



اثر تنش یخزدگی بر نشت الکترولیت‌ها در تعدادی از ارقام چغندر قند

احمد نظامی^۱، حمیدرضا خزاعی^۱،* فرزین پورامیر^۲، امیرحسین سعیدنژاد^۳
و حمیدرضا مهرآبادی^۴

^۱استاد و دانشجوی سابق دکتری دانشگاه فردوسی مشهد، ^۲استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام‌نور، ایران،

^۳استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۴/۲۴

چکیده

سابقه و هدف: چغندر قند به‌طور متداول در بهار کشت می‌شود ولی در سال‌های اخیر به دلیل مصرف زیاد آب توسط چغندر بهاره و مشکلات مربوط به کمبود آب، کاشت پاییزه این گیاه مورد توجه قرار گرفته است. بررسی‌ها همچنین نشان می‌دهد که کاشت پاییزه چغندر قند در مقایسه با کشت بهاره دارای مزایایی از جمله کاهش گسترش آفات و بیماری‌ها و استفاده مطلوب‌تر از تشعشع می‌باشد. در مقابل، در کشت پاییزه وقتی گیاه در معرض شرایط تنش سرما قرار می‌گیرد بسیاری از فرآیندهای حیاتی آن دچار اختلال خواهند شد. از این رو شناسایی ارقام متحمل به سرمای چغندر قند لازم و ضروری می‌باشد اما به دلیل تنوع زمانی و مکانی در بروز سرما در شرایط طبیعی، ممکن است نتایج به دست آمده چندان معتبر نباشند. علاوه بر این، هزینه و مدت زمان لازم برای فرآیندهای انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم چغندر قند در شرایط طبیعی بیشتر از شرایط کنترل شده خواهد بود.

مواد و روش‌ها: به منظور بررسی تحمل به تنش سرما در تعدادی از ارقام کاندید چغندر قند (جلگه، پالما، گیادا، موناتونو، SBSII، سوپرما و PP8) برای کشت پاییزه آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در پاییز و زمستان سال ۱۳۸۸ در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. در این آزمایش گیاهان تحت شرایط کنترل شده در معرض ۱۰ دمای یخزدگی (صفر، ۲-، ۴-، ۶-، ۸-، ۱۰-، ۱۲-، ۱۴-، ۱۶- و ۱۸- درجه سانتی‌گراد) قرار گرفتند و پس از آن میزان نشت الکترولیت‌ها اندازه‌گیری شد.

*مسئول مکاتبه: agro_ferdowsi@yahoo.com

یافته‌ها: نتایج آزمایش نشان داد که اثرات یخزدگی و ژنوتیپ بر میزان نشت الکترولیت‌ها و LT_{50el} ارقام مورد بررسی معنی‌دار بود. ارقام جلگه، PP8 و سوپرما به ترتیب با ۳۸/۷، ۳۸/۵ و ۳۷/۷ درصد، دارای بیشترین و رقم موناتونوبا ۲۶/۰ درصد، دارای کمترین مقدار نشت الکترولیت‌ها بودند. اثر متقابل دما و ژنوتیپ بر LT_{50el} از نظر آماری معنی‌دار بود. به طوری که بیشترین و کمترین LT_{50el} را به ترتیب ارقام موناتونوپالمابا LT_{50el} ‌های معادل ۱۱/۱- و ۹/۶- درجه سانتی‌گراد، دارا بودند. بر اساس نتایج حاصل از همبستگی بین درصد نشت الکترولیت‌ها و LT_{50el} ارقام چغندر قند، ارقام مورد مطالعه به دو گروه متحمل (موناتونو، گیادا و پالما) و حساس (جلگه، PP8، SBSII و سوپرما) تقسیم شدند. در بین ارقام متحمل همبستگی بالا و مثبتی ($r=0.98^{***}$) بین درصد نشت الکترولیت‌ها و LT_{50el} مشاهده شد این در حالی بود که همبستگی بین درصد نشت الکترولیت‌ها و LT_{50el} در بین ارقام حساس پایین و غیر معنی‌دار ($r=0.64$) بود. از آنجایی که تنش سرما عامل محدودکننده کشت پاییزه چغندر قند در مناطق معتدله می‌باشد، بنابراین شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌هایی که بتوانند تحت این شرایط تحمل مناسبی به سرما نشان دهند در اولویت قرار دارد. به علاوه، از آنجایی که نشت الکترولیت‌ها و LT_{50el} در آزمایشات مختلف، همبستگی بالایی با تحمل به سرمای گیاهان نشان داده‌اند، به نظر می‌رسد که بتوان از این صفت در ارزیابی و انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به سرما و مناسب برای کاشت پاییزه چغندر قند در کشور استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: تحمل به سرما، غشای سیتوپلاسمی، LT_{50el}

مقدمه

چغندر قند به طور متداول در بهار کشت می‌شود و در سال‌های اخیر به دلیل مصرف زیاد آب توسط چغندر بهاره و مشکلات مربوط به کمبود آب، کاشت پاییزه این گیاه مورد توجه قرار گرفته است. بررسی‌ها همچنین نشان می‌دهد که کاشت پاییزه چغندر قند در مقایسه با کشت بهاره آن دارای مزایایی از جمله کاهش گسترش آفات و بیماری‌ها، استفاده مطلوب‌تر از تشعشع و منابع دیگر است، ضمن اینکه باعث ایجاد یک تناوب مناسب با غلات می‌گردد (۴، ۱۷، ۱۸). تعدادی از محققان نیز با مطالعه روی تاریخ‌های کاشت چغندر قند اظهار داشتند که در کاشت بهاره به دلیل پایین بودن دما در ابتدای فصل رشد، رشد برگ‌ها کم بوده و در نتیجه پوشش مناسبی برای جذب مطلوب تشعشع تا اواسط خرداد فراهم نمی‌شود (۱۵، ۱۹، ۲۰). تحقیقات همچنین نشان داده است که تولید کل ماده خشک گیاه زراعی همبستگی بالایی با تشعشع دریافت شده دارد و بنابراین در بیشتر موارد عملکرد چغندر قند پاییزه به دلیل افزایش تشعشع جذب شده بهبود داشته است (۲۲). شریفی (۱۹۸۹) نیز طی آزمایشاتی در منطقه دزفول بر روی تاریخ‌های مختلف کاشت و برداشت چغندر نشان داد که تاریخ کاشت زودتر در پاییز باعث افزایش عملکرد ریشه و درصد قند گردید و هر چه برداشت با تأخیر انجام شد، عملکرد ریشه افزایش یافت (۲۷).

با وجود این در مناطق معتدله‌ای نظیر مشهد کاشت پاییزه چغندر قند منجر به مواجه شدن گیاهان با تنش سرما در طول پاییز و زمستان می‌شود و لذا ممکن است رشد و به دنبال آن عملکرد آن‌ها دچار اختلال گردد. یکی از خسارت‌های تنش سرما، تخریب غشاهای سلولی می‌باشد که این پدیده منجر به نشت ترکیبات درون سلولی به فضای خارج سلولی شده و در صورت شدت این پدیده منجر به مرگ سلول و در نهایت گیاه می‌گردد (۱۴). بنابراین یکی از صفات مرتبط با تحمل به سرما در گیاهان، کمتر بودن درصد نشت الکترولیت‌ها (خروج ترکیبات درون سلولی) در هنگام بروز تنش سرما ذکر شده است، به طوری که محققان اظهار داشته‌اند که بین میزان نشت الکترولیت‌ها و تحمل به سرما، همبستگی منفی و بالایی وجود دارد (۵، ۸، ۲۴، ۲۸). از این رو، به نظر می‌رسد که از طریق اندازه‌گیری درصد نشت الکترولیت‌ها در ارقامی که در معرض تنش سرما قرار گرفته‌اند، ارزیابی تحمل به سرمای آن‌ها امکان‌پذیر باشد. از آنجایی که در شرایط طبیعی کنترل مدت و شدت تنش سرما قابل کنترل نمی‌باشد، لذا ارزیابی تحمل به سرما در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی انجام می‌شود (۳، ۲۳). بنابراین، به نظر می‌رسد از طریق اعمال تنش یخ‌زدگی در شرایط کنترل شده و با اندازه‌گیری میزان

نشت الکترولیت‌ها بتوان به معیار مناسبی جهت تعیین میزان خسارت وارده بر غشاء و در ادامه آن میزان خسارت گیاه در اثر تنش یخزدگی دست یافت. آروین و دونلی (۲۰۰۸) و گائو و همکاران (۲۰۰۶) نیز در آزمایشاتی که بر روی گیاهان سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum L.*) و برنج (*Oryza sativa L.*) انجام دادند از نشت الکترولیت‌ها برای بررسی میزان تحمل به تنش سرما استفاده نمودند (۲، ۱۰). حاج محمدنیا و همکاران (۲۰۱۰) نیز در مطالعه‌ای به منظور استفاده از شاخص نشت الکترولیت‌ها در ارزیابی تحمل به سرمای دیررس بهاره در هشت رقم چغندر قند مشاهده کردند که اثرات دمای یخزدگی و رقم بر میزان نشت الکترولیت‌ها و LT_{50e1} در ارقام مورد بررسی معنی‌دار بود (۱۳). همچنین در این مطالعه، همبستگی خوبی بین درصد نشت الکترولیت‌ها و LT_{50e1} مشاهده شد که نشان می‌دهد می‌توان از این شاخص در ارزیابی خسارت تنش یخزدگی در چغندر قند استفاده کرد. مطالعه حاضر به منظور بررسی ارتباط بین درصد نشت الکترولیت‌ها و شدت تنش یخزدگی تحت شرایط کنترل شده و امکان استفاده از این شاخص در شناسایی ارقام متحمل به سرمای چغندر قند پاییزه اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در پاییز و زمستان سال ۱۳۸۸ انجام گرفت. آزمایش در قالب فاکتوریل بر مبنای طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. فاکتورهای مورد مطالعه شامل: ارقام چغندر قند پاییزه در هفت سطح (جلگه^۱، پالما^۲، گیادا^۳، موناتونو^۴، SBSII^۵، سوپرما^۶ و PP8) و دماهای یخزدگی در ۱۰ سطح (۰، -۲، -۴، -۶، -۸، -۱۰، -۱۲، -۱۴، -۱۶ و -۱۸ درجه سانتی‌گراد) بودند. بذور چغندر قند در اواخر آبان ماه در گلدان‌های پلاستیکی به قطر ۱۲ سانتی‌متر در عمق ۲-۱ سانتی‌متری کاشته شدند و خاک گلدان‌ها نیز از نسبت‌های یکسان خاکبرگ، ماسه و خاک تشکیل شده بود. پس از سبز شدن و استقرار مناسب گیاهچه‌ها تعداد بوته‌ها به پنج عدد تقلیل یافت. جهت اعمال خوسرمایی بوته‌ها تا مرحله ۵-۴ برگی (۲ ماه پس از کاشت) در

- 1- Lethal temperature 50 according to the electrolyte leakage
- 2- Jolge
- 3- Palma
- 4- Giada
- 5- Monatunno
- 6- Super Ma

محیط طبیعی نگهداری شدند. گلدان‌ها ۲۴ ساعت قبل از اعمال دماهای یخ‌زدگی آبیاری شدند و سپس به فریزر ترموگرادیان انتقال یافتند. دمای فریزر در شروع آزمایش ۵ درجه سانتی‌گراد بود و پس از قرار دادن بوته‌ها با سرعت ۲ درجه سانتی‌گراد در ساعت کاهش یافت. به‌منظور ایجاد هستک یخ در گیاهچه‌ها، در دمای ۳- درجه سانتی‌گراد محلول حاوی باکتری‌های القاء‌کننده هستک یخ^۱ به‌صورت یک قشر نازک محلول روی برگ‌ها پاشیده شد. جهت ایجاد تعادل در محیط، گیاهان در هر تیمار دمایی به‌مدت یک ساعت باقی ماندند و پس از آن جهت کاهش سرعت ذوب بلافاصله به داخل اتاقک‌های رشد با دمای 2 ± 5 درجه سانتی‌گراد انتقال یافته و به‌مدت ۲۴ ساعت در آنجا نگهداری شدند. پس از طی این مدت جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه یافته از هر بوته (پنج برگ از هر گلدان) جدا شده و در ویال‌های حاوی ۷۵ میلی‌لیتر آب دو بار تقطیر شده قرار گرفته و به‌مدت ۶ ساعت بر روی شیکر گذاشته شدند. پس از آن، هدایت الکتریکی هر نمونه با استفاده از دستگاه EC متر (مدل-جنوی^۲) اندازه‌گیری شد (E_1). به‌منظور اندازه‌گیری میزان کل نشت الکترولیت‌ها در اثر مرگ سلول‌ها، ویال‌ها در حمام بن‌ماری با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۹۰ دقیقه قرار داده شدند و پس از خارج کردن نمونه‌ها مجدداً به‌مدت ۶ ساعت بر روی شیکر قرار داده شد و پس از آن، هدایت الکتریکی نمونه‌ها دوباره اندازه‌گیری شد (E_2). درصد نشت الکترولیت‌ها از طریق فرمول ($100 \times E_1/E_2$) محاسبه شد. دمای کشنده برای ۵۰ درصد نمونه‌ها (LT_{50ei}) از طریق تعیین نقطه میانی بین نقاط حداقل و حداکثر مجانب منحنی درصد نشت الکترولیت‌ها در مقابل دماهای یخ‌زدگی بر اساس تابع لگستیک ترسیم و تعیین شد (۱۱). جهت تجزیه آماری داده‌ها از نرم‌افزار MSTATC و برای رسم نمودارها و تعیین LT_{50ei} از نرم‌افزارهای Excel و Slide Write استفاده شد.

نتایج و بحث

اثر دماهای یخ‌زدگی بر درصد نشت الکترولیت‌ها معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود و با کاهش دما میزان نشت الکترولیت‌ها افزایش یافت (جدول ۱ و شکل ۱).

1- Ice nucleation Active Bacteria

2- Jenway

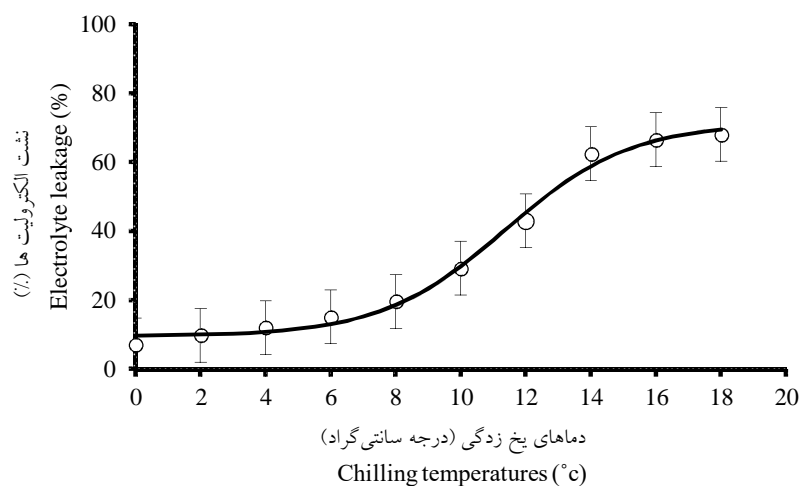
جدول ۱- میانگین مربعات نشت الکترولیت‌های برگ ارقام چغندر قند.

Table 1. Mean squares of sugar beet genotypes leaf electrolyte leakage

میانگین مربعات	درجه آزادی	منابع تغییر
Mean square	Degree of freedom	Source of variance
755.26**	6	ارقام Genotypes
127722.82**	9	دما Temperature
48.53**	54	ارقام * دما * Temperature * Genotype
13.49	140	خطا Error
	209	کل Total

** : معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد

** : Significant at 1%



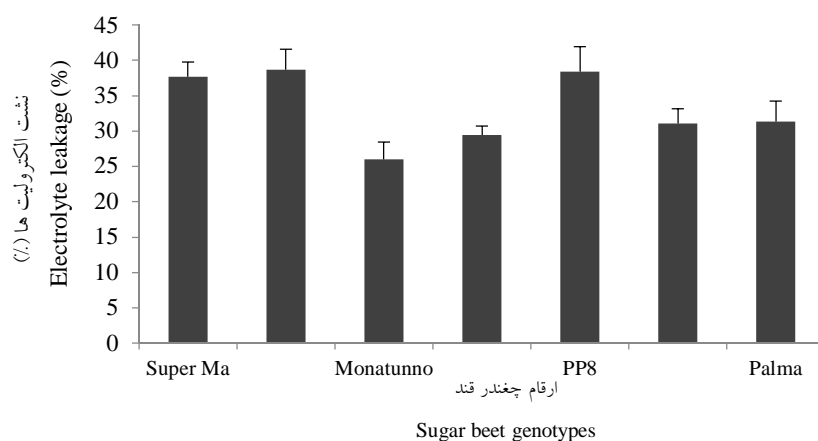
شکل ۱- تأثیر کاهش دما (دماهای زیر صفر) بر میزان نشت الکترولیت‌های برگ ارقام چغندر قند.

Figure 1. Effect of decrease in temperature (below the zero) on sugar beet genotypes leaf electrolyte leakage.

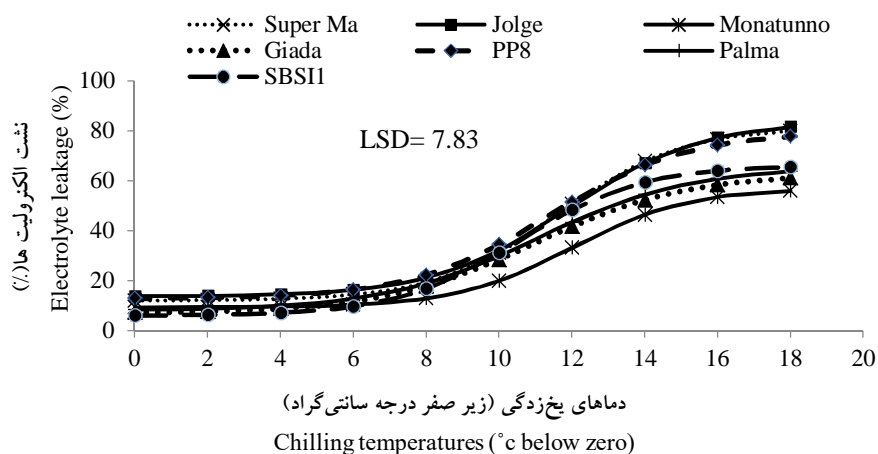
با وجود اینکه افزایش نشت الکترولیت‌ها تا دمای ۶- درجه سانتی‌گراد ناچیز بود، اما ادامه کاهش دما سبب افزایش سریع در میزان نشت الکترولیت‌ها شد (شکل ۱)، به طوری که در دمای ۱۴- تا ۱۸- درجه سانتی‌گراد حداکثر نشت الکترولیت‌ها مشاهده شد. میزان نشت الکترولیت‌ها در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد تقریباً هفت برابر تیمار شاهد (دمای صفر درجه سانتی‌گراد) بود. ایوگینا و همکاران (۲۰۰۳)

بیان کردند که آزمون نشت الکترولیت‌ها یک روش کاربردی و آسان برای به‌گزینی ژرم پلاسماهای متحمل به یخ‌زدگی در گیاه شبدر می‌باشد. در مطالعه مذکور برگ‌های جوان چند رقم شبدر در معرض دماهای یخ‌زدگی قرار گرفته و سپس با محاسبه درصد نشت الکترولیت‌ها بیان شد که در کل ارقام مورد بررسی، تفاوت معنی‌داری از لحاظ درصد نشت در بین دماهای آزمایش وجود داشت. در آزمایش ایشان با کاهش دما تا ۱۸- درجه سانتی‌گراد درصد نشت ارقام شبدر حدود ۵/۷ برابر نسبت به دمای ۶- درجه سانتی‌گراد افزایش داشت (۸). نظامی و همکاران (۲۰۰۷) با مطالعه بر روی کلزا مشاهده کردند که میزان نشت الکترولیت با کاهش دما افزایش یافت (۲۶). به‌نظر می‌رسد اختلال در ساختار غشای سلولی عامل اصلی افزایش نشت الکترولیت‌ها از برگ ژنوتیپ‌های چغندر قند در این آزمایش می‌باشد، زیرا اختلالات ناشی از سرما سبب تغییر در میزان سیالیت غشا شده و حاصل این تغییرات کاهش انسجام غشاها و افزایش نشت‌پذیری آن‌ها می‌باشد (۵).

تفاوت درصد نشت الکترولیت‌ها بین ارقام چغندر قند معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود و ارقام PP8، جلگه و سوپرما به‌ترتیب با ۳۸/۵، ۳۸/۷ و ۳۷/۷ درصد، دارای بیشترین و رقم موناتونوبا ۲۶/۰ درصد، دارای کمترین مقدار نشت الکترولیت‌ها بودند (شکل ۲). کاردونا و همکاران (۱۹۹۷) نیز اظهار داشتند که تأثیر تنش سرما بر میزان نشت الکترولیت‌ها بسته به میزان تحمل به یخ‌زدگی ارقام مختلف گیاهی، متفاوت است (۶). ایوگینا و همکاران (۲۰۰۳) نیز بین ارقام شبدر از لحاظ درصد نشت الکترولیت‌های برگ، تفاوت معنی‌داری مشاهده کردند. به‌طوری‌که بیشترین و کمترین درصد نشت الکترولیت‌ها از برگ به‌ترتیب در ارقام کاندینین^۱ و Overton R18 (۶۱/۵ و ۵۱/۱ درصد) مشاهده شد (۸). از آنجایی که مطالعات مختلف نشت الکترولیت‌ها را به‌عنوان شاخص مناسبی برای ارزیابی تحمل ارقام مختلف به تنش‌های محیطی ذکر کرده‌اند (۲، ۵، ۲۱، ۲۹). بنابراین بر اساس نتیجه این آزمایش می‌توان اظهار داشت که تفاوت میزان نشت الکترولیت در ژنوتیپ‌های مختلف چغندر قند مورد بررسی، احتمالاً ناشی از تفاوت در میزان تحمل آن‌ها به دماهای پایین بوده است. در بررسی روند نشت الکترولیت‌ها تحت تأثیر دماهای یخ‌زدگی در ژنوتیپ‌های چغندر قند، ملاحظه می‌شود که در همه ژنوتیپ‌ها، با کاهش تدریجی دما میزان نشت الکترولیت افزایش پیدا کرد (شکل ۳).



شکل ۲- درصد نشت الکترولیت از برگ ارقام چغندر قند تحت تأثیر تیمار یخ زدگی.
Figure 2. Sugar beet genotypes leaf electrolyte leakage under freezing treatments.

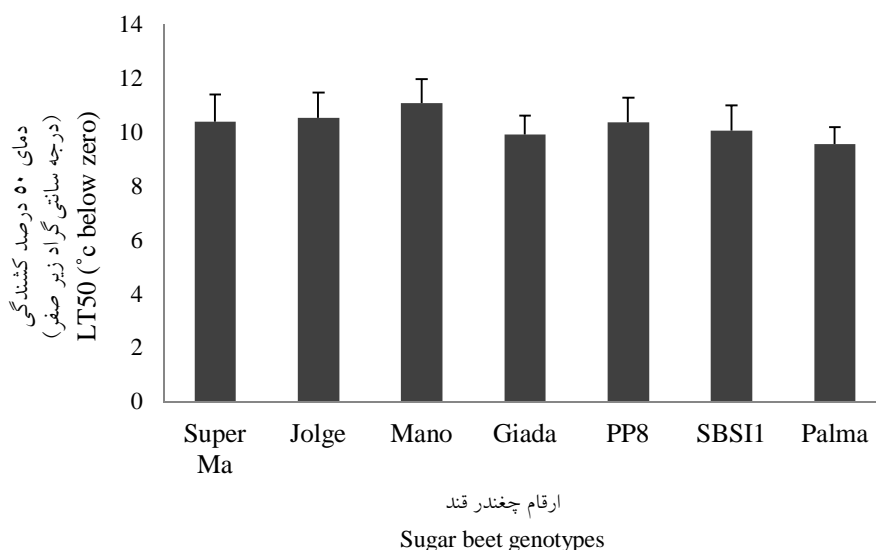


شکل ۳- روند نشت الکترولیت‌های برگ ارقام مختلف چغندر قند تحت تأثیر کاهش دما.
Figure 3. Electrolyte leakage trend of sugar beet genotypes leaf under decreasing in temperature.

با وجود این کاهش دما تا ۶- درجه سانتی‌گراد، منجر به افزایش ناچیزی در درصد نشت الکترولیت‌ها شد، اما با کاهش بیشتر دما، تفاوت در میزان نشت الکترولیت‌ها در بین ارقام چغندر قند بیشتر شده است. به طوری که ژنوتیپ موناتونوبا شیب ملایم‌تری به حداکثر مقدار نشت خود رسید و

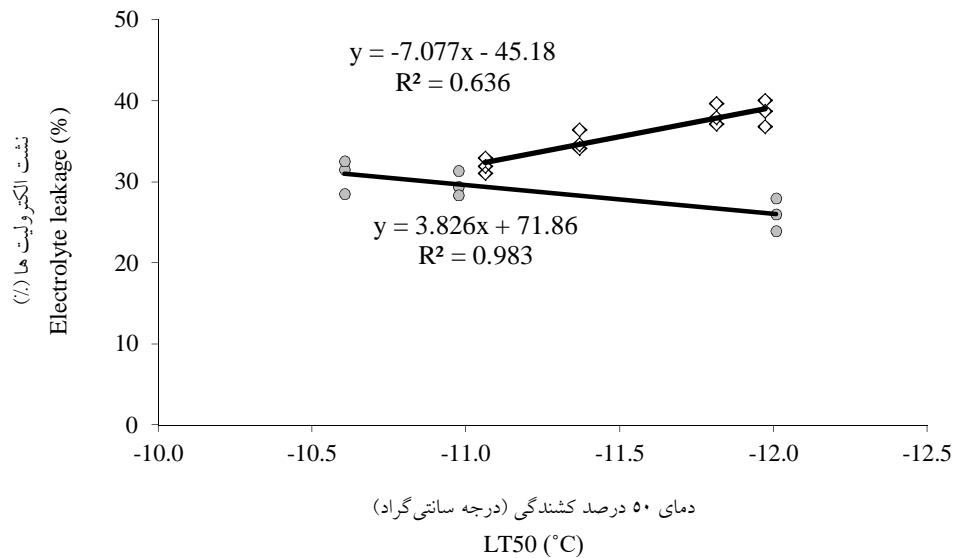
مقدار نشت کل آن نیز کمتر از بقیه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بود. اما ژنوتیپ‌های PP8، سوپرما و جلگه با شیب تندتری به حداکثر مقدار نشت خود رسیدند و در کل مقدار نشت آن‌ها نیز در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها بیشتر بود (شکل ۳). وجود چنین اختلافاتی بین ژنوتیپ‌ها در آزمایش نظامی و ناقدی‌نیا (۲۰۰۷) نیز گزارش شده است. آن‌ها در آزمایش خود بر روی ارقام گلرنگ مشاهده کردند که هم سرعت افزایش نشت الکترولیت‌ها و هم دمایی که سبب خروج حداکثر نشت الکترولیت‌ها در گیاه می‌شود بین ارقام گلرنگ متفاوت بود (۲۴). در بررسی دیگری بر روی کلزا نیز مشاهده شده است که شیب منحنی نشت الکترولیت در مقابل دمای یخزدگی در ارقام متحمل به سرما کمتر از ارقام حساسه سرما است (۲۶). گاستا و فولر (۱۹۸۲) دمایی را که سبب ۵۰ درصد نشت الکترولیت‌ها از بافت‌های گیاهی می‌شود را به‌عنوان دمای ۵۰ درصد کشندگی (LT_{50el}) پیشنهاد کردند (۱۱). بر این اساس، در آزمایش حاضر LT_{50el} ژنوتیپ‌های چغندر قند جهت تفسیر بهتر نتایج، مورد ارزیابی قرار گرفت. بر این اساس از نظر LT_{50el} بین ژنوتیپ‌های چغندر قند تفاوت معنی‌داری ($P \leq 0.01$) مشاهده شد و ژنوتیپ موناتونوبا ۱۱/۱- درجه سانتی‌گراد، متحمل‌ترین و ژنوتیپ پالمابا ۹/۶- درجه سانتی‌گراد، حساس‌ترین ژنوتیپ نسبت به تنش یخزدگی شناخته شدند (شکل ۴). اندرسون و همکاران (۱۹۹۳) نیز با بررسی LT_{50el} و همچنین رشد مجدد در ارقام مختلف مرغ (*Cynodon dactylon* L.) به این نتیجه رسیدند که بین ارقام مختلف تفاوت معنی‌داری از این نظر وجود داشت و LT_{50el} ارقام بین دماهای ۷- تا ۱۱- درجه سانتی‌گراد متغیر بود (۱). مطالعه نظامی و همکاران (۲۰۰۷) بر روی کلزا نیز بیانگر وجود تفاوت‌های ژنوتیپی از نظر LT_{50el} در شرایط تنش یخزدگی می‌باشد (۲۶).

بر اساس نتایج حاصل از همبستگی بین درصد نشت الکترولیت‌ها و LT_{50el} ارقام چغندر قند، ارقام مورد مطالعه به دو گروه متحمل (موناتونو، گیاداو پالما) و حساس (جلگه، PP8، SBSII و سوپرما) تقسیم شدند. در بین ارقام متحمل همبستگی بالا و مثبتی ($r=0.98^{***}$) بین درصد نشت الکترولیت‌ها و LT_{50el} مشاهده شد این در حالی بود که همبستگی بین درصد نشت الکترولیت‌ها و LT_{50el} در بین ارقام حساس پایین و غیر معنی‌دار ($r=0.64$) بود (شکل ۵). این موضوع بدان معنی می‌باشد که در ارقام مقاوم به سرما، نشت الکترولیت‌ها در دماهای پایین‌تری در مقایسه با ارقام حساس اتفاق می‌افتد. مطالعه نظامی و همکاران (۲۰۰۶) بر روی اثر تنش یخزدگی بر پایداری غشای سیتوپلاسمی نشان داد که بین نشت الکترولیت‌ها و LT_{50el} همبستگی وجود دارد (۲۵).



شکل ۴- دمای ۵۰ درصد کشتندگی بر اساس درصد نشت الکترولیت‌ها (LT_{50el}) در ارقام چغندر قند.
Figure 4. LT₅₀ based on electrolyte leakage percentage (LT_{50el}) in sugar beet genotypes.

این همبستگی احتمالاً می‌تواند نشان دهنده کارایی این روش در ارزیابی خسارت سرما در واریته‌های مورد مطالعه باشد. با این وجود چنین نتیجه‌گیری مستلزم مطالعه صفات بیشتر و ارزیابی همبستگی آن‌ها با میزان نشت الکترولیت و LT_{50el} گیاهان در پاسخ به سرما می‌باشد. گاستا و همکاران (۲۰۰۱) نیز در ارزیابی مجدد آزمون‌های تحمل به یخ‌زدگی و تقسیم‌بندی ژنوتیپ‌های مختلف گندم به دو گروه نیمه متحمل (A) و متحمل (B)، نتیجه گرفتند که همبستگی‌های منفی و معنی‌داری بین شاخص‌های LT₅₀ بقاء و شاخص زنده‌مانی مزرعه^۱ ($r = -0/509^*$) و نیز شاخص زنده‌مانی مزرعه و محتوای آب طوقه ($r = -0/649^*$) در ژنوتیپ‌های متحمل مشاهده شد. در حالی که این روابط در ژنوتیپ‌های نیمه متحمل معنی‌دار نبوده است (۱۲).



شکل ۵- رابطه بین درصد نشت الکترولیت‌ها با دمای ۵۰ درصد کشندگی در ارقام متحمل (●) و حساس (◇) چغندر قند پاییزه.

Figure 5. Electrolyte leakage and LT50 correlation in sugar beet tolerant (●) and sensitive (◇) genotypes.

نتیجه‌گیری کلی

از آنجایی که تنش سرما عامل محدود کننده کشت پاییزه چغندر قند در مناطق معتدله می‌باشد، بنابراین شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌هایی که بتوانند تحت این شرایط تحمل مناسبی به سرما نشان دهند در اولویت قرار دارد. به علاوه، از آنجایی که نشت الکترولیت‌ها در اثر تنش سرما در آزمایشات مختلف، همبستگی بالایی با تحمل به سرمای گیاهان نشان داده است به نظر می‌رسد که بتوان از این صفت در ارزیابی و انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به سرما و مناسب برای کاشت پاییزه چغندر قند در کشور استفاده کرد. نتایج این آزمایش نشان داد که تنش سرما باعث افزایش نشت الکترولیت در ژنوتیپ‌های چغندر قند شد و تفاوت ژنوتیپ‌های مورد بررسی از این نظر معنی‌دار بود. بر اساس نتایج این آزمایش، در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه ژنوتیپ موناتون و دارای کمترین مقدار LT_{50el} و همچنین کمترین درصد نشت الکترولیت‌ها بود و در نتیجه بیشترین تحمل به تنش یخ‌زدگی را از نظر شاخص نشت الکترولیت‌ها داشت. در ژنوتیپ‌های سوپرما، جلگه و PP8 درصد نشت الکترولیت‌ها

بالتر بود و در مقایسه با ژنوتیپ‌های دیگر به تنش یخ‌زدگی حساس‌تر بودند. در مجموع از آنجایی که همبستگی نسبتاً خوبی بین LT_{50el} و میزان نشت الکترولیت‌ها در ژنوتیپ‌های مورد بررسی وجود داشت، به نظر می‌رسد که این صفت معیار نسبتاً مناسبی برای ارزیابی پاسخ ژنوتیپ‌های چغندر قند به تنش یخ‌زدگی باشد.

منابع

1. Anderson, J.A., Taliaferro, C.M., and Martin, D.L. 1993. Evaluating freeze tolerance of Bermuda grass in a controlled environment. *Hortsci.* 28: 948-955.
2. Arvin, M.J., and Donnelly, D.J. 2008. Screening potato cultivars and wild Species to abiotic stresses using an electrolyte leakage bioassay. *J. Agr. Sci. Technol.* 10: 33-42.
3. Baeka, K.H., and Skinner, D.Z. 2003. Alteration of antioxidant enzyme gene expression during cold acclimation of near-isogenic wheat lines. *Plant Sci.* 165: 1221-1227.
4. Bassati, J. 2001. Determination of the appropriate of cultivation and harvest date for sugar beet in tropical region of Iran. Researching report of sugar beet seed institute. Kermanshah Agricultural Research Center. (In Persian)
5. Campos, P.S., Quartin, V., Ramalho, J.C., and Nunes, M.A. 2003. Electrolyte leakage and lipid degradation account for cold sensitivity in leaves of *Coffea* sp. *Plants. J. Plant Physiol.* 160: 283-292.
6. Cardona, C.A., Duncan, R.R., and Lindstorm, O. 1997. Low temperature tolerance assessment in *Paspalum virginatum*. *Crop Sci.* 37: 1283-1291.
7. Concellon, A., Anon, M.C., and Chaves, A.R. 2007. Effect of low temperature storage on physical and physiological characteristics of eggplant fruit (*Solanum melongena* L.). *Food Sci. Technol.* 40: 389-396.
8. Eugenia, M., Nunes, S., and Smith, G.R. 2003. Electrolyte leakage assay capable of quantifying freezing resistance in rose clover. *Crop Sci.* 43: 1349-1357.
9. Gale, D., Lee, G.S., and Schmeihl, W.R. 1990. Effect of planting date and nitrogen fertilization on soluble carbohydrate concentration in sugar beet. *J. Sugar Beet Res.* 27: 1-10.
10. Guo, Z., Lu, S., and Zhong, Q. 2006. Differential responses of antioxidative system to chilling and drought in four rice cultivars differing in sensitivity. *Plant Physiol. Biochem.* 44: 828-836.
11. Gusta, L.V., Fowler, D.B., and Tyler, N.J. 1982. Factors Influencing Hardening and Survival in Winter Wheat. In: *Plant Cold Hardiness and Freezing Stress*, Li, P.H., and Sakai A. (eds.), Vol. II, Academic Press, London and New York, Pp: 23-40.

12. Gusta, L.V., O'Connor, B.J., Gao, Y.P., and Jana, S. 2001. A re- evaluation of controlled freeze- tests and controlled environment hardening conditions to estimate the winter survival potential of hardy winter wheats. *Can. J. plant Sci.* 81: 241-246.
13. Hajmohamadnia, K., Nezami, A., and Kamandi, A. 2010. Study the possibility of using the electrolyte leakage index for evaluation of cold tolerance in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivars. *Iran. J. Field Crop Res.* 8: 465-472. (in Persian)
14. Hana, B., and Bischofa, J.C. 2004. Direct cell injury associated with eutectic crystallization during freezing. *Cryo. Biotech.* 48: 8-21.
15. Hoffmann, C.M., and Severin, S.K. 2010. Growth analysis of autumn and spring sown sugar beet. *Eur. J. Agron.* 34: 1-9.
16. Hommo, L.M. 1994. Hardening of some winter wheat (*Triticum aestivum* L.) Rye (*Secale cereale* L.) and Triticale (*X Triticosecale wittmack*) and winter barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes during autumn and the final winter survival in Finland. *Plant Breed.* 112: 285-293.
17. Izumiyama, Y. 1984. Production and distribution of dry matter as a basis of sugar beet yield. *Agron. J.* 17: 219-224.
18. Javaheri, M.A., Najafinejad, H., and Azadshahraki, F. 2005. Study the sugar beet autumn sowing possibility in Arzoie region (Kerman province). *J. Res. Constr.* 71: 85-93. (In Persian)
19. Kenter, C., and Hoffmann, C.M. 2006. Seasonal patterns of sucrose concentration in relation to other quality parameters of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *J. Sci. Food Agri.* 86: 62-70.
20. Kenter, C., Hoffmann, C.M., and Märlander, B. 2006. Effects of weather variables on sugar beet yield development (*Beta vulgaris* L.). *Eur. J. Agron.* 24: 62-69.
21. Manafi, E., Modarres-Sanavy, S.A.M., Agha Alikhani, M., Aghaalikhani, M., and Modares Vameghi, S.M. 2014. Effect of concentration and application methods of 5-aminolevulinic acid on inducing cold resistance of Soybean. *EJCP.* 7: 157-174. (In Persian)
22. Monteith, J.L. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philos. Trans. Royal Soc.* 23: 277-294.
23. Nazeri, M., Ahmadi, A., Tabei, M., and Kohestani, B. 2006. Improving wheat genotypes freezing tolerance with crown freezing method. *Iran. J. Field Crop. Res.* 4: 155-168. (In Persian)
24. Nezami, A., and Naghedinia, N. 2010. Effects of freezing stress on electrolyte leakage of sunflower genotypes. *Iran. J. Field Crop. Res.* 8: 891-896. (In Persian)

25. Nezami, A., Bagheri, A., Rahimian, H., Kafi, M., and Nasiri, M. 2006. Study of chickpea genotypes tolerance to freezing stress under controlled condition. J. Sci. Technol. Agr. Nat. Resour. 4: 257-271. (In Persian)
26. Nezami, A., Borzooei, A., Jahani, M., Azizi, M., and Sharifi, A. 2007. Electrolyte leakage as an indicator of freezing injury in colza (*Brassica napus* L.). Iran. J. Field Crop. Res. 5: 167-175. (In Persian)
27. Sharifi, H. 1989. Researching Report of Sugar beet Seed Research and Breeding. Safi Abad. Agricultural Research Center Publication. 52p. (In Persian)
28. Siosemardeh, A., Mohammadi, K., Roohi, E., Aghaalikhani, M., and MokhtasiBidgoli, A. 2010. Physiological responses of different wheat genotypes to cold stress. Electronical J. Crop Prod. 2: 93-112. (In Persian)
29. Uemura, M., Tominaga, Y., Nakagawara, C., Shigematsu, S., Minami, A., and Kawamura, Y. 2006. Responses of plasma membrane to low temperature. Physiol. Plant. 126: 81-89.