نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۱، شماره ۱ ، بهار ۱۳۹۲، ص. ۳۰-۲۳

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 11, No. 1, Spring. 2013, p. 23-30

ارزیابی میزان تحمل به سرما در ژنوتیپ‌های عدس با بهره‌گیری از شاخص نشت الکترولیت ها

احمد نظامی[۱]- حمید رضا خزاعی[۲]- فرزاد حسین پناهی[۳]*- سید فاضل فاضلی کاخکی[٤]

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۸/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۴/۱۸

چکیده

عدس از جمله مهم‌ترین حبوبات سردسیری است که وقوع سرمای شدید منجر به بروز خسارت در آن می‌شود. برخی از شاخص‌های فیزیولوژیک از جمله نشت الکترولیت ها در ارزیابی و شناسایی ارقام متحمل به سرمای گیاهان کاربرد داشته است. به همین منظور جهت بررسی امکان استفاده از شاخص نشت الکترولیت ها در ارزیابی تحمل به سرمای هفت ژنوتیپ عدس (MLC7، MLC60، MLC185، MLC225، MLC357، قزوین و رباط)، این ژنوتیپ ها در آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در معرض نه تیمار دمایی (صفر، ۳-، ۶-، ۹-، ۱۲-، ۱۵-، ۱۸-، ۲۱- و ۲۴- درجهٔ سانتیگراد) قرار گرفتند. نتایج نشان داد که کاهش درجه حرارت با افزایش میزان نشت الکترولیت ها در تمام ژنوتیپ های مورد ارزیابی همراه بود و تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ های عدس از نظر میزان نشت الکترولیت ها وجود داشت. بیشترین و کمترین میزان نشت الکترولیت ها به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های رباط (۲۸/۵ درصد) و MLC7 (۱۹/۴درصد) بود. همچنین سرعت افزایش نشت الکترولیت ها بین ژنوتیپ‌های مورد آزمایش متفاوت بود. شیب منحنی نشت الکترولیت ها در ژنوتیپ های MLC225 و قزوین بیشتر بود و سایر ژنوتیپ ها با سرعت کمتری به حداکثر میزان نشت خود رسیدند. همچنین دمایی که در آن ژنوتیپ ها حداکثر میزان نشت را داشتند نیز متفاوت بود، به صورتی که. ژنوتیپ های MLC7، MLC185، MLC225 و رباط در دمای ۲۱- درجه سانتیگراد حداکثر میزان نشت الکترولیت ها را داشتند، در حالیکه دمای حداکثر میزان نشت الکترولیت ها در ژنوتیپ MLC357، ۱۵- درجه سانتیگراد و در ژنوتیپ هایMLC60 و قزوین، ۱۸- درجه سانتیگراد بود. همچنین تفاوت ژنوتیپ ها از نظر LT_{50el} معنی‌دار بود و میزان آن در دامنه ۱۰/۷- درجه سانتیگراد (MLC357) تا ۱۶/۲- درجه سانتیگراد (MLC225) قرار داشت.

واژه های کلیدی: تنش سرما، هدایت الکتریکی، یخ زدگی، LT_{50el}

مقدمه

عدس (*Lens culinaris* Medik.) یکی از حبوبات سرمادوست مهم در جنوب و غرب آسیا، شمال آفریقا، شمال و جنوب آمریکا و شرق اروپاست. مشابه سایر گیاهان زراعی، تولید و باروری عدس نیز تحت تأثیر عوامل زنده و غیر زنده فراوانی قرار می‌گیرد (۸). در بین عوامل غیر زنده سرما و یخبندان از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده در کشت پاییزه عدس در غرب آسیا، آمریکا، کانادا، روسیه و مناطق مرتفع شمال آفریقا می‌باشد (۲). در گزارشات مشاهده می‌شود که این گیاه قادر به تحمل سرمای شدید نبوده و به همین دلیل کاشت آن در برخی مناطق مرتفع در فصل بهار انجام می‌شود (۲۶). از سوی دیگر در نواحی با آب و هوای مدیترانه‌ای کاشت عدس به صورت پائیزه و پس از بارندگیهای اول فصل زراعی صورت می‌گیرد و گیاه بخشی از رشد خود را طی زمستان ملایم سپری می‌کند (۸). در این مناطق به دلیل عدم وجود سرمای شدید کاشت پائیزه عدس نسبتاً موفقیت آمیز بوده و مزایای زیادی را به دنبال داشته است. در حالیکه در مناطق مرتفع در اثر کاشت بهاره، گیاه عدس با گرما و خشکی آخر فصل بهار و اوایل تابستان مواجه شده و عملکرد آن کاهش می‌یابد (۲). به همین دلیل فعالیتهای تحقیقاتی روی امکان کشت پائیزه گیاه عدس در مناطق مرتفع ترکیه (۲۳) و ایران (۱ و ۴) از چند سال پیش آغاز شده است.

جهت موفقیت کاشت پائیزه عدس در مناطق مرتفع، ارزیابی و شناسایی ارقام متحمل به سرما اهمیت بسیار زیادی دارد. اگرچه استفاده از پارامترهای آناتومیک و مورفولوژیک یکی از روش‌های رایج در شناسایی ارقام مقاوم به سرما می‌باشد، اما استفاده از پارامترهای فیزیولوژیک نیز در این راستا از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. یکی از خسارتهای تنش سرما و یخزدگی در گیاهان اختلال در ساختار

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشیاران و دانشجویان دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: agro_expert@yahoo.com)

و کارکرد غشاهای سلولی است که سبب افزایش نشت الکترولیت و سایر مواد محلول می‌شود و لذا شاخص فیزیولوژیکی مناسبی برای ارزیابی میزان خسارت وارد شده به غشا در اثر تنشهای محیطی، از جمله سرما و یخزدگی ذکر شده است (۱۲، ۱۴ و ۱۵). حفظ انسجام غشاء در دماهای پایین در کاهش میزان نشت الکترولیت و مقاومت به تنش سرما بسیار مهم می‌باشد (۲۷). ترکیب شیمیایی غشاها مخصوصاً ترکیب اسیدهای چرب آن تعیین‌کننده‌ی دمایی است که در آن غشاء از فاز ژل مانند به فاز کریستالین تغییر می‌یابد (۲۷). برخی معتقدند که خسارت سرما از دمایی شروع می‌شود که در آن آنزیم‌های تجزیه کننده‌ی لیپید، مثل لیپواکسیژناز و فسفولیپاز D فعال می‌شوند. این تغییر سبب از دست رفتن خاصیت نیمه تراوایی غشاء و به دنبال آن کاهش پایداری سلول می‌شود (۲۲).

در برخی از آزمایشات نشت الکترولیت همبستگی بسیار بالایی با بروز خسارتهای قابل مشاهده در گیاه داشته است. وانگشیر و همکاران (۲۷) گزارش دادند که نشت الکترولیت با بروز لکه‌های سیاه در برگهای پیر لیمو همبستگی مثبت داشت. همچنین نتایج آنها نشان داد که با گذشت زمان میزان نشت الکترولیت در برگهای پیر و جوانی که در معرض دماهای پایین قرار گرفته بودند افزایش یافت و این مسئله در برگهای پیر سریعتر اتفاق افتاد. آنها دریافتند که هر چند بین برگهای پیر و جوان از نظر میزان اسیدهای چرب اشباع و غیر اشباع تفاوت قابل توجهی وجود داشت اما نسبت آنها تفاوتی نداشت. کانسلون و همکاران (۱۴) نیز گزارش دادند که بین آثار ظاهری تنش سرما روی میوه‌های بادنجان و نشت الکترولیت همبستگی مثبتی وجود داشت.

آروین و دونلی (۱۰) با بررسی واکنش ارقام سیب‌زمینی به تنشهای محیطی (شوری، خشکی، گرما و سرما) نتیجه گرفتند که نشت الکترولیت ها معیار بسیار مناسبی برای ارزیابی گیاهان به تنشهای مختلف محیطی می‌باشد. زیرا این روش ساده، قابل تکرار، سریع و ارزان است، در حالیکه سایر روشهای ارزیابی همواره با برخی مشکلات و موانع همراه می‌باشد. در افزایش میزان نشت الکترولیت‌ها، هم میزان کاهش درجه حرارت (۲۴) و هم مدت زمانی که گیاهان در معرض سرما قرار می‌گیرند (۲۲) موثر می‌باشد. این یافته‌ها به وضوح نشان می‌دهد که نشت الکترولیت ها احتمالاً معیار مناسبی برای ارزیابی میزان خسارت سرما در گیاهان و یافتن ارقام متحمل، در جهت فعالیتهای به‌نژادی می‌باشد.

تحقیقات انجام شده در خصوص امکان استفاده از شاخص نشت الکترولیت در ارزیابی تحمل به سرمای عدس در شرایط کنترل شده محدود می‌باشد. لذا این آزمایش با هدف ارزیابی تحمل به سرمای هفت ژنوتیپ عدس با استفاده از این شاخص اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در پاییز سال ۱۳۸۷ به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. بذور پنج ژنوتیپ عدس دانه درشت و متحمل به سرما (MLC7، MLC60، MLC185، MLC225، MLC357) (۴) و دو توده محلی (رباط و قزوین) از بانک بذر حبوبات دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه و با قرار دادن در اتانول ۷۵ درصد به مدت یک دقیقه ضدعفونی و پس از قرار گرفتن در پنبه مرطوب در داخل پلاستیک‌های تمیز در مدت ۷۲ ساعت جوانه‌دار شدند. سپس تعداد ۸ بذر جوانه‌دار در گلدان‌های پلاستیکی حاوی مخلوطی از ماسه، خاک مزرعه و خاکبرگ به نسبت مساوی، با قطر ۱۰ سانتی‌متر و در عمق دو سانتی‌متری کشت شدند. به منظور ایجاد خوسرمایی در شرایط طبیعی گیاهچه‌ها تا مرحله ۶-۴ برگی در محیط طبیعی رشد کردند. گلدان‌ها، ۲۴ ساعت قبل از تیمار سرما آبیاری و سپس به فریزر ترموگرادیان منتقل شدند. دمای فریزر در شروع آزمایش، پنج درجه سانتیگراد بود و پس از قرار دادن نمونه‌ها با سرعت دو درجهٔ سانتی‌گراد درساعت کاهش یافت. این وضعیت شرایط را برای توزیع مجدد آب به بافت‌های گیاهی و جلوگیری از تشکیل یخ در داخل سلول‌ها که در طبیعت به‌ندرت اتفاق می‌افتد، فراهم می‌کند (۲۴). به منظور جلوگیری از پدیده فراسرما و ایجاد هستک یخ در گیاهچه‌ها و اطمینان از این که مکانیزم از نوع تحمل است و نه اجتناب، در دمای ۳- درجه سانتی‌گراد برروی گیاهان، محلول باکتری‌های ایجاد کننده هستک یخ (INBA)[1] به نحوی پاشیده شد که قشر نازکی از این محلول روی برگ‌ها را پوشاند. برای اعمال تیمار یخزدگی گیاهان تحت ۹ تیمار دمایی شامل دماهای صفر، ۳-، ۶-، ۹-، ۱۲-، ۱۵-، ۱۸-، ۲۱- و ۲۴- درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. جهت ایجاد تعادل در دمای محیط آزمایش، گیاهان در هر تیمار دمایی، به مدت یک ساعت نگه‌داری شده و سپس از فریزر خارج (۹)، و به منظور کاهش سرعت ذوب، بلافاصله به اتاقک با دمای ۱ ± ۴ درجهٔ‌سانتی‌گراد منتقل و به مدت ۲۴ ساعت در آن جا نگهداری شدند (۱۱).

به منظور تعیین درصد نشت الکترولیت ابتدا جوان‌ترین دو برگ کاملاً توسعه یافته از هر بوته جدا شد و در ویال‌های حاوی ۵۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر شده قرار گرفتند. ارلن‌ها به مدت ۶ ساعت بر روی شیکر قرار گرفته و سپس هدایت الکتریکی هر نمونه با استفاده از دستگاه EC متر(مدل Jenway) اندازه‌گیری شد (EC_1). به منظور اندازه‌گیری میزان کل نشت الکترولیت در اثر مرگ سلول، ارلن‌های حاوی نمونه‌های گیاهی به فریزر با دمای ۷۵- درجه سانتی‌گراد منتقل شده و در طول شب در این شرایط نگهداری شدند. سپس

1 - Ice nucleation active bacteria

ارلن‌ها از فریزر خارج شده و پس از ذوب یخ آنها در شرایط آزمایشگاه، مجدداً به مدت ۶ ساعت برروی شیکر قرار گرفتند و بعد از آن هدایت الکتریکی نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (EC_2). درصد نشت الکترولیت با استفاده ازمعادله ۱ محاسبه شد.

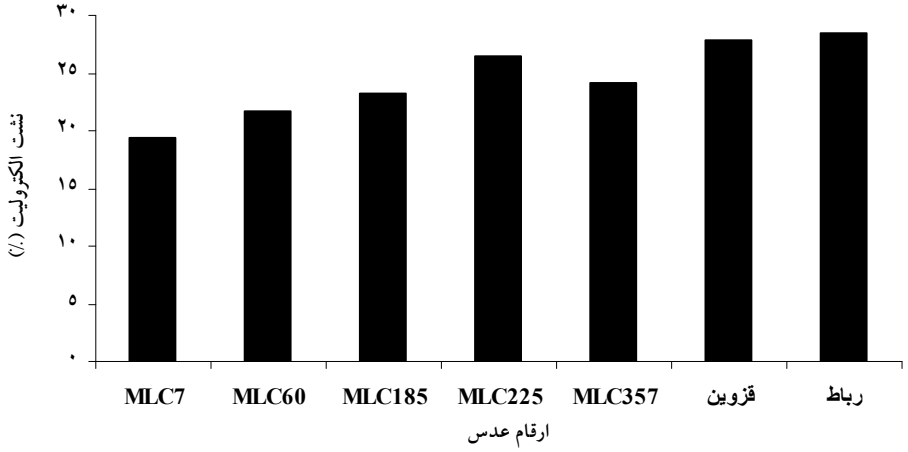
$$\% EL = (EC_1/EC_2) \times 100 \quad (۱)$$

دمای کشنده برای ۵۰ درصد نمونه‌ها (LT_{50el})[1] از طریق تعیین نقطه ی میانی بین نقاط حداقل و حداکثر مجانب منحنی درصد نشت الکترولیت ها در مقابل دماهای یخ زدگی بر اساس تابع لجستیک ترسیم و تعیین شد (۲۹). جهت تجزیه‌ی آماری داده‌ها از نرم افزار MSTATC و برای رسم نمودارها و تعیین LT_{50} از نرم افزارهای Excel وSlide Write استفاده شد. مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD انجام شد.

نتایج و بحث

ژنوتیپ های عدس از نظر درصد نشت الکترولیت ها با یکدیگر تفاوت معنی‌دار داشتند، بطوری که بیشترین درصد نشت را ژنوتیپ‌های رباط و قزوین (به ترتیب با ۲۸/۵ و ۲۷/۹ درصد) دارا بودند و ژنوتیپ MLC7 (با ۱۹/۴ درصد) کمترین درصد نشت را داشت (شکل۱). در سایر مطالعات نشت الکترولیت ها به عنوان شاخصی مناسب برای ارزیابی تحمل ارقام مختلف به تنشهای محیطی ذکر شده است (۱۰). کاردونا و همکاران (۱۳) نیز اظهار داشتند که تاثیر تنش سرما بر میزان نشت الکترولیت ها بسته به میزان تحمل به یخزدگی ارقام مختلف گیاهی متفاوت است. به نظر می رسد که تفاوت میزان نشت الکترولیت ها در ژنوتیپ‌های مختلف عدس مورد بررسی، احتمالاً ناشی از تفاوت آنها در میزان تحمل به دماهای پایین بوده است.

در بررسی روند نشت الکترولیت ها تحت تاثیر دماهای یخزدگی در ژنوتیپ‌های عدس ملاحظه می‌شود که با کاهش تدریجی دما میزان نشت الکترولیت ها افزایش پیدا کرد (شکل ۲). با وجود این و همانطوری که در شکل ۲ مشاهده می‌شود در اغلب ژنوتیپ های عدس با کاهش دما تا دمای ۱۲- درجه‌ی سانتیگراد، افزایش اندکی در میزان نشت الکترولیت ها مشاهده شد، در حالی که با کاهش بیشتر دما درصد نشت الکترولیت ها شدیدا افزایش یافت. نظامی و همکاران (۷) نیز در مطالعه خود بر روی کلزا نتیجه گرفتند که میزان نشت الکترولیت ها با کاهش دما افزایش یافت. نتایج مشابهی نیز در مطالعه بر روی ارقام گلرنگ گزارش شده است (۶). همچنین نایار و همکاران (۲۴) نیز در مطالعه خود روی نخود نتیجه گرفتند که کاهش دما باعث افزایش نشت الکترولیت ها شد. به نظر می‌رسد اختلال در ساختار غشای سلولی عامل اصلی افزایش نشت الکترولیت ها در این آزمایش می‌باشد، زیرا اثرات ناشی از تنش سرما سبب اختلال در ساختار غشا شده و حاصل این تغییرات کاهش انسجام غشاها و افزایش نشت الکترولیت ها از آنها می‌باشد (۱۲ و ۱۴).



شکل۱- درصد نشت الکترولیت ها در ژنوتیپ‌های عدس تحت تأثیر تنش یخزدگی در شرایط کنترل شده

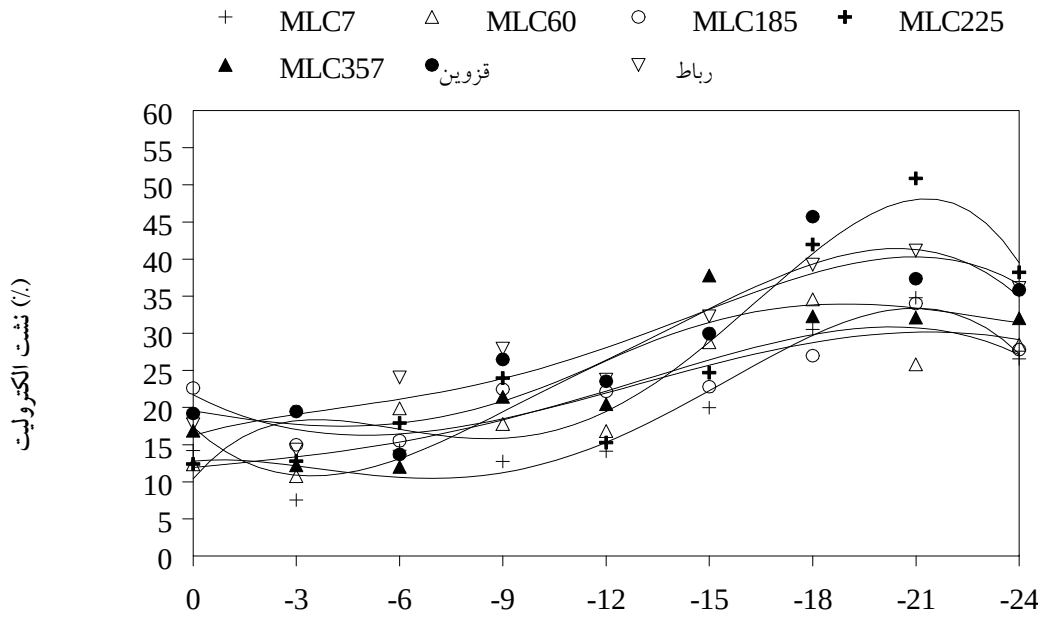
1 - Lethal temperature 50 according to the electrolyte leakage percentage

سرعت افزایش نشت الکترولیت ها بین ژنوتیپ های عدس مورد مطالعه متفاوت بود (شکل ۲). شیب منحنی نشت الکترولیت ها در ژنوتیپ های MLC225 و قزوین بیشتر بود و سایر ژنوتیپ ها با سرعت کمتری به حداکثر نشت الکترولیت ها رسیدند. همچنین دمایی که در آن حداکثر میزان نشت الکترولیت ها حادث شد بسته به ژنوتیپ ها متفاوت بود، به صورتی که ژنوتیپ های MLC7، MLC185، MLC225 و رباط در دمای ۲۱- درجه سانتیگراد به حداکثر میزان نشت رسیدند در حالیکه دمای حداکثر میزان نشت الکترولیت ها در ژنوتیپ MLC357، دمای ۱۵- درجه سانتیگراد و در ژنوتیپ هایMLC60 و قزوین، ۱۸- درجه سانتیگراد بود.

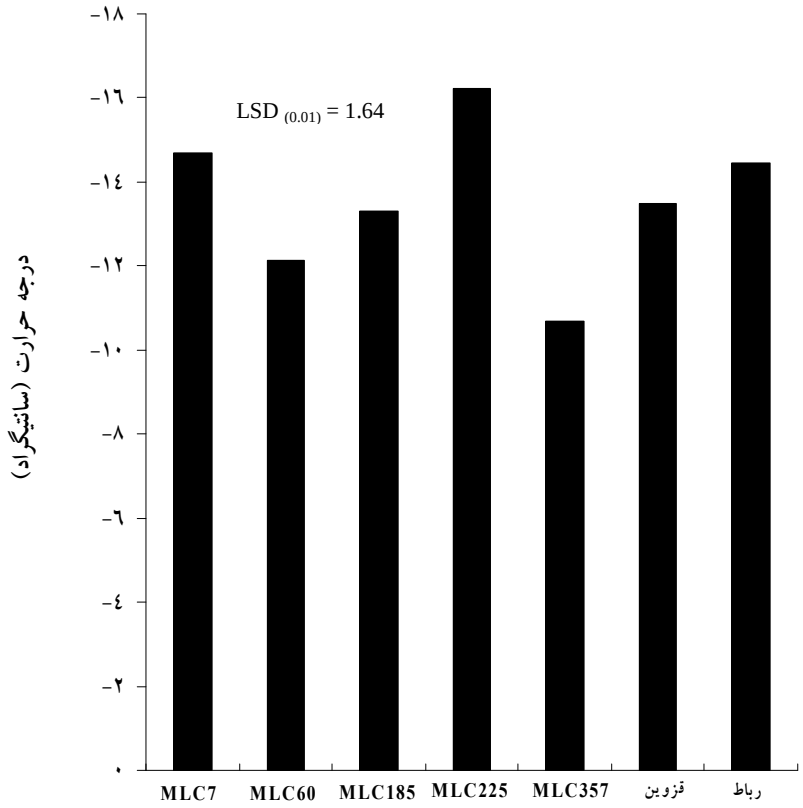
در بررسی سایر محققان (۷ و ۱۳) نیز مشاهده شده است که شیب منحنی نشت الکترولیت ها در مقابل دمای یخزدگی در ارقام متحمل به سرما کمتر از ارقام حساس به سرما است. این امر نشان می‌دهد که در شرایط تنش سرما ژنوتیپ‌های متحمل در مقایسه با ژنوتیپ‌های حساس از سرعت نشت الکترولیت کمتری برخوردار هستند. این محققان تفاوت در شیب منحنی نشت الکترولیت ها را به عنوان یکی از نشانه‌های شدت خسارت ناشی از تنش سرما در ارقام متحمل و حساس معرفی کرده اند. وجود چنین اختلافاتی بین ژنوتیپ‌های گیاهی در سایر آزمایشات نیز گزارش شده است (۵). در مطالعه دیگری نیز مشاهده شد که سرعت افزایش نشت الکترولیت ها و همچنین دمای حداکثر میزان نشت الکترولیت ها بسته به ارقام گلرنگ متفاوت بود (۶).

گاستا و فولر (۱۶) دمایی را که سبب ۵۰ درصد نشت الکترولیت‌ها از بافتهای گیاهی می‌شود، به عنوان دمای ۵۰ درصد کشندگی (LT_{50}) پیشنهاد کردند. لذا در این آزمایش LT_{50el} در ژنوتیپ‌های عدس جهت تفسیر بهتر نتایج مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج آزمایش نشان داد که LT_{50el} ژنوتیپ‌های عدس مورد بررسی در دامنه ۱۰/۷- درجه سانتیگراد تا ۱۶/۲- درجه سانتیگراد متفاوت است، به نحوی که بیش ترین LT_{50el} مربوط به ژنوتیپ MLC357 (۱۰/۷- درجه سانتیگراد) و کم ترین آن مربوط به ژنوتیپ MLC225 (۱۶/۲- درجه سانتیگراد) بود (شکل ۳). نکته قابل توجه اینکه همبستگی بالایی ($r = 80^{**}$) بین میزان نشت الکترولیت ها و LT_{50el} ژنوتیپهای عدس وجود داشت (شکل ۴).

نظامی و ناقدی نیا (۶) در مطالعه خود بر روی واکنش ارقام گلرنگ به تنش یخ زدگی، همبستگی بالایی بین میزان نشت الکترولیت ها و LT_{50} یافتند. نتایج مشابهی نیز در بررسی های دیگران گزارش شده است (۷ و ۲۵). در مطالعه حاضر همبستگی معنی داری ($r = 88^{**}$) بین درصد نشت الکترولیت‌ها و درصد بقاء گیاهان عدس وجود داشت (شکل۵).



شکل۲- تأثیردماهای یخزدگی بر روند نشت الکترولیت در ژنوتیپ‌های عدس در شرایط کنترل شده.



شکل۳- دمای ۵۰ درصد کشندگی (LT_{50el}) ژنوتیپ‌های عدس تحت تاثیر دماهای یخزدگی در شرایط کنترل شده

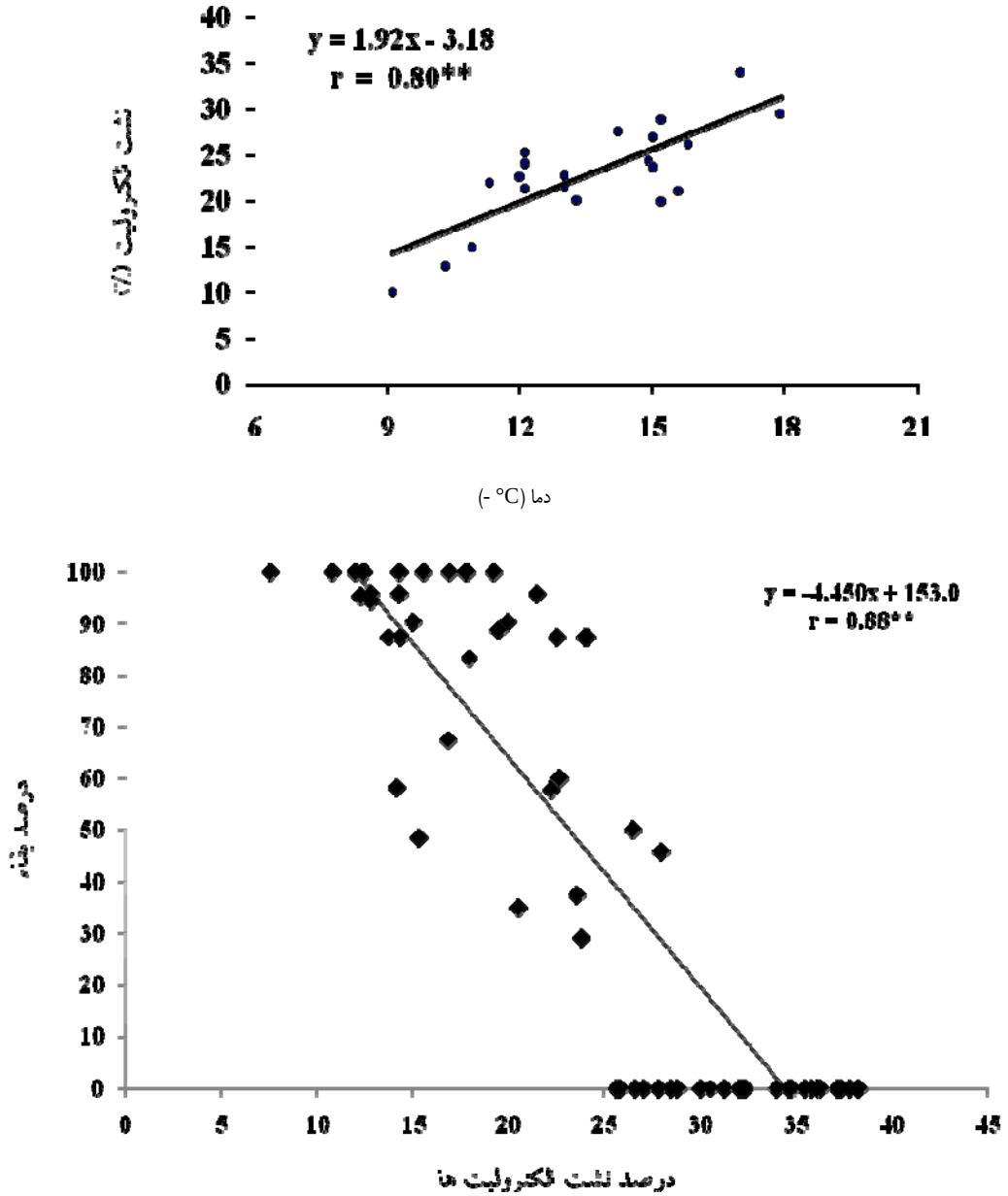
در برخی مطالعات دیگر نیز بین نشت الکترولیت ها و خسارت قابل رویت در گیاه همبستگی بالایی مشاهده شده است (۱۴ و ۲۷). این همبستگی احتمالاً می‌تواند نشان‌دهنده کارایی این روش در ارزیابی خسارت سرما در گیاهان مورد مطالعه باشد (۷).

از جمله سایر صفات فیزیولوژیکی که در مطالعات تحمل به سرما می‌توانند مورد توجه قرار بگیرند، صفاتی نظیر میزان تجمع آنتی-اکسیدانها، افزایش تغییرات هورمونی مخصوصاً اسید آبسیزیک، تجمع محلولهای سازگاری مثل پرولین، گلایسین بتائین، فعالیت آنزیم‌هایی مثل لیپواکسیژناز، گالاکتولیپاز و برخی آنزیم‌های دیگر می‌باشند. جان ویاک و همکاران (۱۹) در آزمایش خود بر روی واکنش ارقام ذرت به سرما نتیجه گرفتند که میزان تجمع ABA در واریته‌های مقاوم بیشتر از واریته‌های حساس بود. خینگ و راجاشکار (۲۸) نیز تجمع محلولهای سازگار از جمله پرولین و گلایسین بتائین را در ارقام مقاوم به سرمای آرابیدوپسیس گزارش کردند. گو و همکاران (۱۵) نیز در مطالعه خود بر روی برنج نشان دادند که آنزیمهای آنتی اکسیدان در ارقام مقاوم به سرما به طور معنی داری افزایش پیدا کرد. شن و همکاران (۲۵) نیز در مطالعه خود بر روی خیار نتایج مشابهی را ارائه کردند. کانیگا (۲۰) نیز نشان داد که در گونه‌های حساس به سرما فعالیت آنزیم گالاکتولیپاز یک عامل مهم برای مستعد ساختن گیاه به سرما می‌باشد. وی همچنین گزارش کرد که بهبود تحمل به سرما در گیاهان همراه با توقف فعالیت آنزیم گالاکتولیپاز می‌باشد که این مسئله سبب کاهش از هم گسیختگی لیپیدهای غشای کلروپلاست‌ها می‌شود و بدینوسیله از پراکسیداسیون بیش از حد غشاها در بافت‌های گیاهی جلوگیری می‌کند. تمام این شواهد نشان می‌دهد که مقاومت به سرما در گیاهان در ارتباط با صفات فیزیولوژیکی متعددی می‌باشد و مطالعه این صفات می‌تواند در شناسایی ارقام مقاوم کمک بسیار موثری باشد.

نتیجه‌گیری

در مجموع نتایج این آزمایش نشان داد که تنش یخ زدگی باعث افزایش نشت الکترولیت در ژنوتیپ‌های عدس شد و تفاوت ژنوتیپ‌های مورد بررسی از این نظر معنی‌دار بود. بر اساس این نتایج ژنوتیپ‌های عدس مورد مطالعه توانایی تحمل دماهای زیر صفر را تا حدود دمای ۱۲- سانتی گراد داشتند، زیرا میزان نشت الکترولیتهای

تمام ژنوتیپها تا دمای ۱۲- افزایش اندکی داشت. شیب افزایش میزان نشت الکترولیت و دمایی که در آن حداکثر میزان نشت صورت گرفت نیز بین ژنوتیپها متفاوت بود که این مسئله ناشی از تفاوت در میزان تحمل ژنوتیپها به سرما می‌باشد، زیرا ژنوتیپ‌های متحمل در مقایسه با ژنوتیپ‌های حساس از سرعت نشت الکترولیت کمتری برخوردار هستند (۱۳). بر اساس نتایج LT_{50el} تحمل ژنوتیپ‌های عدس در دامنه دمای ۱۰- درجه سانتیگراد تا حدود ۱۶- درجه سانتیگراد بود، به گونه‌ای که ژنوتیپ MLC225 با LT_{50el} برابر با دمای ۱۶/۲- درجه سانتیگراد بیشترین و ژنوتیپ MLC357 با LT_{50el} معادل با دمای ۱۰/۷- درجه سانتیگراد کمترین تحمل را داشتند. در مجموع از آنجائیکه همبستگی بالایی میان LT_{50el} و میزان نشت الکترولیت و همچنین LT_{50el} و درصد بقاء ژنوتیپ های مورد بررسی وجود داشت، به نظر می‌رسد که نشت الکترولیت ها معیار مناسبی برای ارزیابی پاسخ ژنوتیپ های عدس به تنش یخزدگی باشد.



شکل ۵- رابطه بین درصد نشت الکترولیت ها و درصد بقاء گیاهان عدس تحت تاثیر تنش یخ زدگی در شرایط کنترل شده

قدردانی

بودجه این تحقیق از محل اعتبارات معاونت محترم پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، با کد ۱۲۸۴پ تامین شده است که بدینوسیله سپاسگزاری می گردد.

منابع

۱- باقری، ع.، ا. نظامی و س. حجت. ۱۳۸۳. ارزیابی ژرم‌پلاسم عدس برای تحمل به سرما به منظور کشت پاییزه آن در مناطق مرتفع ایران. گزارش نهایی طرح پژوهشی، معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد.

۲- باقری، ع.، ا. نظامی، و م. سلطانی. ۱۳۷۹. اصلاح حبوبات سرمادوست برای تحمل به تنش‌ها. وزارت کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ۴۴۵ ص.

۳- حاج محمد قالیباف، ک.، ا. نظامی، و ع. کمندی. ۱۳۸۹. بررسی امکان استفاده از شاخص نشت الکترولیتها در ارزیابی تحمل به سرما در چغندرقند. مجله پژوهشهای زراعی ایران، جلد ۸ (۳): ۴۶۵-۴۷۲.

۴- خمدی، ن. ۱۳۸۷. ارزیابی خصوصیات رشد و عملکرد ژنوتیپ‌های متحمل به سرمای عدس در شرایط کاشت پاییزه در مشهد. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۵- نظامی، ا.، نباتی، ج.، برزویی، ا.، کمندی، ع.، معصومی، ع. و م. صالحی. ۱۳۸۹. ارزیابی تحمل به یخ زدگی ارقام جو (*Hordeum vulgar* L.) در مرحله گیاهچه‌ای تحت شرایط کنترل شده. تنشهای محیطی در کشاورزی، جلد ۳ (۱): ۹-۲۲.

۶- نظامی، ا. و ن. ناقدی نیا. ۱۳۸۹. اثر تنش یخ زدگی بر نشت الکترولیت ها در چند رقم گلرنگ. مجله پژوهشهای زراعی ایران، جلد ۸ (۶): ۸۹۱-۸۹۶.

۷- نظامی، ا.، ا. برزویی، م. جهانی کندری، م. عزیزی، و ع. شریف. ۱۳۸۶. نشت الکترولیتها به عنوان شاخصی از خسارت یخ زدگی در کلزا. مجله پژوهشهای زراعی ایران، جلد ۵ (۱):۱۶۷-۱۷۵.

۸- یزدی صمدی، ب.، مجنون حسینی، ن.، و س.ع. پیغمبری. ۱۳۸۳. بررسی مقاومت به سرما در ژنوتیپهای عدس (*Lens culinaris* Medik.). نهال و بذر، ۲۰(۱): ۲۳-۳۷.

9- Auld, D. L., R. L. Ditterline, G. A. Murray, and J. B. Swensen. 1983. Screening peas for winter hardiness under field and laboratory conditions. Crop Sci. 23:85-88.

10- Arvin, M. J., and D. J. Donnelly. 2008. Screening potato cultivars and wild species to abiotic stresses using an electrolyte leakage bioassay. Journal of Agriculture Science Technology. 10:33-42.

11- Bridger, G. M., D. E. Falk, B. D. Mckersie and D. L. Smith. 1996. Crown freezing tolerance and field winter survival of winter cereals in eastern Canada. Crop Sci. 36:150-157.

12- Campos, P. S., V. Quartin, J. C. Ramalho, and M. A. Nunes. 2003. Electrolyte leakage and lipid degradation account for cold sensitivity in leaves of *Coffea* sp. Plants. Journal of Plant Physiology. 160: 283-292.

13- Cardona, C. A., R. R. Dunkan, and O. Lindstrom. 1997. Low temperature tolerance assessment in paspalm. Crop Science. 37: 1283-1291.

14- Concellon, A., M. C. Anon, and A. R. Chaves. 2007. Effect of low temperature storage on physical and physiological characteristics of eggplant fruit (*Solanum melongena* L.). LWT. 40: 389-396.

15- Guo, Z., W. Ou, S. Lu, and Q. Zhong. 2006. Differential responses of antioxidative system to chilling and drought in four rice cultivars differing in sensitivity. Plant Physiology and Biochemistry. 44: 828-836.

16- Gusta, L. V., and D. B. Fowler. 1977. Cold resistance and injury in winter cereals. Pp. 159-178. In: Mussel, H., and Staples, R.C. (Eds.) Stress physiology in crop plants. John Wiley & Sons. New Yourk.

17- Gusta, L. V., D. B. Fowler, and N. J. Tyler. 1982. Factors influencing hardening and survival in winter wheat. pp. 23-40. In: P.H. Li and A. Sakai (Eds), Plant Cold Hardiness and Freezing Stress, Mechanisms and Crop Implications. Vol. 2, Academic Press, London.

18- Hakim, A., A. C. Purvis, and B. G. Mullinix. 1999. Differences in chilling sensitivity of cucumber varieties depend on storage temperature and the physiological dysfunction evaluated. Postharvest Biology and Technology. 17: 97-104.

19- Janowiak, F., E. Luck, and K. Dörffling. 2002. Chilling tolerance of maize seedlings in the field during cold periods in spring is related to chilling-induced increase in abscisic acid level. Journal of agronomy and crop science.Vol.189, p:156-161

20- Kaniuga, Z. 2008. Chilling response of plants: Importance of galactolipase, free fatty acids and free radicals. Plant biology. Vol.10: 171-184

21- Li, T., M. Zhang, and S. H. Wang. 2008. Effects of temperature on *Agrocybe chaxingu* quality stored in modified atmosphere packages with silicon gum film windows. LWT, 41: 965-973.
22- Mao, L., H. Pang, G. Wang, and C. Chenggang Zhu. 2007. Phospholipase D and lipoxygenase activity of cucumber fruit in response to chilling stress. Postharvest Biology and Technology. 44: 42-47.
23- Murry, G. A., D. Eser, L. V. Gusta and G. Eteve. 1988. Winter hardiness in pea, lentil, faba bean and chickpea. P. 831-843. In R.J. Summerfield (ed.) World Crops: Cool Season Food Legumes. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands.
24- Nayyar, H., T. S. Bains, and S. Kumar. 2005. Chilling stressed chickpea seedlings: effect of cold acclimation, calcium and abscisic acid on cryoprotective solutes and oxidative damage. Environmental and Experimental Botany. 54: 275-285.
25- Shen, W., K. Nada, and S. Tachibana. 1999. Effect of cold treatment on enzymic and nonenzymic antioxidant activities in leaves of chilling - Tolerant and chilling - Sensitive cucumber (*Cucumis sativus* L.) cultivars.Journal of the Japanese society for Horticultural science.Vol.68: 967-973.
26- Summerfield, R. J. 1981. Adaptation to environment, in lentils. pp. 91. In: Webb, C., and Hatwin, G. (Eds.). Common Wealth Agricultural Bureau. Farnhan Royal, UK.
27- Wongsheree, T., S. Ketsa, and W. G. Van Doorn. 2008. The relationship between chilling injury and membrane damage in lemon basil (*Ocimum×citriodourum*) leaves. Postharvest Biology and Technology. 51:91-96.
28- Xing, W., and C. B. Rajashekar. 2001. Glycine betaine involvement in freezing tolerance and water stress in *Arabidopsis thaliana*. Environmental and Experimental Botany. 46: 21–28.
29- Zhu, G. H., and Z. Q. Liu. 1987. Determination of median lethal temperature using the logistical function. Pp.291-298. In P.H. Li (ed) Plant Cold Hardiness. Alan R. Liss. Inc., New York.