



علوم و تحقیقات بذر ایران

سال نهم / شماره اول / ۱۴۰۱ (۱۴ - ۱)

مقاله پژوهشی

DOI: 10.22124/jms.2022.6141

بررسی سیستم آنتی‌اکسیدانت غیر آنزیمی، کمیت پروتئین و روغن در شرایط پیری تسریع شده بذرهای دو رقم کلزا (*Brassica napus* L.)

مریم زمانیان^۱، رضا توکل افشاری^{۲*}، جعفر نباتی^۳، علیرضا سیفی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۲۰

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی اثر پیری تسریع شده (AA) بر شاخص‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی بذر کلزا در قالب آزمایش فاکتوریل بر مبنای طرح کاملاً تصادفی با دو عامل رقم (مودنا و اوکاپی)، سطح پیری (صفر، ۲۴ و ۷۲ ساعت دمای ۴۰ درجه سلسیوس و رطوبت اشباع) و چهار تکرار در سال ۹۹-۱۳۹۸ در دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. نتایج نشان داد که بذرهای پیر شده ارقام اوکاپی و مودنا، کاهش معنی‌داری در شاخص‌های جوانه‌زنی داشتند. در تیمار ۷۲ ساعت پیری در مقایسه با شاهد، محتوای روغن، پروتئین و فعالیت مهار آنتی‌اکسیدانت، به ترتیب، ۹/۸۹، ۴/۱۴ و ۲۸/۶۱ درصد کاهش یافت. اما نشت الکترولیت ها ۸۴/۶۴ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. پیری، محتوای آنتی‌اکسیدانت‌های غیر آنزیمی را نیز تحت تأثیر قرار داد. در رقم اوکاپی، فلاونوئیدها ۷۳/۷۹ درصد، پرولین ۴۷/۱۵ درصد و فنل ۱۷/۱۳ درصد در مقایسه با بذرهای پیر نشده کاهش یافت. رقم اوکاپی، هر چند دارای خصوصیات کیفی مانند درصد روغن، فعالیت سیستم‌های آنتی‌اکسیدانت بالاتری بود، اما به انبارداری بسیار حساس بود، چرا که پیری باعث افت شدید کیفیت بذرهای رقم اوکاپی شد. بنابراین برای جلوگیری از خسارت‌های اقتصادی، باید به شرایط محیطی نگهداری بذرهای این رقم، توجه بیش‌تری گردد. به‌طور کلی، کنترل شرایط انبارداری برای به حداقل رساندن پیری و زوال بذر کلزا، امری حیاتی است.

واژه‌های کلیدی: اوکاپی، پرولین، فلاونوئید، فنل، مودنا

۱- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد علوم و تکنولوژی بذر، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. maryamzamanian99@gmail.com

۲- استاد گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. tavakolafshari@um.ac.ir

۳- استادیار پژوهشکده علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. jafarnabati@um.ac.ir

۴- استادیار گروه بیوتکنولوژی و به‌نژادی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. arseifi@um.ac.ir

*نویسنده مسئول: tavakolafshari@um.ac.ir

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) از تیره شب‌بو (*Brassicaceae*)، پس از سویا (*Glycine max* L.) دومین گیاه در بازار و تجارت دانه‌های روغنی است (FAO, 2019). بر اساس آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷، سطح زیر کشت کلزا در ایران ۲۱۴۰۹۴ هکتار با میانگین عملکرد ۱۸۶۹ کیلوگرم در هکتار و میزان تولید کل ۴۰۰ هزار تن در کشت آبی و دیم بوده است (Ahmadi et al., 2021).

بذرهای دانه روغنی به دلیل ترکیب ویژه خود، ماندگاری کمی دارند و ممکن است طی انبارداری، دچار افت ظرفیت جوانه‌زنی، زنده‌مانی، درصد روغن و پرتین شوند (Shaban, 2013; Gusta et al., 2014). عدم رعایت اصول بهینه انبارداری منجر به زوال بذرها و افت کیفیت آن می‌گردد که سالانه خسارت‌های اقتصادی جبران‌ناپذیری به فعالان صنعت کشاورزی تحمیل می‌کند (Oskouei and Sheidaei, 2017). زوال بذر را هدررفت زنده‌مانی، جوانه‌زنی، کیفیت و بنیه آن، در اثر پیری و یا شرایط نامطلوب محیطی تعریف می‌کنند (Walters, 1998). از بین رفتن تعادل بین تولید و حذف رادیکال‌های آزاد را شروع فرآیندهای منجر به زوال دانسته‌اند. رایکال‌های آزاد با پراکسیداسیون لیپیدها و اختلال در غشای سلولی، تخریب پروتئین‌ها، غیرفعال کردن آنزیم‌ها و آسیب به یکپارچگی ژنتیکی (نوکلئیک اسیدها) موجب زوال بذرها می‌گردند (Walters et al., 2010). ژن‌ها و پروتئین‌های زیادی به‌طور اختصاصی زوال بذر را کنترل می‌کنند، بنابراین پتانسیل ژنتیکی ارقام می‌تواند در سرعت و شدت زوال یافتن آن‌ها، تفاوت ایجاد کند (Wu et al., 2017).

پراکسیداسیون چربی‌ها، فرآیندی که اکسایندها به لیپیدهای حاوی پیوند(های) دوگانه کربن-کربن، حمله می‌کنند که به شکل‌گیری مالون‌دی‌آلدئید (MDA) به عنوان فرآورده جانبی، ختم می‌شود (Buege and Aust, 1978). پراکسیداسیون چربی‌ها با افزایش اسیدهای چرب آزاد، تخریب فسفولیپیدهای غشایی و تسریع زوال، دلیل اصلی خسارت بذرهای روغنی طی انبارداری است (Balešević-Tubić et al., 2005).

بذرها، هنگام خیس‌اندن در آب، یون‌ها، قندها و سایر متابولیت‌هایشان، در نتیجه تغییر در یکپارچگی غشای

سلولی تراوش می‌کنند که این به میزان آب و سطح زوال بذر بستگی دارد. بذرهای زوال‌یافته، به‌علت نبود سازوکار ترمیمی کارآمد و یا آسیب کامل غشاء، الکترولیت‌های بیش‌تری نشت می‌کنند (Fessel et al., 2006). این وقایع، جوانه‌زنی در این بذرها را کاهش داده است و محتوای MDA و EC محلول بذر را افزایش می‌دهد که در بذرهای زوال‌یافته کرچک (*Ricinus communis*) گزارش شده است (Soltani et al., 2016).

سیستم‌های زیستی، برای کنترل رادیکال‌های آزاد، سیستم‌های آنتی‌اکسیدانت آنزیمی و غیر آنزیمی گوناگونی را گسترش دادند (Santos Sánchez et al., 2019). آنتی‌اکسیدانت‌های غیرآنزیمی، در حفاظت از اجزای گوناگون سلول در برابر آسیب نقش دارند و هم‌چنین با تغییر در فرآیندهای سلولی مانند میتوز، طول‌شدگی، پیری و مرگ سلول، وظیفه حیاتی در رشد و نمو گیاه را ایفا می‌کنند (De Pinto and De Gara, 2005).

پروکسین، اثرات مخرب گونه‌های آزاد اکسیژن (ROS) را خنثی می‌کند. بنابراین در طی تنش اکسیداتیو، تجمع پروکسین در گیاهان به‌علت افزایش سنتز یا کاهش تخریب، زیاد می‌شود (Verbruggen and Hermans, 2008). ترکیب‌های فنلی در بذرهای روغنی، با وجود ماهیت قطبیشان احتمالاً دارای خواص آنتی‌اکسیدانت طی تنش اکسیداتیو هستند (Hoed, 2010). فلاونوئیدها با مهار رادیکال سوپراکسید ($O_2^{\cdot-}$)، از گیاهان در برابر تنش‌های گوناگون زیستی و غیر زیستی محافظت می‌کند (Agati et al., 2012). تنش خشکی در گیاه مادری، باعث افزایش محتوای فنل کل (TPC) و محتوای فلاونوئید کل (TFC) در بذرهای کنجد (*Sesamum indicum* L.) و گلرنگ (*Ghotbzadeh Carthamus tinctorius* L.) شده است (Kermani et al., 2019; Alizadeh Yeloojeh et al., 2020).

فعالیت مهار رادیکال ۲، ۲-دی‌فنیل-۱-پیکریل-هیدرازیل (DPPH)، روشی رایج برای شناسایی آنتی‌اکسیدانت‌ها و ارزیابی فعالیت آن‌ها است. DPPH، رادیکال آزاد پایدار و دارای الکترون منفرد می‌باشد که همین تک الکترون، به‌عنوان دهنده هیدروژن عمل می‌کند (Bhuiyan et al., 2009). برای نمونه، اعمال پیری تسریع شده (AA) در بذر برنج (*Oryza sativa* L.)،

کامل، سالم و نمو یافته و فاقد هرگونه تغییر شکل و پیچ-خوردگی) تعیین گردید. درصد جوانه‌زنی کل از (رابطه ۱) و سرعت جوانه‌زنی نیز از (رابطه ۲) محاسبه شد، در این رابطه، S تعداد بذرها، T تعداد کل بذرها، S_i تعداد بذرها، D_i تعداد روز تا شمارش nام، GP درصد جوانه‌زنی و GR سرعت جوانه‌زنی (روز/۱) می‌باشد (Maguire, 1962).

$$GP = \frac{S}{T} \times 100 \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$GR = \sum_{i=1}^n S_i / D_i \quad (\text{رابطه ۲})$$

برای اندازه‌گیری درصد روغن از روش سوکسله با حلال هگزان (C₆H₁₄) استفاده شد (Mohammadzadeh, 2015). درصد نیتروژن بذر به روش کج‌دال (He et al., 1990) اندازه‌گیری شد و سپس جهت محاسبه درصد پروتئین کل بذر، در ۵/۲۹ ضرب شد (Mariotti et al., 2008). هدایت الکتریکی (EC) بذرها، به روش همپتون و تکرونی (Hampton and Tekrony, 1995) و غلظت MDA با استفاده از روش هیث و پاکر (Heath and Packer, 1986) اندازه‌گیری شد. مهار فعالیت DPPH از روش ابه (Abe et al., 1998) و با استفاده از محلول استاندارد آسکوربات تعیین شد.

پروپیلین به روش باتس (Bates et al., 1973) اندازه‌گیری شد، محتوای فنل کل از روش فولین-شییکالتو (Singleton et al., 1999) و با استفاده از محلول استاندارد گالیکا سید اندازه‌گیری شد. محتوای فلاونوئید کل با استفاده از روش رنگ‌سنجی آلومینیوم کلرید (AlCl₃) و با منحنی استاندارد محلول کوئرستین (Chang et al., 2002) اندازه‌گیری شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 تجزیه شدند و نمودارها با Excel 2016 رسم گردید، میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

درصد و سرعت جوانه‌زنی: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهمکنش پیری و رقم بر درصد جوانه‌زنی (GP) معنی‌دار بود. هم‌چنین، اثرات ساده پیری و رقم بر صفت سرعت جوانه‌زنی (GR) تأثیر معنی‌داری داشت، اما اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نبودند (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها مشخص کرد که با

باعث کاهش معنی‌دار DPPH شده است (Baek and Chung, 2012). به‌طور کلی، تنش اکسیداتیو با تحریک سیستم‌های آنتی‌اکسیدانت، سازوکارهای پاسخ را در گیاهان، فعال می‌کند. سیستم‌های آنتی‌اکسیدانت آنزیمی و غیرآنزیمی، نقش کلیدی را در پاسخ به تنش اکسیداتیو ایفا می‌کند (Shaban et al., 2018). هر چند که در مورد آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، پژوهش‌های بسیاری در بذرها، تحت تنش انجام گرفته است، اما درباره تأثیر تنش اکسیداتیو بر محتوای پروپیلین، TPC و TFC بذرها، تحقیقات بسیار کم است. احتمالاً در ابتدای زوال بذر، این سیستم‌های فعال هستند، اما با تشدید زوال، به تدریج کارایی خود را از دست می‌دهند (Shaaban, 2016; Shaban et al., 2018). هدف از این پژوهش، بررسی اثر پیری تسریع‌شده، بر درصد و سرعت جوانه‌زنی، فعالیت مهار آنتی‌اکسیدانت، سیستم آنتی‌اکسیدانت غیرآنزیمی و نیز درصد پروتئین و روغن بود.

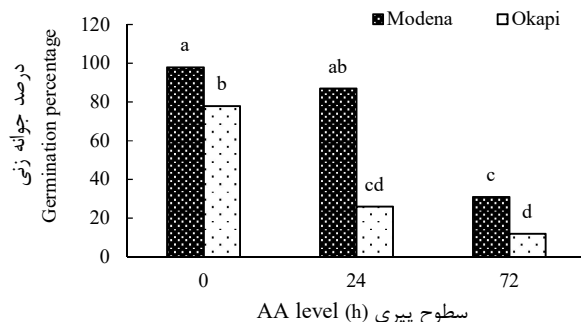
مواد و روش‌ها

این پژوهش در دانشگاه فردوسی مشهد و در سال ۹۸-۱۳۹۷ انجام گردید. بذرها، کلزا ارقام مودنا و اوکاپی تولید سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی تهیه شد و در دمای چهار درجه سلسیوس نگهداری گردید. تیمارهای آزمایشی، پیری در سه سطح (صفر، ۲۴ و ۷۲ ساعت) و دو رقم کلزا (اوکاپی و مودنا) هستند که به‌صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا شدند. به‌منظور اعمال AA، بذرها، کلزا را در جعبه‌های پلاستیکی درب‌دار، در معرض رطوبت اشباع در دمای ۱±۴۰ درجه سلسیوس به مدت صفر، ۲۴ و ۷۲ ساعت در انکوباتور قرار داده شد (Oskouei et al., 2012). پس از زمان‌های مذکور، بذرها ۳۰ ثانیه با محلول هیپوکلریت سدیم ۱/۵ درصد ضدعفونی شدند و برای آزمایش‌ها، به‌کار گرفته شدند.

برای انجام آزمون جوانه‌زنی استاندارد، چهار تکرار ۲۵-تایی از هر تیمار را در ژرمیناتورهایی با دمای ۲۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. هر ۲۴ ساعت، گیاهچه‌هایی با حدود دو میلی‌متر ریشه‌چه شمارش می‌شدند، سپس گیاهچه‌های عادی (گیاهچه‌های دارای اجزای ریخت‌شناسی

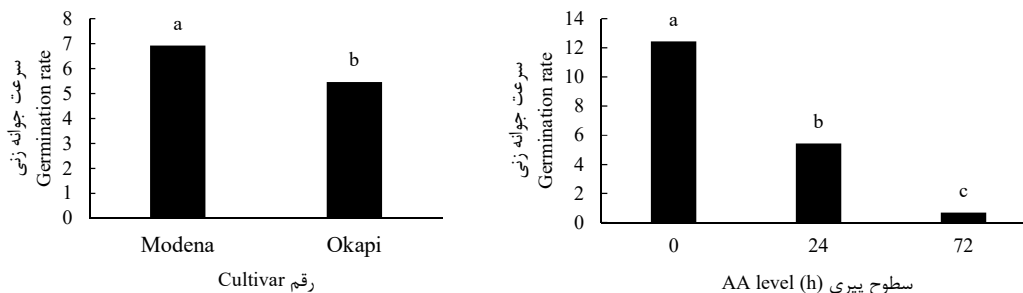
رقم مودنا، ۲۱/۰۵ درصد بالاتر از رقم اوکاپی بود. هم‌چنین، تیمار ۷۲ ساعت AA، GR را ۹۴/۴۲ درصد شاهد کم کرد (شکل ۲).

افزایش مدت پیری تسریع‌شده، GP و GR کاهش یافته است. تیمار شاهد مودنا، بالاترین GP یعنی ۹۸ درصد را داشت و کم‌ترین GP در تیمار اثر متقابل ۷۲ ساعت پیری و رقم اوکاپی مشاهده شد (شکل ۱). سرعت جوانه‌زنی در



شکل ۱- برهمکنش پیری و رقم بر درصد جوانه‌زنی بذرهای کلزا

Figure 1. Interaction effect of aging and cultivar on germination percent of canola seeds



شکل ۲- اثر پیری (راست) و رقم (چپ) بر سرعت جوانه‌زنی بذرهای کلزا

Figure 2. Effect of aging (right) and cultivar (left) on germination rate of canola seeds

درصد روغن: اثرات پیری و رقم بر درصد روغن بذر کلزا، معنی‌دار بود، اما برهمکنش آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۱). مقایسه میانگین نشان داد که درصد روغن در رقم اوکاپی، ۴/۶ درصد از رقم مودنا بیش‌تر بود. سه روز قرارگیری بذرها تحت شرایط رطوبت اشباع و دمای ۴۰ درجه سلسیوس، باعث کاهش ۹/۸۹ درصدی روغن در مقایسه با شاهد شد (شکل ۳). تیمارهای AA، باعث کاهش معنی‌دار محتوای روغن بذرهای کلزا، کنجد و بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea* L.) شده‌اند (Mohamed *et al.*, 2010). پیری طبیعی، درصد روغن بذر آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) را به‌طور معنی‌داری کم کرد (Abreu *et al.*, 2013). اما معنی‌دار نبودن این کاهش نیز گزارش شده است (Balešević-Tubić, 2007). پیری با تخریب اجزای سلولی باعث خسارت به بذرها می‌شود، اما بذرهای دانه روغنی به‌علت داشتن ذخایر روغنی، بسیار حساس‌تر هستند.

به‌طور کلی، در این بررسی مشاهده شد که بذرهای پیر شده، زنده‌مانی بسیار پایینی دارند و درصد و سرعت جوانه‌زنی در آن‌ها افت زیادی داشت. با افزایش مدت AA، شاخص‌های جوانه‌زنی دو رقم مورد مطالعه، کاهش معنی‌داری نشان داد که علت آن می‌تواند وقفه در شروع جوانه زنی باشد (Balouchi *et al.*, 2014). افت درصد و سرعت جوانه‌زنی ناشی از AA در دو رقم کابلی و دسی نخود (*Cicer arietinum* L.) نیز گزارش شده است (Kapoor *et al.*, 2010). باید اذعان شود که پاسخ دو رقم کلزا به تیمارهای AA یکسان نبودند، رقم مودنا توانست جوانه‌زنی خود را در شرایط AA تا حدودی حفظ کند، اما GP رقم اوکاپی به سرعت افت کرد. بنابراین نتیجه گرفته شد که رقم اوکاپی به‌شدت به پیری حساس است. این تفاوت پاسخ ژنوتیپی به تیمارهای AA در دماهای مختلف با نتایج حاصله در ارقام برنج مطابقت دارد (Khan *et al.*, 2017).

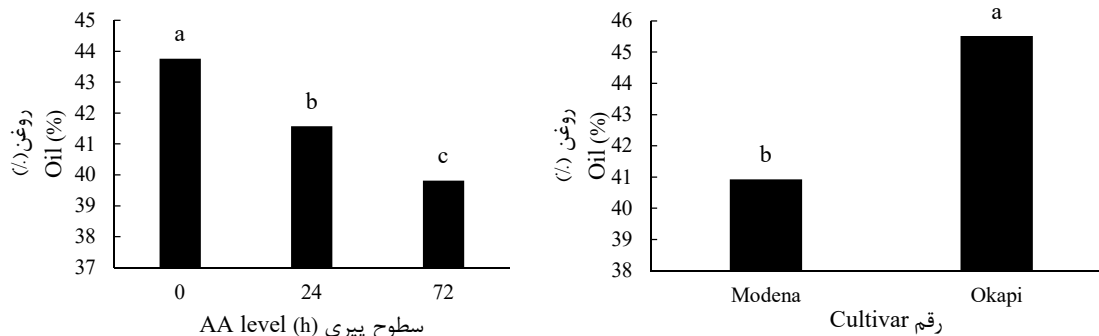
جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی بذرهای پیرشده ارقام کلزا

Table 1. Analysis of variance (mean squares) for physiological and biochemical traits of aged seeds in canola cultivars

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزاد ی df	میانگین مربعات MS							
		درصد جوانه زنی Germination percentage	سرعت جوانه زنی Germination rate	روغن Oil	پروتئین Protein	هدایت الکتریکی Electrical conductivity	مالون دی آلدئید Malondiald ehyde	فعالیت مهار رادیکال DPPH	پروکلین Prolin
پیری Accelerated aging (AA)	2	8852**	280**	31.13**	34.5**	3522**	259.7**	35.2**	87.2
ارقام Cultivar (C)	1	6666**	12.7**	15.3**	14.4**	15.2 ^{ns}	1.08 ^{ns}	8.39**	10.4
پیری × ارقام AA×C	2	1148**	3 ^{ns}	0.26 ^{ns}	0.92 ^{ns}	15.9 ^{ns}	34.4 ^{ns}	0.76 ^{ns}	0.99
خطا Error	18	133	2.2	2.36	0.71	11.9	32.3	0.26	0.22
ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)		20.9	21.77	19.54	24.1	12.0	18.3	14.6	12.4

ns, * و ** به ترتیب بیانگر عدم تفاوت معنی دار، معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می باشند
ns, * and **: non-significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively

چربی‌ها باید بتوانند در لایه چربی منتشر گردد، بنابراین افزایش دسترسی به آب، واکنش‌های اکسیداسیون را نیز تسریع می‌بخشند (Nelson and Labuza, 1992). در شرایط AA، به علت افزایش رطوبت نسبی، بذره‌های کلزا، از طریق فرآیند انتشار آب بیش‌تری را جذب کرده‌اند، بنابراین، اجسام چربی بیش‌تر صدمه دیده و محتوای روغن کاهش یافته است، اما برای بررسی دقیق‌تر، مطالعه اسیده‌ها نیز نیاز است.

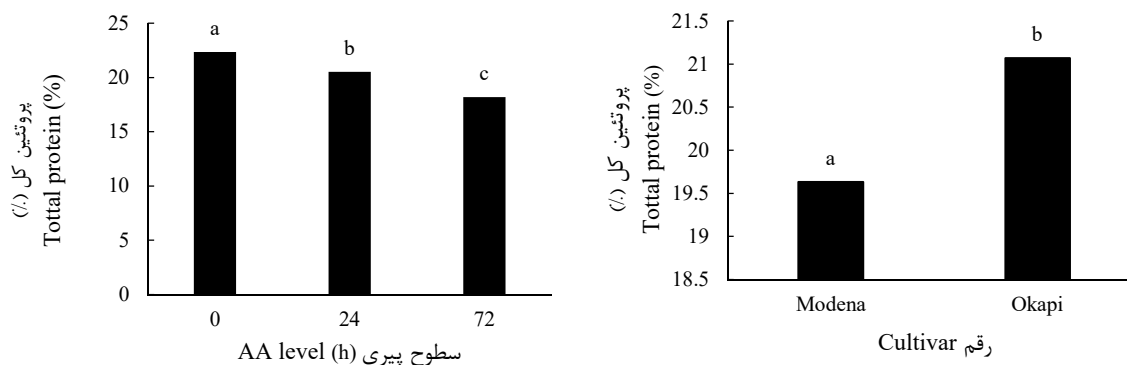


شکل ۳- اثر پیری (راست) و رقم (چپ) بر درصد روغن بذره‌های کلزا

Figure 3. Effect of aging (right) and cultivar (left) on oil percentage of canola seeds

افزایش مدت زمان پیری تسریع‌شده در بذره‌های برنج (Kapoor *et al.*, 2011) و آفتابگردان (Tahmasbi *et al.*, 2015) محتوای پروتئین به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بررسی‌های پروتئومیکس روی بذره‌های پیرشده آرابیدوپسیس (*Arabidopsis thaliana* L.) نشان داد که پیری با افزایش پروتئولیز و کربونیل‌اسیون پروتئین‌ها و اختلال در فرآیندهای ترجمه و کاهش پروتئین بذرها، بنیه را نیز کم می‌کند (Rajjou *et al.*, 2008).

درصد پروتئین کل: اثرات ساده پیری و رقم بر محتوای پروتئین بذره‌های کلزا معنی‌دار بودند، اما برهمکنش آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۱). بر اساس مقایسه میانگین، با افزایش مدت زمان پیری تسریع‌شده، درصد پروتئین کل، کاهش معنی‌داری یافت، به طوری که ۷۲ ساعت پیری، پروتئین را ۴/۱۴ درصد نسبت به شاهد، کاهش داد. هم‌چنین، رقم اوکاپی، ۱/۴۴ درصد، پروتئین بیش‌تری داشت (شکل ۴).

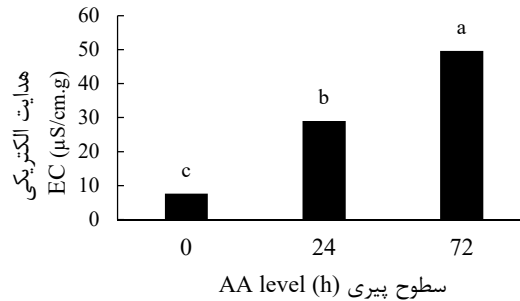


شکل ۴- اثر پیری (راست) و رقم (چپ) بر پروتئین کل بذره‌های کلزا

Figure 4. Effect of aging (right) and cultivar (left) on total protein of canola seeds

کلزا را ۸۴/۶۴ درصد در مقایسه با شاهد کم کرد (شکل ۵). در پژوهش‌های گذشته نیز با افزایش مدت پیری تسریع شده، EC افزایش معنی‌داری نشان داده است (Balouchi and Ostadian Bidgoly, 2017; Shaban *et al.*, 2018).

هدایت الکتریکی: اثر پیری بر هدایت الکتریکی معنی‌دار بود، اما رقم و نیز برهمکنش رقم و پیری بر EC تغییرات معنی‌داری نداشتند (جدول ۱). تیمار ۷۲ ساعت پیری، EC بذرها



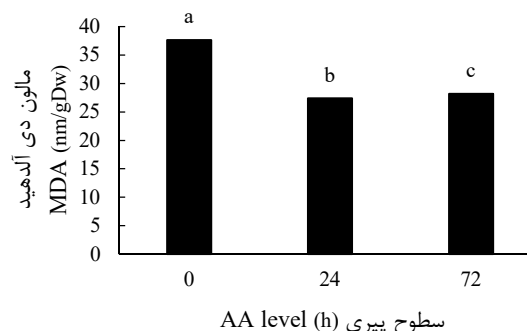
شکل ۵- اثر پیری بر هدایت الکتریکی بذرها کلزا

Figure 5. Effect of aging on electrical conductivity of canola seeds

درحالی است که اثر پیری بر آن تفاوت معنی‌داری را نشان داد. تیمار پیری ۷۲ ساعت، محتوای MDA را ۳۳/۵۶ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (شکل ۶). هر چند که گزارش‌های زیادی نشان می‌دهد که طی پیری به علت تخریب غشاء و افزایش پراکسیداسیون لیپیدها، MDA افزایش یافته است (Fotouo *et al.*, 2020; Tian *et al.*, 2019; Paravar *et al.*, 2019; Shaban *et al.*, 2018).

با این وجود، اعمال تیمارهای AA، محتوای MDA بذر ارقام وحشی کلزا تغییر معنی‌داری نداد است، اما EC را افزایش معنی‌داری دادند (Mira *et al.*, 2011). در پژوهش حاضر نیز با افزایش مدت زمان پیری، پراکسیداسیون بذرها کلزا زیاد نشد، درحالی‌که EC، افزایش معنی‌داری داشت (شکل ۵ و ۶).

قرارگیری بذر در حالت اشباع رطوبتی با تخریب فسفولیپیدهای غشایی، عدم توانایی در حفظ ترکیب‌های سلولی و نشت محتویات سلولی، کیفیت بذر را کاهش می‌دهد، چرا که برخی از این ترکیب‌ها برای بنیه و جوانه‌زنی بذر ضروری هستند، بعضی در حفظ پتانسیل اسمزی و آنبوشی نقش اساسی دارند و همچنین مواد نشت‌شده، بستر غنی غذایی برای رشد میکروارگانیسم‌ها را فراهم می‌کنند (Copeland and McDonald, 2001). همان‌گونه که بیان شد، در بذرها پیرشده به دلیل نداشتن انسجام سلولی و سازوکارهای تخریب‌شده، الکترولیت‌های بیش‌تری از بذر نشت می‌کند، بنابراین، بذرها پیرتر، EC بالاتری خواهند داشت. **محتوای مالون‌دی‌آلدئید:** برهمکنش پیری و رقم در محتوای MDA، بذرها کلزا معنی‌دار نبود (جدول ۱). این

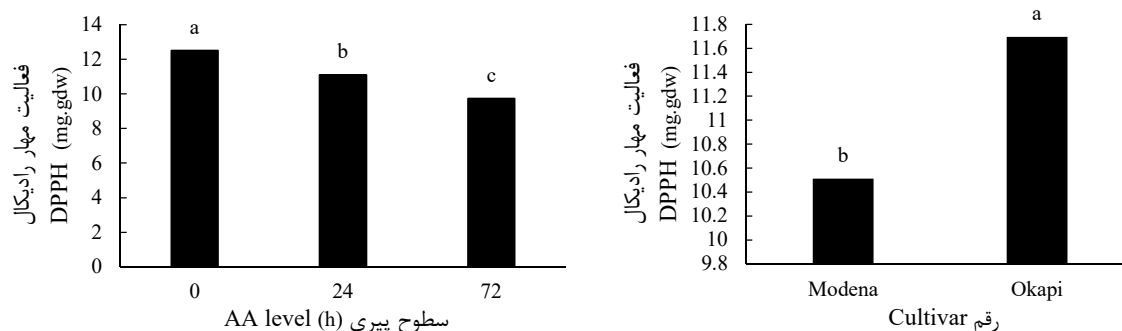


شکل ۶- اثر پیری بر محتوای مالون‌دی‌آلدئید بذرها کلزا

Figure 6. Effect of aging on malondialdehyde of canola seeds

مهار رادیکال DPPD: برهمکنش پیری و رقم بر فعالیت مهار رادیکال DPPH در بذره‌های کلزا معنی‌دار نبود، اما اثر پیری و رقم بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۱). فعالیت مهار رادیکال DPPH در رقم اوکاپی، ۹/۸۹ درصد بالاتر از رقم مودنا بود. قرارگیری بذره‌های کلزا به مدت ۷۲ ساعت در رطوبت اشباع و دمای ۴۰ درجه سلسیوس، فعالیت مهار رادیکال DPPH را ۲۸/۶۱ درصد نسبت به شاهد کاهش داد (شکل ۷). کاهش مهار رادیکال DPPH ناشی از تیمارهای AA در بذره‌های برنج (Baek and Chung, 2012) و ماش (*Vigna mungo* L.) گزارش شده است. این کاهش را به افت کارایی سیستم آنتی‌اکسیدانت نسبت داده‌اند که در بذره‌های پیر، منجر به کاهش بنیه و ظرفیت جوانه‌زنی می‌شود.

اصولاً، پراکسیداسیون چربی‌ها و فعالیت آنزیم فسفولیپاز (PL)، دو علت عمده تخریب فسفولیپیدهای سلول‌های گیاهی است (Copeland and McDonald, 2001). برخی از انواع آنزیم PL علاوه بر فسفولیپیدها، نوع ذخیره‌ای چربی در بذرها یعنی تری‌اسیل‌گلیسرول (TAG) را نیز تجزیه می‌کنند (Barros *et al.*, 2010; Voelker and Kinney, 2001). مثلاً، PL نوع دی-آلفا (PLD α)، بر TAGها و ترکیبات فسفولیپیدی بذره‌های پیر سویا اثر می‌گذارد و باعث افت کیفیت بذر می‌شود (Lee *et al.*, 2011). بنابراین، سطوح PL در بذره‌های روغنی بسیار بحرانی است و برای توضیح دقیق علت تخریب فسفولیپیدهای غشایی در بذره‌های پیر کلزا، بررسی سطوح آنزیمی PLها پیشنهاد می‌گردد.

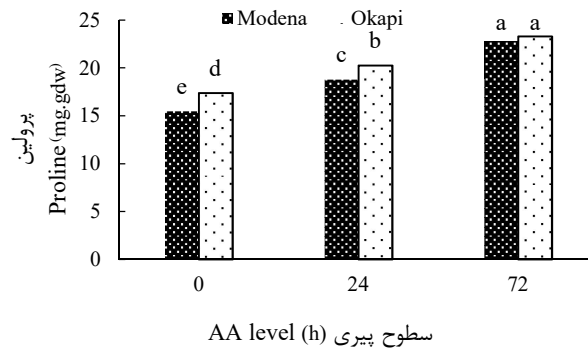


شکل ۷- اثر پیری (راست) و رقم (چپ) بر مهار رادیکال DPPH در بذره‌های کلزا

Figure 7. Effect of aging (right) and cultivar (left) DPPH scavenging free radicals of canola seeds

گیاهان در هنگام تنش‌های غیر زیستی، از انباشت پرولین به‌عنوان پاسخ متابولیک در مهار ROSها استفاده می‌کنند (Hayat *et al.*, 2012). در بذرها نیز احتمالاً چنین سازوکاری وجود داشته باشد. برای مثال، سازوکار مولکولی تجمع پرولین در سازوکار تحمل بذر کلزا در شرایط تنش شوری بررسی شده است (Kubala *et al.*, 2015). ممکن است که این توانایی ذاتی پرولین‌ها، در سازوکار سلولی بذرها هنگام زوال نیز دخیل باشد، چرا که هنگام زوال بذرها، تولید و انباشت ROSها بسیار افزایش می‌یابد و بذر نیز تا حدودی برای تحمل این آسیب‌ها تلاش می‌کند. پیری تسریع‌شده، احتمالاً بذره‌های کلزا را مجبور کرد که از این راهکار استفاده کنند و بنابراین پرولین افزایش یافت.

پرولین: برهمکنش پیری و رقم بر محتوای پرولین بذر کلزا معنی‌دار بود (جدول ۱)، به‌طوری‌که با افزایش مدت زمان پیری تسریع‌شده، محتوای پرولین افزایش یافت. تیمار پیری تسریع‌شده به مدت ۷۲ ساعت، محتوای پرولین بذر کلزا را در رقم‌های اوکاپی و مودنا به ترتیب ۴۷ و ۳۴ درصد در مقایسه با شاهد، افزایش داد (شکل ۸). همان‌طور که گفته شد، پرولین گیاهان در طی تنش اکسیداتیو در جهت سازوکارهای پاسخ به تنش، افزایش می‌یابد. در بذره‌های جو (*Hordeum vulgare* L.) تحت تنش شوری (Tabatabaei, 2013) و بذره‌های گندم (*Triticum aestivum* L.) پیرشده (Shaaban, 2016) پرولین به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است.

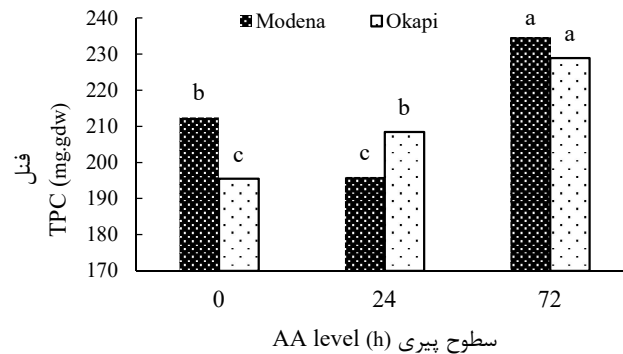


شکل ۸- برهمکنش پیری و رقم بر محتوای پرولین بذرهای کلزا

Figure 8. Interaction effect of aging and cultivar on proline content of canola seeds

در رقم اوکاپی، با افزایش پیری، TPC به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، به‌طوری‌که تیمار پیری به‌مدت ۷۲ ساعت، TPC را ۱۷/۱۳ درصد کاهش داد. تیمارهای AA بر TPC بذر ارقام ذرت (*Zea mays L.*) تا پنج روز تغییر معنی‌داری نداشتند، اما در تیمارهای شش روز و بالاتر، TPC افزایش معنی‌داری نشان داد (Simić *et al.*, 2004). با افزایش غلظت شوری، TPC بذر رقم اوکاپی کلزا افزایش معنی‌داری یافت (Akhavan Hezaveh *et al.*, 2020).

فنل: نتایج تجزیه واریانس بیانگر معنی‌داری برهمکنش پیری و رقم بذر کلزا بر TPC بود (جدول ۱). مقایسه میانگین نشان داد که پیری بر TPC دو رقم اثرات متفاوتی دارد (شکل ۹). پیری ۲۴ ساعت TPC رقم مودنا را ابتدا ۱۶/۵ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک کاهش داد و سپس تیمار ۷۲ ساعت، ۳۸/۵ واحد زیاد کرد. این روند ناهمگون TPC، در بررسی‌های گذشته نیز وجود داشته است. تیمارهای پیری، TPC بذر ارقام سویا را ابتدا افزایش و سپس کاهش داد (Ávila *et al.*, 2012).



شکل ۹- برهمکنش پیری و رقم بر محتوای فنل بذرهای کلزا

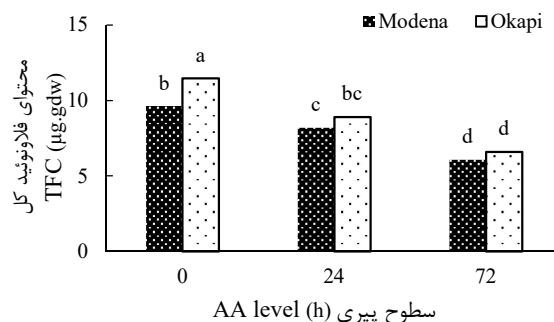
Figure 9. Interaction effect of aging and cultivar on total phenolic content of canola seeds

پروکلین نیز افزایش یافته است، احتمالاً، TPC نیز در جهت سازوکار تحمل به زوال افزایش یافته و تفاوت پاسخ در دو رقم را می‌توان در اختلاف ژنتیکی ارقام توجیه کرد. **فلاونوئید:** برهمکنش پیری و رقم بذر کلزا بر TFC، کاهش معنی‌داری را نشان داد (جدول ۱). تیمارهای ۷۲ ساعت پیری، TFC رقم‌های اوکاپی و مودنا را به‌ترتیب ۴۲/۴۶ و ۳۶/۷۴ درصد نسبت به شاهد کاهش دادند (شکل ۱۰).

هر چند که ثابت شده است که در گیاهان، ترکیب‌های فنلی با همکاری در پیام‌رسانی پروکلین، نقش کلیدی در سازوکارهای تحمل به تنش دارند (Naikoo *et al.*, 2019). اما در بذرها پژوهش‌های زیادی صورت نگرفته است. پیری، با افزایش غلظت رادیکال‌های آزاد، سازوکارهای دفاعی بذر را تحریک می‌کند و در ادامه، سیستم دفاعی علیه روند پیری، پاسخ مهارکننده می‌دهد. از آن‌جا که در این پژوهش، محتوای

سویا ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت که این تغییرات عموماً معنی‌دار نبوده‌اند (Ávila *et al.*, 2012). در حالی که تنش خشکی باعث، کاهش معنی‌دار TFC در بذره‌های کلزا شد (Rezayian *et al.*, 2018).

پژوهش‌های محدود و با نتایج متناقض درباره TFC در بذره‌های تحت تنش صورت گرفته است، انبارداری باعث افزایش TFC بذر گیاه گز روغنی (*Moringa oleifera*) شده است (Fotouo *et al.*, 2020)، اما در بذره‌های پیر شده ارقام



شکل ۱۰- برهمکنش پیری و رقم بر محتوای فلاونوئید بذره‌های کلزا

Figure 10. Interaction effect of aging and cultivar on total flavonoid content of canola seeds

پروتئین و محتوای آنتی‌اکسیدانت غیرآنزیمی بهتری بود، اما تیمارهای پیری، مقدار صفات مذکور را در مقایسه با رقم مودنا، با شدت بیشتری کاهش داد. در واقع درصد بالای روغن، موجب افزایش حساسیت بذر این رقم نسبت به شرایط انبارداری شده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که رقم اوکاپی به انبارداری حساس‌تر است، اما رقم مودنا در شرایط پیری می‌تواند تا حدودی کیفیت خود را حفظ کند. بدیهی است با کنترل شرایط انبار یعنی تهویه مناسب و کاهش دما و رطوبت نسبی، می‌توان زوال و خسارت به این رقم مرغوب را به تأخیر انداخت.

تشکر و قدردانی

نگارندگان از مسئولین دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد تشکر و قدردانی می‌نمایند.

بررسی بذره‌های ژنوتیپ‌های گلرنگ تحت تیمار AA نشان دادند که با افزایش مدت پیری تسریع‌شده، شاخص‌های جوانه زنی، MDA، TFC و محتوای روغن و پروتئین کل کاهش پیدا کرده است (Önder *et al.*, 2020). همان‌طور که اشاره شد، فلاونوئیدها به دلیل ساختار مولکولی ویژه‌ای که دارند، می‌توانند در سیستم‌های آنتی‌اکسیدانت مشارکت داشته باشند. تیمارهای پیری با اختلال و یا قطع پیام‌رسانی آنتی‌اکسیدانت‌ها، احتمالاً باعث کاهش TFC می‌شوند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش تعداد روزهای پیری، سبب کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی و افزایش معنی‌دار هدایت الکتریکی بذر کلزا می‌شود که این تغییرات در رقم اوکاپی شدیدتر بود. رقم اوکاپی هر چند دارای درصد روغن،

منابع

- Abe, N., Murata, T. and Hirota, A. 1998. Novel 1,1- diphenyl-2- picrylhydrazyl- radical scavengers, bisorbicillin and demethyltrichodimerol, from a fungus. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 62: 61-662. **(Journal)**
- Abreu, L.A.S., Carvalho, M.L.M., Pinto, C.A.G., Kataoka, V.Y. and Silva, T.T.D.A. 2013. Deterioration of sunflower seeds during storage. *Journal of Seed Science*, 35(2): 240-247. **(Journal)**
- Agati, G., Azzarello, E., Pollastri, S. and Tattini, M. 2012. Flavonoids as antioxidants in plants: Location and functional significance. *Plant Science*, 196: 67-76. **(Journal)**

- Ahmadi, K., Ebadzadeh, H.R., Hatami, F., Abdeshah, H. and Kazemian, A. 2021. Agricultural statistics of the crop year 2019 Iran. Volume One: Crops. Ministry of Agriculture, Deputy of Planning and Economy, Information and Communication Technology Center. (In Persian) **(Book)**
- Akhavan Hezaveh, T., Pourakbar, L., Rahmani, F. and Alipour, H. 2020. Effects of ZnO NPs on phenolic compounds of rapeseed seeds under salinity stress. *Journal of Plant Process and Function*, 8(34): 10-18. **(Journal)**
- Alizadeh Yeloojeh, K., Saeidi, G. and Sabzalian, M.R. 2020. Drought stress improves the composition of secondary metabolites in safflower flower at the expense of reduction in seed yield and oil content. *Industrial Crops and Products*, 154, 112496. **(Journal)**
- Ávila, M.R., Souza, C.G.M., Mandarino, J.M.G., Bazo, G.L. and Cabral, Y.C.F. 2012. Physiological quality, content and activity of antioxidants in soybean seeds artificially aged. *Revista Brasileira de Sementes*, 34(3): 397-407. **(Journal)**
- Baek, J.S. and Chung, N.J. 2012. Seed wintering and deterioration characteristics between weedy and cultivated rice. *Rice*, 5(1): 21-32. **(Journal)**
- Balešević-Tubić, S., Malenèiæ, D., Tatiæ, M. and Miladinovic, J. 2005. Influence of aging process on biochemical changes in sunflower seed. *HELIA*, 28(42): 107-114. **(Journal)**
- Balešević-Tubić, S., Tatić, M., Miladinović, J. and Pucarević, M. 2007. Changes of fatty acids content and vigor of sunflower seed during natural aging. *Helia*, 30(47): 61-67. **(Journal)**
- Balouchi, H. and Ostadian Bidgoly, R. 2017. Effect of Seed Deterioration on Physiological and Biochemical Traits of Oil Flax (*Linum usitatissimum* L. Norman var.) Seed. *Iranian Journal of Plant Production*, 40(2): 37-53. (In Persian with English Abstract) **(Journal)**
- Balouchi, H., Bagheri, F., kayed-nezami, R., Movahedi-Dehnavi, M. and Yadavi, A. 2014. Effect of seed aging on germination and seedling growth indices in three cultivars of *Brassica napus* L. *Iranian Journal of Plant Researches*, 26: 397-411. (In Persian) **(Journal)**
- Barros, M., Fleuri, L.F. and Macedo, G.A. 2010. Seed lipases: sources, applications and properties - a review. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 27(1): 15-29. **(Journal)**
- Bates, L.S., Waldran, R.P. and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water studies. *Plant Soil*, 39: 205-208. **(Journal)**
- Bhuiyan, M.A.R., Hoque, M.Z. and Hossain, S.J. 2009. Free radical scavenging activities of *Zizyphus mauritiana*. *Electrical Journal of Environmental, Agriculture and Food Chemistry*, 5(3): 318-322. **(Journal)**
- Buege, J.A. and Aust, S.D. 1978. Microsomal lipid peroxidation. *Methods in Enzymology*, 52(C): 302-310. **(Journal)**
- Chang, C.C., Yang, M.H., Wen, H.M. and Chern, J.C. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10(3): 178-182. **(Journal)**
- Copeland, L.O. and McDonald, M.B. 2001. Seed Storage and Deterioration. *Principles of Seed Science and Technology*, 192-230. **(Journal)**
- De Pinto, M.C. and De Gara, L. 2005. Changes in the ascorbate metabolism of apoplastic and symplastic spaces are associated with cell differentiation. *Journal of Experimental Botany*, 55(408): 2559-2569. **(Journal)**
- Fessel, S.A., Vieira, R.D., Cruz, M.C.P., Paula, R.C. and Panobianco, M. 2006. Electrical conductivity testing of corn seeds as influenced by temperature and period of storage. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(10): 1551-1559. **(Journal)**
- Food and Agriculture Organization. 2019. Statistics: FAOSTAT agriculture. Retrieved January 10, 2021. from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>
- Fotouo, M.H., Vorster, J., Du Toit, E.S. and Robbertse, P.J. 2020. The effect of natural long-term packaging methods on antioxidant components and malondialdehyde content and seed viability *Moringa oleifera* oil seed. *South African Journal of Botany*, 129: 17-24. **(Journal)**

- Ghotbzadeh Kermani, S., Saeidi, G. and Sabzalian, M. 2019. Drought stress influenced sesamin and sesamol content and polyphenolic components in sesame (*Sesamum indicum* L.) populations with contrasting seed coat colors. *Food Chemistry*, 289: 360-368. **(Journal)**
- Gusta, L.V., Johnson, E.N., Nesbitt, N.T. and Kirkland, K.J. 2014. Effect of seeding date on canola seed quality and seed vigour. *Canadian Journal of Plant Science*, 84(2): 463-471. **(Journal)**
- Hampton, J.G. and Tekrony., D.M. 1995. *Handbook of vigour test methods: ISTA*. 1179. **(Book)**
- Hayat, S., Hayat, Q., Alyemeni, M.N., Wani, A.S., Pichtel, J. and Ahmad, A. 2012. Role of proline under changing environments. *Plant Signaling and Behavior*, 7(11): 1456–1466. **(Journal)**
- He, X.T., Mulvaney, R.L. and Banwart, W.L. 1990. A Rapid Method for Total Nitrogen Analysis Using Microwave Digestion. *Soil Science Society of America Journal*, 54(6): 1625-1629. **(Journal)**
- Heath, R.L. and Packer, L., 1986. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125: 189–198. **(Journal)**
- Hoed, V.V. 2010. Phenolic compounds in seed oils. *Lipid Technology*, 22(11): 247-249. **(Journal)**
- Kapoor, N., Arya, 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(3): 158-162. **(Journal)**
- Kapoor, N., Arya, A., Siddiqui, M.A., Kumar, H. and Amir, A. 2011. Physiological and biochemical change during seed deterioration of aged seeds of rice. *American Journal of Plant Physiology*, 6(1): 35-28. **(Journal)**
- Khan, A., Ali, M., Siddiqui, S.U., Jatoi, S.A., Jan, S.A., Khan, N. and Ghafoor, A. 2017. Effect of Various Temperatures and Duration on Deterioration of Rice Seeds. *Science Technology and Development*, 36(2): 79-83. **(Journal)**
- Kubala, S., Wojtyła, Ł., Quinet, M., Lechowska, K., Lutts, S. and 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. **(Journal)**
- Lee, J., Welti, R., Roth, M., Schapaugh, W.T., Li, J. and Trick, H.N. 2011. Enhanced seed viability and lipid compositional changes during natural ageing by suppressing phospholipase D α in soybean seed. *Plant Biotechnology Journal*, 10(2): 164–173. **(Journal)**
- Maguire, J.D. 1962. Speed of germination – Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2: 176-177. **(Journal)**
- Mariotti, F., Tomé, D. and Mirand, P.P. 2008. Converting Nitrogen into Protein—Beyond 6.25 and Jones' Factors. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(2): 177–184. **(Journal)**
- Mira, S., Estrelles, E., González-Benito, M.E. and Corbineau, F. 2011. Biochemical changes induced in seeds of Brassicaceae wild species during ageing. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33(5): 1803–1809. **(Journal)**
- Mohamed, A.I.M., Abdel-Tawab, Y.M. and El-Dessouky, S.E.I. 2010. Evaluation of sesame, peanut and canola seed quality using accelerated ageing. *Seed science and Boitecnology*, 4(1): 52-58. **(Journal)**
- Mohammadzadeh, J. 2015. Investigation of the effect of enzymatic and solvent extraction methods on the quality characteristics of oil and protein of canola. *Iranian of Journal Oilseed Plants*, 4(1): 24-32. (In Persian) **(Journal)**
- Naikoo, M.I., Dar, M.I., Raghieb, F., Jaleel, H., Ahmad, B., Raina, A. and Naushin, F. 2019. Role and Regulation of Plants Phenolics in Abiotic Stress Tolerance. *Plant Signaling Molecules*, 157–168. **(Book)**
- Nelson, K.A., and Labuza, T.P. 1992. Relationship Between Water and Lipid Oxidation Rates. *Lipid Oxidation in Food*, 93–103. **(Book)**
- Önder, S., Tonguç, M., Guvercin, D. and Karakurt, Y. 2020. Biochemical changes stimulated by accelerated aging in safflower seeds (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Seed Science*, 42: e202042015. **(Journal)**
- Oskouei, B. and Sheidaei, S. 2017. Seed deterioration. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 4(3): 125-143. (In Persian with English Abstract) **(Journal)**
- Oskouei, B., Divsalar, M., Yari, L. and zareyan, A. 2012. Effect of packaging type on seed vigor of three varieties of canola stored in Qom. *Iranian Journal of Seed Science Technolgy*. 2(1): 13-24. (In Persian) **(Journal)**

- Paravar, A., Maleki Farahani, S. and Gholami, S. 2019. Effect of seed deterioration on germination, biochemical and enzymatic activity of buckwheat. *Iranian Journal of Agroecology*, 15(2): 49 – 57. (In Persian) **(Journal)**
- Rajjou, L., Lovigny, Y., Groot, S.P.C., Belghazi, M., Job, C. and Job, D. 2008. Proteome-Wide Characterization of Seed Aging in Arabidopsis: A Comparison between Artificial and Natural Aging Protocols. *Plant Physiology*, 148(1): 620–641. **(Journal)**
- Rezayian, M., Niknam, V. and Ebrahimzadeh, H. 2018. Penconazole and calcium improves drought stress tolerance and oil quality in canola. *Soil Science and Plant Nutrition*, 64(5): 1-10. **(Journal)**
- Santos Sánchez, N.F., Salas-Coronado, R., Villanueva-Cañongo, C. and Hernandez-Carlos, B. 2019. Antioxidant Compounds and Their Antioxidant Mechanism, *Antioxidants*. **(Book)**
- Shaaban, M. 2016. Effect of aging on enzymatic and non-enzymatic antioxidant changes and biochemical characteristics in barley (*Hordeum vulgare* L.) seeds cv. Valfajr. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 3(3): 89-103. (In Persian) **(Journal)**
- Shaban, M. 2013. Review on physiological aspects of seed deterioration. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 6: 627-631. **(Journal)**
- Shaban, M., Ghaderifard, F., Sadeghipour, H.R. and Yamch, A. 2018. Evaluation of germination and key enzymatic and non-enzymatic antioxidants involved in chickpea seed ageing during natural storage and accelerate ageing. *Iranian Journal of crop production*, 11(1): 51-71. (In Persian) **(Journal)**
- Simić, A., Sredojević, S., Todorović, M., Đukanović, L. and Radenović, C. 2004. Studies on the relationship between the content of total phenolics in exudates and germination ability of maize seed during accelerated aging. *Seed Science and Technology*, 32(1): 213-218. **(Journal)**
- Singleton, V.L., Orthofer, R. and Lamuela-Raventós, R.M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 152–178. **(Journal)**
- Soltani, M., Moradi, A., Tavakol Afshari, R. and Balouchi, H. 2016. Effect of different storage conditions on germination and some biochemical characteristics of castor bean (*Ricinus communis*) seeds. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 48(1): 91-105. (In Persian with English Abstract) **(Journal)**
- Tabatabaei, S.A. 2013. Changes in proline, protein, catalase and germination characteristics of barley seeds under salinity stress. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 5(10): 1266-1271. **(Journal)**
- Tahmasbi, B., Ghaderi-Far, F., Sadeghipour, H.R. and Galeshi, S. 2015. The effect of accelerated deterioration on germination parameters, fatty acids and lipid hydroperoxides of sunflower seeds (*Helianthus annuus* L.). *Iranian Journal of Plant Process and Function*, 4(12): 73-84. (In Persian) **(Journal)**
- Tian, P.P., Lv, Y.Y., Yuan, W.J., Zhang, S.B. and Hu, Y.S. 2019. Effect of artificial aging on wheat quality deterioration during storage. *Journal of Stored Products Research*, 80: 50–56. **(Journal)**
- Verbruggen, N. and Hermans, C. 2008. Proline accumulation in plants: a review. *Amino Acids*, 359(4): 753–759. **(Journal)**
- Voelker, T. and Kinney, A.J. 2001. Variations in the biosynthesis of seed storage lipids. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 52(1): 335–361. **(Journal)**
- Walters, C. 1998. Understanding the mechanisms and kinetics of seed ageing. *Seed Science Research*, 8: 223-244. **(Journal)**
- Walters, C., Ballesteros, D., Veronica, A. and Vertucci, V.A. 2010. Structural mechanics of seed deterioration: Standing the test of time. *Plant Science*, 179: 565–573. **(Journal)**
- Wu, X., Ning, F., Hu, X. and Wang, W. 2017. Genetic Modification for Improving Seed Vigor Is Transitioning from Model Plants to Crop Plants. *Frontiers in Plant Science*, 8(8): 1-7. **(Journal)**



Evaluation of non-enzymatic antioxidant system, quantity of protein and oil of two canola cultivars (*Brassica napus* L.) seeds during accelerated aging conditions

Maryam Zamanian¹, Reza Tavakkol Afshari^{2*}, Jafar Nabati³, Alireza Seifi⁴

Received: May 6, 2021

Accepted: July 11, 2021

Abstract

In order to investigate the effect of accelerated ageing (AA) on physiological and biochemical traits of cultivar canola seeds, this study was laid out as a factorial experiments based on a completely randomized design with two factors cultivars (Modena and Okapi), aging level (0, 24 and 72 hours at temperature of 40°C and relative humidity of saturated) and four replications in the Ferdowsi University of Mashhad at 2019-20. The results showed that the aged seeds of Okapi and Modena cultivars significant decline in germination characteristics. According to the biochemical results, in the treatments of 72 hours of AA compared to the control, oil, total protein and scavenging free radicals of canola seeds, has decreased by 9.89, 4.14 and 28.61 percent, respectively. Likewise, electrical conductivity increased by 84.64 percent. Interestingly, aging affected the content of non-enzymatic antioxidants. Here for example, it reduced flavonoids by 73.79%, proline by 47.18%, and phenol by 17.13% compared to non-aged seeds in Okapi cultivar. On the one hand, Okapi cultivar had great quality characteristics such as oil percentage, activity of antioxidant systems, but on the other hand, it was very sensitive to storage, because, aging caused extremely decline in Okapi cultivar seed quality. So, it is obvious that conditions of seed storage of this cultivar require more attention. In general, controlling storage conditions to minimize canola seed aging and deterioration is critical.

Key words: Flavonoid; Modena; Okapi; Phenol; Proline

How to cite this article

Zamanian, M., Tavakkol Afshari, R., Nabati, J. and Seifi, A. 2022. Evaluation of non-enzymatic antioxidant system, quantity of protein and oil of two canola cultivars (*Brassica napus* L.) seeds during accelerated aging conditions. Iranian Journal of Seed Science and Research, 9(1): 1-14. (In Persian)(Journal)

DOI: [10.22124/jms.2022.6141](https://doi.org/10.22124/jms.2022.6141)

COPYRIGHTS

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to the Iranian Journal of Seed Science and Research

The content of this article is distributed under Iranian Journal of Seed Science and Research open access policy and the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY4.0) License. For more information, please visit <http://jms.guilan.ac.ir/>

1. Master in Seed Science and Technology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. maryamzamanian99@gmail.com
2. Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. tavakolafshari@um.ac.ir
3. Assistant Professor of Crop Physiology, Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. jafarnabati@um.ac.ir
4. Assistant Professor, Department of Crop Biotechnology and Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. arseifi@um.ac.ir

*Corresponding author: tavakolafshari@um.ac.ir