

مقاله پژوهشی

بررسی اثر نگهداری دانه کنجد در دمای یخچال و دمای محیط بر ترکیبات فیتوشیمیایی و ارزش غذایی دانه‌های کنجد

نگین عبدیانی^۱، محمد جواهریان^۲، مریم کلاهی^{۳*}، محمد صبائیانی^۴

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

^۲ دانشیار گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

^۳ دانشیار گروه زیت شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

^۴ دانشیار گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

* (نویسنده مسئول مکاتبات): m.kolahi@scu.ac.ir

تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۴۰۴

تاریخ دریافت: آذر ۱۴۰۳

چکیده

کنجد از مهم ترین دانه‌های روغنی جهان به شمار می‌رود که منبع غنی از اسیدهای چرب غیراشباع، پروتئین، مواد معدنی می‌باشد. شرایط نگهداری با اثر بر مسیرهای متابولیسمی در دانه‌ی کنجد، بر ارزش غذایی دانه‌ها در مدت نگهداری اثر می‌گذارد. در این پژوهش، اثر نگهداری دانه‌های کنجد در دمای محیط و یخچال بر محتوای ترکیبات فیتوشیمیایی دانه‌های کنجد مورد بررسی قرار گرفت. محتوای ترکیبات فنولیک، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای روغن و ترکیب اسیدهای چرب، کربوهیدرات، پروتئین و پرولین در عصاره اتانولی و روغن کنجد بررسی شد. نتایج مطالعه‌ی حاضر نشان داد، میزان ترکیبات فنولی در دانه‌های کنجد نگهداری شده در دمای محیط نسبت به نمونه‌ی کنترل افزایش یافت در حالی که نگهداری دانه‌های کنجد در یخچال، باعث کاهش محتوای فنولی شد. هر دو شرایط نگهداری موجب کاهش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی دانه‌های کنجد شد. محتوای روغن کنجد در دمای محیط و یخچال به ترتیب ۴۸/۳۹٪ و ۴۸/۰۷٪ بود که نسبت به نمونه‌ی کنترل تغییر معنی‌داری نشان نداد، نگهداری دانه‌های کنجد در دمای یخچال موجب افزایش ۱۸ درصدی اولئیک اسید نسبت به لینولئیک اسید شد تا به حفظ غشای سلولی کمک کند در حالی که در دمای محیط، لینولئیک اسید نسبت به اولئیک اسید ۲/۴ درصد افزایش یافت. محتوای کربوهیدرات و پرولین دانه‌های کنجد در دمای یخچال افزایش یافت که می‌تواند به دلیل نقش حفاظت اسمزی آن‌ها باشد. نتیجه‌گیری نهایی: بررسی نتایج پژوهش حاضر نشان داد، نگهداری دانه‌های کنجد در دمای محیط با افزایش محتوای لینولئیک اسید (امگا۶) و محتوای ترکیبات فنولی موجب افزایش کیفیت و ارزش غذایی دانه‌های کنجد می‌شود.

کلیدواژه‌ها: اسید چرب، آنتی‌اکسیدان، کنجد، نگهداری.

مقدمه

کنجد با نام علمی *Sesamum indicum* L. جزو قدیمی‌ترین دانه‌های روغنی به شمار می‌رود که در مناطق گرمسیری جهان از جمله ایران کشت می‌شود. دانه‌های کنجد به دلیل محتوای بالای روغن نسبت به سایر دانه‌های روغنی و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی بالا، به عنوان ملکه‌ی دانه‌های روغنی شناخته می‌شود [۱]. دانه‌ی کنجد منبع غنی از کربوهیدرات به شمار می‌رود که به عنوان منبع کربن در مسیر سنتز روغن، اسیدهای آمینه و پروتئین‌ها در دانه‌های کنجد نقش دارند. دانه‌های کنجد دارای ۵۵-۵۲ درصد روغن می‌باشند که شامل، ۸۵ - ۸۰ اسیدهای چرب غیراشباع و ۲۰ - ۱۵ اسیدهای چرب اشباع است که در بین ارقام مختلف کنجد متفاوت است [۲]. چهار اسید چرب اصلی کنجد شامل اسیدهای چرب غیراشباع اسید اولئیک، اسید لینولئیک و اسیدهای چرب اشباع شامل اسید پالمیتیک و اسید استئاریک می‌باشد. اسیدهای چرب لینولئیک، آراشیدیک، ایکوسنویک، واکسنیک و بهنیک نیز به مقدار کم در این روغن وجود دارند. محتوای بالای ترکیبات فنولی و لیگنان‌های طبیعی موجود در دانه‌های کنجد باعث می‌شود روغن کنجد با دارا بودن اسید چرب غیراشباع بالا، نسبت به سایر روغن‌ها در برابر ترشیدگی اکسیداتیو از مقاومت بیشتری برخوردار می‌باشد [۳]. از طرفی نسبت مناسب اسیدهای چرب امگا ۶ و امگا ۹ و وجود لیگنان‌های طبیعی مانند سزامین باعث پایداری حرارتی اکسیداتیو این روغن گیاهی نسبت به سایر روغن‌های گیاهی می‌شود. ترکیبات فنولی، آنتی‌اکسیدانی و لیگنان‌های موجود در دانه‌های کنجد می‌توانند دارای اثرات ضد سرطانی باشند و به پیشگیری از بیماری‌های قلبی و عروقی، التهاب‌های مزمن کمک کنند [۱]. اسید لینولئیک جز مهم‌ترین اسیدهای چرب غیراشباع ضروری برای انسان به شمار می‌رود که دانه‌ی کنجد منبع تغذیه‌ای مناسبی جهت تامین آن محسوب می‌شود، همچنین این اسید چرب نقش مهمی در تثبیت غشای سلولی، انتقال کلسترول در خون و لخته شدن خون دارا است. اسیدهای چرب اشباع غالب، روغن کنجد، اسید پالمیتیک و استئاریک هستند که اسید پالمیتیک در ساخت محصولات هم چون صابون‌ها، استرها و نرم‌کننده‌ها به کار می‌رود [۴]. دانه کنجد با توجه به گونه آن بین ۲۵ - ۱۵ پروتئین دارد که بیشتر در لایه‌ی خارجی دانه قرار دارند، به‌طوری

که کنجاله کنجد باقی‌مانده بعد از استخراج روغن غنی از پروتئین می‌باشد و دارای ۵۰ - ۳۰ پروتئین است. اسیدآمینه‌های ضروری پروتئین‌های دانه کنجد عمدتاً اسیدهای آمینه حاوی گوگرد به خصوص متیونین و تریپتوفان هستند به گونه‌ای که کنجد را می‌توان به عنوان منبع متیونین و تریپتوفان در رژیم غذایی مورد استفاده قرار داد [۵]. محصولات کشاورزی در فاصله بین برداشت و مصرف در انبارها مورد نگهداری قرار می‌گیرند که شرایط محیط نگهداری تاثیر زیادی بر کیفیت محصولات خواهد داشت. عوامل مختلفی مانند نوع گونه، نوع بسته بندی، دما، رطوبت محیط و ترکیبات شیمیایی دانه بر کیفیت دانه در مدت نگهداری اثر گذار هستند. در این بین دما از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر کیفیت دانه‌های روغنی در مدت نگهداری می‌باشد که با افزایش ترکیبات اکسیژن فعال موجب آسیب‌های اکسیداتیو، تخریب غشاهای لیپیدی، پروتئین‌ها و تغییر سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود. تجمع گونه‌های فعال اکسیژن در مدت نگهداری موجب تغییر مسیرهای متابولیکی مربوط به متابولیت‌های اولیه همچون قندها، پروتئین و اسیدهای چرب می‌شود. تغییر در این مسیرهای متابولیکی باعث تغییر منابع ذخیره‌ای و ترکیب اسیدهای چرب دانه‌ها خواهد شد که تغییر کیفیت دانه‌های کنجد را در پی خواهد داشت. ترکیبات فیتوشیمیایی و بیوشیمیایی موجود در دانه‌های کنجد نقش تغذیه‌ای مهمی در رژیم غذایی ایفا می‌کنند و می‌توانند به کنترل فشار خون و کلسترول و کاهش بیماری‌های قلبی عروقی کمک کند. شرایط نامناسب نگهداری با تغییر محتوای ترکیبات شیمیایی و بیوشیمیایی دانه‌های کنجد می‌تواند موجب تغییر عملکرد و ارزش غذایی دانه‌های کنجد شود. امروزه با توجه به مصرف روز افزون دانه‌ی کنجد به عنوان یک دانه‌ی روغنی با ارزش غذایی بالا، اهمیت حفظ ارزش غذایی این دانه‌ی روغنی در مدت نگهداری مورد توجه قرار گرفته است [۶]. هدف از این پژوهش، بررسی نگهداری دانه‌های کنجد در دمای محیط و یخچال بر محتوای ترکیبات فیتوشیمیایی، ساختار و محتوای اسیدهای چرب، محتوای پروتئین و ارزش غذایی دانه‌های کنجد می‌باشد.

مواد و روش‌ها

شرایط نگهداری

دانه‌های کنجد در دی‌ماه سال ۱۴۰۰ از مرکز جهاد کشاورزی شهرستان بهبهان تهیه شد. به‌منظور بررسی شرایط نگهداری، دانه‌های کنجد در ۳ گروه، کنترل (۲۰ °C، رطوبت ۳٪)، RT (۲۵ °C، رطوبت ۳۰٪)، FT (۴ °C، رطوبت ۷۰٪) در انکوباتور به مدت ۵ روز، در ظرف‌های شیشه‌ای بدون حضور نور نگهداری شدند.

سنجش ترکیبات فنولی دانه کنجد

سنجش محتوای فنول کل با استفاده از روش فولین - سیوکالیتو اصلاح‌شده انجام شد. ۰/۲ mL عصاره اتانولی دانه کنجد با ۱/۵ mL معرف فولین ۱۰٪، ۱/۵ mL سدیم کربنات ۵٪ به محلول اضافه شد. پس از ۶۰ min انکوبه محلول‌ها در تاریکی، جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۰ nm قرائت گردید [۷]. محتوای فلاونوئید به روش چنگ و همکاران انجام شد. ۱ mL عصاره اتانولی دانه کنجد با ۱ mL اتانول ۹۶٪، ۰/۱ mL آلومینیوم کلرید ۶ آبه ۱۰٪، ۰/۱ mL سدیم استات سه آبه ۱M و ۲/۸ mL آب مقطر مخلوط شد. پس از انکوبه محلول‌ها به مدت ۳۰ min در تاریکی و دمای محیط، جذب نمونه‌ها در طول موج ۴۱۵ nm توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر UV-Vis مدل Jenway 6705 قرائت شد [۸].

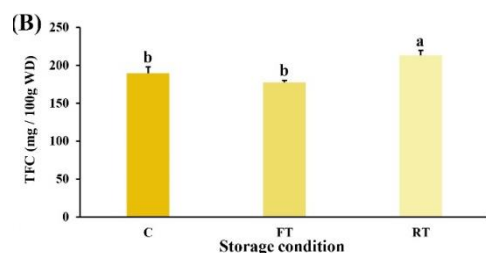
سنجش ترکیبات اکسیداتیو دانه کنجد

به منظور سنجش پرولین روش بیتس و همکاران اصلاح‌شده مورد استفاده قرار گرفت. در این روش اسید آمینه پرولین در شرایط اسیدی و دمای ۱۴۴ °C با معرف نین هیدرین واکنش می‌دهد و ماده رنگی به نام دی کتوهیدرین دی لیدین تولید می‌کند. ترکیب رنگی حاصل به کمک حلال آلی غیر قطبی تولون دو فاز رنگی متفاوت تشکیل می‌دهد. به ۱g بذر کنجد، ۴ mL محلول سولفوسالیسیلیک اسید (۳ g سولفوسالیسیلیک اسید، ۱۰۰ mL آب مقطر) افزوده شد و پس از سانتریفیوژ به مدت ۵ min با دور ۱۳۰۰۰، ۱ mL محلول رویی برداشته شد و بعد از افزودن ۱ mL محلول مر نین هیدرین (۱/۲۵ g نین هیدرین، ۳۰ mL استیک اسید گلاسیال، ۲۰ mL اورتوفریک اسید ۶M) و ۱ mL استیک گلاسیال به مدت ۱ h در حمام آب با دمای ۱۰۰ °C و سپس بلافاصله ۱۰ min در حمام یخ قرار گرفت. به هر نمونه ۲ mL

تولون افزوده و مخلوط شد، سپس نمونه‌ها به مدت ۲۰-۳۰ s به‌منظور تفکیک دو فاز ثابت ماندند. فاز آلی رویی به‌منظور سنجش غلظت پرولین مورد استفاده قرار گرفت و جذب در طول موج ۵۲۰ nm توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر UV-Vis مدل Jenway 6705 قرائت شد [۹]. به منظور سنجش فعالیت آنتی اکسیدانی دانه‌های کنجد از روش ری و همکاران اصلاح‌شده استفاده شد. ۰/۱ mL محلول پایه ABTS با ۴/۵ mL بافر استیک اسید (۰/۳۳ g استات سدیم، ۰/۲ mL استیک اسید، ۶۲ mL آب، pH=4) رقیق شد تا جذب محلول در طول موج ۷۳۴ nm به ۰/۷ برسد. ۲/۸ mL از محلول تهیه شده با ۰/۲ mL عصاره اتانولی کنجد مخلوط شد و پس از ۶ min میزان جذب در طول موج ۷۳۴ nm قرائت شد [۱۰].

سنجش متابولیت‌های اولیه

از روش فنل-سولفوریک اسید به‌منظور سنجش میزان کربوهیدرات دانه کنجد استفاده شد. ۱ mL از عصاره اتانولی ۷۰٪ دانه کنجد برداشته و ۰/۵ mL فنل ۵٪ و ۲/۵ mL سولفوریک اسید ۹۸٪ به آن افزوده شد. ۴۵ min بعد از تغییر رنگ محلول میزان جذب در طول موج ۴۹۰ nm توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر UV-Vis مدل Jenway 6705 خوانده شد [۹]. به‌منظور سنجش درصد روغن از دستگاه سوکسله استفاده شد. ۵ پودر دانه کنجد در کارتوش دستگاه سوکسله قرار داده شد. از حلال n-هگزان جهت استخراج استفاده شد. به‌منظور استخراج تمام روغن نمونه دستگاه به مدت ۴ h در دمای ۶۰ °C باقی ماند (۱۱). روغن حاصل از دانه‌های کنجد توسط حلال آلی اترنفت استخراج شد، سپس جهت آنالیز اسیدهای چرب از دستگاه کروماتوگراف گازی مدل ۶۸۹۰ کوپل شده با طیف‌سنج جرمی مدل N۵۹۷۳ ساخت شرکت Agilent آمریکا، دارای ستون موئین HP-5MS استفاده شد. فاز ساکن متیل فنیل سیلوکسان ۵٪ با طول ستون ۳۰ inch، به قطر داخلی ۰/۲۵ mm مورد استفاده قرار گرفت. دمای اولیه دستگاه ۵۰ °C به مدت ۳۰ min نگه‌داشته شد. سپس با سرعت ۱۰ °C/min به دمای ۱۲۰ °C رسانده شد و ۳ min در این دما قرار گرفت. به همین ترتیب دماهای ۱۵۰ °C و ۱۹۰ °C اعمال شد [۱۲، ۱۳]. سنجش پروتئین به روش لوری اصلاح شده انجام شد. ابتدا معرف ABC تهیه شد. ۱ g دانه کنجد به نسبت



نمودار ۱. بررسی ترکیبات فنلی، (A) محتوای فنل کل، (B) محتوای فلاونوئید کل، مقادیر ذکر شده میانگین ۳ بار تکرار $\pm$ خطای استاندارد می‌باشد. حروف مشابه در بالای ستون‌ها معرف تفاوت معناداری بین میانگین‌ها می‌باشد.

فول‌ها و فلاونوئیدها، آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی هستند که با مهار رادیکال‌های آزاد موجب مهار واکنش‌های اکسیداسیون می‌شوند. مطالعات نشان می‌دهد ساختار شیمیایی ایده آل ترکیبات فنولی در مقایسه با برخی ویتامین‌ها و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی موجود در بذرها، می‌تواند موجب تاثیر بیشتر ترکیبات فنولی برای مقابله با رادیکال‌ها و زنده ماندن بذر شود. نگهداری طولانی مدت بذر یونجه در بازه دمایی 15°C – 20°C موجب افزایش محتوای ترکیبات فنول نسبت به دانه‌های نگهداری شده در دمای 20°C شد [۱۵]. مطالعه مشابه انجام شده روی میوه زیتون نشان داد، محتوای ترکیبات فنولی زیتون در دمای یخچال نسبت به نمونه کنترل کاهش یافت، این کاهش را می‌توان ناشی از اثر کاهش دما بر میوه دانست که موجب کم‌آبی سلول و تخریب غشای سلولی می‌شود، همچنین تماس بین آنزیم‌ها و بسترهای مربوط به آن‌ها موجب افزایش اکسیداسیون محتویات سلولی و مرگ سلول می‌گردد. سرما باعث تخریب اکسیداتیو ترکیبات فنولی در واکنش‌های کاتالیز شده توسط آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز می‌شود. محتوای فلاونوئید زیتون در دمای 4°C بیشترین شباهت را به نمونه کنترل داشت که می‌توان آن را به ساختار پایدار فلاونوئیدها و مقاومت در برابر اکسیداسیون بالا نسبت دادند. افزایش محتوای فنول در دمای اتاق (20°C) نسبت به نمونه کنترل را می‌توان با افزایش هیدرولیز ترکیبات فنولی پیچیده‌تر به ترکیبات فنولی ساده توضیح داد [۱۶]. گارسایویکو و همکاران در سال ۲۰۱۷ گزارش کردند، نگهداری میوه زیتون در دمای 5°C موجب کاهش محتوای گلیکوزیدهای اصلی فنولیک و سطح فعالیت β -گلوکوزیداز و آنزیم PPO در میوه زیتون شد. در نتیجه این کاهش، روغن به‌دست آمده از زیتون‌های تحت تنش دارای محتوای بسیار پایین‌تری از ترکیبات فنولی اصلی و ترکیبات

۱:۱۰ با بافر فسفات پتاسیم 0.1 M مخلوط و سائتریفور شد. به 1 mL از محلول رویی، 5 mL محلول ABC افزوده شد و به مدت 15 min در دمای اتاق قرار گرفت. به هر نمونه 3 mL معرف فولین ۲N افزوده شد و پس از 30 min استراحت، جذب نمونه‌ها در طول موج 660 nm توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر UV-Vis مدل Jenway 6705 خوانده شد [۱۴].

معرف A: 2 g سدیم هیدروکسید، 100 mL آب مقطر، 10 g سدیم کرینات، معرف B: 1 g سولفات مس آبدار، 25 mL آب مقطر، معرف C: $4/91\text{ g}$ سدیم پتاسیم تارتارات ۴آبه، 100 mL آب مقطر، معرف ABC: 15 mL معرف A، 0.75 mL معرف B، 0.75 mL معرف C.

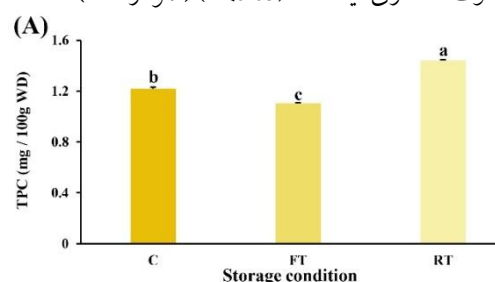
بررسی آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از بسته نرم افزاری SPSS20.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) انجام شد. تمام داده‌های تجربی به صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار ارائه شده است. برای به دست آوردن نتایج آماری دقیق‌تر، هر آزمون با سه تکرار انجام شد و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون‌های آنالیز واریانس، تی مستقل و دانکن استفاده شد. سطح معنی داری برای همه آزمون‌ها در $p < 0.05$ تنظیم شده است.

نتایج و بحث

بررسی تغییرات ترکیبات فنولی

محتوای فنول کل در دانه‌های کنجد نگهداری شده در شرایط RT نسبت به نمونه کنترل به شدت افزایش یافت در حالی شرایط FT موجب کاهش محتوای فنول کل دانه‌های کنجد شد (نمودار ۱-A). نگهداری دانه‌های کنجد در شرایط RT موجب افزایش محتوای فلاونوئید نسبت به نمونه کنترل شد اما بین دانه‌های کنجد نگهداری شده در شرایط FT، نسبت به نمونه کنترل از نظر محتوای فلاونوئید تفاوت معناداری دیده نشد ($P < 0.05$) (نمودار ۱-B).



می‌شوند [۲۲]. افزایش فعالیت تنفسی با تولید ROS بیشتر، منجر به اختلال در غشای پلاسمایی توسط پراکسیداسیون لیپیدی می‌شود، اختلال در غشای پلاسمایی بازده تولید انرژی در میتوکندری را کاهش می‌دهد [۲۳].

بررسی تغییرات محتوای پروتئین

میزان پروتئین دانه‌های کنجد در شرایط RT نسبت به شرایط FT کنترل افزایش یافت در حالی که میزان پروتئین در شرایط FT نسبت به نمونه کنترل تفاوت معناداری نشان نداد ($P < 0.05$) (نمودار ۲-B).

در تنش سرما، مکانیسم‌های فیزیولوژیکی همچون تجمع قندهای محلول، اسیدهای آمینه به‌ویژه پروتئین‌های تنشی به‌منظور افزایش مقاومت در مقابل سرما ایجاد می‌شوند. پروتئین‌های تنشی با بیان ژن‌های ثابت دهنده غشاها موجب تولید پروتئین‌های ساختمانی می‌شوند که با حفظ پایداری غشای سلول از نشت الکترولیت‌ها جلوگیری می‌کنند. اسیدآمینه پرولین علاوه بر نقش تنظیم کننده اسمزی خود که موجب حفظ فشار تورژسانس می‌شود، در حفظ و ثبات ساختمان پروتئین‌ها نقش مهمی ایفا می‌کند [۱۴]. افزایش گونه‌های فعال اکسیژن طی نگهداری دانه در شرایط انبارداری موجب افزایش پروتئین‌های دفاعی^۴ دانه می‌شود. این پروتئین‌ها سنتز می‌شوند تا دانه را با شرایط نامطلوب زیستی و غیرزیستی سازگار کنند. اغلب پروتئین‌های دفاعی ترکیبات فعال اکسیژن را مهار می‌کنند و در پاسخ مستقیم سلول‌های گیاهی به عوامل استرس‌زا شرکت می‌کنند و نقش مهمی در مقابله با استرس اکسایش-کاهش طی بلوغ فیزیولوژیکی دانه دارند. به‌نظر می‌رسد محتوای کمتر پروتئین در شرایط FT نسبت به دو شرایط نگهداری دیگر به‌دلیل فعال شدن سایر مسیرهای متابولیکی از جمله سیستم آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی مانند پلی فنولیک‌ها برای مقابله با تنش‌های محیطی باشد. مطالعات نشان می‌دهد طی مدت انبارداری برخی پروتئین‌های ساختاری با جدا شدن اتصالات پکتینی اتصال دهنده آن‌ها به غشای سلولی طی فعالیت بیش از حد آنزیم‌های تنظیم کننده پکتین دیواره سلولی و تخریب

سکوئریدوئید نسبت به میوه‌های تازه زیتون بود [۱۸]. سفرتالری و همکاران در سال ۲۰۱۹ ایجاد تغییرات در سطح ترکیبات فنولیک طی نگهداری میوه زیتون در دمای ۲۰ °C و ۵ را ناشی از فعالیت‌های اکسیداتیو و هیدرولیتیک دانستند. همچنین حضور آنزیم‌های درون‌زا مانند گلیکوزیدهای فنولی هیدرولیز کننده β -گلوکوزیداز و آنزیم‌های اکسیدوردوکتاز که ازجمله مهم‌ترین آنزیم‌ها در تجزیه ترکیبات فنولی هستند می‌تواند موجب کاهش سطح ترکیبات فنولی طی نگهداری شود. به نظر می‌رسد فنول‌ها و فلاونوئیدها با انتقال الکترون به گونه‌های فعال اکسیژن تولیدشده در جنین و اندوسپرم، مانع از اکسایش لیپیدی می‌شوند [۱۹].

بررسی تغییرات متابولیت‌های اولیه

میزان قند محلول کل در دانه‌های کنجد نگهداری شده در شرایط FT افزایش یافت، بین دانه‌های کنجد نگهداری شده در شرایط RT نسبت به نمونه کنترل از نظر میزان قند محلول کل تفاوت معناداری یافت نشد ($P < 0.05$) (نمودار ۲-A).

میزان قند محلول کل در مطالعه حاضر در شرایط FT نسبت به نمونه کنترل افزایش یافت، به نظر می‌رسد قندها می‌توانند به‌عنوان یک اسمولیت با عملکردهای سلولی متعدد مانند محافظت از سلول‌های گیاهی با حفظ پتانسیل اسمزی، تنظیم ردوکس سلولی، تثبیت غشاها، پروتئین‌ها و پیام‌رسانی عمل کنند. در دمای نگهداری ۳-۷ °C، به دلیل عدم تناسب بین تجزیه نشاسته و متابولیسم ساکاروز، فرایند شیرین شدن سرد^۱، در دانه اتفاق می‌افتد. به نظر می‌رسد طی فرایند شیرین شدن سرد، نشاسته به قندهای محلول تجزیه می‌شود تا با استفاده از نقش محافظت اسمزی^۲ قندها، کیفیت دانه در مدت نگهداری حفظ شود [۲۰]. همچنین در شرایط نگهداری سرد و مرطوب، فعالیت آنزیم^۳ PEPCK در دانه افزایش می‌یابد که طی گلوکونئوز^۳ لیپیدی، باعث سنتز گلوکز در بافت‌های هتروتروف می‌شود [۲۱]. مطالعات نشان داده است در دانه‌های روغنی دو لپه‌ای همچون کنجد و آفتابگردان، اسیدهای چرب ذخیره شده در لپه‌ها به‌عنوان پیش ماده در مسیر گلوکونئوز^۳ در کنار آنزیم‌های ایزوسیرات‌لیاز و مالات سینتاز جهت بیوسنتز قندها در دانه‌ی روغنی استفاده

^۱ Cold induced sweetening

^۲ osmoprotective functions

^۳ Phosphoenolpyruvate carboxykinase

^۴ Defensive proteins

همی سلولز از غشا جدا می‌شوند و تخریب دیواره سلولی و افزایش محتوای پروتئین را در پی خواهد داشت [۲۴].

تغییرات بازده روغن

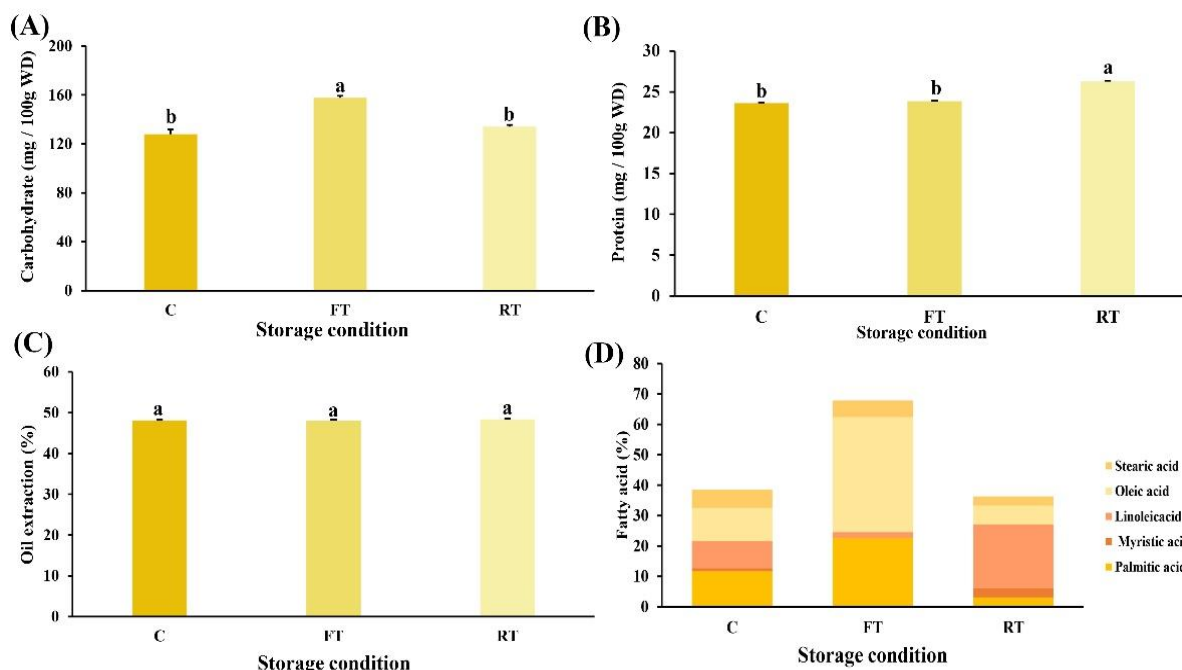
بین نمونه‌های کنجد نگهداری شده در شرایط RT و FT نسبت به نمونه کنترل از نظر میزان بازده استخراج روغن، تفاوت معنادار یافت نشد ($P < 0.05$) (نمودار ۲-C).

مطالعه مشابه انجام شده روی میوه زیتون نشان داد، نگهداری میوه زیتون در دمای بالا موجب افزایش میزان تنفس میوه زیتون نسبت به میوه زیتون نگهداری شده در دمای محیط و یخچال شد، افزایش تنفس سرعت بیشتر رسیده شدن میوه در دمای بالا را در پی داشت که در نتیجه آن تخریب دیواره‌های سلولی حاوی روغن تسهیل شد که استخراج روغن را بهبود بخشید [۲۵]. دما و رطوبت بالای نگهداری با افزایش ترکیبات فعال اکسیژن (ROS) در میوکندری باعث تخریب شدید غشای سلول و غیر فعال شدن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود. در نتیجه کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی پراکسیداسیون لیپیدی افزایش می‌یابد که با تخریب غشای سلول موجب استخراج راحت‌تر روغن می‌شود [۲۶]. بررسی‌ها نشان می‌دهد، دمای پایین محیط نگهداری موجب حفظ یکپارچگی غشای سلول می‌شوند. افزایش نفوذپذیری غشا طی بالا رفتن دما، آسیب‌های سلولی را به دنبال دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد، دانه‌هایی که در دمای 10°C نگهداری شده‌اند، یکپارچگی غشای خود را بهتر از دانه‌های نگهداری شده در دمای 25°C حفظ می‌کنند [۲۷]. افزایش دما، با افزایش استرس اکسیداتیو موجب پراکسیداسیون لیپیدی در غشاهای سلولی می‌شود. طبق نتایج کاداولا و همکاران [۲۸]، در دماهای بالای نگهداری، به ویژه دمای بالای 30°C ، تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن افزایش می‌یابد. لیپیدهای غشایی توسط گونه‌های ROS مورد حمله قرار می‌گیرند و موجب ایجاد تغییرات ساختمانی در آن‌ها می‌شود. این زوال اکسیداتیو سیالیت و یکپارچگی غشا را به خطر می‌اندازد. به نظر می‌رسد در مطالعه حاضر دماهای 25°C و 4°C ، با کاهش تولید گونه‌های ROS، به حفظ ساختار غشای سلولی کمک می‌کنند که مانع از نشت مواد ذخیره‌ای به محیط سیتوپلاسم می‌شود [۲۸].

بررسی تغییرات محتوای اسید چرب

بررسی روغن به دست آمده از دانه‌های کنجد نگهداری شده در شرایط مختلف با استفاده از روش GC-MS، ۵ اسید چرب غالب موجود در روغن کنجد را شناسایی کرد. در دانه‌های کنجد نگهداری شده در شرایط کنترل، میزان مناسبی از هریک از اسیدهای چرب یافت شد. اسیدهای چرب غالب در دانه‌های کنجد نگهداری شده در شرایط FT، اولئیک اسید و پالمیتیک اسید بود که نسبت به نمونه کنترل افزایش نشان داد. کمترین میزان اسیدهای چرب به ترتیب به لینولئیک اسید و استئاریک اسید تعلق داشت. در شرایط RT بیشترین و کمترین اسیدهای چرب به ترتیب لینولئیک اسید و استئاریک اسید بودند که میزان لینولئیک اسید نسبت به نمونه کنترل افزایش یافت. میزان پالمیتیک اسید نسبت به شرایط کنترل به شدت کاهش نشان داد، درحالی‌که میریستیک اسید نسبت به نمونه کنترل افزایش یافت ($P < 0.05$) (نمودار ۲-D).

اکسیداسیون چربی‌ها یک واکنش بیوشیمیایی مهم در طی انبارداری دانه‌ها می‌باشد که محصولات اولیه آن اسیدهای چرب آزاد هستند. اکسیداسیون اسیدهای چرب آزاد موجب تولید آلدئیدها می‌شود که در واکنش با پروتئین‌ها موجب زوال آن‌ها می‌شود [۲۹]. نگهداری دانه‌های سویا در شرایط 25°C و 10°C نشان داد، پایداری کمتر اسیدهای چرب غیراشباع نسبت به اسیدهای چرب اشباع موجب اکسیداسیون بیشتر اسیدهای چرب غیراشباع در مدت انبارداری می‌شود. طی اکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع مانند لینولئیک اسید و اولئیک اسید به اسیدهای چرب اشباع استئاریک اسید و پالمیتیک اسید تبدیل می‌شوند [۲۷]. اسیدهای چرب غیراشباع به اکسایش بسیار حساس هستند و باند دوگانه آن‌ها به راحتی احیا می‌شود، در مطالعه حاضر لینولئیک اسید با دو باند دوگانه حساسیت بیشتری به اکسایش نشان داد و در دمای بالا بیشتر کاهش یافت. اسیدهای چرب غیراشباع در اثر اکسایش به ترکیباتی همچون اندیول، کتوهیدروکسید و اپوکسید تبدیل می‌شوند که طی یکسری واکنش زنجیره‌ای به تولید رادیکال‌های آزاد منجر خواهد شد [۳۰]. نگهداری میوه زیتون در 15°C با افزایش سنتز پروتئین دساتوراز ناقل استئاروئیل آسبل (SAD)، موجب افزایش اسیدهای چرب غیراشباع در لیپیدهای غشاء میکروزومی مزوکارپ میوه زیتون



نمودار ۲. بررسی متابولیت‌های اولیه، (A) محتوای کربوهیدرات، (B) محتوای پروتئین، (C) درصد استخراج روغن، (D) محتوای اسیدهای چرب، مقادیر ذکر شده میانگین نمودار ۲. بررسی متابولیت‌های اولیه، (A) محتوای کربوهیدرات، (B) محتوای پروتئین، (C) درصد استخراج روغن، (D) محتوای اسیدهای چرب، مقادیر ذکر شده میانگین ۳ بار تکرار $\pm$ خطای استاندارد می‌باشد. حروف مشابه در بالای ستون‌ها معرف تفاوت معناداری بین میانگین‌ها می‌باشد.

تبدیل می‌شوند که این یافته‌ها با تغییرات اسیدهای چرب در شرایط RT مطابقت داشتند [۲۹].

بررسی تغییرات پارامترهای اکسیداتیو

نگهداری بذرهای کنجد در شرایط RT، باعث کاهش محتوای پرولین در بذر کنجد نسبت به نمونه کنترل شد. بین بذرهای کنجد نگهداری شده در شرایط FT نسبت به نمونه کنترل تفاوت معناداری از نظر میزان پرولین دیده نشد (نمودار ۳-A). میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در دانه‌های کنجد نگهداری شده در هر دو شرایط نگهداری مورد مطالعه نسبت به نمونه کنترل، کاهش یافت. بیشترین کاهش در ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، مربوط به دانه‌های کنجد نگهداری شده در شرایط FT بود (نمودار ۳-B). ($P < 0.05$)

پرولین دارای کارایی بالایی برای حفاظت مقابل تنش‌ها نسبت به باقی اسمولیت‌های متداول مانند قندهای معمولی و قندهای الکلی است. پرولین این حفاظت را با تأثیر مستقیم بر ثبات ماکرو مولکول‌ها و لایه‌های آبگیر آن‌ها و همچنین به دلیل خصوصیات آنتی‌اکسیدانی خود به‌طور غیرمستقیم انجام می‌دهد. نگهداری بذر نخودفرنگی در پنج سطح دمایی 15°C ، 12°C ، 9°C و 3°C نشان داد، نگهداری بذرهای نخودفرنگی در دمای 4°C

می‌شود که مقاومت میوه در برابر سرما را افزایش می‌دهد [۳۱]. در دانه‌های ذرت نگهداری شده در دمای 10°C ، افزایش در میزان اسیدهای چرب استتاریک و اولئیک دیده شد که با کاهش در میزان اسید لینولئیک همراه بود. به نظر می‌رسد نگهداری دانه در دماهای پایین و رطوبت بالا باعث جذب آب توسط دانه شده و موجب جدا شدن چربی‌ها از غشا و کاهش نفوذپذیری انتخابی و سیالیت غشا می‌شود. با مختل شدن سازمان‌دهی غشا، نشت سیتوپلاسمی رخ خواهد داد، در نتیجه دانه در پاسخ به تنش سرما با افزایش ترکیب اسیدهای چرب غیراشباع در غشا باعث مدل‌سازی دوباره سیالیت غشا سلولی می‌شود. آنزیم‌های دساتوراز^۱ با ایجاد باند دوگانه سیس مانع از اتصال مولکول‌های اسید چرب به یکدیگر شده و سیالیت غشا را حفظ می‌کنند. تحت تنش سرما، انعطاف‌پذیری غشا از راه افزایش چربی‌های غیراشباع باعث حفظ محیط هموستاتیک موردنیاز برای عملکرد سلول می‌شود. برای سازگاری بذرهای کاهش دما در شرایط FT، اسیدهای چرب غیراشباع و اسیدهای چرب اشباع مانند اسیدهای پالمیتیک، استتاریک و اولئیک به اسیدهای چرب غیراشباع با چند باند دوگانه مانند لینولئیک اسید

¹ Fatty acid desaturases

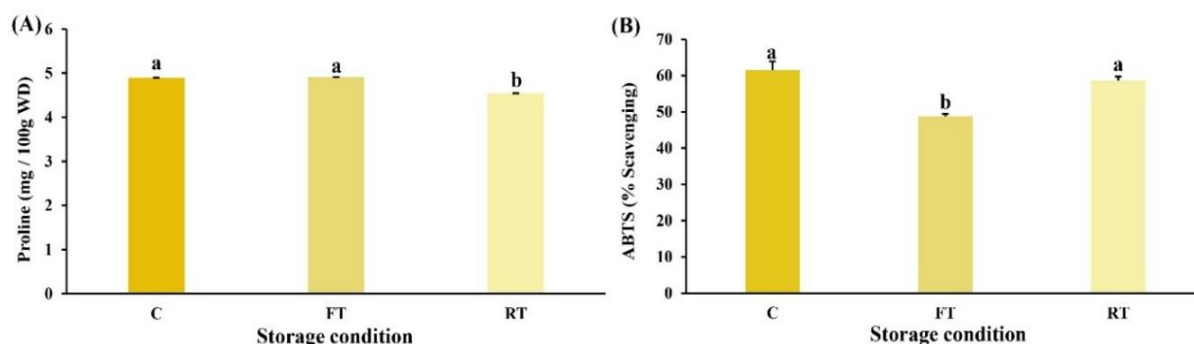
در مقایسه با دمای اتاق یا بالاتر حفظ می‌کند [۳۶]. نگهداری دانه‌های نیلوفر آبی در دمای ۴ °C موجب کاهش فعالیت آنتی اکسیدانی دانه در مدت نگهداری شد. مطالعات نشان می‌دهد فعالیت آنتی اکسیدانی دانه‌ها همبستگی مستقیمی با محتوای فنول، پروتئین محلول و لیپید دانه دارد. پلیمریزاسیون پروتئین‌ها با ترکیبات فنلی و لیپیدها در مدت نگهداری می‌تواند موجب کاهش فعالیت آنتی اکسیدانی دانه‌ها در مدت نگهداری شود. به نظر می‌رسد محتوای فنولی دانه‌های کنجد در دمای اتاق در مقایسه با دمای یخچال بهتر حفظ می‌شوند که به حفظ فعالیت آنتی اکسیدانی دانه‌های کنجد کمک می‌کند [۳۷].

نتیجه‌گیری

دانه‌های روغنی به دلیل محتوای بالای روغن نسبت به شرایط نگهداری محیطی بسیار حساس هستند، دمای محیط با تاثیر مستقیم بر مسیرهای متابولیکی دانه، از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر کیفیت دانه‌ها در مدت نگهداری می‌باشد. پژوهش حاضر نشان داد، محتوای بالای ترکیبات فنولی در دمای محیط، به مقابله با ترکیبات فعال اکسیژن و کاهش تنش اکسیداتیو کمک می‌کند که موجب حفظ کیفیت دانه‌های کنجد در مدت نگهداری می‌شود. به نظر می‌رسد نگهداری دانه‌های کنجد در دمای محیط با افزایش اسید لینولئیک به عنوان امگا۶، علاوه بر بالا بردن ارزش غذایی دانه‌ی کنجد، در حفظ سیالیت و ساختار غشاهای سلولی نیز نقش دارد.

موجب کاهش محتوای پرولین در مدت نگهداری می‌شود [۳۲]. پرولین در شرایط تنش با شرکت در فرآیندهای ترمیمی، به منظور حفاظت از بذر، نقش مهمی ایفا می‌کند [۳۳]. تجمع پرولین در شرایط تنش می‌تواند به دلیل کاهش در اکسیداسیون پرولین، افزایش سنتز آن از گلوتامات و یا در نتیجه افزایش فعالیت آنزیم پروتئیناز باشد. افزایش پرولین موجب افزایش اسمولیت‌های سلول و ایجاد فشار مورد نیاز جهت نمو بافت سلولی می‌شود که با حفظ یکپارچگی غشا، مانع از تجزیه پروتئین‌ها خواهد شد. مطالعات نشان می‌دهد، غیرفعال شدن آنزیم‌های سنتزکننده پرولین و فعال شدن آنزیم‌های تجزیه‌کننده پرولین موجب کاهش پرولین طی مدت نگهداری می‌شود. آنزیم پرولین اکسیداز در تبدیل پرولین به گلوتامات نقش ایفا می‌کند که موجب کاهش غلظت پرولین در گیاه خواهد شد [۳۲].

نگهداری بذر ماش نشان داد، در ابتدای نگهداری، ظرفیت آنتی اکسیدانی بذرها افزایش یافت درحالی‌که با افزایش زمان نگهداری ظرفیت آنتی اکسیدانی بذرها کاهش یافت. یافته‌ها حاکی از آن است نگهداری طولانی مدت سبب کاهش ظرفیت مهار رادیکال‌های آزاد و در نتیجه آن افزایش تخریب غشای بذر می‌شود [۳۴]. نگهداری *Momordica charantia* در دماهای ۴ °C و ۲۵ °C نشان داد، افزایش دمای ذخیره سازی، کاهش میزان فعالیت آنتی اکسیدانی را به همراه دارد که مخالف نتایج مطالعه حاضر بود [۳۵]. بررسی دانه‌های تربچه نشان داد، دماهای پایین‌تر مانند ۴ °C، سطوح بالاتری از فعالیت آنتی اکسیدانی را



نمودار ۳. بررسی پارامترهای اکسیداتیو، (A) محتوای پرولین، (B) درصد مهارکنندگی ABTS، مقادیر ذکرشده میانگین ۳ بار تکرار $\pm$ خطای استاندارد می‌باشد. حروف مشابه در بالای ستون‌ها معرف تفاوت معناداری بین میانگین‌ها می‌باشد

contents and fatty acid compositions of sesame seed provided from different locations. J Oleo Sci. Japan Oil Chemists' Society; 2020; 69(8):795–800.

منابع

- [1] Ahmed IAM, AlJuhaimi F, Özcan MM, Ghafoor K, Şimşek Ş, Babiker EE, et al. Evaluation of chemical properties, amino acid

- [2] Aglave HR. Physiochemical characteristics of sesame seeds. *J Med Plants Stud.* 2018; 6(1):64–6.
- [3] Parsaeian M, Shahabi M, Hassanpour H. The integration of image processing and artificial neural network to estimate four fatty acid contents of sesame oil. *LWT. Elsevier*; 2020; 129:109476.
- [4] Ghosh M, Upadhyay R, Mahato DK, Mishra HN. Kinetics of lipid oxidation in omega fatty acids rich blends of sunflower and sesame oils using Rancimat. *Food Chem. Elsevier*; 2019; 272:471–7.
- [5] Kurt C. Variation in oil content and fatty acid composition of sesame accessions from different origins. *Grasas Aceites.* 2018; 69(1):241–51.
- [6] Haddadkhodaparast MH, Habibi Najafi MB, Elhami Rad AH, Diwandari N. Process optimization of sesame milk according to Iranian preferences. *Iran J Food Sci Ind Res.* 2006; 2(1).
- [7] Magalhães BEA de, Andrade Santana D de, Jesus Silva IM de, Minho LAC, Gomes MA, Silva Almeida JRG da, et al. Determination of phenolic composition of oilseed whole flours by HPLC-DAD with evaluation using chemometric analyses. *Microchem J. Elsevier*; 2020; 155:104683.
- [8] Khan IU, Rathore BS, Syed Z. Evaluation of polyphenols, flavonoids and antioxidant activity in different solvent extracts of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes. *Int J Seed Spices.* 2019; 9:52–60.
- [9] Quero-Jiménez PC, Montenegro ON, Sosa R, Pérez DL, Rodríguez AS, Méndez RR, et al. Total carbohydrates concentration evaluation in products of microbial origin. *Afinidad [Internet].* 2019 [cited 2024 Dec 17]; 76(587). Available from: <https://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/view/361475>.
- [10] Wołosiak R, Drużyńska B, Derewiaka D, Piecyk M, Majewska E, Ciecierska M, et al. Verification of the conditions for determination of antioxidant activity by ABTS and DPPH assays—A practical approach. *Molecules. MDPI*; 2021; 27(1):50.
- [11] Ortega-Ortega MDLA, Cruz-Cansino NDS, Alanís-García E, Delgado-Olivares L, Ariza-Ortega JA, Ramírez-Moreno E, et al. Optimization of Ultrasound Extraction of Cactus Pear (*Opuntia ficus indica*) Seed Oil Based on Antioxidant Activity and Evaluation of Its Antimicrobial Activity. *J Food Qual.* 2017; 2017:1–9.
- [12] Yuan X, Liu J, Zeng G, Shi J, Tong J, Huang G. Optimization of conversion of waste rapeseed oil with high FFA to biodiesel using response surface methodology. *Renew Energy. Elsevier*; 2008; 33(7):1678–84.
- [13] Yusefi Tanha E, Fallah S, Taddayon A. Effect of seed priming on some effective physiological parameters on seed germination of pea (*Pisum sativum* L.) under chilling stress. *J Plant Process Funct. Journal of Plant Process and Function*; 2015; 4(13):1–15.
- [14] Tanaka T, Abo Y, Hamano S, Fujishima Y, Kaneo Y. Intracellular disposition of arabinogalactan and asialofetuin in HepG2 cells. *J Drug Deliv Sci Technol. Elsevier*; 2013; 23(5):435–8.
- [15] Cakmak T, Atici O, Agar G, Sunar S. Natural aging-related biochemical changes in alfalfa (*Medicago sativa* L.) seeds stored for 42 years. *Int Res J Plant Sci.* 2010; 1(1):1–6.
- [16] Beauchamp C, Fridovich I. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Anal Biochem. Elsevier*; 1971; 44(1):276–87.
- [17] Sgherri CLM, Loggini B, Puliga S, Puliga F. Antioxidant system in *Sporobolus stapfianus*: changes in response to desiccation and rehydration. *Phytochemistry. Elsevier*; 1994; 35(3):561–5.
- [18] Keharom S, Mahachai R, Chanthai S. The optimization study of α -amylase activity based on central composite design-response surface methodology by dinitrosalicylic acid method. *Int Food Res J.* 2016; 23(1):10–7.
- [19] Amjad A, Javed MS, Hameed A, Hussain M, Ismail A. Changes in sugar contents and invertase activity during low temperature storage of various chipping potato cultivars. *Food Sci Technol. SciELO Brasil*; 2019; 40:340–5.
- [20] Keshavarzian M, Gerivani Z, Sadeghipour HR, Aghdasi M, Azimmohseni M. Suppression of mitochondrial dehydrogenases accompanying post-glyoxylate cycle activation of gluconeogenesis and reduced lipid peroxidation events during dormancy breakage of walnut kernels by moist chilling. *Sci Hortic. Elsevier*; 2013; 161:314–23.
- [21] Cornah JE, Smith SM. Synthesis and Function of Glyoxylate Cycle Enzymes. In: Baker A, Graham IA, editors. *Plant Peroxisomes [Internet].* Dordrecht: Springer Netherlands; 2002 [cited 2024 Jul 14]; p. 57–101. Available from: http://link.springer.com/10.1007/978-94-015-9858-3_3.
- [22] Önder S, Tonguç M, Güvercin D, Karakurt Y. Biochemical changes stimulated by accelerated aging in safflower seeds (*Carthamus tinctorius* L.). *J Seed Sci. SciELO Brasil*; 2020; 42:e202042015.
- [23] Lin X, Zhou L, Li T, Brennan C, Fu X, Liu RH. Phenolic content, antioxidant and

- antiproliferative activities of six varieties of white sesame seeds (*Sesamum indicum* L.). Rsc Adv. Royal Society of Chemistry; 2017; 7(10):5751–8.
- [25] Brkić Bubola K, Lukić M, Novoselić A, Krapac M, Lukić I. Olive fruit refrigeration during prolonged storage preserves the quality of virgin olive oil extracted therefrom. Foods. MDPI; 2020; 9(10):1445.
- [26] Paravar A, Maleki Farahani S, Adetunji AE, Oveisi M, Piri R. Effects of seed moisture content, temperature, and storage period on various physiological and biochemical parameters of *Lallemantia iberica* Fisch. & C.A.Mey. Acta Physiol Plant. 2023; 45(9):105.
- [27] Panobianco M, Vieira RD. Electrical conductivity and deterioration of soybean seeds exposed to different storage conditions. Rev Bras Sementes. SciELO Brasil; 2007; 29:97–105.
- [28] Kadavala JB, Patel MB, Parmar PK, Patil K. Seed ageing physiological, biochemical and molecular basis: A review. TPI. 2023; 12:1511–7.
- [29] Rizvani Moghadam P, Seyyedi SM. Investigating the germination characteristics of sesame seeds (*Sesamum indicum* L.) and its relationship with the composition of fatty acids. Iran Seed Sci Technol. 2017; 5(2):119–21.
- [30] Tatić M, Balešević-Tubić S, \DJor\djević V, Nikolić Z, \DJukić V, Vujaković M, et al. Soybean seed viability and changes of fatty acids content as affected by seed aging. Afr J Biotechnol. 2012; 11(45):10310–6.
- [31] Hernández ML, Sicardo MD, Alfonso M, Martínez-Rivas JM. Transcriptional regulation of stearoyl-acyl carrier protein desaturase genes in response to abiotic stresses leads to changes in the unsaturated fatty acids composition of olive mesocarp. Front Plant Sci. Frontiers Media SA; 2019; 10:251.
- [32] Ebone LA, Caverzan A, Chavarria G. Physiologic alterations in orthodox seeds due to deterioration processes. Plant Physiol Biochem. Elsevier; 2019; 145:34–42.
- [33] 32. Ashraf M, Tufail M. Variation in Salinity Tolerance in Sunflower (*Helianthus annuum* L.). J Agron Crop Sci. 1995; 174(5):351–62.
- [34] Sekar S, Ahamed R, Natesan S, Nagappan A, Park HS, Senthil K, et al. Proteomic analysis of ageing in black gram (*Vigna mungo* L.) seeds and its relation to seed viability. Plant Omics. 2015; 8(3):201–11.
- [35] Lin Y-S, Huang W-Y, Ho P-Y, Hu S-Y, Lin Y-Y, Chen C-Y, et al. Effects of Storage Time and Temperature on Antioxidants in Juice from *Momordica charantia* L. and *Momordica charantia* L. var. abbreviata Ser. Molecules. MDPI; 2020; 25(16):3614.
- [36] Attri P, Ishikawa K, Okumura T, Koga K, Shiratani M, Mildaziene V. Impact of seed color and storage time on the radish seed germination and sprout growth in plasma agriculture. Sci Rep. Nature Publishing Group; 2021; 11(1):2539.
- [37] Zhang Y, Xu Y, Wang Q, Zhang J, Dai X, Miao S, et al. The antioxidant capacity and nutrient composition characteristics of lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) seed juice and their relationship with color at different storage temperatures. Food Chem X. Elsevier; 2023; 18:100669.