نشانگر نقش بیش‌تر محیط در کنترل این صفات و همچنین تنوع ژنتیکی کم در بین لاین‌های مورد مطالعه از نظر صفات مورد اندازه‌گیری است. گنج‌خانلو (۲۰۰۸) نیز با بررسی همان لاین‌ها وراثت‌پذیری بالا (۰/۹۷) برای  $LT_{50}$  طوقه گزارش کرد. در عین‌حال در مطالعه وی سایر صفات (به‌جز وراثت‌پذیری ۰/۷ برای وزن‌تر طوقه) از وراثت‌پذیری پایین برخوردار شدند. متفاوت بودن میزان وراثت‌پذیری برخی صفات در دو آزمایش نشان‌دهنده تأثیر بیش‌تر محیط روی صفات ارزیابی شده می‌باشد. برول‌بابل و فالور (۱۹۸۸) وراثت‌پذیری  $LT_{50}$  را تا ۰/۸۸ نیز گزارش کردند.

الناز فرج زاده و همکاران

جدول ۳- میانگین درصد زندهمانی طوقه در لاین‌های جنو در دهه‌های ۸-۱۱ و ۱۳-درجه سانتی گراد.

شماره لاین	نام لاین	درجه سانتی گراد	شماره لاین	نام لاین	درجه سانتی گراد	شماره لاین	نام لاین	درجه سانتی گراد	شماره لاین	نام لاین	درجه سانتی گراد
۰	EC79-10	۹.۵	۲۰	AIC84-14	۱۰.۰	۲۱	AIC84-14	۱۰.۰	۲۰	EC79-10	۹.۵
۱	EC79-13	۷.۰	۲۱	AIC84-15	۱۰.۰	۲۲	AIC84-15	۱۰.۰	۲۱	EC79-13	۷.۰
۲	EC79-18	۷.۵	۲۳	A2C 84-5	۹.۰	۲۳	A2C 84-5	۹.۰	۲۵	EC79-18	۷.۵
۳	EC80-7	۱۰.۰	۲۴	A2C84-6	۹.۵	۲۴	A2C84-6	۹.۵	۲۶	EC80-7	۱۰.۰
۴	EC80-11	۱۰.۰	۲۵	A2C84-8	۱۰.۰	۲۵	A2C84-8	۱۰.۰	۲۷	EC80-11	۱۰.۰
۵	EC80-13	۷.۰	۲۶	A2C84-11	۹.۰	۲۶	A2C84-11	۹.۰	۲۸	EC80-13	۷.۰
۶	EC81-11	۷.۵	۲۷	A2C84-12	۹.۰	۲۷	A2C84-12	۹.۰	۲۹	EC81-11	۷.۵
۷	EC81-13	۷.۰	۲۸	A2C84-14	۹.۰	۲۸	A2C84-14	۹.۰	۳۰	EC81-13	۷.۰
۸	EC82-5	۸.۰	۲۹	A2C84-18	۷.۵	۲۹	A2C84-18	۷.۵	۳۱	EC82-5	۸.۰
۹	EC82-10	۸.۰	۳۰	A2C84-17	۸.۰	۳۰	A2C84-17	۸.۰	۳۲	EC82-10	۸.۰
۱۰	EC82-11	۹.۵	۳۱	ماتری	۱۰.۰	۳۱	ماتری	۱۰.۰	۳۳	EC82-11	۹.۵
۱۱	EC82-11	۹.۵	۳۲	CB74-2	۸.۵	۳۲	CB74-2	۸.۵	۳۴	EC82-11	۹.۵
۱۲	EC83-4	۷.۵	۳۳	زبحان	۵.۵	۳۳	زبحان	۵.۵	۳۵	EC83-4	۷.۵
۱۳	EC83-5	۱۰.۰	۳۴	گوبر	۷.۵	۳۴	گوبر	۷.۵	۳۶	EC83-5	۱۰.۰
۱۴	EC83-10	۹.۵	۳۵	73M4-C	۱۰.۰	۳۵	73M4-C	۱۰.۰	۳۷	EC83-10	۹.۵
۱۵	EC83-12	۹.۰	۳۶	Schuliyer	۱۰.۰	۳۶	Schuliyer	۱۰.۰	۳۸	EC83-12	۹.۰
۱۶	EC83-15	۱۰.۰	۳۷	L.1242	۱۰.۰	۳۷	L.1242	۱۰.۰	۳۹	EC83-15	۱۰.۰
۱۷	EC83-17	۱۰.۰	۳۸	Athb	۵	۳۸	Athb	۵	۴۰	EC83-17	۱۰.۰
۱۸	AIC84-7	۹.۰	۳۹	EM80-7	۱۰.۰	۳۹	EM80-7	۱۰.۰	۴۱	AIC84-7	۹.۰
۱۹	AIC84-9	۸.۵	۴۰	EM80-9	۷.۵	۴۰	EM80-9	۷.۵	۴۲	AIC84-9	۸.۵
۲۰	AIC84-12	۹.۰									
	LSD	۲۵/۳									
	۱ LSD	۳۲/۸۷									

جدول ۴- تجزیه واریانس LT50، صفات فیزیولوژیکی و میزان پرولین در لاین‌های جنو.

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن تر		وزن خشکی		میزان اتلاف		میزان پرولین		میزان پرولین		اختلاف میزان پرولین قبل و بعد از عادت‌دهی
		طوقه	طوقه	آب	طوقه	برگ	برگ	قبل از عادت‌دهی	بعد از عادت‌دهی	از عادت‌دهی		
تکرار	۱	۱/۶۹ <sup>MS</sup>	۰/۰۱۴ <sup>MS</sup>	۵۰/۴۵ <sup>MS</sup>	۵۰/۴۵ <sup>MS</sup>	۲۴/۴۴ <sup>MS</sup>	۰/۰۵۳ <sup>MS</sup>	۲۹/۰۸ <sup>MS</sup>	۰/۳۴ <sup>MS</sup>	۰/۰۰۴ <sup>MS</sup>	۰/۰۰۳ <sup>MS</sup>	
لاین	۳۹	۰/۳۸ <sup>MS</sup>	۰/۰۱۳ <sup>MS</sup>	۱۳/۷ <sup>MS</sup>	۱۳/۷ <sup>MS</sup>	۱۵/۵۹ <sup>MS</sup>	۰/۰۰۲ <sup>MS</sup>	۹/۳۵ <sup>MS</sup>	۰/۰۲۸ <sup>MS</sup>	۰/۰۰۲ <sup>MS</sup>	۰/۰۰۲۷ <sup>MS</sup>	
خطا	۳۹	۰/۰۴۶	۰/۰۰۱۰	۱۳/۴۸	۱۳/۴۸	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۱۶	۸/۴۰	۰/۰۳۸	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۲۶	
غیر افزاینده	۱	۰/۰۳ <sup>MS</sup>	۰/۰۰۵ <sup>MS</sup>	۲۲/۳۵ <sup>MS</sup>	۲۲/۳۵ <sup>MS</sup>	۴۱/۳۰ <sup>MS</sup>	۰/۰۴۱ <sup>MS</sup>	۱۵۶/۵۶ <sup>MS</sup>	۰/۰۴۳ <sup>MS</sup>	۰/۰۱۹ <sup>MS</sup>	۰/۰۰۱ <sup>MS</sup>	
باقی مانده	۳۸	۰/۰۴۶	۰/۰۰۱۰	۷/۸۸	۷/۸۸	۷/۵۵	۰/۰۰۰۵	۴/۵۰	۰/۰۳۸	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۲۶	
ضرب تبادلات (درصد) <sup>۱</sup>	۹/۳۶	۲۴/۱۶	۲۵/۵۳	۴/۲۹	۳۷/۶۱	۴/۸۵	۳/۵۵	۲۱/۷۴	۶۴/۵۷	۵۹/۵۵	۱۰۹/۷۹	

<sup>۱</sup> معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد، <sup>MS</sup> معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد و <sup>MS</sup> غیرمعنی دار.

۱. ضریب تغییرات (درصد) مربوط به داده‌های اصلی (داده‌های تبدیل نشده) است.

جدول ۵- مقایسه میانگین LT<sub>50</sub> و میزان پرولین لاین های جو مورد بررسی از نظر LT<sub>50</sub> و میزان پرولین.

نام لاین	LT <sub>50</sub>		شماره لاین	میزان پرولین قبل از عادت‌دهی		میزان پرولین بعد از عادت‌دهی	
	داده‌های تبدیل شده	داده‌های اصلی		میزان پرولین قبل از عادت‌دهی	میزان پرولین بعد از عادت‌دهی		
EC79-10	۱/۸۸۹	-۱۰/۴۲۹	۲۱	۰/۰۴۷	۱/۸۷۵	-۱۰/۴۸۲	AIC84-14
EC79-13	۲/۹۹۳	-۸/۷۲۸	۲۲	۰/۰۲۷	۱/۹۱۰	-۱۰/۳۵۰	AIC84-15
EC79-18	۲/۰۰۸	-۹/۹۶۴	۲۳	۰/۰۷۳	۱/۹۷۳	-۱۰/۱۰۱	A2C84-5
EC80-7	۱/۰/۳۵۹	-۱۰/۳۵۹	۲۴	۰/۰۲۳	۲/۰۲۳	-۹/۸۹۳	A2C84-6
EC80-11	۱/۸۴۲	-۱۰/۳۰۶	۲۵	۰/۰۲۹	۱/۹۴۱	-۱۰/۳۳۰	A2C84-8
EC80-13	۲/۰۱۴	-۹/۹۱۸	۲۶	۰/۰۱۷	۱/۸۴۹	-۱۰/۵۷۸	A2C84-11
EC81-11	۲/۴۶۱	-۸/۱۳۸	۲۷	۰/۰۲۱	۲/۰۳۸	-۹/۶۹۹	A2C84-12
EC81-13	۲/۷۵۵	-۶/۴۰۸	۲۸	۰/۰۲۴	۱/۹۰۱	-۱۰/۳۳۹	A2C84-14
EC82-5	۱/۸۰۹	-۱۰/۷۲۴	۲۹	۰/۰۳۱	۲/۴۶۱	-۸/۱۳۸	A2C84-18
EC82-10	۲/۹۹۲	-۹/۹۹۲	۳۰	۰/۰۳۳	۱/۹۵۲	-۱۰/۱۵۷	A2C84-17
EC82-11	۱/۹۲۲	-۱۰/۷۸۴	۳۱	۰/۰۲۱	۱/۶۷۸	-۱۱/۱۸۳	ماگزی
EC83-4	۲/۱۳۳	-۹/۴۴۸	۳۲	۰/۰۴۲	۱/۹۷۶	-۱۰/۰۵۲	CB74-2
EC83-5	۱/۸۱۰	-۱۰/۳۳۷	۳۳	۰/۰۲۸	۲/۴۳۷	-۱۱/۷۴۰	رضحان
EC83-10	۱/۸۵۷	-۱۰/۸۷۹	۳۴	۰/۰۲۶	۲/۹۹۷	-۸/۵۴۴	کزیب
EC83-12	۱/۵۲۸	-۱۱/۶۵۹	۳۵	۰/۰۲۱	۱/۷۴۶	-۱۰/۸۶۱	73M4-C
EC83-15	۱/۸۴۲	-۱۰/۳۰۱	۳۶	۰/۰۲۸	۰/۷۴۲	-۱۳/۳۸۳	Schuliyer
EC83-17	۱/۹۷۶	-۱۰/۰۸۸	۳۷	۰/۰۱۸	۲/۰۴۵	-۹/۸۱۷	L.1242
AIC84-7	۱/۸۰۵	-۱۰/۷۱۸	۳۸	۰/۰۲۰	۲/۳۳۹	-۲/۸۴۵	Alhis
AIC84-9	۲/۸۷۲	-۹/۷۰۱	۳۹	۰/۰۳۴	۱/۹۰۲	-۱۰/۳۳۵	EM80-7
AIC84-12	۱/۹۰۶	-۱۰/۳۳۲	۴۰	۰/۰۲۵	۳/۳۱۸	-۲/۸۵۸	EM80-9
میانگین کل	۰/۳۳۲			۰/۰۲۸		۰/۰۵۲	
LSD ه درصد	۰/۵۲۱			۰/۰۵۴		۰/۰۲۸	

الناز فرج‌زاده و همکاران

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیکی لاین‌های مورد مطالعه جو.

شماره لاین	نام لاین	درصد وزن خشک	درصد آب	وزن تر برگ (گرم)	درصد آب برگ	میزان اتلاف آب نسبی برگ	درصد وزن خشک برگ		درصد آب گیاهچه	
							اصلی	تبدیل شده	اصلی	تبدیل شده
۱	EC79-10	۱۸/۱۷۹	۸۱/۸۲۱	۰/۸۲۰	۸۸/۷۳۵	۱۴/۳۵۴	۰/۰۹۳	۱۱/۲۶۵	۱/۲۰۸	۸۷/۴۰۶
۲	EC79-13	۱۲/۳۱۲	۸۷/۶۸۸	۱/۰۷۵	۸۷/۵۵۷	۱۴/۱۹۹	۰/۰۸۱	۱۲/۴۴۲	۱/۲۱۱	۸۷/۵۶۹
۳	EC79-18	۱۸/۸۸۹	۸۱/۱۱۱	۰/۸۴۵	۸۳/۰۴۸	۱۱/۶۱۰	۰/۰۶۶	۱۶/۹۵۲	۱/۱۴۸	۸۲/۷۴۵
۴	EC80-7	۱۰/۸۷۳	۸۹/۱۲۷	۱/۲۷۰	۸۷/۴۴۹	۱۲/۶۴۹	۰/۰۸۷	۱۱/۵۵۰	۱/۲۲۶	۸۷/۵۷۰
۵	EC80-11	۱۲/۵۷۵	۸۷/۴۲۵	۱/۰۱۵	۸۷/۳۴۳	۱۲/۷۵۶	۰/۰۷۹	۱۲/۶۵۷	۱/۲۰۸	۸۷/۴۰۹
۶	EC80-13	۱۳/۳۴۹	۸۶/۶۵۱	۱/۴۶۰	۸۷/۴۷۱	۱۴/۱۲۱	۰/۰۸۱	۱۲/۵۲۹	۱/۲۰۸	۸۷/۳۴۴
۷	EC81-11	۱۷/۹۳۲	۸۲/۰۶۸	۰/۹۴۵	۸۷/۸۱۶	۱۲/۰۱۸	۰/۰۸۲	۱۲/۱۸۴	۱/۱۹۹	۸۶/۸۰۴
۸	EC81-13	۱۲/۳۷۵	۸۷/۶۲۵	۱/۰۹۵	۸۷/۶۵۷	۱۲/۰۶۳	۰/۰۸۸	۱۱/۳۴۳	۱/۲۲۵	۸۷/۴۹۸
۹	EC82-5	۱۲/۵۸۳	۸۷/۴۱۸	۰/۷۴۵	۷۸/۵۳۸	۱۱/۵۰۱	۰/۰۵۷	۲۱/۴۶۲	۱/۱۱۵	۸۰/۰۷۲
۱۰	EC82-10	۱۳/۸۲۰	۸۶/۱۷۹	۰/۸۴۵	۸۲/۵۶۶	۱۳/۰۸۷	۰/۰۶۴	۱۷/۴۳۴	۱/۱۵۲	۸۳/۱۸۵
۱۱	EC82-11	۱۲/۸۳۹	۸۷/۱۶۱	۰/۸۷۰	۸۷/۵۶۲	۱۲/۷۶۳	۰/۰۸۱	۱۲/۴۳۸	۱/۲۰۹	۸۷/۴۵۶
۱۲	EC83-4	۱۰/۹۱۷	۸۹/۰۸۳	۰/۸۹۵	۸۸/۲۶۱	۱۴/۱۱۳	۰/۰۸۶	۱۱/۷۳۹	۱/۲۲۳	۸۸/۳۸۲
۱۳	EC83-5	۱۲/۳۳۳	۸۷/۶۶۷	۱/۱۹۰	۸۷/۴۰۶	۱۳/۳۲۱	۰/۰۸۶	۱۱/۵۹۳	۱/۲۲۱	۸۸/۲۶۸
۱۴	EC83-10	۱۳/۵۵۰	۸۶/۴۵۰	۱/۱۱۰	۸۷/۶۱۱	۱۴/۵۷۷	۰/۰۸۲	۱۲/۳۸۹	۱/۲۰۸	۸۷/۳۲۱
۱۵	EC83-12	۱۹/۳۱۲	۸۰/۶۸۸	۰/۷۷۰	۷۸/۱۸۷	۱۱/۱۸۰	۰/۰۵۳	۲۱/۸۱۳	۱/۰۹۵	۷۸/۵۱۷
۱۶	EC83-15	۱۷/۷۳۸	۸۲/۲۶۲	۱/۲۲۵	۸۹/۸۳۲	۱۲/۴۷۶	۰/۱۰۳	۱۰/۱۶۸	۱/۲۳۴	۸۹/۰۶۴
۱۷	EC83-17	۱۶/۵۰۳	۸۳/۴۹۷	۰/۹۳۰	۸۵/۵۶۴	۱۲/۲۳۸	۰/۰۷۰	۱۴/۴۳۶	۱/۱۷۷	۸۵/۲۶۲
۱۸	A1C84-7	۱۰/۸۳۳	۸۹/۱۶۷	۱/۲۲۰	۸۷/۰۶۸	۱۳/۴۰۵	۰/۰۷۸	۱۲/۹۳۲	۱/۲۰۷	۸۷/۳۰۶
۱۹	A1C84-9	۹/۶۶۷	۹۰/۳۳۳	۰/۹۲۰	۸۷/۴۸۰	۱۲/۲۰۷	۰/۰۸۸	۱۱/۵۱۹	۱/۲۲۹	۸۸/۷۹۲
۲۰	A1C84-12	۱۳/۲۸۹	۸۶/۷۱۰	۱/۱۳۵	۸۴/۱۹۱	۱۱/۶۴۴	۰/۰۶۵	۱۵/۸۰۹	۱/۱۶۹	۸۴/۶۱۵
۲۱	A1C84-14	۱۴/۸۷۲	۸۵/۱۲۸	۰/۸۵۵	۸۶/۳۷۹	۱۴/۱۱۵	۰/۰۷۴	۱۳/۶۲۱	۱/۱۹۱	۸۶/۲۴۳
۲۲	A1C84-15	۱۱/۸۷۵	۸۷/۱۲۵	۱/۴۲۰	۸۶/۱۱۲	۱۵/۸۶۵	۰/۰۷۳	۱۳/۸۸۷	۱/۱۹۳	۸۶/۳۸۸
۲۳	A2C 84-5	۱۱/۸۷۵	۸۷/۱۲۵	۱/۲۹۰	۸۷/۲۲۳	۲۴/۰۱۰	۰/۰۸۳	۱۲/۷۷۶	۱/۲۰۸	۸۷/۲۹۴
۲۴	A2C84-6	۱۲/۹۱۷	۸۷/۰۸۳	۰/۸۳۵	۸۷/۷۸۰	۱۵/۰۱۱	۰/۰۸۲	۱۲/۲۱۹	۱/۲۱۲	۸۷/۶۲۵
۲۵	A2C84-8	۱۷/۵۳۵	۸۲/۴۶۵	۰/۳۹۵	۸۸/۵۵۳	۱۳/۵۸۲	۰/۰۸۸	۱۱/۴۴۷	۱/۲۱۴	۸۷/۷۴۵
۲۶	A2C84-11	۱۴/۹۹۹	۸۵/۰۰۰	۱/۱۶۵	۸۷/۴۴۹	۱۲/۵۳۶	۰/۰۸۷	۱۱/۵۵۰	۱/۲۲۳	۸۸/۳۳۱
۲۷	A2C84-12	۱۴/۹۹۹	۸۵/۰۰۰	۰/۹۹۵	۸۷/۴۶۱	۱۳/۴۵۶	۰/۰۸۱	۱۲/۵۳۹	۱/۲۰۵	۸۷/۱۴۹
۲۸	A2C84-14	۱۱/۴۱۸	۸۷/۵۸۲	۰/۹۱۵	۸۶/۰۴۸	۱۴/۹۸۳	۰/۰۷۳	۱۳/۹۵۱	۱/۱۹۴	۸۶/۴۱۷
۲۹	A2C84-18	۱۶/۵۹۷	۸۳/۴۰۳	۰/۹۶۰	۸۹/۷۸۷	۱۰/۹۴۹	۰/۰۹۸	۱۰/۲۱۳	۱/۲۳۶	۸۹/۱۶۹

ادامه جدول ۶- مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیکی لاین‌های مورد مطالعه جو.

شماره لاین	نام لاین	درصد وزن خشک	درصد آب طوفه	وزن تر برگ (گرم)	درصد آب برگ	میزان اتلاف آب نسبی برگ	درصد وزن خشک برگ			درصد آب گیاهچه
							داده‌های اصلی	داده‌های تبدیل شده	داده‌های تبدیل شده	
۳۰	A2C84-17	۱۴/۷۲۴	۸۵/۲۷۶	۰/۷۳۰	۸۸/۹۴۰	۱۳/۵۴۹	۰/۰۹۰	۱۱/۰۵۸	۱/۲۱۹	۸۸/۱۳۴
۳۱	ماکوبی	۱۴/۳۳۳	۸۵/۶۶۷	۰/۵۷۵	۷۹/۳۴۸	۱۰/۷۷۲	۰/۰۵۷	۲۰/۶۵۲	۱/۱۱۹	۸۰/۴۶۲
۳۲	CB74-2	۱۵/۳۳۳	۸۴/۶۶۷	۰/۹۳۰	۸۶/۱۷۱	۱۴/۱۳۶	۰/۰۷۲	۱۳/۸۲۹	۱/۱۸۷	۸۵/۹۹۲
۳۳	ریحان	۱۷/۹۱۲	۸۲/۰۸۸	۰/۹۶۰	۸۵/۷۱۵	۱۲/۰۳۹	۰/۰۷۴	۱۴/۲۸۵	۱/۱۷۷	۸۵/۰۹۰
۳۴	کویر	۱۶/۱۲۱	۸۳/۸۷۹	۰/۸۶۰	۸۷/۴۰۴	۱۴/۲۷۲	۰/۰۷۹	۱۲/۵۹۶	۱/۲۰۲	۸۶/۹۶۰
۳۵	73M4-C	۱۸/۷۵۰	۸۱/۲۵۰	۰/۷۰۰	۸۶/۲۴۶	۱۲/۲۰۸	۰/۰۷۴	۱۳/۷۵۴	۱/۱۷۶	۸۵/۲۲۲
۳۶	Schulyer	۱۶/۲۵۰	۸۳/۷۵۰	۰/۷۷۰	۸۵/۰۳۴	۱۲/۳۱۲	۰/۰۶۸	۱۴/۹۶۶	۱/۱۷۳	۸۴/۸۸۳
۳۷	L.1242	۱۱/۲۸۶	۸۸/۷۱۴	۱/۱۹۵	۸۸/۵۳۴	۱۴/۳۷۴	۰/۰۸۷	۱۱/۴۶۶	۱/۲۲۵	۸۸/۵۴۶
۳۸	Aths	۱۵/۷۹۳	۸۴/۲۰۷	۱/۴۹۰	۸۸/۶۲۳	۱۴/۴۱۹	۰/۰۸۸	۱۱/۳۷۷	۱/۲۱۹	۸۸/۱۵۶
۳۹	EM80-7	۱۲/۲۲۲	۸۷/۷۷۸	۱/۰۰۰	۸۶/۸۰۴	۱۴/۱۰۲	۰/۰۷۸	۱۳/۱۹۵	۱/۲۰۳	۸۷/۰۱۰
۴۰	EM80-9	۱۵/۵۲۶	۸۴/۴۷۴	۰/۸۴۵	۸۴/۶۱۵	۱۰/۴۷۱	۰/۰۶۹	۱۵/۳۸۵	۱/۱۷۰	۸۴/۵۷۲
	LSD ۵ درصد	۴/۷۳۲	۴/۷۳۲	۰/۴۱۳	۲/۵۸۴	۳/۵۷۸	۰/۰۱۷	۰/۰۳۸		
	LSD ۱ درصد	۶/۸۱۷	۶/۸۱۷	۰/۵۹۵	۳/۷۲۳	۵/۱۵۳	۰/۰۲۴	۰/۰۵۴		

بیش‌ترین توان دوم ضریب تغییرات ژنتیکی را میزان پرولین بعد از عادت‌دهی دارا بود (جدول ۷). هر چند که بیش‌ترین توان دوم ضریب تغییرات ژنتیکی مربوط به میزان پرولین بعد از عادت‌دهی بود، ولی وراثت‌پذیری آن کم‌تر از وراثت‌پذیری  $LT_{50}$  به‌دست آمد. این موضوع نشان می‌دهد که پرولین بیش‌تر از  $LT_{50}$  در معرض تغییرات محیطی قرار می‌گیرد.

با توجه به نبود همبستگی‌های معنی‌دار صفات فیزیولوژیکی و میزان پرولین با  $LT_{50}$  و درصد زنده‌مانی طوفه در دماهای مختلف در این بررسی (داده‌ها درج نشده‌اند)، گروه‌بندی لاین‌ها براساس این صفات به‌صورت جداگانه صورت گرفت. نظر به زنده‌مانی برخی لاین‌ها در دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد و اهمیت درصد زنده‌مانی در دماهای مختلف، از نتایج درصد زنده‌مانی در دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد نیز برای گروه‌بندی لاین‌ها استفاده شد. گروه‌بندی لاین‌های جو مورد مطالعه براساس  $LT_{50}$  و درصد زنده‌مانی در دماهای ۸-، ۱۱-، ۱۳- و ۱۵- درجه سانتی‌گراد در شکل ۱ مشاهده می‌شود.

نتایج انحراف میانگین گروه‌ها از میانگین کل و درصد انحراف آنها از میانگین کل برای ۴ گروه به‌دست آمده در جدول (۸) درج شده است. براساس درصد انحراف هر گروه از میانگین کل گروه‌ها ملاحظه گردید که لاین ۳۶ در گروه ۴ از نظر  $LT_{50}$  و درصد زنده‌مانی در دماهای ۸-، ۱۱-، ۱۳- و ۱۵- درجه سانتی‌گراد بیش‌ترین انحراف مثبت از میانگین کل را نسبت به سایر گروه‌ها دارد. بعد از لاین ۳۶، لاین‌های گروه ۲ بیش‌ترین انحراف مثبت از میانگین کل را از نظر  $LT_{50}$ ، درصد زنده‌مانی در دمای ۸- و ۱۱- درجه سانتی‌گراد نشان دادند. از نظر درصد زنده‌مانی در دمای ۱۳- درجه سانتی‌گراد، لاین‌های این گروه به‌همراه لاین‌های گروه ۲ تا حدودی بهتر از لاین‌های گروه ۳ بودند. لاین‌های گروه ۳ بیش‌ترین انحراف مثبت را از نظر  $LT_{50}$  و بیش‌ترین انحراف منفی را از نظر درصد زنده‌مانی در دمای ۸-، ۱۱-، ۱۳- و ۱۵- درجه سانتی‌گراد داشتند. براساس این نتایج لاین ۳۶ (رقم Schulyer) به‌عنوان مقاوم‌ترین لاین به سرما در میان ۴۰ لاین مورد بررسی شناسایی شد. لاین‌های ۳۸، ۴۰ و ۸ حساس‌ترین لاین‌ها به سرما بودند. براساس این گروه‌بندی بعد از لاین ۳۶ لاین‌های گروه ۲، به‌ویژه لاین‌های ۱۵، ۳۱، ۱۸، ۱۴، ۹ و ۱ (جدول ۳) از مقاومت بیش‌تری به تنش انجماد برخوردار بودند.

جدول ۷- واریانس ژنتیکی و محیطی، توان دوم ضریب تغییرات ژنتیکی، وراثت‌پذیری (بین لاین‌ها) در واحد میانگین ۴۰ لاین جو.

واریانس ژنتیکی	واریانس محیطی	توان دوم ضریب تغییرات ژنتیکی (درصد)	وراثت‌پذیری (بین لاین‌ها) $\pm$ خطای استاندارد
۰/۱۶۱	۰/۰۴۶	۳/۸۹۵	۰/۸۷۵ ( $\pm 0/089$ )
۲/۹۱۲	۷/۸۷۹	۱/۴۰۸	۰/۴۲۵ ( $\pm 0/850$ )
۲/۹۱۲	۷/۸۷۹	۰/۰۳۹	۰/۴۲۵ ( $\pm 0/850$ )
۶/۶۱۸	۲/۳۵۰	۳/۸۳۹	۰/۸۴۹ ( $\pm 0/112$ )
۶/۶۱۸	۲/۳۵۰	۰/۰۸۸	۰/۸۴۹ ( $\pm 0/112$ )
۴/۸۵۵	۲/۵۲۶	۰/۰۶۵	۰/۷۹۳ ( $\pm 0/163$ )
۲/۴۲۱	۴/۵۰۳	۱/۳۶۱	۰/۵۱۸ ( $\pm 0/584$ )
۰/۰۰۰۷۵	۰/۰۰۰۵	۲۷/۷۳۷	۰/۷۵۰ ( $\pm 0/209$ )

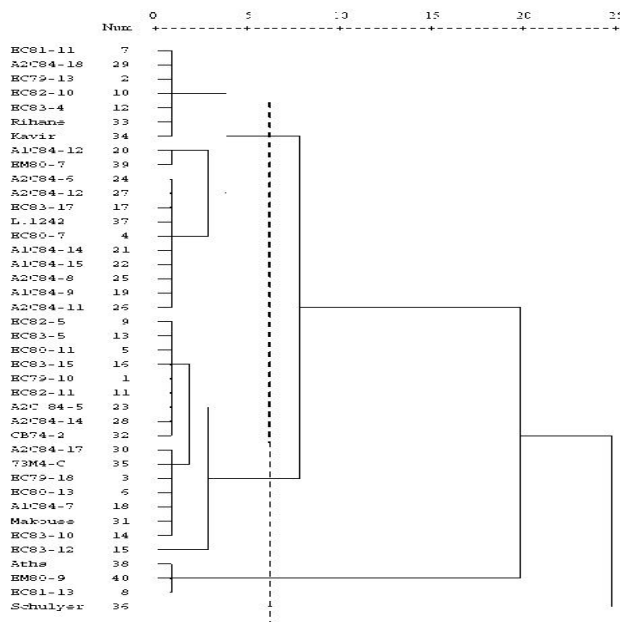
\* اعداد مربوط به داده‌های اصلی (داده‌های تبدیل نشده) هستند.

گروه‌بندی براساس صفات مورفوفیزیولوژیکی و میزان پرولین، لاین‌های جو را به ۴ گروه تقسیم‌بندی کرد (شکل ۲). نتایج انحراف گروه‌ها از میانگین کل و درصد انحراف آن‌ها از میانگین کل برای ۴ گروه به‌دست آمده در جدول ۹ درج شده است. لاین‌های گروه ۱ از نظر درصد وزن خشک طوقه بیش‌ترین انحراف مثبت از میانگین کل و از نظر درصد آب طوقه بیش‌ترین انحراف منفی از میانگین کل را نشان دادند. لاین‌های گروه ۲ از نظر درصد وزن خشک برگ بیش‌ترین انحراف مثبت و از نظر وزن تر طوقه، وزن تر برگ، درصد آب برگ، درصد آب گیاهچه و درصد اتلاف آب برگ بیش‌ترین انحراف منفی از میانگین کل را داشتند. گروه ۳ از نظر میزان پرولین قبل از عادت‌دهی، میزان پرولین بعد از عادت‌دهی و اختلاف میزان پرولین قبل و بعد از عادت‌دهی بیش‌ترین انحراف مثبت از میانگین کل را دارا بود. لاین‌های گروه ۴ از نظر وزن تر طوقه، درصد آب طوقه، وزن تر برگ، درصد آب برگ، درصد آب گیاهچه و درصد اتلاف آب برگ بیش‌ترین انحراف مثبت و از نظر میزان پرولین قبل از عادت‌دهی، میزان پرولین بعد از عادت‌دهی و اختلاف میزان پرولین قبل و بعد از عادت‌دهی بیش‌ترین انحراف منفی از میانگین کل را دارا بودند. براساس این گروه‌بندی لاین‌های گروه ۲ به‌علت داشتن بیش‌ترین انحراف مثبت از میانگین کل برای درصد وزن خشک برگ و بیش‌ترین انحراف منفی برای بیش‌تر صفات نامطلوب مرتبط با مقاومت به سرما به‌عنوان لاین‌های مطلوب و لاین‌های گروه ۴ به‌علت داشتن بیش‌ترین انحراف مثبت از میانگین کل برای بیش‌تر صفات نامطلوب به‌عنوان لاین‌های نامطلوب شناسایی شدند. از این‌رو، می‌توان لاین‌های ۹، ۳۱ (رقم ماکویی) و ۱۵ را از نظر صفات مورفوفیزیولوژیکی مرتبط با مقاومت به سرما در زمره لاین‌های مطلوب به‌شمار آورد. با توجه به بالا بودن ضریب تغییرات خطای آزمایش در مورد میزان پرولین، از جمع‌بندی مربوط به ارزش لاین‌ها در خصوص این ویژگی خودداری می‌شود و بهتر است آزمایش‌های تکمیلی در این مورد انجام گیرد.

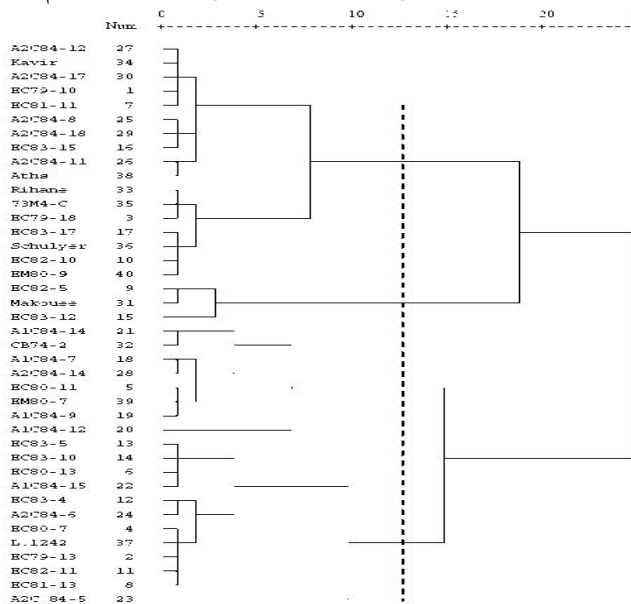
به‌طورکلی با توجه به نبود همبستگی‌های معنی‌دار بین  $LT_{50}$  و صفات مورفوفیزیولوژیکی، بالا بودن میزان وراثت‌پذیری  $LT_{50}$  (برول‌بابل و فاولر، ۱۹۸۸؛ گنج‌خانلو، ۲۰۰۸) و رابطه مثبت این صفت با درصد زنده‌مانی در این مطالعه و پژوهش‌های برخی از محققان (مارشال و کولب، ۱۹۸۲؛ بریجر و همکاران، ۱۹۹۶؛ لیوینگستون و همکاران، ۲۰۰۴) می‌توان در مرتبه اول لاین ۳۶ (رقم Schulyer) و در مرتبه دوم لاین‌های ۹، ۳۱ (رقم ماکویی) و ۱۵ را به‌عنوان لاین‌های برخوردار از مقاومت بیش‌تر به یخ‌زدگی در میان ۴۰ لاین مورد بررسی در نظر گرفت.







شکل ۱- گروه‌بندی لاین‌های جو براساس میانگین استاندارد شده LT50 و درصد زنده‌مانی در دماهای ۸-، ۱۱-، ۱۳- و ۱۵- درجه سانتی‌گراد با استفاده از روش Ward و توان دوم فاصله اقلیدسی.



شکل ۲- گروه‌بندی لاین‌های جو براساس میانگین استاندارد شده صفات فیزیولوژیکی و میزان پروتئین مورد مطالعه با استفاده از روش Ward و توان دوم فاصله اقلیدسی.

## منابع

1. Bates, L.S., Waldren, R.P., and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant. Soil*, 39: 205-207.
2. Beck, E.H., Heim, R., and Hansen, J. 2004. Plant resistance to cold stress: Mechanisms and environmental signals triggering frost hardening and dehardening. *J. Biosci.* 29: 449-459.
3. Bridger, G.M., Falk, D.E., McKersie, B.D., and Smith, D.L. 1996. Crown freezing tolerance and field winter survival of winter cereals in eastern Canada. *Crop Sci.* 36: 150-157.
4. Brule-Babel, A.L., and Fowler, D.B. 1988. Genetic control of cold hardiness and vernalization requirement in wheat. *Crop Sci.* 28: 879-884.
5. Dorffling, K., Schulenburg, S., Lesselich, G., and Dorffling, H. 1990. Abscisic acid and proline levels in cold hardened winter wheat leaves in relation to variety-specific differences in freezing resistance. *J. Agron. Crop. Sci.* 165: 230-239.
6. Dospikhov, B.A. 1984. *Field Experimentation* (Translated by V. Kolykhamatov). Mir Publishers, Moscow, 352p.
7. Fowler, D.B., and Carles, R.J. 1979. Growth, development and cold tolerance of fall-acclimated cereal grains. *Crop Sci.* 19: 915-922.
8. Fowler, D.B., and Limin, A.E. 2002. *Mitigation of cold stress*. Crop Development Center, University of Saskatchewan, Saskatchewan, Canada.
9. Fowler, D.B., Limin, A.E., and Ritchie, J.T. 1999. Low-temperature tolerance in cereals: Model and genetic interpretation. *Crop Sci.* 39: 626-633.
10. Ganjkanloo, E. 2008. Evaluation of barley lines for cold tolerance based on some physiological and morphological characters and their association with microsatellite markers. M.Sc. Thesis in Plant Breeding, University of Tabriz, Iran. (In Persian with English Abstract)
11. Gusta, L.V., and O'Connor, B.J. 1987. Frost tolerance of wheat, oats, barley, canola and mustard and the role of ice-nucleating bacteria. *Can. J. Plant Sci.* 67: 1155-1165.
12. Hare, P.D., and Cress, W.A. 1997. Metabolic implications of stress-induced proline accumulation in plants. *Plant Growth Reg.* 21: 79-102.
13. Javadian, N., Karimzadeh, G., Mahfoozi, S., and Ghanati, F. 2010. Cold-induced changes of enzymes, proline, carbohydrates, and chlorophyll in wheat. *Russ. J. Plant Physiol.* 57: 540-547.
14. Kempthorne, O. 1969. *An Introduction to Genetic Statistics*. The Iowa State University Press. Ames, Iowa, USA, 545p.
15. Livingston, D.P., Elwinger, G.F., and Murphy, J.P. 2004. Moving beyond the winter hardiness plateau in U.S. oat germplasm. *Crop Sci.* 44: 1966-1969.
16. Mahajan, S., and Tuteja, N. 2005. Cold, salinity and drought stresses: An overview. *Arch. Biochem. Biophys.* 444: 139-158.

17. Marshall, H.G., and Kolb, F.L. 1982. Individual crown selection for resistance to freezing stress in winter oats. *Crop Sci.* 22: 506-510.
18. Mazzucotelli, E., Tartari, A., Cattivelli, L., and Forlani, G. 2006. Metabolism of  $\gamma$ -aminobutyric acid during cold acclimation and freezing and its relationship to frost tolerance in barley and wheat. *J. Exp. Bot.* 57: 3755-3766.
19. Mirzaie-Asl, A., Yazdi-Samadi, B., Zali, A., and Sadeghian Motahhar, Y. 2002. Measuring cold resistance in wheat by laboratory tests. *Iranian J. Sci. and Technol. Agric. and Natur. Resour.* 6: 1. 177-186.
20. Prasil, I., Kadlecova-Faltusova, Z., and Faltus, M. 2001. Water and ABA content in fully expanded leaves of cold-hardened barleys. *Iceland Agric. Sci.* 14: 49-53.
21. Prasil, I.T., Prasilova, P., and Marik, P. 2007. Comparative study of direct and indirect evaluation of frost tolerance in barley. *Field Crops Res.* 102: 1-8.
22. Saulescu, N.N., and Braun, H.J. 2001. Cold tolerance, P: 111-123. In: M.P., Reynolds, J.I. Ortiz-Monaterio, and A. McNab, (eds.). *Application of Physiology in Wheat Breeding.* Mexico, D.F., CIMMYT.
23. Skinner, D.Z., Bellinger, B.S., Halls, S., Baek, K.H., Garland-Campbell, K., and Siems, W.F. 2005. Phospholipid acyl chain and phospholipase dynamics during cold acclimation of winter wheat. *Crop Sci.* 45: 1858-1867.
24. Skinner, D.Z., and Garland-Campbell, K.A. 2008. The relationship of LT50 to prolonged freezing survival in winter wheat. *Can. J. Plant Sci.* 88: 885-889.
25. Tomashow, M.F. 1998. Role of cold-responsive genes in plant freezing tolerance. *Plant Physiol.* 118: 1-8.
26. Yang, R.C., Jana, S., and Clarke, J.M. 1991. Phenotypic diversity and associations of some potentially drought-responsive characters in durum wheat. *Crop Sci.* 31: 1484-149.



## Genetic evaluation of barley lines for crown freezing resistance and several physiological characters

E. Farajzadeh<sup>1</sup>, \*M. Moghaddam<sup>2</sup>, S. Aharizad<sup>3</sup>,  
K. Ghassemi Gholezani<sup>2</sup>, S.A. Mohammadi<sup>2</sup> and S. Hamian<sup>1</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Student, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, University of Tabriz,

<sup>2</sup>Professor, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, University of Tabriz,

<sup>3</sup>Associate Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, University of Tabriz

Received: 2011-05-11; Accepted: 2012-05-24

### Abstract

In order to determine the genetics of barley lines for freezing resistance based on crown survival percentage an experiment was carried out as a split plot design on the basis of randomized complete blocks with two replications. Forty barley lines were assigned in subplots and five freezing temperatures (-8, -11, -13, -15 and -17 °C) were allocated in main plots. The results showed significant differences among lines at the temperatures -8, -11 and -13 °C. Analysis of variance of the data based on randomized complete block design showed significant differences among lines for LT50, leaf fresh weight, percentage of leaf dry weight, percentage of crown dry weight, percentage of leaf water content, percentage of crown water content, percentage of seedling water content, leaf relative water loss and the amount of proline after hardening. The heritability of LT50, percentage of leaf dry weight, percentage of leaf water content, percentage of seedling water content and amount of proline after hardening were high and amount of proline after hardening had the largest squared genetic coefficient of variation. Grouping of barley lines based on LT50 and survival percentage at the temperatures -8, -11, -13 and -15 °C, determined line 36 (Schulyer cultivar) as the most freezing tolerant and based on physiological characters indicated the lines 9 (with the pedigree of Alger/(CI10117/Choyo..), 31 (Makouee cultivar) and 15 (with the pedigree of K-096M3) as the more desirable genotypes.

**Keywords:** Proline; Barley; Crown survival percentage; Freezing resistance; LT50

---

\* Corresponding author; Email: mmoghaddam@tabrizu.ac.ir

