

تعیین شرایط بهینه و اثر برخی تنش‌های محیطی بر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه چغندر برگی (*Beta vulgaris* var. *cicla*)

نادیا بهره‌مند

عضو هیئت‌علمی دانشگاه جیرفت

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۰۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۶/۲۶

چکیده

این تحقیق با هدف تعیین شرایط بهینه جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه و اثر برخی تنش‌های غیرزنده بر گیاه چغندر برگی (*Beta vulgaris* var. *cicla*)، با آزمایش‌های جداگانه، دمای ثابت (۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد)، دمای متناوب (۲۰/۱۰، ۲۵/۱۵ و ۳۰/۲۰ درجه سانتی‌گراد)، آبشویی (صفر، ۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعت)، شوری (صفر، ۴۴/۸، ۸۹/۷، ۱۳۴، ۱۷۹، ۲۲۴ و ۳۳۶ میلی‌مولار)، اسیدیته (۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰) در قالب طرح کاملاً تصادفی و آزمایش خشکی (صفر، ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ مگا پاسکال) و دما (۲۵، ۲۰ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد) به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد دمای کمینه ۲۴±۱/۹۲، بهینه ۲۵±۰/۷۴ و بیشینه جوانه‌زنی ۴۵/۸±۱/۶۷ درجه سانتی‌گراد است. حداکثر سرعت جوانه‌زنی در دمای متناوب ۲۰/۱۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. هیدرو پرایم ۱۸ ساعته، ۳۸ درصد جوانه‌زنی بذر را افزایش داد. سطحی از شوری که جوانه‌زنی را به نصف کاهش داد ۱۸۶±۷/۴ میلی‌مولار بود. تغییر اسیدیته محیط، از ۷ به ۵ و ۹ به ترتیب جوانه‌زنی را ۲۸/۳ و ۱۵ درصد کاهش داد. در دمای ۲۵، ۲۰ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب، پتانسیل آب پایه ۰/۹۶-، ۰/۸۰- و ۰/۷۸- مگا پاسکال برآورد شد. برطبق نتایج حاصل، چغندر برگی در مرحله جوانه‌زنی و رشد اولیه، گیاه پر توقعی نبوده و با ۱۷/۳ درصد جوانه‌زنی و توانایی سازگاری در سطح شوری ۳۳۶ میلی‌مولار، جهت کشت و کار در مناطق شور قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: آستانه شوری، اسیدیته، پتانسیل آب پایه، دماهای اصلی، هیدرو پرایم

مقدمه

مرحله مؤثر در استقرار گیاه لازم است مدنظر قرار بگیرد (Berkowitz et al., 2016; Bewley and Black, 2012). در سال‌های اخیر تحقیقات متعددی جهت تعیین شرایط بهینه جوانه‌زنی بذر در گیاهان مختلف به صورت کاربردی صورت گرفته است (Paucar-Menacho et al., 2016; Ustarroz et al., 2016; Slabbert et al., 2014). دما جزء محدود فاکتورهایی بوده که اثرات غیرقابل چشم‌پوشی در تمام مراحل رشد گیاه دارد (Zandalinas, 2017). تعیین دماهای اصلی جوانه‌زنی جهت انطباق گیاه با اقلیم ضرورت از پیش شناخته شده‌ای است (Gilbertson, 2014). تعیین زمان حرارتی جهت تخمین جوانه‌زنی یا سایر مراحل توسعه و زمان

تنش‌های زنده و غیرزنده و خسارات جبران‌ناپذیر آن‌ها به علت کاهش کمیت و کیفیت اغلب گیاهان، همواره قابل توجه بوده و به همین دلیل، ایجاد شرایط بهینه رشد گیاه یا انتخاب گیاهان متحمل‌تر، یکی از ضرورت‌های افزایش میزان تولید گیاهان است (Zandalinas et al., 2017; Calanca, 2017). اولین گام جهت رسیدن به هدف مذکور، شناسایی میزان توقع یا ارزیابی تحمل گیاه جهت استفاده از این توانایی در شرایط نامناسب مانند شوری خاک، کمبود آب یا افزایش جمعیت است (Arbona et al., 2017). از طرفی حساسیت مراحل توسعه گیاه به تنش‌های محیطی از قبیل دما، شوری، خشکی و غیره، خصوصاً جوانه‌زنی، به‌عنوان اولین و مهم‌ترین

۳۰/۲۰ درجه سانتی‌گراد با رژیم ۱۶ ساعت دمای کم و ۸ ساعت دمای زیاد) در قالب طرح کاملاً تصادفی، در ژرمناتور روی بذر اعمال گردید. آزمایش آبتوی بذر با آب جاری در دمای ثابت ۲۵ درجه سانتی‌گراد در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج سطح (صفر، ۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعت) انجام، بذر خشک‌شده و در محیط جوانه‌زنی قرار داده شد (تیمار ۲۴ ساعت آبتوی به دلیل مشاهده جوانه‌زنی قبل از انتقال به محیط کشت حذف گردید). آزمایش شوری در دمای ثابت ۲۵ درجه سانتی‌گراد با هفت سطح (صفر، ۴۴/۸۶، ۸۹/۷۳، ۱۳۴/۶۰، ۱۷۹/۴۷، ۲۲۴/۳۴ و ۳۳۶/۵۱ میلی‌مولار کلرید سدیم) و آزمایش اسیدیته در دمای ثابت ۲۵ درجه سانتی‌گراد در قالب طرح کاملاً تصادفی با شش سطح (۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰) انجام شد. محلول بافر تهیه اسیدیته ۵ و ۶، فترات هیدروژن پتاسیم ۰/۱ مولار و اسیدیته ۷، ۹ و ۱۰، محلول بوراکس ۰/۰۲۵ مولار بود (Deska et al., 2011). آزمایش خشکی با شش سطح (صفر، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸، ۱ و ۱- مگاپاسکال) و دما با سه سطح (۲۵، ۲۰ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد) به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و کاربرد پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ اعمال گردید (Michel and Kaufmann, 1973).

آماده‌سازی بذر و آزمایش جوانه‌زنی

بذر چغندر برگی از شرکت پاکان بذر اصفهان خریداری و پس از ضدعفونی با هیپوکلریت سدیم ده درصد (مدت ۱ دقیقه)، به تعداد ۲۵ عدد، در پتری با قطر ۹ سانتی‌متر روی دولایه کاغذ صافی واتمن شماره یک قرار گرفت. آب مقطر یا سایر محلول‌های تهیه‌شده با حجم یکسان و به صورتی که آب اضافی پیرامون بذر نباشد به ظروف اضافه شد. جهت بررسی اثر شوری بر ترکیبات شیمیایی گیاه، بذر کاشت شده در گلدان‌های یک کیلوگرمی از مرحله ۳ برگی با محلول با شوری متفاوت آبیاری و در ۳۰ روزگی محتوای پرولین برگ (Bates et al., 1973) و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (Giannopolitis and Ries, 1977) سنجیده شد.

اندازه‌گیری صفات و تجزیه آماری

در طی آزمایش دو بار در طول شبانه‌روز وضعیت جوانه‌زنی بذرها کنترل و درصد نهایی جوانه‌زنی بذر سنجیده شد.

های هیدروترمال نیز با تعیین دمای حداقل جوانه‌زنی ممکن می‌شود (Durr et al., 2015). تعیین دمای پایه جوانه‌زنی بذر کدو (*Cucurbita pepo* L.) گزارش شده است (Atashi et al., 2015).

هیدروپرایم ضمن کاهش بازدارنده‌های جوانه‌زنی و افزایش متابولیسم بذر، تکنیکی ارزان، ساده و فوق‌العاده مؤثر در بهبود جوانه‌زنی و رشد گیاهچه است (Mahawar et al., 2016). درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر کلم چینی (*Brassica rapa* var. *pikinesis*) با هیدروپرایم افزایش یافته است (Yan, 2016).

شوری از طریق تنش اسمزی، سمیت عناصر و تنش اکسیداسیونی گیاه را به خطر می‌اندازد (Kaya et al., 2006). اثر شوری بر رشد گیاهچه چغندر برگی مورد بررسی قرار گرفته است (Liu et al., 2014). تحت تأثیر شوری افزایش فعالیت آسکوربات پراکسیداز در چغندر لبویی مشاهده شده است (Dunajska-Ordak et al., 2014). گروهی از بذرها در طیف وسیعی از اسیدیته جوانه می‌زنند ولی برخی فقط در اسیدیته خاصی قادر به جوانه‌زنی هستند (Ma et al., 2012). جوانه‌زنی و رشد کاهو (*Lactuca sativa* L.) در محیط‌های با اسیدیته مختلف گزارش شده است (Wang et al., 2016). پاسخ گیاه به خشکی، به ژنوتیپ، مرحله توسعه، مدت، شدت خشکی و سایر شرایط مرتبط است (Cavallaro et al., 2016). اثر خشکی بر جوانه زنی و رشد اولیه گیاه شیکوره (*Cichorium intybus* L.) مورد بررسی قرار گرفته است (Sadeghi and Robati, 2015).

به دلایل نامشخص در ایران، اطلاعات اولیه کشت و کار چغندر برگی با وجود ارزش غذایی بالا در دسترس نیست. این مطالعه با هدف تعیین شرایط بهینه و اثر برخی تنش‌های محیطی بر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه چغندر برگی که می‌تواند مقدمه مطالعات آینده جهت بهره‌وری بیشتر از این گیاه باشد، انجام شده است.

مواد و روش‌ها

انجام آزمایش

آزمایش‌هایی به صورت جداگانه در سال ۱۳۹۵ در آزمایشگاه باغبانی دانشگاه جیرفت با سه تکرار انجام شد. آزمایش دمای ثابت با شش سطح (دمای ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد)، دمای متناوب با سه سطح (۲۰/۱۰، ۲۵/۱۵ و

از برازش معادله دو تیکه‌ای اثر سطوح مختلف دما بر سرعت جوانه‌زنی (شکل ۱-A)، دمای کمینه، بهینه و بیشینه به ترتیب ۱/۹۲، ۲۵ و ۴۵/۸ درجه سانتی‌گراد برآورد شد (جدول ۱). با افزایش دما از ۱۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد، سرعت جوانه‌زنی بذر افزایش، در ۲۵ درجه سانتی‌گراد به حداکثر (۴ بذر در روز) رسیده و سپس کاهش یافته است. نقش دما در بیان ژن‌های مرتبط با فعالیت یا ساخت آنزیم‌های جوانه‌زنی ثابت شده است (Mangrauthia et al., 2016). ممانعت دما از جوانه‌زنی با دخالت در عمل جیبرلین ایجاد می‌شود (Huo and Bradford, 2015). دمای بهینه جوانه‌زنی و رشد گیاهچه الزاماً یکسان نیستند (Ustarroz et al., 2016). تعیین دمای پایه جوانه‌زنی، امکان تنظیم دقیق تاریخ کاشت، بهبود فیزیولوژی گیاه و جنبه اقتصادی کشت و کار را ایجاد می‌کند (Durr et al., 2015).

آزمایش اثر شوری بر درصد جوانه‌زنی

در این تحقیق، اثر شوری بر درصد جوانه‌زنی از مدل سیگموئید سه پارامتره پیروی می‌کند (جدول ۱). با افزایش سطح شوری از صفر تا ۳۳۶/۵ میلی‌مولار درصد جوانه‌زنی بذر از ۷۲ درصد به ۱۷/۳ درصد کاهش یافت (شکل ۱-B).

سطحی از شوری که ۵۰ درصد کاهش جوانه‌زنی بذر را دربر داشته ۱۸۶±۷/۴ میلی‌مولار تخمین زده شده است ($P < 0.0001$). شوری از عوامل محدودکننده جوانه‌زنی و رشد گیاه است که با ایجاد سمیت، تنش اسمزی و تنش اکسیداسیونی ایجاد اختلال می‌کند (Cavallaro et al., 2016). در غلظت زیاد سدیم یا بالا بودن نسبت سدیم به پتاسیم، رقابت این یون با پتاسیم در برقراری ارتباط با جایگاه فعال آنزیم‌ها، سبب اختلال در فعالیت‌های مختلف آنزیمی در سیتوپلاسم، اختلال در ساخت پروتئین‌ها به دلیل ممانعت از اتصال tRNA به ریبوزوم و سایر فعالیت‌های آن می‌شود (Dunajska-Ordak et al., 2014). سنتز پروتئین کاملاً وابسته به غلظت یون پتاسیم در سیتوزل بوده و شاید اختلال در تولید پروتئین یکی از مهم‌ترین دلایل بروز خسارت ناشی از سمیت این یون باشد (Faust and Schubert, 2016). بقاء بذر در خاک‌های بسیار شور عامل تعیین‌کننده استقرار گونه گیاهی است (Yamada et al., 2016). تنش شوری جوانه‌زنی بذر آفتابگردان و رشد گیاهچه را به طرز متفاوتی تحت تأثیر قرارداد (Kaya et al., 2006). کاهش جوانه‌زنی بذرهای خیار تحت اثر تنش شوری گزارش شده است (Zhang et al., 2014).

شاخص بنیه بذر و سرعت جوانه‌زنی به ترتیب با معادلات شماره (۱) و (۲) در این آزمایش محاسبه گردید.

$$Vi = \frac{SL \times Gp\%}{100} \quad [1]$$

$$GR = \sum_{i=0}^n \frac{Ni}{Di} \quad [2]$$

در معادله (۱)، Vi شاخص بنیه بذر، SL طول گیاهچه و GP درصد نهایی جوانه‌زنی و در معادله (۲)، GR سرعت جوانه‌زنی، Ni تعداد بذر جوانه‌زده در روز و Di روز از شروع آزمایش است. برای تجزیه آماری صفات سرعت جوانه‌زنی، بنیه بذر، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه و ترکیبات شیمیایی از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین با آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد از نرم‌افزار Minitab 16 تعیین دماهای اصلی (معادله دوتیکه‌ای شماره ۳) و اثر شوری (معادله سیگموئید سه پارامتره شماره ۴)، اسیدیتته (پلی‌نومیال درجه دوم شماره ۵) و خشکی و دما (معادله خطی شماره ۶) بر درصد جوانه‌زنی بذر از تجزیه رگرسیون به‌وسیله نرم‌افزار S 12.5 استفاده شد.

$$GR = \frac{t-tb}{to-tb}/d \quad tb < t < to \quad [3]$$

t دما، tb دمای پایه، to دمای مطلوب، tm دمای بیشینه و d حداقل زمان لازم برای جوانه‌زنی در دمای مطلوب.

$$G = \frac{Gm}{1 + e^{-\left(\frac{x-x50}{b}\right)}} \quad [4]$$

X سطح شوری، X_{50} سطح شوری برای کاهش جوانه‌زنی تا نصف، b شیب نقطه، G_m حداکثر جوانه‌زنی.

$$G = ax^2 + bx + G0 \quad [5]$$

$$G = ax + G0 \quad [6]$$

در معادله شماره ۶، G درصد جوانه‌زنی، $G0$ درصد جوانه‌زنی اولیه (عرض از مبدأ) و a شیب منحنی است. تخمین سطح خشکی که سبب توقف جوانه‌زنی شد، با تقسیم عرض از مبدأ بر شیب معادله محاسبه گردید.

نتایج و بحث

آزمایش تعیین دماهای اصلی جوانه‌زنی

آزمایش اثر اسیدیته بر درصد جوانه‌زنی

۵۰/۶ درصد کاهش یافت. تعیین اثر اسیدیته در مرحله جوانه‌زنی بذر به دلیل تأثیر بر عمل آنزیم‌های تجزیه‌کننده بافت ذخیره دارای اهمیت است که معمولاً افزایش اسیدیته به سمت خنثی اثر افزایشی بر جوانه‌زنی خواهد داشت اما در بذره‌های دارای پوسته سخت، شرایط اسیدی محیط در مرحله جوانه‌زنی مناسب‌تر است (Deska et al., 2011). اثر اسیدیته محیط بر جوانه‌زنی بذر برخی از گیاهان مرتعی گزارش شده است (Deska et al., 2011).

آزمایش اثر اسیدیته بر درصد جوانه‌زنی با برازش یک معادله پلی‌نومینال درجه دوم مشخص شد (جدول ۱). اسیدیته خنثی، دارای حداکثر جوانه‌زنی بذر (۷۰/۶ درصد) و با کاهش یا افزایش اسیدیته، کاهش درصد جوانه‌زنی مشاهده شد (شکل ۱-C). با افزایش و کاهش دو واحد اسیدیته از حالت خنثی (اسیدیته ۹ و ۵) به ترتیب درصد جوانه‌زنی به ۶۰ و

جدول ۱. پارامترهای برآورد شده، خطای معیار و ضریب تعیین در معادلات برازش داده جوانه‌زنی.

Table 1. Estimated parameters, standard error and R² of germination fitted models

تیمار	a±SE	b±SE	c±SE	R ²	P value
دمای ثابت*	1.92±1.24	25.00±0.74	45.8±1.67	0.99	0.001
Constant temperature					
شوری**	85.6±2.40	-109±5.20	186±7.4	0.99	0.0001
Salinity**					
اسیدیته	35.4±8.51	-2.30±0.56	-	0.85	0.05
pH					
خشکی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد	-75.9±4.80	73.6±2.30	-	0.98	0.0006
Drought at 25 °C					
خشکی در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد	-74.6±4.01	59.9±1.97	-	0.99	0.0003
Drought at 20 °C					
خشکی در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد	-64.6±3.83	50.9±1.90	-	0.98	0.0005
Drought at 15 °C					

*a: دمای کمینه؛ b: دمای بهینه؛ c: دمای بیشینه جوانه‌زنی با انحراف معیار است.

**c: سطح شوری برای ۵۰ درصد کاهش جوانه‌زنی.

*= a: minimum temperature; b: optimum temperature; c: maximum temperature of germination ± SE

**= c: salinity level for 50% inhibition of germination.

بذر (Bewley and Black, 2012). کاهش جوانه‌زنی بذر شیکوره با کاهش پتانسیل آب گزارش شده است (Sadeghi and Robati, 2015).

آزمایش اثر هیدرو پرایم بر درصد جوانه‌زنی (آبشویی با آب جاری)

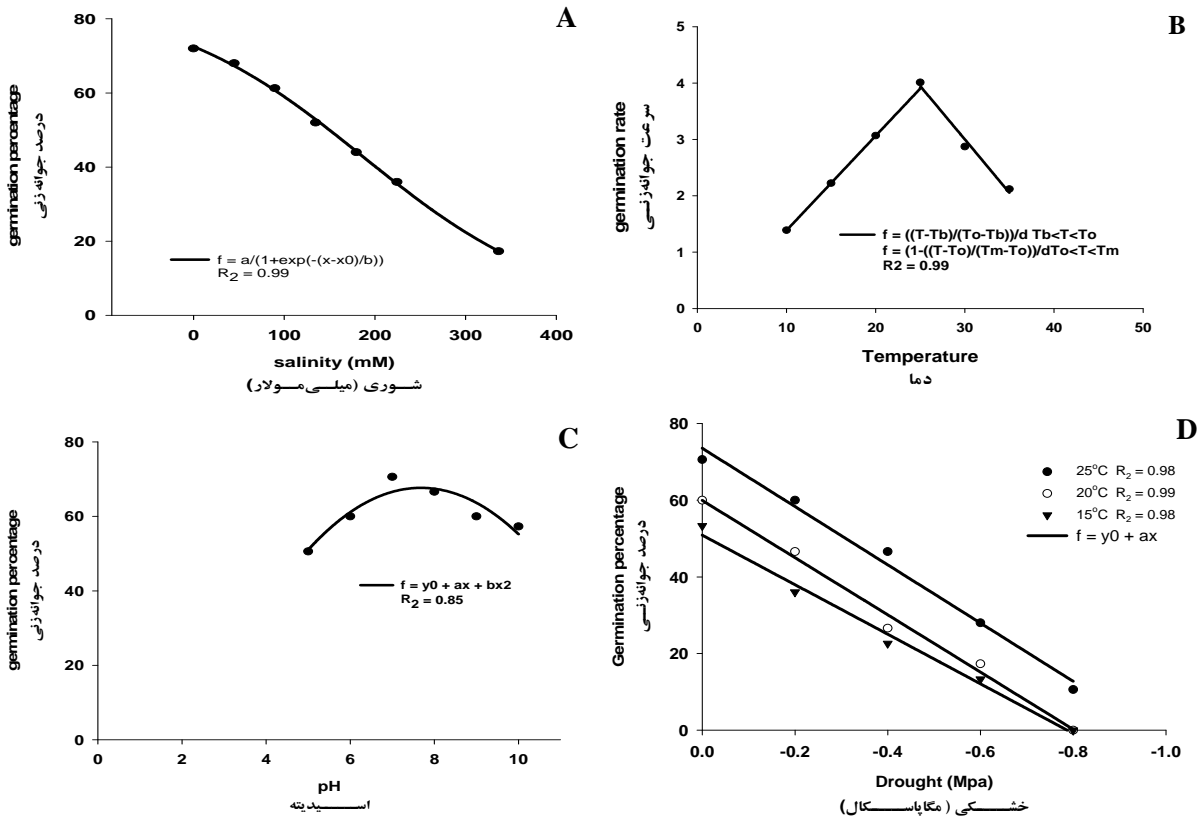
آبشویی بذر با تیمار ۱۸ ساعت، دارای حداکثر جوانه‌زنی (۸۴ درصد) و سبب افزایش معنی‌دار جوانه‌زنی در سطح احتمال ۵ درصد در مقایسه با شاهد (۶۱/۳ درصد) شده است (شکل ۲-A). اثر مثبت آبشویی بر نرم کردن پوسته بذر، کاهش بازدارنده‌های جوانه‌زنی و افزایش فعالیت متابولیکی بذر گزارش شده است (Yan, 2016). بازدارنده‌های ترکیبات

آزمایش اثر خشکی و دما بر درصد جوانه‌زنی

روند تغییرات درصد جوانه‌زنی در سطوح مختلف خشکی در دماهای ۲۵، ۲۰ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد با برازش سه معادله خطی مشخص شد و توقف جوانه‌زنی به ترتیب در پتانسیل ۰/۹۶، ۰/۸۰- و ۰/۷۸ مگاپاسکال اسمزی برآورد شد (جدول ۱). فقدان یا کمبود آب اولین عامل محیطی محدودکننده جوانه‌زنی است. در مرحله آب‌نوشی بذر، وجود ایزوفرم‌های اکتین و در شرایط کاهش آب بذر، حضور آنزیم گلیسرآلدئید ۳- فسفات دهیدروژناز ثابت شده که به ترتیب نشانی از افزایش و کاهش متابولیسم بذر مرتبط با جذب آب است (Gallardo et al., 2001). کلیه فرآیندهای تقسیم و بزرگ شدن سلول در محور جنین بذر با حضور آب امکان‌پذیر است

پروتئین‌های ۵- پیروکسی ردوکسین، ۱- سیس پیروکسی ردوکسین، کوپین، ۱- گلوبولین و ۸- دی سی را نشان داده است (Gong et al., 2013). جوانه‌زنی بذر نخود سبز با هیدرو پرایم افزایش یافته است (Mahawar et al., 2016).

متنوعی بوده که ممکن است به طرق مختلفی مثلاً ممانعت از ساخت یا فعالیت جیبرلین یا آنزیم اینورتاز که در متابولیسم قندها نقش عمده‌ای دارد جوانه‌زنی را به تأخیر بیندازند (Bewley and Black, 2012; Su et al., 2016). بذر ذرت شیرین که با هیدرو پرایم جوانه‌زنی سریع‌تری داشته، افزایش



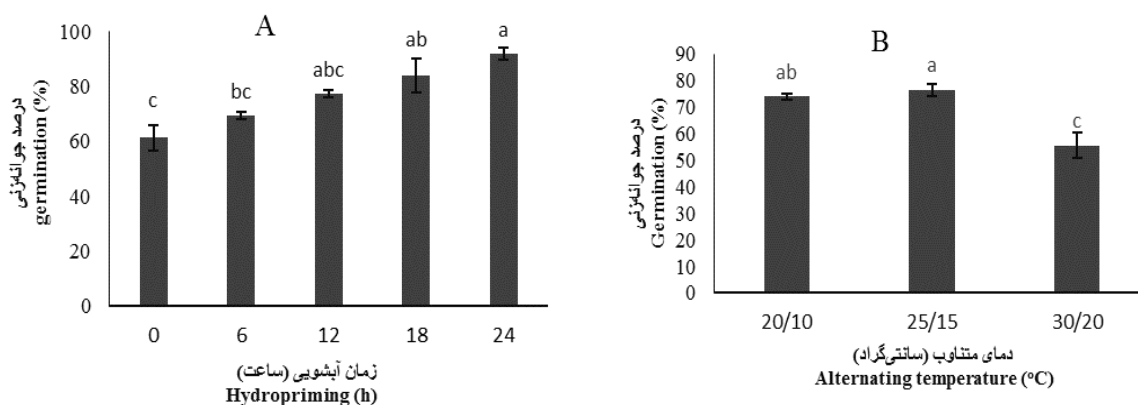
شکل ۱. دماهای کاردینال (A)، اثر شوری (B)، اسیدیته (C) و خشکی و دما (D) بر درصد جوانه‌زنی بذر چغندر برگی

Fig. 1. Cardinal temperatures (A), effect of salinity (B), pH (C) and drought and temperature (D) on germination percentage of chard plant

محدودیت است زیرا بذر در محیط طبیعی اغلب دمای متناوب روز و شب را تجربه می‌کند (Galindez et al., 2017). دمای متناوب می‌تواند مکانیسمی از درک عمق کاشت بذر باشد (Kumar et al., 2016). بذرهای مختلف در پاسخ به دمای متناوب بر اساس منشأ اکولوژیکی و نیازهای جوانه‌زنی از قبیل حساسیت به نور واکنش متفاوتی دارند (Galindez et al., 2017).

آزمایش اثر دمای متناوب بر درصد جوانه‌زنی

دمای متناوب ۲۵/۱۵ درجه سانتی‌گراد بیشترین درصد جوانه‌زنی (۷۶/۶ درصد) را داشت که با تیمار ۲۰/۱۰ تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل B-۲). به عبارتی، دمای متناوب بر جوانه‌زنی بذر در دمای پایین‌تر اثر رونق‌بخش داشته است. اغلب مدل‌های بررسی جوانه‌زنی در دمای ثابت دارای



شکل ۲. اثر هیدرو پرایم (A) و دمای متناوب (B) بر درصد جوانه‌زنی بذر چغندر برگی

Fig. 2. Effect of hydropriming (A) and alternating temperature (B) on germination of chard plant.

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر دمای ثابت و متناوب، هیدرو پرایم، شوری و اسیدیته بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه چغندر برگی
Table 2. ANOVA for the effect of constant and alternating temperature, hydropriming, salinity and pH on germination indices and seedling growth of chard plant.

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	بنیه بذر Seed vigour	طول ساقه‌چه Shoot length	طول ریشه‌چه Root length
Constant temperature	دمای ثابت	5	2.47**	29242**	1.37**	0.54**
	خطا	12	0.16	568	0.09	0.00
	ضریب تغییرات (%)		15.6	9.98	10.8	7.15
Alternating temperature	دمای متناوب	2	6.89**	28402*	0.75*	0.32*
	خطا	6	0.47	2639	0.06	0.04
	ضریب تغییرات (%)		16.4	13.3	7.07	9.92
Hydropriming	هیدرو پرایم	4	29.8**	247242**	5.33**	10.9**
	خطا	10	0.38	3393	0.06	0.09
	ضریب تغییرات (%)		9.46	9.02	5.62	8.47
Salinity	شوری	6	5.02**	59229**	3.90**	1.06**
	خطا	14	0.07	805	0.07	0.00
	ضریب تغییرات (%)		12.3	15.2	12.7	10.1
pH	اسیدیته	5	5.07**	21862**	1.04**	0.46**
	خطا	12	0.32	833	0.07	0.00
	ضریب تغییرات (%)		12.9	12.5	10.8	8.25

* و ** به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد را نشان می‌دهد

* and ** show significant difference at probability level 1 and 5%, respectively.

آزمایش‌های قبلی نشان داد، سایر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاه با آیشویی به حداکثر میزان رسید و ریشه‌چه گیاه به این تیمار پاسخ شدیدتری داشته است.

آزمایش اثر شوری بر سرعت جوانه‌زنی، بنیه بذر، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه

اثر هیدروپرایم بر سرعت جوانه‌زنی، بنیه بذر و رشد گیاهچه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). حداکثر سرعت جوانه‌زنی و رشد اولیه همان‌طور که انتظار می‌رفت در گیاه شاهد مشاهده شد و در اغلب موارد، غیر از طول ریشه‌چه، سطح دوم شوری با شاهد وضعیت مشابهی داشت. چغندر برگی در گروه گیاهان سدیم‌دوست قرار گرفته است (Yamada et al., 2016). چغندر برگی گیاهی گلیکوفیت (شیرین پسند) شناخته‌شده اما شرایط شوری را تحمل می‌کند (Liu et al., 2014). گیاهان با مکانیسم‌های مختلفی به تنش شوری در محیط رشد خود پاسخ می‌دهند (Deinlein et al., 2014). راه‌های ساده‌تر و کم‌هزینه از قبیل جذب بیشتر یون‌های کلر و سدیم در شرایط شور برای حفظ تعادل اسمزی تا صرف انرژی بیشتر مثل فعال شدن سیستم دفاعی در گیاهان متعدد مشاهده شده است (Tanou et al., 2014). البته گیاهان حساسیت متفاوتی نسبت به یون‌های ذکر شده دارند. در چغندر قند جانیشینی پتاسیم با سدیم سبب بهبود رشد گیاهچه شده است (Faust and Schubert, 2016). در گیاه چغندر لبویی تحت تأثیر شوری افزایش فعالیت آسکوربات پراکسیداز مشاهده شده است (Dunajska-Ordak et al., 2014). تعدیل اسمزی (توسط نمک‌های معدنی و ترکیبات محلول سازگار از قبیل پرولین)، خروج یون‌های اضافی، تنظیم نسبت سدیم به پتاسیم با افزایش پتاسیم در سیتوپلاسم سلول، ذخیره یون در مکان‌های دور از دسترس مانند واکوئل (حجره بندی یون‌ها) و تنظیم انتقال غشایی (جذب یون از خاک توسط سلول‌های ریشه) از راهکارهای گیاه در مقابله با تنش شوری است (Deinlein et al., 2014). شاید گیاه چغندر برگی با مکانیسمی شبیه به گیاهان شورپسند (هالوفیت) در تحمل شرایط شور در این آزمایش موفق بوده است. چغندر برگی گیاهی گلیکوفیت (شیرین‌پسند) شناخته‌شده اما شرایط شوری را تحمل می‌کند (Liu et al., 2014).

آزمایش اثر دمای ثابت و متناوب بر سرعت جوانه‌زنی، بنیه بذر، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، اثر دمای ثابت بر سرعت جوانه‌زنی، بنیه بذر و طول ساقه‌چه و ریشه‌چه گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ۲). حداکثر سرعت جوانه‌زنی (۴ بذر در روز)، بنیه بذر (۳۸۶)، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه (۳/۶۴ و ۱/۸۵ سانتی‌متر) در دمای ثابت ۲۵ درجه سانتی‌گراد وجود داشت (جدول ۳). نتایج حاکی از آن است که دمای ثابت ۲۵ درجه سانتی‌گراد مناسب‌ترین دما جهت جوانه‌زنی سریع‌تر بذر و رشد اولیه آن است. تعیین دماهای اصلی جوانه‌زنی در هر گیاهی ضرورت از پیش شناخته‌شده‌ای است (Gilbertson, 2014). در دمای متناوب حداکثر سرعت جوانه‌زنی (۵/۲ بذر در روز) و طول ساقه‌چه (۴ سانتی‌متر) در تیمار ۲۰/۱۰ ولی حداکثر بنیه بذر (۴۴۴) و طول ریشه‌چه (۲/۳۰) در تیمار ۲۵/۱۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. در مقایسه دمای ثابت و متناوب، در دمای متناوب سرعت جوانه‌زنی و طول ساقه‌چه گیاه در دمای پایین‌تر یعنی تیمار ۲۰/۱۰ به وضعیت مطلوب رسیده است. بذرهای ممکن است به دمای متناوب کاملاً بی‌تفاوت، نیازمند یا نیاز نسبی داشته باشند (Brits et al., 2014). دمای متناوب قادر است دمای پایه جوانه‌زنی در برخی بذرهای را تغییر دهد و شاید دلیل احتمالی آن تغییر در میزان جیبرلین بذر باشد (Galindez et al., 2017). به نظر می‌رسد اندام هوایی گیاه نسبت به ریشه آن پاسخ بهتری به دمای متناوب داشته است. وضعیت بهتر بنیه بذر در دمای متناوب ۲۵/۱۵، با درصد نهایی جوانه‌زنی بیشتر در این دما توجیه می‌شود.

آزمایش اثر هیدروپرایم بر سرعت جوانه‌زنی، بنیه بذر، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه

اثر هیدروپرایم بر سرعت جوانه‌زنی، بنیه بذر و رشد گیاهچه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). با افزایش زمان آیشویی بذر، همچنان سرعت جوانه‌زنی، بنیه بذر و طول ساقه‌چه و ریشه‌چه افزایش یافت. تیمار ۲۴ ساعته به دلیل مشاهده جوانه‌زنی قبل از شروع آزمایش حذف گردید و تیمار ۱۸ ساعت با حداکثر سرعت جوانه‌زنی (۷/۱ بذر در روز)، بنیه بذر (۷۵۳/۶)، افزایش ۵۶ و ۲۴۰ درصدی طول ساقه‌چه و ریشه‌چه گیاه بر سایر تیمارها برتری داشت (جدول ۳). همان‌طور که اثر مثبت آیشویی بر درصد جوانه‌زنی در

جدول ۳. اثر دمای ثابت، دمای متناوب، هیدروپرایم، شوری و اسیدیته بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه چغندر برگی
 Table 3. Effect of constant and alternating temperature, hydropriming, salinity and pH on germination indices and seedling growth of chard plant.

تیمار treatment	شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه Germination indices and seedling growth			
	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز) Germination rate (seed day ⁻¹)	بنیه بذر Seed vigor	طول ساقه‌چه (سانتی‌متر) Stem length (cm)	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر) Root length (cm)
دمای ثابت (سانتی‌گراد) Constant temperature (°C)				
10	1.38±0.04 ^c	122±11.3 ^d	1.79±0.22 ^d	0.68±0.03 ^e
15	2.21±0.10 ^b	209.2±7.14 ^c	2.69±0.16 ^{bc}	1.25±0.05 ^{cd}
20	3.06±0.23 ^b	301.1±10.6 ^b	3.43±0.19 ^{ab}	1.65±0.05 ^{ab}
25	4.00±0.29 ^a	386.2±17.9 ^a	3.64±0.17 ^a	1.85±0.05 ^a
30	2.86±0.28 ^b	264.40±19.8 ^b	3.13±0.16 ^{abc}	1.5±0.05 ^{bc}
35	2.11±0.30 ^b	149.7±11.7 ^d	2.52±0.15 ^{cd}	1.00±0.06 ^d
دمای متناوب (سانتی‌گراد) Alternating temperature (°C)				
20/10	5.16±0.33 ^a	436±12.7 ^a	4.04±0.22 ^a	2.28±0.06 ^a
25/15	4.99±0.57 ^a	444.1±40.1 ^a	3.97±0.12 ^a	2.30±0.17 ^a
30/20	2.45±0.19 ^b	271.7±29.6 ^b	3.14±0.04 ^b	1.72±0.09 ^b
هیدروپرایم (ساعت) Hydropriming (h)				
0	3.62±0.24 ^d	359.9±41.7 ^d	3.27±0.07 ^c	1.58±0.04 ^d
6	4.49±0.19 ^d	446.3±8.8 ^d	3.64±0.19 ^c	2.18±0.09 ^d
12	5.91±0.07 ^c	584.1±18.2 ^c	4.64±0.09 ^b	3.78±0.13 ^c
18	7.14±0.70 ^b	753.6±19.9 ^b	5.10±0.06 ^b	4.65±0.14 ^b
24	11.67±0.21 ^a	1084±55.8 ^a	6.65±0.24 ^a	6.32±0.33 ^a
شوری (میلی‌مولار) Salinity (mM)				
0	4.08±0.23 ^a	394.1±10.2 ^a	3.64±0.17 ^a	1.85±0.05 ^a
44.86	3.60±0.13 ^a	315.4±17.9 ^{ab}	3.12±0.18 ^{ab}	1.51±0.05 ^b
89.73	2.59±0.06 ^b	248.1±16.8 ^c	2.78±0.18 ^b	1.24±0.05 ^b
134.60	1.99±0.26 ^c	170.8±30.4 ^d	2.40±0.17 ^{bc}	0.84±0.06 ^c
179.47	1.61±0.10 ^{cd}	110.2±15 ^e	1.82±0.19 ^c	0.67±0.05 ^{cd}
224.34	1.20±0.09 ^d	49.4±3.30 ^f	0.95±0.09 ^d	0.43±0.05 ^{de}
336.51	0.46±0.10 ^e	12.9±3.5 ^f	0.52±0.06 ^d	0.20±0.03 ^e
اسیدیته pH				
5	2.61±0.07 ^c	133±4.37 ^e	1.96±0.16 ^c	0.67±0.04 ^c
6	4.17±0.25 ^b	218.4±15.9 ^c	2.43±0.15 ^{bc}	1.21±0.02 ^b
7	6.29±0.67 ^a	360±24.3 ^a	3.41±0.13 ^a	1.67±0.03 ^a
8	5.42±0.29 ^a	280.2±16.9 ^b	2.87±0.15 ^b	1.32±0.06 ^b
9	4.31±0.15 ^b	197.8±11.7 ^{cd}	2.27±0.14 ^{bc}	0.85±0.04 ^c
10	3.65±0.13 ^b	147.9±19.6 ^{de}	1.84±0.16 ^c	0.71±0.07 ^c

The values indicate means± standard error.

مقادیر میانگین‌ها ±خطای معیار را نشان می‌دهند.

آزمایش اثر اسیدیته بر سرعت جوانه‌زنی، بنیه بذر، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه

اثر اسیدیته بر سرعت جوانه‌زنی، بنیه بذر، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه گیاه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). افزایش اسیدیته به سمت خنثی، سبب افزایش سرعت جوانه‌زنی شد به طوری که اسیدیته ۷، حداکثر سرعت جوانه‌زنی (۶/۲۹ بذر در روز)، طول ساقه‌چه (۳/۴۱ سانتی‌متر)، حداکثر بنیه بذر (۳۶۰) و طول ریشه‌چه (۱/۶۷) گیاه را داشت.

اغلب گیاهان مورد استفاده در کشاورزی برای حداکثر رشد و عملکرد مؤکداً به اسیدیته خاصی از خاک پاسخ می‌دهند مثلاً نیازمند شرایط اسیدی یا غیرمقاوم به آن هستند که حاصل اثر بر جذب عناصر غذایی و میکروارگانیزم‌های خاک است (Mahmood et al., 2016). جوانه‌زنی و رشد کاهو (*Lactuca sativa* L.) تحت تأثیر محیط با اسیدیته مختلف گزارش شده است (Wang et al., 2016).

آزمایش اثر خشکی و دما بر سرعت جوانه‌زنی، بنیه بذر، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، اثر متقابل خشکی و دما بر کلیه صفات معنی‌دار است (جدول ۴). با کاهش پتانسیل اسمزی در دماهای مختلف، همچنان سرعت جوانه‌زنی، بنیه

بذر، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه گیاه کاهش یافت. حداکثر سرعت جوانه‌زنی (۴ بذر در روز)، بنیه بذر (۳۷۹)، طول ساقه‌چه (۳/۵ سانتی‌متر) و ریشه‌چه گیاه (۱/۸۵ سانتی‌متر) در تیمار دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بدون تنش خشکی و حداقل مقادیر در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد با سطح خشکی ۰/۸- مگاپاسکال مشاهده شد (جدول ۵). یقیناً گیاه در دمای مطلوب تنش خشکی را بهتر تحمل می‌کند (Zandalinas et al., 2016). پاسخ گیاه به تنش خشکی به ژنوتیپ، مرحله توسعه گیاه، مدت، شدت خشکی و سایر شرایط مرتبط است (Cavallaro et al., 2016). اثر تنش خشکی بر جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاه شیکوره (*Cichorium intybus* L.) (Sadeghi and Robati, 2015) با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. گیاهان یا با رفتن به فاز زایشی و استراحت از شرایط خشک محیط فرار می‌کنند یا در این شرایط باقی‌مانده با حفظ رطوبت داخلی گیاه با مکانیزم‌های متعدد از قبیل تغییر ساختار و کنترل باز و بسته شدن روزنه‌ها رشد را ادامه داده، اما کاهش رشد در آن‌ها به دلایلی مثل کاهش سطح فتوسنتز قابل‌انکار نیست (Zandalinas et al., 2016). ظاهراً، گیاه چغندر برگی در مرحله جوانه‌زنی و رشد اولیه حساسیت بالایی به تنش خشکی نشان نداده اما اثبات مقاومت گیاه نیاز به آزمایش‌های متعددی داشته زیرا پاسخ به تنش خشکی فرآیند کاملاً پیچیده‌ای است (Cavallaro et al., 2016).

جدول ۴. تجزیه واریانس اثر خشکی و دما بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه چغندر برگی

Table 2. ANOVA for drought and temprature effects on germination and seedling growth of chard plant.

S.O.V	منبع تغییر	درجه آزادی df	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	بنیه بذر Seed vigour	طول ساقه‌چه Shoot length	طول ریشه‌چه Root length
Drought	خشکی	4	12.2**	126883**	12.3**	2.61**
Temperature	دما	2	4.91**	43933**	4.57**	1.11**
Drought× temperature	خشکی × دما	8	0.29**	3691**	0.15**	0.03*
Error	خطا	30	0.08	337	0.03	0.01
CV (%)	ضریب تغییرات (%)		19.6	15.2	10.3	12.3

* و ** به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد را نشان می‌دهد

** * show significant difference at level 1 and 5%, respectively.

جدول ۵. اثر خشکی و دما بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه چغندر برگی

Table 3. Effect of drought and temprature on germination indices and seedling growth of chard plant.

دما Temperature (C)	خشکی (مگاپاسکال) Drought (MPa)	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز)	طول ساقه‌چه (سانتی‌متر)	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر)	
		Germination rate (seed day ⁻¹)	بنیه بذر Seed vigour	Shoot length (cm)	Root length (cm)
25	0	4.00±0.29 ^a	379±25 ^a	3.64±0.17 ^a	1.85±0.057 ^a
	-0.2	3.03±0.35 ^b	257±12.8 ^{bc}	2.87±0.049 ^b	1.44±0.088 ^{bc}
	-0.4	1.94±0.10 ^c	158±7.29 ^d	2.22±0.07 ^{cd}	1.16±0.039 ^{cd}
	-0.6	1.07± 0.17 ^{de}	77.2±14.5 ^{ef}	1.89±0.10 ^{de}	0.84± ^d
	-0.8	0.360.53± ^{ef}	10.4±2.27 ^{gh}	0.52 ±0.063 ^{hi}	0.43±0.057 ^e
20	0	2.97±0.19 ^b	302±10.4 ^b	3.43±0.19 ^a	1.65±0.057 ^{ab}
	-0.2	2.01±0.16 ^c	175±11.9 ^d	2.52±0.049 ^{bc}	1.24±0.088 ^c
	-0.4	1.02±0.11 ^{de}	64.9±11.1 ^{efg}	1.55±0.10 ^{ef}	0.84± 0.066 ^d
	-0.6	0.60± 0.038 ^{def}	36.2±3.23 ^{fgh}	1.24±0.050 ^{fg}	0.84± ^d
	-0.8	0.00 ^f	0.00 ^h	0.00 ⁱ	0.00 ^f
15	0	2.21±0.10 ^c	209± 7.14 ^{cd}	2.69±0.16 ^{bc}	1.25±0.057 ^c
	-0.2	1.38±0.35 ^c	94.8±13.7 ^e	1.74±0.066 ^{def}	0.87±0.088 ^d
	-0.4	0.82± 0.053 ^{def}	26.9±2.09 ^{fgh}	0.77±0.10 ^{gh}	0.44±0.070 ^e
	-0.6	0.41±0.057 ^{ef}	12.1±1.89 ^{gh}	0.44± ^{hi}	0.45± ^e
	-0.8	0.00 ^f	0.00 ^h	0.00 ⁱ	0.00 ^f

The values indicate means± standard error

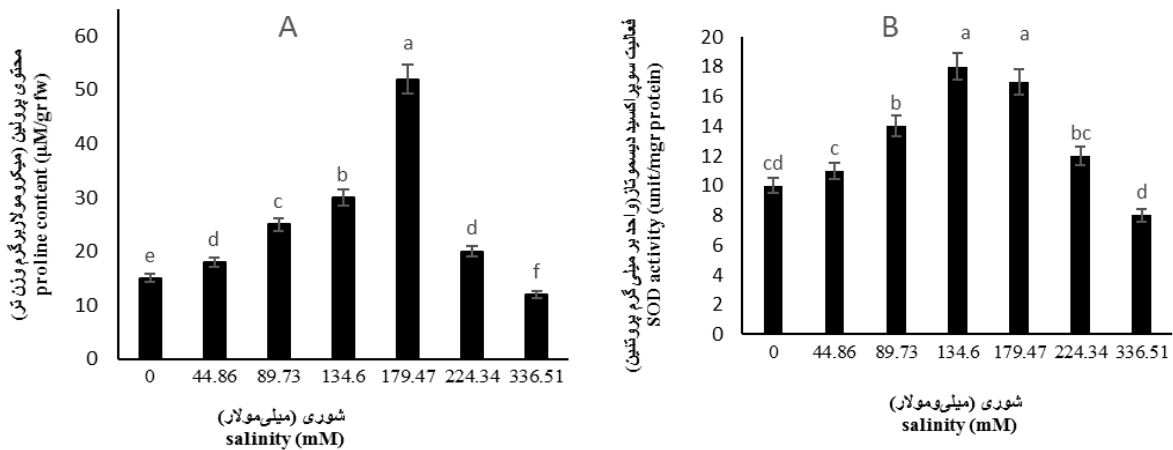
مقادیر میانگین‌ها ±خطای معیار را نشان می‌دهند.

اثر شوری بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز بیشترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در سطوح ۱۳۳/۶۰ و ۱۷۹/۴۷ میلی‌مولار مشاهده شد که بیانگر حداکثر توانایی سازگاری گیاه تا سطح شوری ۱۷۹/۴۷ میلی‌مولار است (شکل B-۳). تنش شوری قادر است در گیاهان تنش اکسیداسیونی را ایجاد نماید که پراکسیداسیون چربی، خسارت به مولکول‌های زیستی نظیر پروتئین و اسیدهای نوکلئیک را دربر خواهد داشت (Dunajska-Ordak et al., 2014). سوپراکسید دیسموتاز یکی از آنتی‌اکسیدانت‌های دفاعی است که در تمام سلول‌های زنده یافت می‌شود (Park et al., 2016). رادیکال سوپراکسید توسط آنزیم سوپراکسید دیسموتاز با تبدیل به پراکسید هیدروژن و مولکول اکسیژن مهار می‌گردد (Turan et al., 2013). افزایش و سپس کاهش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز تحت تنش شوری با نتایج تحقیق همخوانی دارد (Zhao et al., 2017).

آزمایش اثر شوری بر سیستم دفاعی گیاه چغندر برگی

اثر شوری بر محتوی پرولین برگ

با افزایش سطح شوری تا غلظت ۱۷۹/۴۷ میلی‌مولار، محتوی پرولین برگ افزایش و سپس رو به کاهش گذاشت که می‌تواند به ترتیب نشانی از افزایش سازگاری گیاه تا سطح مشخصی از شوری و سپس کاهش حالت تدافعی باشد (شکل A-۳). نقش پرولین به‌عنوان یکی از ترکیبات شیمیایی گیاه در کاهش اثر تنش اسمزی و اکسیداسیونی بارها آزمایش و گزارش شده است (Nxele et al., 2015). بر طبق گزارش‌های علمی، پرولین از ترکیبات محلول گیاه است که در موارد تنش به‌منظور حفظ تعادل اسمزی، ثبات غشاهای سلول و حفاظت از ترکیبات زیستی از قبیل پروتئین و چربی با کنترل گونه‌های فعال اکسیژن عمل کرده ولی مکانیسم آن به‌طور کامل شناخته نشده است (Kaya et al., 2006). افزایش محتوی پرولین تحت تنش شوری در گیاه چغندر برگی گزارش شده است (Liu et al., 2014). بیان ژن‌های ساخت پرولین در گیاه کلزا تحت تنش شوری افزایش یافته است (Kubala et al., 2015).



شکل ۳. اثر شوری بر محتوی پرولین (A) و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (B)

Fig 3. Effect of salinity on proline content and SOD activity

نتیجه‌گیری

حساسیت چندانی به تنش‌های شوری و خشکی نداشته به‌طوری‌که در سطح شوری ۳۳۶ میلی‌مولار و تا پتانسیل ۰/۹۶ - مگاپاسکال قادر به جوانه‌زنی و رشد بوده، اگرچه اثبات قطعی مقاومت گیاه نیازمند آزمایش‌های بیشتری است.

بر طبق نتایج این مطالعه، گیاه چغندر برگی با دمای حداقل جوانه‌زنی ۱/۹۲ درجه سانتی‌گراد، از گیاهان فصل خنک بوده، با آبشویی ۱۸ ساعته بذر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد آن افزایش و به نظر می‌رسد در مرحله جوانه‌زنی و رشد اولیه

منابع

- Arbona, V., Manzi, M., Zandalinas, S.I., Vives-Peris, V., Perez-Clemente, R.M., Gomez-Cadenas, A., 2017. Physiological, Metabolic, and Molecular Responses of Plants to abiotic Stress. In: Sarwat, M., Ahmad, A., Abdin, M. Z., Ibrahim, M.M. (eds.), *Stress Signaling in plants: Genomics and Proteomics Perspective*. Springer, Cham, pp. 1-35
- Atashi, S., Bakhshandeh, E., Mehdipour, M., Jamali, M., Da Silva, J.A.T., 2015. Application of a hydrothermal time seed germination model using the Weibull distribution to describe base water potential in zucchini (*Cucurbita pepo* L.). *Journal of Plant Growth Regulation*. 34(1), 150-157.
- Bates, L.S., Waldren, R.P., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*. 39 (1), 205-207.
- Berkowitz, O., De Clercq, I., Van Breusegem, F., Whelan, J., 2016. Interaction between hormonal and mitochondrial signalling during growth, development and in plant defence responses. *Plant, Cell and Environment*. 39(5), 27-39
- Bewley, J.D., Black, M., 2012. *Physiology and Biochemistry of Seeds in Relation to Germination, Volume 2: Viability, Dormancy, and Environmental Control*. Springer Science and Business Media.
- Brits, G.J., Brown, N.A.C., Calitz, F.J., 2014. Alternating temperature requirements in *Leucospermum* R.Br. seed germination and ecological correlates in fynbos. *South African Journal of Botany*. 92, 112-119.
- Calanca, P.P., 2017. Effects of Abiotic Stress in Crop Production. In: Ahmed, M., Stockle, C.O. (eds.), *Quantification of Climate Variability, Adaptation and Mitigation for Agricultural Sustainability*. Springer, Cham, pp. 165-180
- Cavallaro, V., Barbera, A.C., Maucieri, C., Gimma, G., Scalisi, C., Patane, C., 2016. Evaluation of variability to drought and saline stress through the germination of different ecotypes of carob (*Ceratonia siliqua* L.) using a hydrotime model. *Ecological Engineering*. 95, 557-566.

- Deinlein, U., Stephan, A.B., Horie, T., Luo, W., Xu, G., Schroeder, J.I., 2014. Plant salt-tolerance mechanisms. *Trends in plant Science*. 19(6), 371-379.
- Deska, J., Jankowski, K., Bombik, A., Jankowska, J., 2011. Effect of growing medium pH on germination and initial development of some grassland plants. *Acta Scientiarum Polonorum Agricultura*. 10(4), 45-56
- Dunajska-Ordak, K., Skorupa-Kłaput, M., Kurnik, K., Tretyn, A., Tyburski, J., 2014. Cloning and expression analysis of a gene encoding for ascorbate peroxidase and responsive to salt stress in beet (*Beta vulgaris*). *Plant Molecular Biology Reporter*. 32 (1),162-175.
- Durr, C., Dickie, J.B., Yang, X.Y., Pritchard, H.W., 2015. Ranges of critical temperature and water potential values for the germination of species worldwide: contribution to a seed trait database. *Agricultural and Forest Meteorology*. 200, 222-232.
- Faust, F., Schubert, S., 2016. Protein synthesis is the most sensitive process when potassium is substituted by sodium in the nutrition of sugar beet (*Beta vulgaris*). *Plant Physiology and Biochemistry*. 107, 237-247
- Galindez, G., Seal, C.E., Daws, M.I., Lindow, L., Ortega-Baes, P., Pritchard, H.W., 2017. Alternating temperature combined with darkness resets base temperature for germination (T_b) in photoblastic seeds of *Lippia* and *Aloysia* (Verbenaceae). *Plant Biology*. 19(1), 41-45.
- Gallardo, K., Job, C., Groot, S.P., Puype, M., Demol, H., Vandekerckhove, J., Job, D., 2001. Proteomic analysis of Arabidopsis seed germination and priming. *Plant Physiology*. 126(2), 835-848.
- Giannopolitis, C.N., Ries, S.K., 1977. Superoxide dismutases II. Purification and quantitative relationship with water-soluble protein in seedlings. *Plant Physiology*. 59(2), 315-318.
- Gilbertson, P.K., Berti, M.T., Johnson, B.L., 2014. Borage cardinal germination temperatures and seed development. *Industrial Crops and Products*. 59, 202-209.
- Gong, F., Wu, X., Wang, W., 2013. Comparative proteomic identification of embryo proteins associated with hydropriming induced rapid-germination of maize seeds. *Plant Omics*. 6(5), 333.
- Huo, H., Bradford, K.J., 2015. Molecular and hormonal regulation of thermoinhibition of seed germination. In: Anderson, J.V., (ed.), *Advances in Plant Dormancy*. Springer, Cham, pp. 3-33
- Kaya, M.D., Okcu, G., Atak, M., Cıkılı, Y., Kolsarıcı, O., 2006. Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L). *European Journal of Agronomy*. 24(4), 291-295.
- Kubala, S., Wojtyła, Ł., Quinet, M., Lechowska, K., Lutts, S., Garnczarska, M., 2015. Enhanced expression of the proline synthesis gene P5CSA in relation to seed osmopriming improvement of Brassica napus germination under salinity stress. *Journal of Plant Physiology*. 183, 1-12.
- Kumar, B., Yadav, R., Singh, S.C., Singh, H.P., 2016. Seed germination behavior of *Withania* spp. under different temperature regimes. *Journal of Crop Improvement*, 30(3), 287-292.
- Liu, L., Nguyen, N. T., Ueda, A., Saneoka, H., 2014. Effects of 5-aminolevulinic acid on Swiss chard (*Beta vulgaris* L. subsp. *cicla*) seedling growth under saline conditions. *Plant Growth Regulation*. 74(3), 219-228.
- Ma, H., Yang, H., Lü, X., Pan, Y., Wu, H., Liang, Z., Ooi, M.K. 2015. Does high pH give a reliable assessment of the effect of alkaline soil on seed germination? A case study with *Leymus chinensis* (Poaceae). *Plant and Soil*. 394(1-2), 35-43.
- Mahawar, M.K., Samuel, D.V.K., Sinha, J.P., Jalgaonkar, K. 2016. Optimization of pea (*Pisum sativum*) seeds hydropriming by application of response surface methodology. *Acta Physiologiae Plantarum*. 38(9), 212.
- Mahmood, A.H., Florentine, S.K., Chauhan, B.S., McLaren, D.A., Palmer, G.C., Wright, W., 2016. Influence of various environmental factors on seed germination and seedling emergence of a noxious environmental weed: green galenia (*Galenia pubescens*). *Weed Science*. 64(3), 486-494.
- Mangrauthia, S.K., Agarwal, S., Sailaja, B., Sarla, N., Voleti, S.R., 2016. Transcriptome analysis of *Oryza sativa* (rice) seed germination at high temperature shows

- dynamics of genome expression associated with hormones signalling and abiotic stress pathways. *Tropical Plant Biology*. 9(4), 215-228
- Michel, B.E., Kaufmann, M.R., 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*. 51, 914-916.
- Nxele, X., Klein, A., Ndimba, B.K., 2017. Drought and salinity stress alters ROS accumulation, water retention, and osmolyte content in sorghum plants. *South African Journal of Botany*. 108, 261-266.
- Park, K.Y., Kim, E.Y., Lee, W., Kim, T.Y., Kim, W.T., 2016. Expression, subcellular localization, and enzyme activity of a recombinant human extra-cellular superoxide dismutase in tobacco (*Nicotiana benthamiana* L). *Protein Expression and Purification*. 119, 69-74.
- Paucar-Menacho, L.M., Martinez-Villaluenga, C., Duenas, M., Frias, J., Penas, E., 2016. Optimization of germination time and temperature to maximize the content of bioactive compounds and the antioxidant activity of purple corn (*Zea mays* L.) by response surface methodology. *LWT-Food Science and Technology*. 76, 236-244.
- Sadeghi, H., Robati, Z., 2015. Response of *Cichorium intybus* L. to eight seed priming methods under osmotic stress conditions. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 4 (4), 443-448.
- Slabbert, M.M., Motsa, M., Van Averbeke, W., 2014. Germination of selected African leafy vegetables in response to different dormancy pre-sowing treatments. In: XXIX International Horticultural Congress on Horticulture: Sustaining Lives, Livelihoods and Landscapes (IHC2014). 1102, 75-82.
- Su, T., Wolf, S., Han, M., Zhao, H., Wei, H., Greiner, S., Rausch, T., 2016. Reassessment of an Arabidopsis cell wall invertase inhibitor AtCIF1 reveals its role in seed germination and early seedling growth. *Plant Molecular Biology*. 90(1-2), 137-155.
- Tanou, G., Ziogas, V., Belghazi, M., Christou, A., Filippou, P., Job, D., Fotopoulos, V., Molassiotis, A., 2014. Polyamines reprogram oxidative and nitrosative status and the proteome of citrus plants exposed to salinity stress. *Plant, Cell and Environment*. 37(4), 864-885.
- Turan, M., Güllüce, M., Çakmak, R., Şahin, F., 2013. Effect of plant growth-promoting rhizobacteria strain on freezing injury and antioxidant enzyme activity of wheat and barley. *Journal of Plant Nutrition*. 36(5), 731-748.
- Ustarroz, D., Kruk, B.C., Satorre, E.H., Ghersa, C.M., 2016. Dormancy, germination and emergence of *Urochloa panicoides* regulated by temperature. *Weed Research*. 56(1), 59-68.
- Wang, C., Xiao, H., Zhao, L., Liu, J., Wang, L., Zhang, F., Shi, Y., Du, D., 2016. The allelopathic effects of invasive plant *Solidago canadensis* on seed germination and growth of *Lactuca sativa* enhanced by different types of acid deposition. *Ecotoxicology*. 25(3), 555-562.
- Yamada, M., Kuroda, C., Fujiyama, H., 2016. Function of sodium and potassium in growth of sodium-loving Amaranthaceae species. *Soil Science and Plant Nutrition*. 62(1), 20-26.
- Yan, M., 2016. Hydro-priming increases seed germination and early seedling growth in two cultivars of Napa cabbage (*Brassica rapa* subsp. *pekinensis*) grown under salt stress. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 91(4), 421-426.
- Zandalinas, S.I., Mittler, R., Balfagón, D., Arbona, V., Gomez-Cadenas, A., 2017. Plant adaptations to the combination of drought and high temperatures. *Physiologia Plantarum*. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/pp1.12540/full>
- Zhang, H.J., Zhang, N., Yang, R.C., Wang, L., Sun, Q.Q., Li, D.B., Cao, Y.Y., Weeda, S., Zhao, B., Ren, S., Guo, Y.D., 2014. Melatonin promotes seed germination under high salinity by regulating antioxidant systems, ABA and GA4 interaction in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Journal of pineal research*. 57(3), 269-279.
- Zhao, X., Wei, P., Liu, Z., Yu, B., Shi, H., 2017. Soybean Na⁺/H⁺ antiporter GmsSOS1 enhances antioxidant enzyme activity and reduces Na⁺ accumulation in Arabidopsis and yeast cells under salt stress. *Acta Physiologiae Plantarum*. 39(1), 19.