تأثیر زوال بذر بر صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی بذر کتان روغنی (*Linum usitatssimum* L.) رقم نورمن

حمیدرضا بلوچی[1]* و رسول استادیان بیدگلی[2]

۱-***نویسنده مسئول:** دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران (balouchi@yu.ac.ir)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۱۵

چکیده

زوال یک پدیده طبیعی است که در همه بذرها رخ می‌دهد و منجر به کاهش تدریجی توان زیستی بذر در طی انبارداری می‌گردد. سرعت زوال به وضعیت فیزیولوژیکی و ساختار ژنتیکی بذرها و شرایط انبارداری بستگی دارد. به‌منظور بررسی اثر زوال بر شاخص‌های جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در کتان روغنی (رقم نورمن)، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ٤ تکرار در سال ۱۳۹٤ در آزمایشگاه بذر دانشگاه یاسوج انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل نگهداری بذور در بسته‌های آلومینیومی دربسته به مدت ٦ ماه در ٤ سطح دمایی ۱۵، ۲۵، ۳۵ و ٤٥ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۵، ۹، ۱۳ و ۱۷ درصد بود. نتایج نشان داد که با افزایش دما و رطوبت بذر، کلیه صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی به جز هدایت الکتریکی، کاهش یافتند. کاهش جوانه‌زنی با کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز همراه بود که بیانگر کاهش کارایی سیستم آنتی‌اکسیدانتی در حفاظت بذرها در مقابل گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشد و باعث افزایش پراکسیداسیون چربی‌ها، تخریب غشاهای سلولی و نشت الکترولیت‌ها از بذر شده است که همبستگی قوی و منفی بین نشت الکترولیت‌ها و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت نشانگر این مسئله است. هم‌چنین بذور کتان با محتوای روغن و پروتئین محلول بالا درصد جوانه‌زنی بیشتری داشتند اما زوال‌پذیری بیشتری نیز نشان دادند و باید به شرایط محیط انبارداری آن‌ها بسیار دقت نمود. به‌طورکلی، نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر بیانگر این است که بهترین شرایط نگهداری بذر کتان دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۵ درصد می‌باشد.

کلید واژه‌ها: آنتی‌اکسیدانت، جوانه‌زنی، زوال، هدایت‌الکتریکی.

مقدمه

در طی انبارداری با گذشت زمان به تدریج قوه حیات و توان جوانه‌زنی بذرها کاهش می‌یابد (Verma *et al.*, 2003). زوال بذر در طی انبارداری باعث کاهش کیفیت بذر، استقرار گیاهچه و درنهایت عملکرد گیاه در مزرعه خواهد شد. مهم‌ترین عوامل زوال بذر طی انبارداری، دما و رطوبت نسبی هستند (Sharma *et al.*, 2007). تغییرات مختلف بیوشیمیایی و متابولیکی در طی فرآیند زوال رخ می‌دهد که تجمع گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) مانند پراکسید هیدروژن (H_2O_2)، رادیکال سوپراکسید (O_2) و رادیکال هیدروکسیل (OH) باعث پراکسیداسیون چربی‌ها، غیرفعال شدن آنزیم‌ها، خسارت به اسیدهای نوکلئیک و تخریب غشاهای سلولی می‌شود (Kibinza *et al.*, 2006). تجمع بیش از حد ROS سبب خسارت اکسیداتیو به ترکیبات سلولی شامل غشاهای لیپیدی، اسیدهای نوکلئیک، آنزیم‌ها، پروتئین‌های ناقل و پذیرنده‌ها و کانال‌های یونی و غیره می‌شود (Bailly, 2004).

سیستم آنتی‌اکسیدانتی شامل آنزیم‌ها و متابولیت‌های آنتی‌اکسیدانتی باعث حذف گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود. آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت شامل کاتالاز، پراکسیداز، سوپر اکسیداز دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز باعث حذف و غیرفعال شدن گونه‌های فعال اکسیژن می‌شوند (Gupta, 2011).

کاتالاز یکی از آنزیم‌هایی است که در تمام سلول‌های زنده وجود دارد و پراکسید هیدروژن سریع به آب و گاز و اکسیژن می‌شکند. پراکسیداز نیز از آنتی‌اکسیدانت‌های مهم است که از پراکسید هیدروژن به‌عنوان پذیرنده الکترون برای کاتالیز تعدادی از واکنش‌های اکسیداتیو استفاده می‌کند (Yao *et al.*, 2012). هم‌چنین گزارش شده است که آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی نقش مهمی در کنترل پراکسیداسیون هیدروژن درونی گیاه، از طریق چرخه‌ی اکسیدوردوکتاز در گلوتاتیون و آسکوربات دارند (Yao *et al.*, 2012). Zhan *et al.* (2014) در پژوهشی بیان کردند که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی از جمله سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز به‌طور قابل توجهی در بذر سویا با محتویات رطوبت بذر ۱۲/۶ درصد در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد طی دوره‌ی ۱۸ تا ۴۱ روز کاهش یافت. آن‌ها هم‌چنین بیان کردند که فعالیت آنزیم آسکوربات و گلوتاتیون نیز با افزایش زوال کاهش یافته، بنابراین زوال باعث کاهش فعالیت چرخه آسکوربات- گلوتاتیون می‌شود.

Alivand *et al.* (2013) با بررسی اثر ۴ سطح دمایی و ۵ سطح رطوبتی بر روی بذر کلزا بعد از ۶ ماه نگهداری گزارش کردند که کمترین سطح زوال در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد با محتوی رطوبت ۵ درصد بود جوانه‌زنی از ۹۸ به ۹۳ درصد کاهش یافت. Balouchi *et al.* (2014؛ 2015) نشان دادند که تنش پیری بذر و برهم‌کنش رقم، دما و زمان تسریع پیری بر صفات جوانه‌زنی بذر شامل درصد، سرعت و شاخص جوانه‌زنی، مدت زمان لازم تا رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی و بنیه بذر ارقام کلزا و گلرنگ اثر معنی‌داری داشت. در کل با افزایش دما و زمان زوال بذر میزان صفات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه ازجمله طول و وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه و ضریب آلومتری ارقام کلزا کاهش یافت. Barsa *et al.* (2003) نشان دادند که درصد سبز شدن بذرهای پنبه با افزایش دوره تسریع پیری کاهش پیدا می‌کند، به‌طوری‌که درصد سبز شدن از ۸۷ درصد در بذرهای شاهد به صفر درصد در بذرهایی که ۱۵ روز تسریع پیری شده بودند رسید و با زوال بذر، بنیه بذر اولین جزء از کیفیت بذر بود که کاهش یافت و به دنبال آن ظرفیت جوانه‌زنی و قوه‌نامیه نیز کاهش را نشان داد.

کتان با نام علمی (*Linum usitatssimum* L.) گیاهی از خانواده Linaceae می‌باشد که به دلیل ویژگی‌های سازگاری و زراعی مطلوب، خواص دارویی و وجود روغن نباتی با کیفیت در دانه‌هایش، از اهمیت خاصی در تولیدات کشاورزی ایران برخوردار است (Khajehpour, 2004). بنابراین، هدف از پژوهش حاضر درک اساسی از سازوکارهای زوال بذر کتان روغنی (رقم نورمن) در دامنه دمایی و رطوبتی مختلف و ارتباط آن با فرآیند جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت (کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز) است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در آزمایشگاه بذر دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج در سال ۱۳۹۴ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۴ تکرار انجام خواهد شد. رقم کتان روغنی مورد آزمایش نورمن بود. با توجه به رطوبت اولیه ۷ درصدی بذور و این‌که زوال در دما و رطوبت بالا در بذر اتفاق می‌افتد، فاکتورهای آزمایش شامل ۴ سطح دما (۱۵، ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد) و ۴ سطح رطوبت (۵، ۹، ۱۳ و ۱۷ درصد) در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری رطوبت اولیه بذر، ۴ تکرار ۵ گرمی بذر، به‌دقت وزن و به مدت ۱۷ ساعت در آون ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و سپس دوباره

وزن شدند و میزان رطوبت بذر بر پایه وزن‌تر برحسب درصد بر اساس میانگین ۴ نمونه محاسبه گردید (ISTA, 2010):

۱۰۰ × (وزن اولیه/وزن ثانویه − وزن اولیه) = درصد رطوبت

برای ایجاد رطوبت ۵ درصد بذور در خشک‌کن با رطوبت هوای ۱۵ درصد و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به رطوبت مورد نظر قرار گرفتند و برای ایجاد سایر تیمارهای رطوبتی از رابطه زیر استفاده شد:

$$W_2 = W_1 \frac{(A-B)}{(100-A)}$$

که B درصد رطوبت اولیه بذر، A درصد رطوبت موردنظر، W_1 وزن اولیه توده بذر (g) و W_2 وزن آب مقطر (g) می‌باشد (Hampton and TecKrony, 1995). پس از تعیین رطوبت، ۴۰۰ عدد بذر برای هر تیمار درون پاکت‌های فویل آلومینیم قرار گرفتند و سپس مقدار آب موردنیاز به آن اضافه و برای اطمینان از عدم تبادل رطوبت با بیرون بسته‌بندی شدند و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا رطوبت بذرها یکسان گردد. سپس به مدت ۶ ماه در شرایط انبارداری در دماهای ۱۵، ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری می‌شوند. برای اطمینان از ایجاد رطوبت مورد نظر از هر تیمار ۳ نمونه انتخاب و با معادله درصد رطوبت تعیین رطوبت گردید. بعد از اتمام مدت انبارداری کلیه صفات بر روی بذور اندازه‌گیری شد. آزمون جوانه‌زنی استاندارد در ظرف پتری‌دیش و بر روی کاغذ در دمای متناوب ۳۰-۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷ روز مطابق با قوانین ISTA (2010) انجام شد. شمارش بذور جوانه‌زده به‌صورت روزانه انجام شد و به هنگام شمارش بذوری جوانه‌زده تلقی شد که طول ریشه‌چه آن‌ها ۲ میلی‌متر یا بیشتر باشد. در پایان آخرین شمارش، از هر پتری‌دیش ۵ گیاهچه به‌طور تصادفی انتخاب و طول گیاهچه و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد.

برای محاسبه درصد و سرعت جوانه‌زنی بذور نیز از برنامه Germin استفاده شد. که در این برنامه D_{10} (یعنی مدت زمانی که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۱۰ درصد حداکثر خود برسد)، D_{50} (یعنی مدت زمانی که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۵۰ درصد حداکثر خود برسد) و D_{90} (یعنی مدت زمانی که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۹۰ درصد حداکثر خود برسد) را محاسبه کرد. این برنامه پارامترهای یاد شده را برای هر تکرار و هر تیمار بذری از طریق درون‌یابی منحنی افزایش جوانه‌زنی در مقابل زمان محاسبه می‌کند (Soltani and Maddah, 2010).

سرعت تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی نیز از طریق معادله زیر محاسبه شد:

$$R_{50}=1/T_{50}$$

در این رابطه، T50 و R50 به‌ترتیب معادل زمان و سرعت تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی است (Soltani and Maddah, 2010). شاخص بنیه بذر نیز از حاصل‌ضرب درصد جوانه‌زنی نهایی در وزن خشک گیاهچه محاسبه شد (Agrawal, 1995).

برای اندازه‌گیری هدایت‌الکتریکی، ۴ نمونه ۵۰تایی بذر به دقت وزن و در ظروف پلاستیکی یک‌بار مصرف حاوی ۲۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده می‌شود، سپس میزان EC بر حسب دسی‌زیمنس بر سانتی‌متر مربع به وسیله دستگاه هدایت‌الکتریکی اندازه‌گیری شد (Hampton and TecKrony, 1995).

برای اندازه‌گیری درصد روغن از دستگاه سوکسله استفاده شد به گونه‌ای که ابتدا ۵ گرم نمونه بذر وزن شده و سپس آسیاب شد. پس از آن نمونه آسیاب شده را داخل کاغذ صافی پیچانده و در کارتوش دستگاه سوکسله (مدل TT625A ساخت کمپانی GERHARDT آلمان) قرار داده شد. برای هر نمونه با توجه به حجم بالون، حدود ۳۰۰ میلی‌لیتر حلال پترولیوم بنزن را در بالون ریخته و دستگاه را در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم کرده و به مدت ۴ ساعت روشن کرده تا تمام روغن نمونه استخراج شود. پس از طی این مدت نمونه را از دستگاه خارج کرده و به مدت ۱ ساعت اجازه

داده شد تا خشک شوند و سپس نمونه توزین شدند (Oomah *et al*., 1995).

میزان پروتئین محلول بذر به روش Bradford (1976) اندازه‌گیری شد و درطول موج ۵۹۵ نانومتر با دستگاه طیف‌سنج قرائت شد و غلظت پروتئین برحسب میکروگرم بر گرم بذر تر بیان شدند. برای تهیه عصاره پروتئین محلول از روش Kar and Mishra (1976) استفاده شد. در این روش مقدار ۰/۱ گرم از بذر انبار شده را در هاون چینی سرد و در ظرف یخ با ۱/۵ میلی‌لیتر از بافر فسفات ۰/۱ مولار با اسیدیته ۶/۸ هموژن شد و سپس به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. فاز بالایی عصاره (سوپرناتانت) به‌دست آمده برای اندازه‌گیری فعالیت ۲ آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز و هم‌چنین مقدار پروتئین محلول مورداستفاده قرار گرفت. برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز از عصاره آنزیمی بذرکه برای اندازه‌گیری پروتئین محلول استخراج شده، استفاده گردید و با روش Beauchamp and Fridovich (1971) انجام شد و فعالیت آنزیم‌ها در طول موج ۵۶۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید و برحسب واحد بر میلی‌مول بر دقیقه بر گرم بذر تر بیان شد. برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز از عصاره آنزیمی بذرکه برای اندازه‌گیری پروتئین محلول استخراج شده، استفاده گردید و با روش Nakano and Asada (1981) انجام شد و فعالیت آنزیم‌ها در طول موج ۲۹۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد و برحسب میلی‌مول بر دقیقه بر گرم بذر تر بیان گردید. برای تهیه عصاره آنزیم برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز، از روش Aebi *et al*. (1984) استفاده گردید و فعالیت آنزیم‌ها در طول موج ۲۴۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت و برحسب میلی‌مول بر دقیقه بر گرم بذر تر بیان شد.

محاسبات آماری

محاسبات آماری و تحلیل داده‌های حاصل از این آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد و مقایسه میانگین با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد. در صورت معنی‌دار شدن اثرات متقابل برش‌دهی انجام شد.

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی

نتایج مقایسه میانگین اثر دما و محتوای رطوبت بذر بر درصد جوانه‌زنی بذرهای کتان روغنی (رقم نورمن) در شکل (۱) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش دما و محتوای رطوبت بذر، درصد جوانه‌زنی کاهش یافت. بیشترین درصد جوانه‌زنی در رطوبت ۵ درصد در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد و ۲۵ درجه سانتی‌گراد رخ داده بود که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. در رطوبت ۹ درصد و دمای ۳۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۱۳ و ۱۷ درصد در همه دماها، جوانه‌زنی رخ نداد و درصد جوانه‌زنی صفر شد. کاهش درصد جوانه‌زنی در طی زوال بذر به این دلیل است که زوال بذر منجر به افزایش فعالیت آنزیمی، تنفس و نفوذپذیری غشاهای سلولی می‌شود که کاهش قوه‌نامیه و عملکرد را به دنبال دارد (Hampton, 1995).

Seiadat *et al*. (2012) در تحقیقی روی بذور ذرت نتیجه گرفتند که با افزایش دما و محتوای رطوبت بذر، درصد جوانه‌زنی به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. Ghaderi-Far *et al*. (2014) در بذر کدو تخمه کاغذی نشان دادند که با افزایش دما و محتوای رطوبت بذر درصد جوانه‌زنی کاهش یافت.

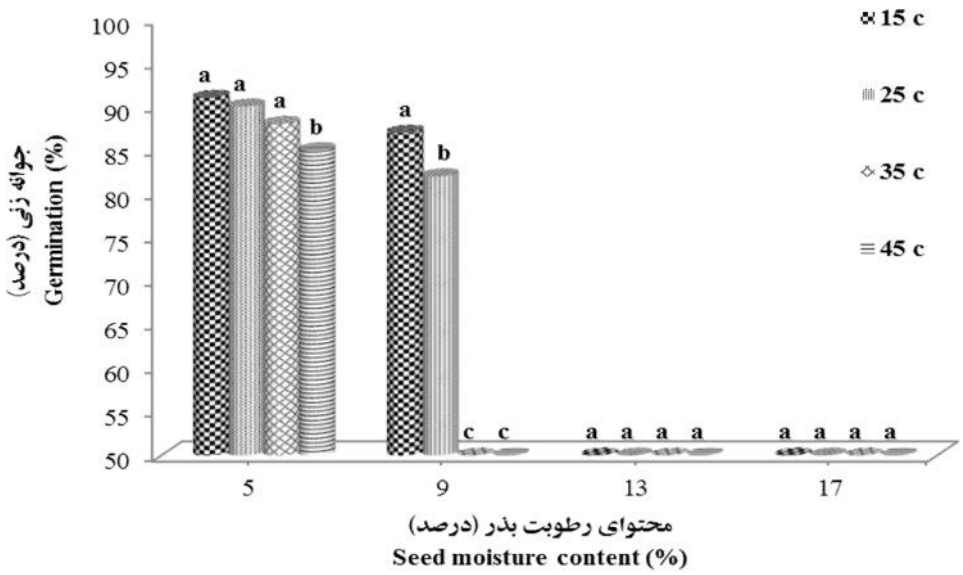
سرعت ۵۰ درصد جوانه‌زنی

نتایج مقایسه میانگین اثر دما و محتوای رطوبت بذر بر سرعت جوانه‌زنی بذرهای کتان روغنی (رقم نورمن) در شکل (۲) نشان داد که با افزایش دما و محتوای رطوبت بذر، سرعت ۵۰ درصد جوانه‌زنی کاهش یافت. بیشترین سرعت جوانه‌زنی در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد و محتوای رطوبت ۵ درصد بود که در این سطح از

رطوبت با افزایش دما سرعت جوانه‌زنی روندی کاهشی به خود گرفت. در محتوای رطوبتی ۹ درصد، در دماهای ۳۵ و ۴۵ درجه سرعت جوانه‌زنی به صفر رسید. همین‌طور در رطوبت های ۱۳ و ۱۷ درصد در همه تیمارهای دمایی نیز سرعت جوانه‌زنی صفر شد. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی (r=۰/۹۹**) مشاهده شد که نشان می‌دهد بذری که سرعت جوانه‌زنی بیشتر داشته باشد یعنی تعداد در روز بیشتر جوانه بزند دارای درصد جوانه‌زنی بیشتری نیز می‌باشد. Ghassemi-Golezani *et al.* (2009) در تحقیقی بر روی بذور باقلا گزارش کردند که زوال بذر، سرعت جوانه‌زنی بذور این گیاه را کاهش داد. سرعت جوانه‌زنی توده‌های بذری نمایانگر قدرت آن‌ها می‌باشد، آن‌هایی که قدرت کمتر دارند سرعت جوانه‌زنی کمتری نیز دارند (ISTA, 2010). Rastegar *et al.* (2011) در تحقیقی بر روی بذور سویا اظهار داشتند که با افزایش دما و رطوبت، سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد.

متوسط زمان جوانه‌زنی

نتایج مقایسه میانگین اثر دما و محتوای رطوبت بذر بر متوسط زمان جوانه‌زنی بذرهای کتان روغنی (رقم نورمن) در شکل (۳) نشان داد که با افزایش دما و محتوای رطوبت بذر متوسط زمان جوانه‌زنی افزایش یافت. کمترین متوسط زمان جوانه‌زنی در سطوح رطوبتی ۵ و ۹ درصد در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد بود که در این سطح از رطوبت با افزایش دما متوسط زمان جوانه‌زنی روندی افزایشی به خود گرفت. در محتوای رطوبتی ۹ درصد، در دماهای ۳۵ و ۴۵ درجه و همین طور در رطوبت‌های ۱۳ و ۱۷ درصد در همه تیمارهای دمایی جوانه‌زنی مشاهده نشد. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین متوسط زمان جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر، سرعت و درصد جوانه‌زنی (r=۰/۹۹**) مشاهده شد که نشان می‌دهد بذری که متوسط زمان جوانه‌زنی کمتری داشته باشد دارای درصد جوانه‌زنی بیشتری نیز می‌باشد.

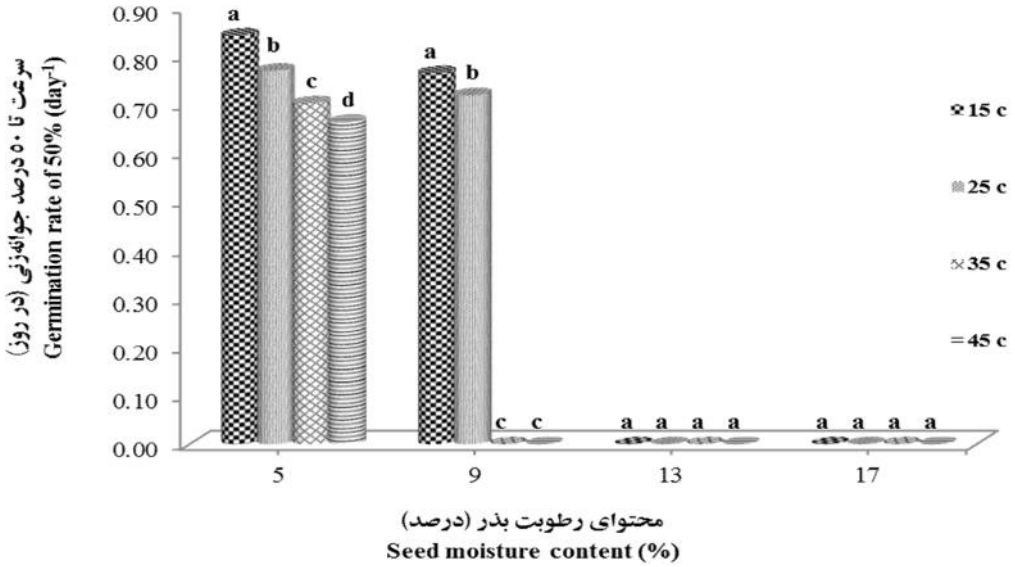


شکل ۱- تأثیر دما و محتوای رطوبت بذر بر درصد جوانه‌زنی بذور کتان روغنی (رقم نورمن)

حروف مختلف در هر سطح از محتوای رطوبت بذر بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد

Figure 1. Effect of temperature and seed moisture content on seed germination percentage of oil flax (Norman var.)

Followed by similar letter(s), in each seed moisture content, are not significantly different at 5% probability level, by using of LSD test

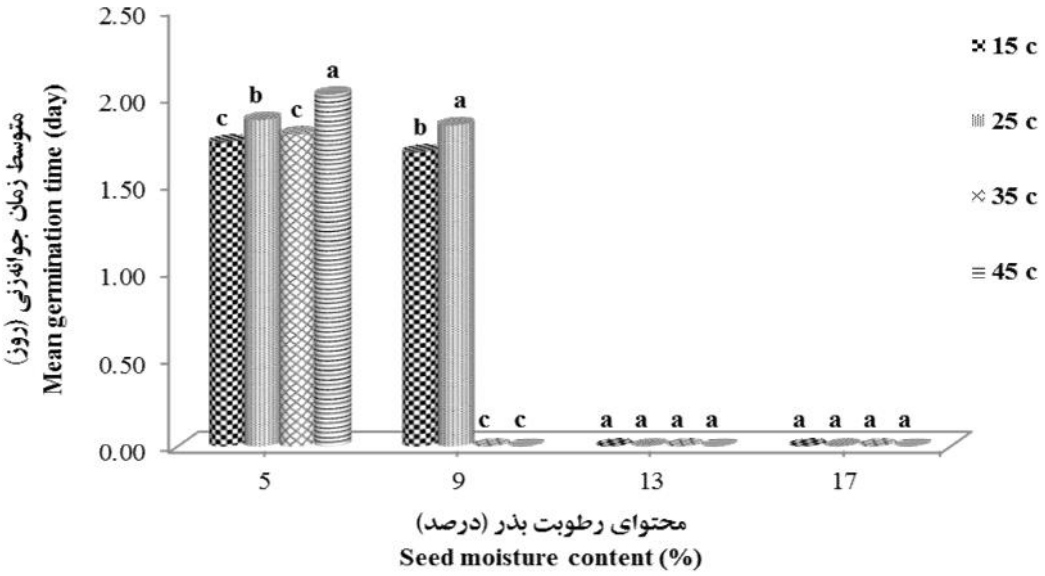


شکل ۲- تأثیر دما و محتوای رطوبت بذر بر سرعت تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی (در روز) بذور کتان روغنی (رقم نورمن)

حروف مختلف در هر سطح از محتوای رطوبت بذر بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد

Figure 2. Effect of temperature and seed moisture content on seed germination rate to 50% (day^{-1}) of oil flax (Norman var.)

Followed by similar letter(s), in each seed moisture content, are not significantly different at 5% probability level, by using of LSD test



شکل ۳- تأثیر دما و محتوای رطوبت بذر بر متوسط زمان جوانه‌زنی بذور کتان روغنی (رقم نورمن)

حروف مختلف در هر سطح از محتوای رطوبت بذر بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد

Figure 3. Effect of temperature and seed moisture content on mean germination time of oil flax (Norman var.)

Followed by similar letter(s), in each seed moisture content, are not significantly different at 5% probability level, by using of LSD test

شاخص وزنی بنیه گیاهچه

با زوال بذر قدرت بذر اولین جزء از کیفیت بذر است که کاهش می‌یابد و به دنبال آن ظرفیت جوانه‌زنی یا قابلیت حیات بذر نیز کاهش نشان می‌دهد. نتایج مقایسه میانگین اثر دما و محتوای رطوبت بذر بر شاخص وزنی بنیه گیاهچه بذرهای کتان روغنی (رقم نورمن) در شکل (۴) نشان داد که با افزایش دما و محتوای رطوبت بذر، شاخص وزنی بنیه گیاهچه کاهش یافت که این کاهش در دماها و رطوبت‌های مختلف متفاوت بود. بیشترین شاخص وزنی بنیه گیاهچه در رطوبت ۵ درصد و دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد بود این درحالی بود که در رطوبت ۹ درصد دمای ۳۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۱۳ و ۱۷ درصد در همه دماها، شاخص بنیه وزنی گیاهچه به صفر رسید. احتمالاً علت کاهش این شاخص می‌تواند کاهش سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی تحت شرایط مختلف دمای انبارداری و محتوای رطوبت بذر باشد. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین شاخص وزنی بنیه گیاهچه با سرعت جوانه‌زنی (r=۰/۹۹**) و درصد جوانه‌زنی (r=۰/۹۹**) نشان‌دهنده این موضوع است. Balouchi *et al.* (2014؛ 2015) در هر زمان با افزایش دمای زوال، مقدار بنیه بذر ارقام کلزا و گلرنگ به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت. هم‌چنین، با افزایش زمان در هر دما نیز کاهش معنی‌داری در بنیه بذر مشاهده گردید؛ به‌طوری‌که کمترین مقدار بنیه بذر در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۱۴۴ ساعت به‌دست آمد.

فعالیت آنزیم کاتالاز

نتایج مقایسه میانگین اثر دما و محتوای رطوبت بذر بر فعالیت آنزیم کاتالاز بذرهای کتان روغنی (رقم نورمن) در شکل (۵) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش دما و محتوای رطوبت بذر، فعالیت آنزیم کاتالاز کاهش یافت. بیشترین میزان فعالیت این آنزیم در رطوبت ۵ درصد و دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۹ درصد و دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد بود که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشتند. همان‌طور که مشاهده می‌شود کمترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد در همه رطوبت‌ها بود. کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت باعث افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود (Alscher *et al.*, 2002). در شرایط معمول برای جلوگیری از آسیب رادیکال‌های آزاد، سیستم دفاعی پاد اکسایشی در گیاهان وجود دارد. این سیستم‌ها شامل آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی نظیر کاتالاز ترکیبات پاد اکسایشی نظیر آسکوربات و گلوتاتیون هستند. در شرایط تنش اکسیداتیو موازنه بین تولید رادیکال‌های آزاد و این سیستم‌های دفاعی مختل می‌شود، درنتیجه میزان رادیکال‌های آزاد افزایش می‌یابد (Alscher *et al.*, 2002). Kibinza (2006) گزارش کردند که در بذرهای آفتابگردان، زوال طی انبارداری به کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز منجر شد. Xia *et al.* (2015) در تحقیقی با نگهداری بذور جودوسر در محتوای رطوبت بذر ۴، ۱۰ و ۱۶ درصد و محتوای رطوبت نسبی ۱۰، ۵۳ و ۸۰ درصد برای صفر، ۱۶، ۲۴، ۳۲ و ۴۰ روز در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد بیان کردند که با افزایش محتوای رطوبت بذر و زمان نگهداری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز کاهش یافت.

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

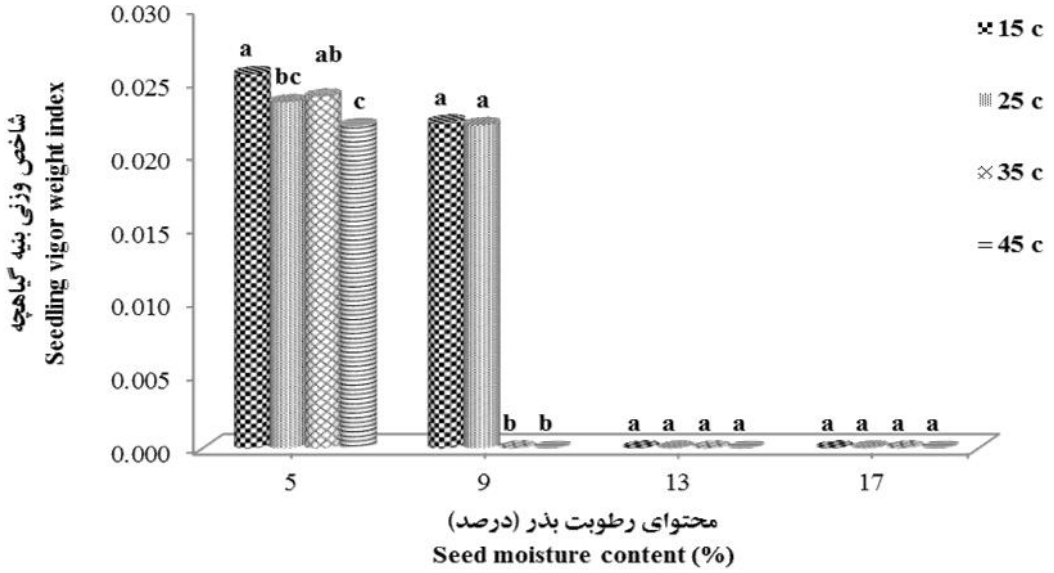
نتایج مقایسه میانگین اثر دما و محتوای رطوبت بذر بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز بذرهای کتان روغنی (رقم نورمن) در شکل (۶) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش دما و محتوای رطوبت بذر، فعالیت این آنزیم کاهش می‌یابد. بیشترین میزان فعالیت این آنزیم در رطوبت‌های ۵ و ۱۳ درصد در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد رخ‌داده بود که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند درحالی‌که کمترین میزان فعالیت این آنزیم نیز در محتوای رطوبتی ۱۷ درصد در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد رخ‌داده بود. در تمامی تیمارهای رطوبتی بیشترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد و کمترین آن در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد رخ داده بود. Ansari *et al.* (2013) و Demir Kaya *et al.* (2010) گزارش کردند که با افزایش در زوال بذر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی کاهش می‌یابد. در طی

زوال بذر گونه‌های فعال اکسیژن افزایش می‌یابد و این امر سبب تخریب در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی شده و درنتیجه فعالیت این آنزیم‌ها کاهش می‌یابد. کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی در طی زوال به دلایل متعددی مانند آسیب رسیدن به سنتز RNA و هم‌چنین حمله گونه‌های فعال اکسیژن به آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی است که در شرایط زوال افزایش‌یافته و موجب تخریب آنزیم‌ها می‌شود، می‌باشد (Bailly, 2004). Cakmak *et al.* (2010) مشاهده کردند که در بذور یونجه با زوال طولانی مدت، میزان پراکسیدهیدروژن و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز کاهش یافت و آن‌ها علت کاهش قابلیت جوانه‌زنی در بذور زوال دیده یونجه را افزایش پراکسیداسیون چربی‌ها و کاهش سطح فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت ذکر کردند.

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز

نتایج مقایسه میانگین اثر دما و محتوای رطوبت بذر بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز بذرهای کتان روغنی (رقم نورمن) در شکل (۷) نشان داده شده است.

نتایج نشان داد که با افزایش دما و محتوای رطوبت بذر، فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز کاهش یافت. بیشترین میزان فعالیت این آنزیم در محتوای رطوبت ۵ درصد و دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد بود و کمترین میزان فعالیت این آنزیم نیز در محتوای رطوبت ۱۷ درصد و دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد رخ‌داده بود. در تمامی تیمارهای رطوبتی، در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد بیشترین فعالیت این آنزیم و در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد کمترین فعالیت این آنزیم مشاهده شد. نتایج دیگر محققان نیز نشان داد که با افزایش در دوره زوال فعالیت کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز کاهش یافت. لذا چنین نتیجه‌گیری شد که آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در مرحله جوانه‌زنی بذر بعد از زوال اثرگذار بوده و بذرهای با فعالیت آنزیمی بالاتر دارای درصد جوانه‌زنی بیشتری بودند. هم‌چنین می‌توان تغییرات در آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی خصوصاً کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز را مهم‌ترین رخداد در بذرهای زوال یافته دانست (Mehravar *et al.*, 2015؛ Ansari *et al.*, 2013).

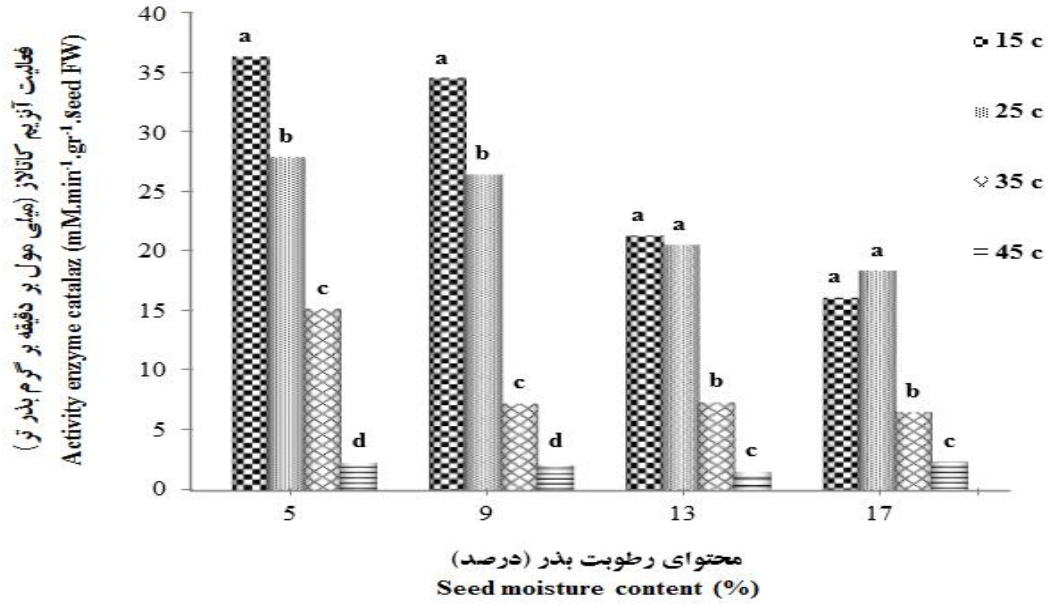


شکل ٤- تأثیر دما و محتوای رطوبت بذر بر شاخص وزنی بنیه گیاهچه بذور کتان روغنی (رقم نورمن)

حروف مختلف در هر سطح از محتوای رطوبت بذر بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد

Figure 4. Effect of temperature and seed moisture content on Seedling vigor weight index of oil flax (Norman var.)

Followed by similar letter(s), in each seed moisture content, are not significantly different at 5% probability level, by using of LSD test

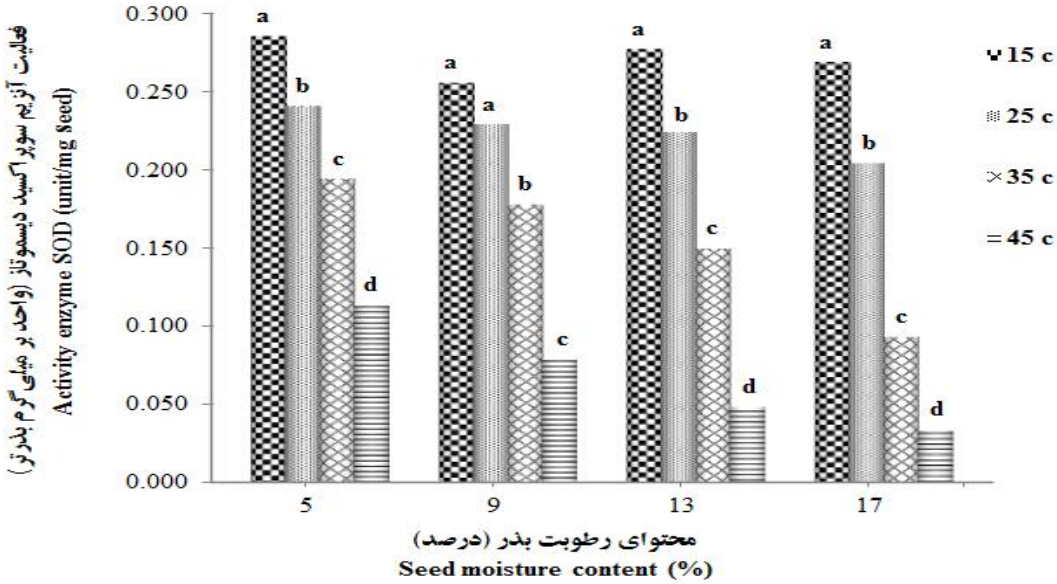


شکل ۵- تأثیر دما و محتوای رطوبت بذر بر فعالیت آنزیم کاتالاز (میلی‌مول بر دقیقه بر گرم بذرتر) بذور کتان روغنی (رقم نورمن)

حروف مختلف در هر سطح از محتوای رطوبت بذر بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد

Figure 5. Effect of temperature and seed moisture content on activity enzyme catalaz ($mM.min^{-1}.gr^{-1}$. seed FW) of oil flax (Norman var.)

Followed by similar letter(s), in each seed moisture content, are not significantly different at 5% probability level, by using of LSD test

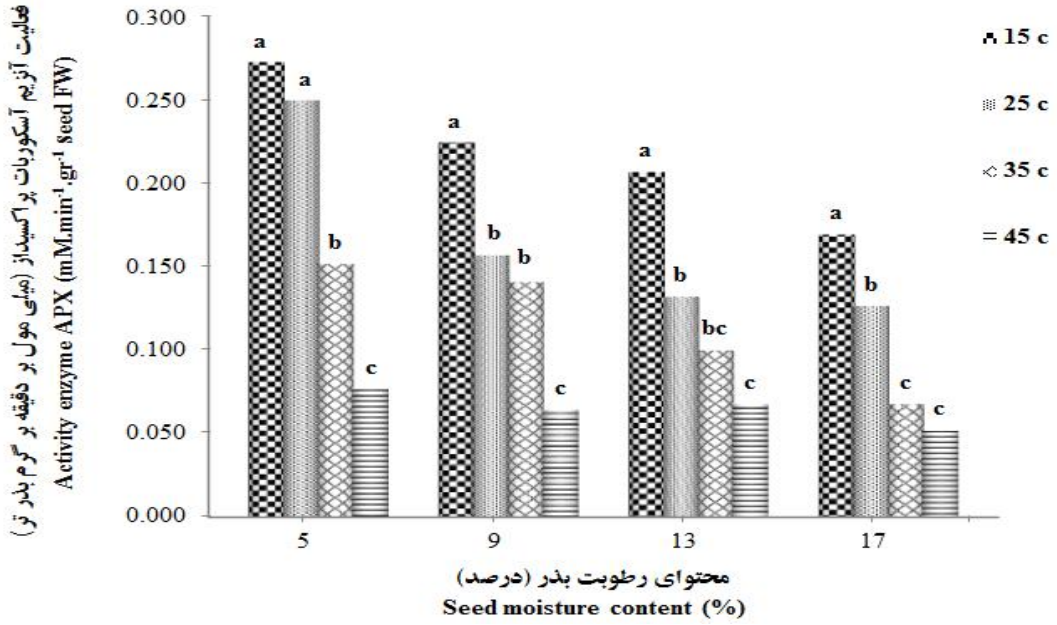


شکل ٦- تأثیر دما و محتوای رطوبت بذر بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (واحد بر میلی‌گرم بذرتر) بذور کتان روغنی (رقم نورمن)

حروف مختلف در هر سطح از محتوای رطوبت بذر بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد

Figure 6. Effect of temperature and seed moisture content on activity enzyme SOD (unit/mg seed) of oil flax (Norman var.)

Followed by similar letter(s), in each seed moisture content, are not significantly different at 5% probability level, by using of LSD test



شکل ۷- تأثیر دما و محتوای رطوبت بذر بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (میلی‌مول بر دقیقه بر گرم بذرتر) بذور کتان روغنی (رقم نورمن)
حروف مختلف در هر سطح از محتوای رطوبت بذر بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد

Figure 7. Effect of temperature and seed moisture content on activity enzyme APX ($mM.min^{-1}.gr^{-1}$seed FW) of oil flax (Norman var.)
Followed by similar letter(s), in each seed moisture content, are not significantly different at 5% probability level, by using of LSD test

مقدار پروتئین محلول

مقایسه میانگین اثر دما و محتوای رطوبت بذر بر مقدار پروتئین محلول بذرهای کتان روغنی (رقم نورمن) در شکل (۸) نشان داده‌شده است. نتایج نشان داد که با افزایش دما و محتوای رطوبت بذر، مقدار پروتئین محلول به علت غیر طبیعی شدن و تجزیه ساختار و یا کاهش میزان هورمون جیبرلین آزاد شده در جنین که محرک تولید آنزیم‌های هیدرولیز کننده در بذر هستند، کاهش یافت. در رطوبت ۵ درصد و دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد، بیشترین مقدار پروتئین محلول (۱۰۷/۵ میلی‌گرم بر گرم بذر) مشاهده شد این در حالی بود که در رطوبت ۱۷ درصد و دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد، کمترین مقدار پروتئین محلول (۱۶/۲ میلی‌گرم بر گرم بذر) مشاهده شده بود. به‌طور کلی در تمامی تیمارهای رطوبتی، دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد بیشترین و دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد کمترین مقدار پروتئین را داشت. Kapoor *et al.* (2010) بر روی بذور نخود نشان دادند که با کاهش میزان پروتئین محلول طی زوال، درصد جوانه‌زنی، طول گیاهچه و بنیه بذر نیز کاهش یافت. نتایج دیگر تحقیقات نشان داد که با افزایش در زوال بذر پروتئین کل کاهش یافت (Demir kaya *et al.*, 2010).

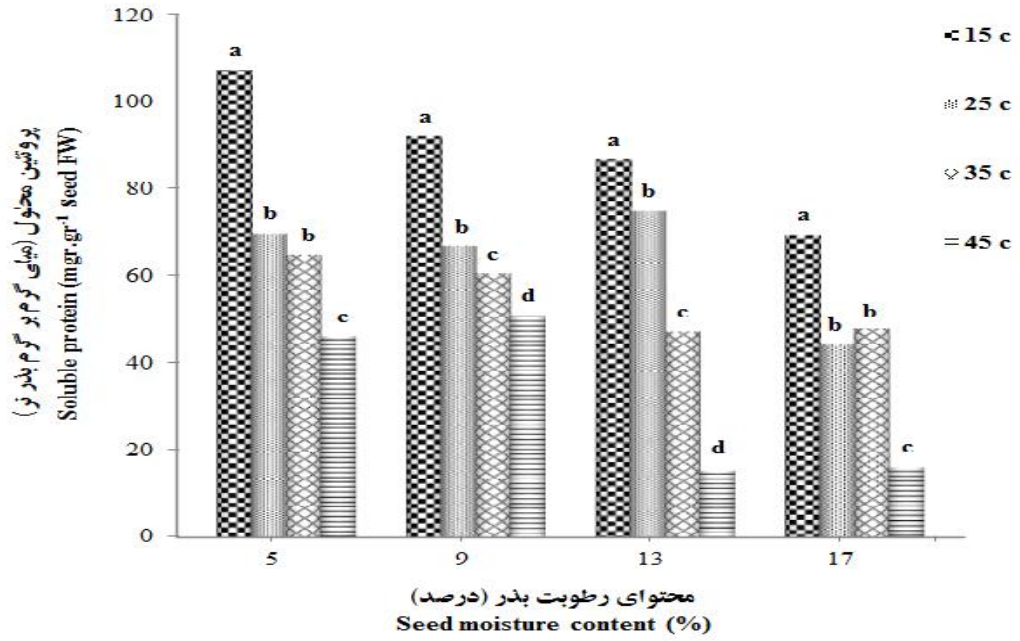
نشت الکترولیت‌ها

اندازه‌گیری میزان هدایت‌الکتریکی بذور می‌تواند یکی از پارامترهای تعیین‌کننده قدرت بذر باشد. نتایج مقایسه میانگین اثر دما و محتوای رطوبت بذر بر میزان هدایت‌الکتریکی بذرهای کتان روغنی (رقم نورمن) در شکل (۹) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش دما و محتوای رطوبت بذر، میزان نشت مواد روندی افزایشی داشت. این افزایش در دماها و رطوبت‌های مختلف متفاوت بود؛ در محتوای رطوبتی ۵ درصد میزان نشت مواد از بذر نسبت به بقیه سطوح رطوبتی در کمترین میزان خود بود. در این سطح رطوبتی

در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد بیشترین میزان نشت نسبت به سایر دماهای این سطح مشاهده شد. این درحالی بود که در محتوای رطوبتی ۱۷ درصد و در همه دماهای این سطح، بیشترین میزان نشت مواد مشاهده شد. با افزایش طول عمر و زوال بذر نشت مواد از غشاء بیشتر شده و این افزایش و نشت مواد سبب افزایش در میزان نشت الکترولیت‌های اندازه‌گیری شده می‌شود که به دلیل خسارت به دیواره و غشاء لیپیدی بذر بوده و این عوامل از دلایل اصلی در کاهش کیفیت بذر در شرایط انبارداری می‌باشد (Mohammadi *et al.*, 2011). در طی فرآیند جوانه‌زنی درحالی‌که محتوای رطوبتی بذر افزایش می‌یابد گونه‌های فعال اکسیژن براثر فعالیت تنفسی در میتوکندری یا فعالیت گلی‌اکسی‌زوم‌ها تولید می‌شوند. افزایش تولید و آزاد شدن گونه‌های فعال اکسیژن موجب افزایش پر اکسیداسیون لیپیدها و پروتئین‌های غشاء شده و به دنبال آن ساختار غشایی سلولی به‌هم‌خورده و غشاها سلامت خود را از دست می‌دهند و در نتیجه میزان نشت الکترولیت‌ها از سلول افزایش می‌یابد. مدت زمان لازم برای جوانه‌زنی افزایش می‌یابد و به دنبال آن سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (Goel and Sheoran, 2003).

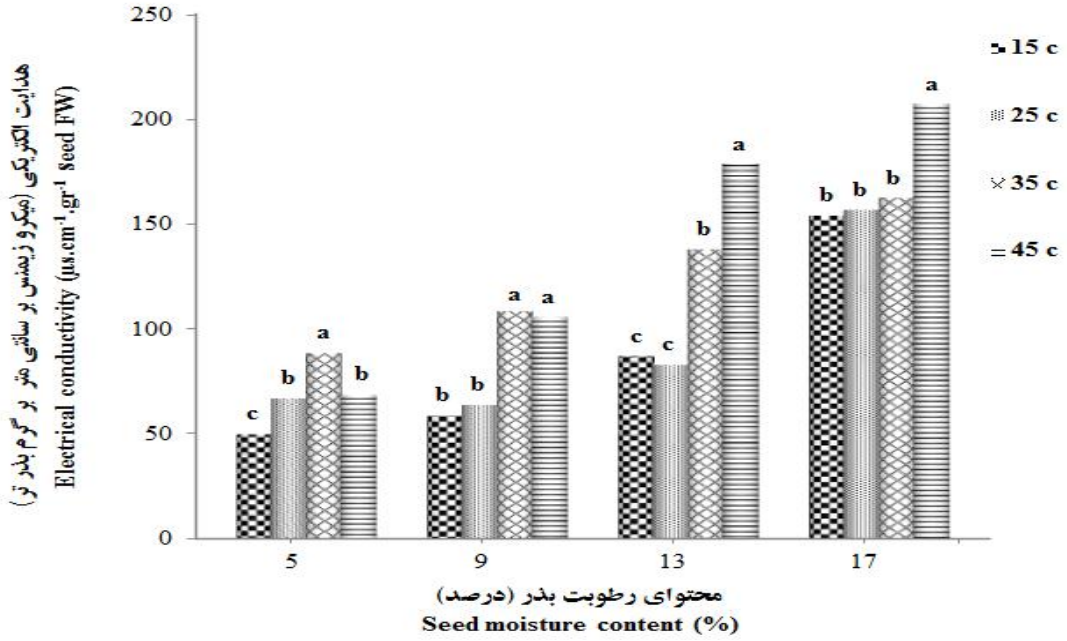
درصد روغن

مقایسه میانگین اثر دما و محتوای رطوبت بذر بر درصد روغن بذرهای کتان روغنی (رقم نورمن) در شکل (۱۰) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش دما و محتوای رطوبت بذر، درصد روغن کاهش یافت که این کاهش در دماها و رطوبت‌های مختلف متفاوت بود. در رطوبت ۵ درصد و دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد، بیشترین درصد روغن (۱۷/۵ درصد) مشاهده شد، این در حالی بود که در رطوبت ۱۷ درصد و دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد، کمترین درصد روغن (۱/۷ درصد) مشاهده شد.



شکل ۸- تأثیر دما و محتوای رطوبت بذر بر مقدار پروتئین محلول (میلی‌گرم بر گرم بذرتر) بذور کتان روغنی (رقم نورمن)
حروف مختلف در هر سطح از محتوای رطوبت بذر بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد

Figure 8. Effect temperature and seed moisture content on soluble protein (mgr.gr^{-1} seed FW) oil flax (Norman var.)
Followed by similar letter(s), in each seed moisture content, are not significantly different at 5% probability level, by using of LSD test

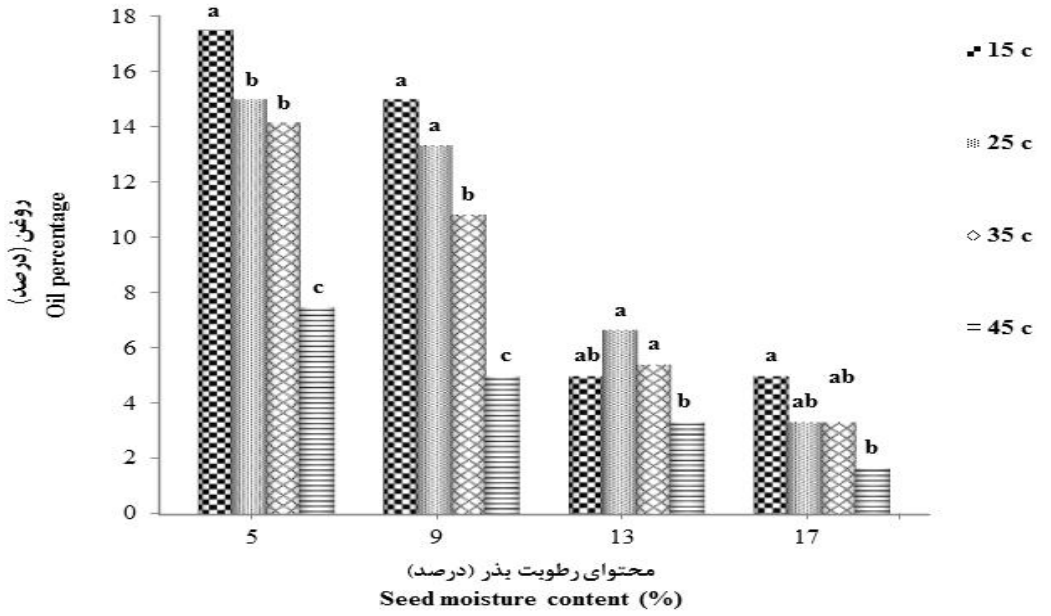


شکل ۹- تأثیر دما و محتوای رطوبت بذر بر میزان هدایت‌الکتریکی (میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم بذرتر) بذور کتان روغنی (رقم نورمن)

حروف مختلف در هر سطح از محتوای رطوبت بذر بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد

Figure 9. Effect temperature and seed moisture content on electrical conductivity ($\mu s.cm^{-1}.gr^{-1}$ seed FW) oil flax (Norman var.)

Followed by similar letter(s), in each seed moisture content, are not significantly different at 5% probability level, by using of LSD test



شکل ۱۰- تأثیر دما و محتوای رطوبت بذر بر درصد روغن بذور کتان روغنی (رقم نورمن)

حروف مختلف در هر سطح از محتوای رطوبت بذر بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد

Figure 10. Effect temperature and seed moisture content on oil percentage oil flax (Norman var.)

Followed by similar letter(s), in each seed moisture content, are not significantly different at 5% probability level, by using of LSD test

به‌طورکلی در تمامی تیمارهای رطوبتی، دمای ۴۵ درجه کمترین مقدار از درصد روغن را داشته و دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد در تمامی سطوح رطوبتی به جز سطح ۱۳ درصد، بیشترین مقدار از درصد روغن را به خود اختصاص داده بود. نتایج همبستگی صفات نشان داد که بین درصد روغن بذر با میزان پروتئین و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت بذر همبستگی مثبت و قوی (r=۰/۸**) وجود دارد هم‌چنین این همبستگی با درصد و سرعت جوانه‌زنی و بنیه بذر نیز مشاهده می‌گردد. اما با میزان هدایت‌الکتریکی و نشت الکترولیت‌های بذر همبستگی منفی وجود دارد. از این رابطه می‌توان استنباط کرد که بذور با محتوای روغن و پروتئین محلول بالا درصد جوانه‌زنی بیشتری دارند اما زوال‌پذیری بیشتری نیز دارند و باید در زمان انبارداری آن‌ها به شرایط محیطی انبار بسیار دقت نمود.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که زوال بذر سبب کاهش بنیه بذر می‌شود و این موضوع از طریق کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی خود را نشان داد. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت به‌عنوان یکی از دلایل فیزیولوژیکی مهم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز که آنزیم‌هایی برای از بین بردن رادیکال‌های آزاد در جوانه‌زنی بذر هستند تحت تأثیر زوال قرار گرفتند و زوال سبب کاهش فعالیت این آنزیم‌ها می‌شود. در ضمن با توجه به همبستگی بین صفات می‌توان نتیجه‌گیری نمود که بذوری که محتوای روغن بالاتری دارند در شرایط دما و رطوبت بالا به دلیل تنفس شدیدتر و اکسایش چربی، سریع‌تر زوال یافته و به‌طورکلی به شرایط انبارداری حساس‌تر هستند. اما در عین حال این بذور دارای بنیه بهتر و درصد و سرعت جوانه‌زنی بالاتری در شرایط انبارداری مطلوب می‌باشند که این به دلیل داشتن میزان پروتیئن محلول و روغن بالاتر در این شرایط بوده و انرژی و قدرت لازم را برای جوانه‌زنی بهتر آن‌ها را فراهم می‌نماید. نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر بیانگر این است که بهترین شرایط نگهداری بذر کتان دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۵ درصد می‌باشد. البته باید هزینه‌های کاهش دما و رطوبت را نیز در نظر گرفت و در صورت عدم توجیح اقتصادی بذور را در دمای اتاق (۲۰-۲۵ درجه سانتی‌گراد) و رطوبت اولیه بذر ۷ درصد نگهداری نمود. درضمن می‌توان پیشنهاد نمود که در ادامه این تحقیقات در صورت امکان از سطوح تیماری پایین‌تر استفاده شود.

سپاس‌گزاری

این مقاله از طرح پژوهشی نویسنده با شماره ۱۱۰۳-۸۹/د۹۴ می‌باشد که با تصویب و حمایت مالی حوزه معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه یاسوج اجرا گردیده است. بدین وسیله از حمایت آن معاونت محترم کمال تشکر را دارد.

References

Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. Methods in Enzymology, 105: 121-126.

Agrawal, R.L. (1995). Seed technology. 2nd Edition. Oxford and IBH Publishing Co, Pvt Ltd, New Delhi. P. 829.

Alivand, R., Tavakkol Afshari, R., and Sharifzadh, F. (2013). Investigation germination process of deterioration canola seed (*Brassica napus*). Journal of Field Crop Science, 44(1): 63-83. [In Farsi]

Alscher, R.G., Erturk, N., and Heath, L.S. (2002). Role of superoxide dismutases in controlling oxidative stress in plants. Journal of Experimental Botany, 53: 1331-1341.

Ansari, O., Sharif-Zadeh, F., Moradi, A., Azadi, M.S., and Younesi, E. (2013). Heat shock treatment can improve some seed germination indexes and enzyme activity in primed seeds with gibberellin of Mountain Rye (*Secale montanum*) under accelerated aging conditions. Cercetari Agronomice in Moldova, 155(3): 21-30.

Bailly, C. (2004). Active oxygen species and antioxidants in seed biology. Seed Science Research, 14: 93-107.

Balouchi, H.R., Bagheri, F., Kayednezami, R., Movahhedi Dehnavi, M., and Yadavi, A. (2014). Effect of seed aging on germination and seedling growth indices in three cultivars of *Brassica napus* L. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 26(4): 397-411. [In Farsi]

Balouchi, H.R., Kayednezami, R., and Bagheri, F. 2015. Effect of seed deterioration stress on germination and seedling growth indices in three cultivars of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Plant Production, 38(1): 27-40. [In Farsi]

Barsa, S.M.A., Ahmad, N., Khan, M.M., Iqbal, N., and Cheema, M.A. (2003). Assessment of cotton seed deterioration during accelerated ageing. Seed Science and Technology, 31: 531-540.

Beauchamp, C. and Fridovich, I. (1971). Superoxide Dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. Analytical Biochemistry, 44: 276-287.

Bradford, M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of protein utilizing the principle of protein dye binding. Annual Review of Biochemistry, 72: 248-25.

Cakmak, T., Atici, O., Agar, G., and Sunar, S. (2010). Natural aging- related biochemical changes in alfalfa seeds stored for 42 years. International Research Journal Plant Science, 1(1): 1-6.

Demir Kaya, M.K., Dietz, J., and Sivriteoe, H.O. (2010). Changes in antioxidant enzymes during ageing of onion seeds. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 38(1): 49-52.

Ghaderi-Far, F., Soltani, A., and Sadeghipour, H.R. (2014). Biochemical changes during ageing in medicinal pumpkin: lipid peroxidation and membrane damage. Iranian Journal of Plant Biology, 6(20): 97-113. [In Farsi]

Ghassemi-Golezani, K. and Hossinzadeh-Mahootchy, A. (2009). Changes in seed vigor of faba bean (*Vicia faba* L.) cultivars during development and maturity. Seed science and Technology, 37: 713-720.

Goel, A. and Sheoran, I.S. (2003). Lipid peroxidation and peroxide-scavenging enzymes in cotton seeds fatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry and Biophysics, 125: 189-198.

Goel, A., Goel, A.K., and Sheoran, I.S. (2003). Changes in oxidatives stress enzymes during artificial aging in Cotton (*Gossypium hirstum* L.) seed. Plant Physiologia, 160: 1093-1100.

Gupta, S.D. (2011). Reactive oxygen species and antioxidants in higher plant. CRC Press, New York, pp: 1-189.

Hampton, J.G. (1995). Methods of viability and vigour testing a critical and appraisal. A.S. Basra (Eds.), Seed quality: Basic mechanisms and agricultural implications. Food Product Press, New York, pp: 81-118.

Hampton, J.G. and TecKrony, D.M. (1995). Handbook of vigor test methods. The International Seed Testing Association, Zurich. P. 117.

ISTA. (2010). International seed testing association. ISTA Handbook On Seedling Evaluation In International Rules For Seed Testing, Zurich. P. 130.

Kapoor, N., Aria, A., Siddiqui, M.A., Amir, A., and Kumar, H. (2010). Seed deterioration in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under accelerated ageing. Asian Journal of Plant Sciences, 9: 158-162.

Kar, M. and Mishra, D. (1976). Catalase, peroxidase and plolyphenl oxidase activities during rice leaf senescence. Plant Biologists, 57: 315-319.

Khajehpour, M. (2004). Production of industrial plants. 1st Ed., Jehad-e-Daneshgahi Isfahan Press. Isfahan, Iran, ISBN: 961-6122-63-9. P. 335. [In Farsi]

Kibinza, A., Vinel, D., Come, D., Bailly, C., and Corbineau, F. (2006). Sunflower seed deterioration as related to moisture content during ageing, energy metabolism and active oxygen species scavenging. Physiologia Plantarum, 128: 496-506.

Mehravar, M., Sateai, A., Hamidi, A., Ahmadi, M., and Salehi, M. (2015). Accelerated aging effect on lipid peroxidation and antioxidant enzymes activity of two soybean cultivars. Iranian Journal of Seed Sciences and Technology, 3(1): 17-30. [In Farsi]

Mohammadi, H., Soltani, A., Sadeghipour, H.R., and Zeinali, H. (2011). Effects of seed aging on subsequent seed reserve utilization and seedling growth in soybean. International Journal of Plant Production, 5(1): 65-70.

Nakano, Y. and Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. Plant and Cell Physiology, 22(5): 867-880.

Oomah, B.D., Mazza, G., and Przyblski, R. (1995). Comparison of flaxseed meal lipids extracted with different solvents. Agriculture and Agric-Food Canada, 29: 654-658.

Rastegar, Z., Sedghi, M., and Khomari, S. (2011). Effects of accelerated aging on soybean seed germination indexes at laboratory conditions. Notulae Scientia Biologicae, 3(3): 126-129.

Seiadat, S.A., Moosavi, A., and Sharafizadeh, M. (2012). Effect of seed priming on antioxidant activity and germination characteristics of Maize seeds under different aging treatments. Research Journal of Seed Science, 5(2): 51-62.

Sharma, S., Gambhir, S., and Munshi, S.K. (2007) Changes in lipid and carbohydrate composition of germinating soybean seeds under different storage conditions. Asian

Journal of Plant Science, 6: 502-507.

Soltani, A., and Maddah, V. (2010). Simple, applied programs for education and research in agronomy. Niak Press. P. 80. [In Farsi]

Verma, S.S., Verma, U., and Tomer, R.P.S. (2003). Studies on seed quality parameters in deteriorating seeds in brassica (*Brassica campestris*). Seed Science and Technology, 31: 389-396.

Xia, F., Chen, L., Sun, Y., and Mao, P. (2015). Relationships between ultrastructure of embryo cells and biochemical variations during ageing of oat (*Avena sativa* L.) seeds with different moisture content. Acta Physiologiae Plantarum, 37(4): 88-99.

Yao, Z., Liu, L., Gao, F., and Rampitschi, C. (2012). Development and seed aging mediated regulation of antioxidative genes and differential expression of proteins during pre and post-germinative phases in pea. Journal Plant Physiology, 169: 1477-1488.

Zhan, J., Li, W., He, H.Y., Li, C.Z., and He, L.F. (2014). Mitochondrial alterations during Al-induced PCD in peanut root tips. Plant Physiology and Biochemistry, 75: 105-113.

Effect of Seed Deterioration on Physiological and Biochemical Traits of Oil Flax (*Linum usitatissimum* L. Norman var.) Seed

H. Balouchi[1]* and R. Ostadian Bidgoly[2]

1- ***Corresponding Author:** Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran (balouchi@yu.ac.ir)
2- M.Sc. Student of Seed Science and Technology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran

Received: 25 April, 2016 Accepted: 4 January, 2017

Abstract

Background and Objectives

Seed deterioration is a natural phenomenon that occurs in all seeds and leads to gradual decline of seed viability during storage. However, the rate of seeds age depends upon their physiological status, genetic constitution and storage conditions. The lipid peroxidation through the production of free radical plays an important role in the loss of seed viability during seed storage.

Material and Methods

In order to investigate the effect of deterioration on germination indices and enzymes activity of the flax oil seed, a factorial experiment was conducted based on a Completely Randomized Design with four replications in the seed laboratory of Yasouj University in 2015. The factors included 4 levels of temperature (15, 25, 35 and 45°C) and moisture content (5, 9, 13 and 17%). With relation intended seed moisture, Hampton and Teckrony (1995) was calculated. After determining the moisture content of the seeds in envelopes of aluminum foil was placed, then the amount of water the need added and to ensure that the packaging and moisture exchange with the outside world for 24 hours at 15 °C were identical to the seed moisture and then for 6 months in storage conditions at temperatures of 15, 25, 35 and 45°C were kept.

Results

Analysis of variance showed that the single effects including temperature and seed moisture content experimental treatments for traits including germination percentage, germination rate, seedling vigor index (weight), activity enzymes antioxidant catalase, superoxide dismutase and ascorbate peroxidase, soluble proteins, electrical conductivity and oil percentage were significant ($P \leq 0.01$). Also, the interaction temperature and seed moisture content of all treatments except for enzyme, activity of superoxide dismutase and ascorbate peroxidase were significant ($P \leq 0.01$) but were significant ($P \leq 0.05$) for the activity of superoxide dismutase and ascorbate peroxidase. The results showed that with increasing temperature and moisture content, all the physiological and biochemical traits, except for electrical conductivity, decreased. The decrease in germination was also associated with a decrease in the activity of antioxidant catalase, superoxide dismutase and ascorbate peroxidase and as a result the antioxidant system was not sufficient to protect seeds against free radical damage. With the increase in reactive oxygen species, lipids peroxidation increased, probably due to the destruction of cell membranes, increased electrical conductivity seed the negative correlation between the electrical conductivity and the activity of the enzymes antioxidant indicator of the issue.

Discussions

Thus, oil flax seed deterioration was closely related to decrease in the activities of free radical detoxifying enzymes and increased lipid peroxidation. In general, the best flax seed storage condition is at 15°C and 5 percent moisture content.

Keywords: Antioxidant, Germination, Deterioration, Electrical conductivity.