علوم و تحقیقات بذر ایران
سال چهارم/ شماره چهارم/ ۱۳۹۶ (۱۱۴ - ۱۰۱)

DOI: 10.22124/jms.2018.2521

بررسی اثر متقابل پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک و متانول بر صفات جوانه‌زنی کلزا (رقم هایولا ۴۰۱) تحت تنش خشکی

حسین کمائی[۱*]، حمیدرضا عیسوند[۲]، ناصر اکبری[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۴/۱۳

چکیده

به‌منظور بررسی اثر متقابل پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک و متانول بر صفات جوانه‌زنی کلزا (رقم هایولا ۴۰۱) تحت تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک در سه سطح صفر، ۰/۷ و ۱/۴ میلی‌مولار و متانول در سه سطح صفر، ۳ و ۶ درصد حجمی بودند. به‌منظور اعمال تنش خشکی از پلی اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ در سه سطح صفر (شاهد)، ۰/۴- و ۰/۸- مگاپاسکال استفاده شد. صفات مورد بررسی در این آزمایش شامل درصد جوانه‌زنی، متوسط زمان جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، طول گیاهچه، وزن خشک گیاهچه و شاخص بنیه بذر بودند. نتایج نشان داد که اثر متقابل اسید سالیسیلیک و متانول بر کلیه صفات جوانه‌زنی کلزا (رقم هایولا ۴۰۱) به‌جزء طول ریشه‌چه معنی‌دار بود ($P<0/01$). اثر متقابل اسید سالیسیلیک و تنش خشکی بر صفات متوسط زمان جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و طول ساقه‌چه کلزا (رقم هایولا ۴۰۱) معنی‌دار بود ($P<0/01$)، اما در بقیه صفات اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد مشاهده نشد. اثر متقابل متانول و تنش خشکی بر کلیه صفات جوانه‌زنی کلزا (رقم هایولا ۴۰۱) به‌جز درصد جوانه‌زنی معنی‌دار بود ($P<0/01$). به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که پیش‌تیمار بذور با غلظت‌های ۰/۷ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و ۳ درصد حجمی متانول و اثر متقابل این دو سطح کلیه صفات جوانه‌زنی کلزا (رقم هایولا ۴۰۱) را تحت هر دو شرایط مطلوب و اعمال تنش خشکی بهبود بخشید.

واژه‌های کلیدی: پرایمینگ، تنش خشکی، کلزا

۱- دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
۳- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
*نویسنده مسئول: e.kamaei61@yahoo.com

مقدمه

کلزا با نام علمی *Brassica napus*، از تیره Brassicaceae گیاهی است یک‌ساله که از گیاهان دانه روغنی مهم جهان به‌شمار می‌آید (Fathi *et al*., 2011). کلزا در میان دانه‌های روغنی موجود در جهان بیش‌ترین میزان تولید را در دهه‌های اخیر داشته و امروزه مقام سوم را پس از سویا و نخل روغنی در فرآورده‌های روغن نباتی احراز کرده است (Daneshmand *et al*., 2013). یکی از ارقام بهاره کلزا رقم هایولا ۴۰۱ می‌باشد. مبدأ این رقم کانادا، نوع رقم آن هیبرید، سال تولید آن ۱۹۵۶، میزان روغن آن ۴۷-۴۴ درصد، کیفیت روغن آن دو صفر، طول دوره رشد آن ۱۸۰-۱۵۰ روز، میانگین عملکرد دانه آن ۱/۵ الی ۴ تن در هکتار و اقلیم مناسب جهت کشت آن مناطق گرم و مرطوب شمال و گرم و خشک جنوب می‌باشد (Fathi *et al*., 2011). برای ایجاد محیط‌های مصنوعی کنترل پتانسیل آب، معمولاً از موادی با جرم مولکولی بالا هم‌چون پلی اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ به‌خصوص در مطالعات جوانه‌زنی به‌دلیل ایجاد محلول اسمزی مشابه با شرایط طبیعی استفاده می‌شود (Fateh *et al*., 2012). تنش خشکی قابلیت دسترسی به آب را کاهش داده و اثرات نامطلوبی بر درصد و سرعت جوانه‌زنی و هم‌چنین رشد گیاهچه‌ها خواهد داشت. تنش خشکی موجب کاهش درصد جوانه‌زنی، متوسط سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و وزن خشک گیاهچه ارقام مختلف کلزا می‌شود (Mohammadi and Amiri, 2010). امروزه یکی از روش‌های بهبود تحمل به تنش‌های محیطی و یکی از راه‌های افزایش مؤلفه‌های جوانه‌زنی و سبز شدن بذر، استفاده از تکنیک پرایمینگ است (Zhang *et al*., 2012). پرایمینگ بذر موجب افزایش سرعت، درصد و یکنواختی جوانه‌زنی یا ظهور گیاهچه تحت هر دو شرایط مناسب و نامناسب محیطی می‌شود (Askari Nezhad, 2013). یکی از هورمون‌های رشدی که به‌طور نرمال برای پرایمینگ بذر مورد استفاده قرار می‌گیرد اسید سالیسیلیک می‌باشد (Fateh *et al*., 2012). اسید سالیسیلیک یکی از ترکیباتی است که باعث افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های زنده و غیر زنده از جمله سرما، گرما و خشکی می‌شود (Alivand *et al*., 2012). گزارش شده است که اسید سالیسیلیک موجب افزایش درصد جوانه‌زنی، درصد گیاهچه نرمال، سرعت جوانه‌زنی، طول گیاهچه، وزن خشک گیاهچه و شاخص بنیه بذر کلزا نسبت به شاهد می‌شود (Alivand *et al*., 2012). متانول یا متیل‌الکل ساده‌ترین نوع الکل‌هاست که با فرمول شیمیایی CH_3OH شناخته می‌شود. گزارش شده است که متانول موجب القای جوانه‌زنی و تجمع بیوماس در تعدادی از گونه‌های گیاهی می‌شود و ممکن است به‌عنوان منبع کربن در این گیاهان عمل کند (Mehrafarin *et al*., 2011). در اوایل دهه ۱۹۹۰ میلادی گزارش شد که کاربرد محلول متانول باعث افزایش عملکرد، تسریع در رسیدگی، کاهش اثر تنش خشکی و کاهش نیاز آبی گیاه می‌شود (Nadali *et al*., 2010). رفیعی و همکاران (Rafiei *et al*., 2011) با اعمال پرایم بذر همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) تحت غلظت‌های مختلف صفر (شاهد)، ۰/۴، ۰/۸، ۱/۲، ۱/۶، ۲ و ۳ درصد حجمی متانول به این نتیجه رسیدند که تا غلظت ۰/۴ درصد حجمی سرعت و درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن خشک کل و شاخص بنیه بذر افزایش و در غلظت‌های بالاتر از ۰/۴ درصد حجمی کلیه شاخص‌ها کاهش نشان دادند. با توجه به این‌که بخش وسیعی از اراضی زیر کشت در ایران به اقلیم‌های خشک و نیمه-خشک تعلق دارد و مناسب بودن رقم هایولا ۴۰۱ کلزا جهت کشت در این مناطق از جمله خوزستان (Fathi *et al*., 2011)، حصول بالاترین میزان درصد جوانه‌زنی، عملکرد دانه و روغن با اعمال تکنیک‌های جدید ضروری به‌نظر می‌رسد. هدف از تحقیق حاضر بررسی اثر متقابل پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک و متانول بر صفات جوانه‌زنی کلزا (رقم هایولا ۴۰۱) تحت تنش‌های مختلف خشکی بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان در سال ۱۳۹۴ اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل پرایمینگ با اسید سالیسیلیک و متانول هر کدام به‌ترتیب در ۳ سطح (۰، ۰/۷ و ۱/۴ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک) و (۰، ۳ و ۶ درصد حجمی متانول) و ۳ سطح تنش خشکی (۰، ۰/۴- و ۰/۸- مگاپاسکال پلی اتیلن گلایکول ۶۰۰۰) بودند. قبل از شروع آزمایش بذرهای رقم هایولا ۴۰۱ کلزا که در سال ۹۳ از

بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان تولید و تهیه شده بود، با هیپوکلریت سدیم ۳ درصد (وایتکس) به‌مدت ۲ دقیقه ضدعفونی و سپس ۳ مرتبه با آب مقطر آب‌شویی شدند. هم‌چنین پتری‌ها هم توسط وایتکس کاملاً ضدعفونی شدند. برای پرایمینگ بذر با اسید سالیسیلیک و متانول و اثر متقابل آن‌ها، بذرها در غلظت‌های مختلف محلول‌های مورد نظر و به‌صورت مجزا به‌مدت ۲ ساعت (Ramezani and Rezaei Soukhtabndani, 2012) در دمای ۲۰ درجه سلسیوس اطاقک رشد و در تاریکی قرار داده شدند. پس از اتمام دوره پرایمینگ مورد نظر، بذرهای پرایم‌شده توسط آب مقطر شسته شده (Farooq *et al*., 2012) و برای خشک‌شدن در هوای اتاق قرار گرفتند. برای غلظت‌های صفر میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و صفر درصد متانول از آب مقطر استفاده شد. برای ارزیابی جوانه‌زنی، ۲۵ عدد بذر رقم هایولا ۴۰۱ در هر پتری قرار داده شد. سپس به هر پتری ۱۰ میلی‌لیتر پلی اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ در سطوح مورد نظر اضافه شد و برای جوانه‌زنی به اطاقک رشد با دمای ۲۰ درجه سلسیوس و تاریک انتقال داده شدند (ISTA, 2009)[1]. پتانسیل‌های مختلف سطوح خشکی بر اساس فرمول میچل و کافمن (Michel and Kaufman, 1973) و با استفاده از پلی اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ تهیه شد. برای پتانسیل صفر مگاپاسکال (شاهد) پلی اتیلن گلایکول ۶۰۰۰، از آب مقطر استفاده شد. ظهور ریشه‌چه به طول ۲ میلی‌متر به‌عنوان معیار جوانه‌زدن بذرها در نظر گرفته شد (Mohammadi and Amiri, 2010). آزمون جوانه‌زنی استاندارد به‌صورت Top of paper به‌مدت ۷ روز و در دمای ۲۰ درجه سلسیوس مطابق با قوانین انجمن بین‌المللی آزمون بذر (ISTA) انجام گرفت. در طول این مدت تعداد بذرهای جوانه‌زده به‌صورت روزانه شمارش شد. در پایان آزمایش شاخص‌های جوانه‌زنی شامل درصد جوانه‌زنی، متوسط زمان جوانه‌زنی (MGT)[2]، سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر محاسبه گردید. هم‌چنین در ادامه از هر پتری ۱۰ نمونه به‌صورت تصادفی انتخاب و صفات مرفولوژیکی شامل طول ریشه‌چه و ساقه‌چه آن‌ها با استفاده از خط‌کش میلی‌متری اندازه‌گیری شد. به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک گیاهچه، اندام‌های فوق از هم جدا و درون پاکت‌های مجزا گذاشته و تا رسیدن به وزن خشک ثابت در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شد و پس از آن با استفاده از ترازوی دیجیتال توزین شدند. برای محاسبه درصد جوانه‌زنی از رابطه (۱) استفاده شد (ISTA, 2009).

$$PG= Ni/N\times100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در این رابطه، PG؛ درصد جوانه‌زنی، Ni؛ تعداد بذرهای جوانه‌زده تا روز iام و N؛ تعداد کل بذرها می‌باشد.

برای محاسبه متوسط زمان جوانه‌زنی از رابطه (۲) استفاده شد (Czabator, 1962).

$$GTM= \sum Niti/\sum Ni \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در این رابطه، GTM؛ متوسط زمان جوانه‌زنی، Ni؛ تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز iام و ti؛ تعداد روز پس از کاشت می‌باشد.

برای محاسبه سرعت جوانه‌زنی از رابطه (۳) استفاده شد (Ellis and Roberts, 1981).

$$GR=1/GTM \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در این رابطه، GR؛ سرعت جوانه‌زنی، GTM؛ متوسط زمان جوانه‌زنی می‌باشد.

برای محاسبه شاخص بنیه بذر از رابطه (۴) استفاده شد (Agrawal, 2004).

$$VI=SL*GP/100 \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در این رابطه، VI؛ شاخص ویگور (بنیه بذر)، SL؛ طول گیاهچه (mm) و GP؛ درصد جوانه‌زنی می‌باشد.

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزار آماری SAS نسخه ۹,۱ استفاده شد و در صورت معنی‌دار بودن مقادیر F، میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

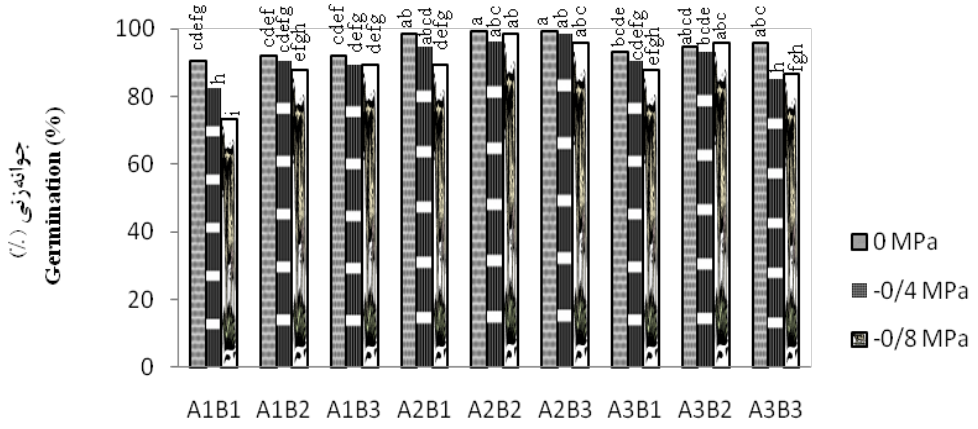
نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل سه‌گانه اسید سالیسیلیک، متانول و تنش خشکی بر درصد جوانه‌زنی کلزا معنی‌دار ($P<0.05$) بود (جدول ۱). مقایسه میانگین اثرات متقابل سه‌گانه سطوح مختلف اسید سالیسیلیک×متانول× تنش خشکی بر درصد جوانه‌زنی کلزا نشان داد که بیش‌ترین میزان این صفت در اثرات متقابل سه‌گانه ۰/۷ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک×۳ درصد حجمی

[1] International Seed Testing Association
[2] Mean Germination Time

متانول×صفر مگاپاسکال تنش خشکی (شاهد) با میانگین ۹۹/۴ درصد و کم‌ترین آن در اثرات متقابل سه‌گانه



شکل ۱- اثر متقابل اسید سالیسیلیک و متانول بر درصد جوانه‌زنی کلزا تحت تنش خشکی

Figure 1- Interaction of salicylic acid and methanol on germination of rapeseed under drough stress

A_1: سطح صفر میلی مولار اسید سالیسیلیک، A_2: سطح ۰/۷ میلی مولار اسید سالیسیلیک، A_3: سطح ۱/۴ میلی مولار اسید سالیسیلیک، B_1: سطح صفر درصد حجمی متانول، B_2: سطح ۳ درصد حجمی متانول، B_3: سطح ۶ درصد حجمی متانول.

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

A_1: level 0 mM salicylic acid, A_2: level 0.7 mM salicylic acid, A_3: 1.4 mM salicylic acid level, B_1: Level 0% by volume of methanol, B_2: level 3% methanol, B_3: Level 6% methanol.

Means with similar letters are not significantly different at 5% probability level.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر پیش تیمار با اسید سالیسیلیک و متانول بر صفات جوانه‌زنی کلزا (رقم هایولا ۴۰۱) تحت تنش خشکی

Table 1. Variance analysis the effect of priming with salicylic acid and methanol on germination traits of canola (Hyola 401) under drought stress

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Degrees of freedom	درصد جوانه‌زنی Germination Percentage	متوسط زمان جوانه‌زنی Mean germination time(day)	سرعت جوانه‌زنی Germination rate (1/day)	طول ریشه‌چه Radicle length (cm)	طول ساقه‌چه Plumule length (cm)	طول گیاهچه Seedling length (cm)	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight (gr)	شاخص بنیه بذر Seed vigor index
تکرار Replication	2	21.92 n.s	0.002 n.s	0.0001 n.s	6.61**	2.37**	16.84**	0.0002**	1600.85**
عامل Factor A	2	929.77**	2.13**	0.226**	34.68**	13.96**	88.63**	0.0014**	16029.63**
عامل Factor B	2	108.44**	0.077**	0.010**	18.57**	9.67**	54.88**	0.0009**	5347.47**
عامل Factor C	2	146.37**	1.14**	0.121**	38.70**	16.31**	105.04**	0.0016**	12396.72**
A×B	2	215.3**	0.084**	0.0134**	1.99*	1.15**	6.05**	0.0001**	765.14**
A×C	4	79.11*	0.042**	0.007**	0.291 n.s	1.93**	3.51 n.s	0.00009*	314.53 n.s
B×C	4	25.48 n.s	0.01**	0.0006**	5.36**	2.47**	14.91**	0.0002**	938.52**
A×B×C	8	30.81*	0.047**	0.003**	1.48**	0.643 n.s	4.51**	0.00008*	263.52 n.s
خطا Error	54	12.07	0.006	0.007	0.599	0.31	1.52	0.00003	157.64
ضریب تغییرات C.V. (%)		3.74	2.38	2.54	10.16	10.87	9.69	10.45	10.54

A: سطوح اسید سالیسیلیک، B: سطوح متانول، C: سطوح تنش خشکی، A×B: اثر متقابل اسید سالیسیلیک و متانول، A×C: اثر متقابل اسید سالیسیلیک و تنش خشکی، B×C: اثر متقابل متانول و تنش خشکی، A×B×C: اثر متقابل اسید سالیسیلیک، متانول و تنش خشکی

ns،* و ** به‌ترتیب بدون معنی و معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد

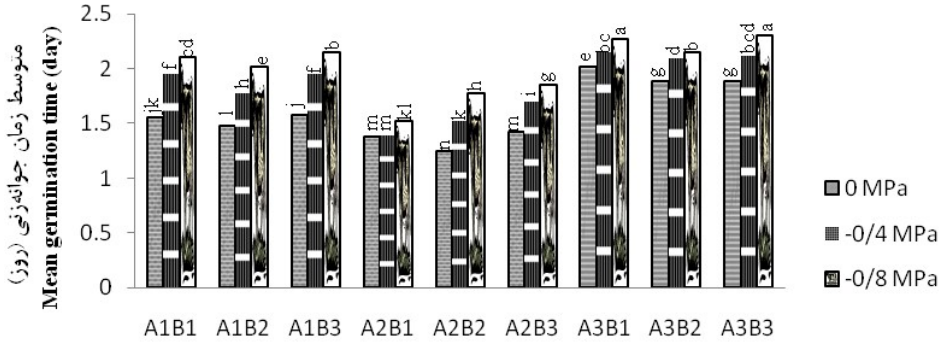
A: levels of salicylic acid, B: methanol levels, C: drought stress levels, A×B: Interaction of salicylic acid and methanol, A×C: Interaction between Salicylic Acid and drought, B×C: Interaction of methanol and drought A×B×C: the interaction of salicylic acid, methanol and water stress.

Ns, * and **, respectively, without meaning, the significance is at the level of 5% and 1%.

صفر میلی‌مولار اسید سالیسیلیک (شاهد) × صفر درصد حجمی متانول (شاهد) × ۰/۸- مگاپاسکال تنش خشکی با میانگین ۷۸/۴۱ درصد مشاهده شد (شکل ۱). این نتایج با یافته‌های میارصادقی و همکاران (Miar Sadeghi *et al*., 2010) مبنی بر افزایش درصد جوانه‌زنی کلزا از طریق پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک تحت شرایط تنش خشکی مطابقت داشت. افزایش تنش خشکی سبب کاهش پتانسیل اسمزی محیط جوانه‌زنی می‌شود که همین موضوع موجب می‌شود رطوبت کم‌تری در اختیار بذور قرار گیرد و نهایتاً موجب کاهش درصد جوانه‌زنی می‌گردد (Zebarjadi *et al*., 2012). پرایم بذور همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) با غلظت‌های بالاتر از ۰/۴ درصد حجمی موجب کاهش درصد جوانه‌زنی نسبت به عدم پرایم با متانول (شاهد) شد (Rafie *et al*., 2011). که دلیل آن را می‌توان به سمیت متانول در غلظت‌های بالا نسبت داد (Holland, 1997).

متوسط زمان جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل سه‌گانه اسید سالیسیلیک، متانول و تنش خشکی بر متوسط زمان جوانه‌زنی کلزا معنی‌دار (P<0.01) بود (جدول ۱). مقایسه میانگین اثرات متقابل سه‌گانه سطوح مختلف اسید سالیسیلیک × متانول × تنش خشکی بر متوسط زمان جوانه‌زنی کلزا نشان داد که کم‌ترین میزان این صفت در اثرات متقابل سه گانه ۰/۷ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × ۳ درصد حجمی متانول × صفر مگاپاسکال تنش خشکی (شاهد) با میانگین ۱/۳۲ روز و بیش‌ترین آن در اثرات متقابل سه‌گانه ۱/۴ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × ۶ درصد حجمی متانول × ۰/۸- مگاپاسکال تنش خشکی با میانگین ۲/۳۶ مشاهده شد (شکل ۲). تنش خشکی متوسط زمان جوانه‌زنی کلزا را نسبت به شاهد افزایش داد اما این افزایش از طریق پیش‌تیمار بذر با سالیسیلیک اسید کاهش نشان داد (Mazaheri Tirani and Kalantari, 2006). هم‌چنین این نتایج با یافته‌های رفیعی و همکاران (Rafie *et al*., 2011) مبنی بر کاهش متوسط زمان جوانه‌زنی در پیش‌تیمار بذور همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) با غلظت‌های پایین متانول هم‌خوانی داشت.



شکل ۲- اثر متقابل اسید سالیسیلیک و متانول بر متوسط زمان جوانه‌زنی کلزا تحت تنش خشکی

Figure 2- Interaction of salicylic acid and methanol on mean germination time of rapeseed under drough stress

A_1: سطح صفر میلی مولار اسید سالیسیلیک، A_2: سطح ۰/۷ میلی مولار اسید سالیسیلیک، A_3: سطح ۱/۴ میلی مولار اسید سالیسیلیک، B_1: سطح صفر درصد حجمی متانول، B_2: سطح ۳ درصد حجمی متانول، B_3: سطح ۶ درصد حجمی متانول.

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

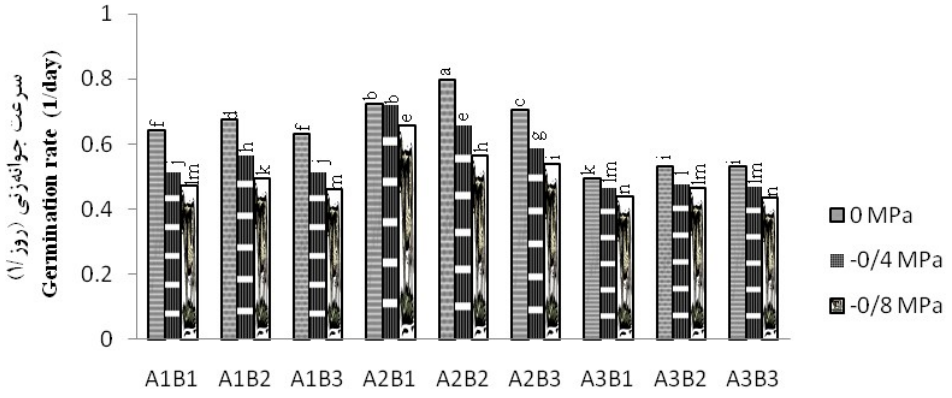
A_1: level 0 mM salicylic acid, A_2: level 0.7 mM salicylic acid, A_3: 1.4 mM salicylic acid level, B_1: Level 0% by volume of methanol, B_2: level 3% methanol, B_3: Level 6% methanol.

Means with similar letters are not significantly different at 5% probability level.

سرعت جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل سه‌گانه اسید سالیسیلیک، متانول و تنش خشکی بر سرعت جوانه‌زنی کلزا معنی‌دار (P<0.01) بود (جدول ۱). مقایسه میانگین اثرات متقابل سه‌گانه سطوح مختلف اسید سالیسیلیک × متانول × تنش خشکی بر سرعت جوانه‌زنی

کلزا نشان داد که بیش‌ترین میزان این صفت در اثرات متقابل سه‌گانه ۰/۷ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × ۳ درصد حجمی متانول × صفر مگاپاسکال تنش خشکی (شاهد) با میانگین ۰/۷۹۸ (۷۹/۸ درصد) و کم‌ترین آن در اثرات متقابل سه‌گانه ۱/۴ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × ۶ درصد حجمی متانول × ۰/۸- مگاپاسکال تنش خشکی با میانگین ۰/۴۳۱ (۴۳/۱ درصد) مشاهده شد (شکل ۳). با افزایش تنش خشکی ناشی از پلی اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ سرعت جوانه‌زنی کلزا نسبت به شاهد کاهش پیدا کرد (Ramezani and Rezaei Soukhtabndani, 2012). تنش خشکی سرعت جوانه‌زنی کلزا را نسبت به شاهد کاهش داد اما این کاهش از طریق پیش تیمار بذر با سالیسیلیک اسید افزایش نشان داد (Mazaheri Tirani and Kalantari, 2006). هم‌چنین این نتایج با یافته‌های رامبرگ و همکاران (Ramberg *et al*., 2002) مبنی بر افزایش سرعت جوانه‌زنی در پیش‌تیمار با متانول هم‌خوانی داشت.



شکل ۳- اثر متقابل اسید سالیسیلیک و متانول بر سرعت جوانه‌زنی کلزا تحت تنش خشکی

Figure 3- Interaction of salicylic acid and methanol on germination rate of rapeseed under drought stress

A_1: سطح صفر میلی مولار اسید سالیسیلیک، A_2: سطح ۰/۷ میلی مولار اسید سالیسیلیک، A_3: سطح ۱/۴ میلی مولار اسید سالیسیلیک، B_1: سطح صفر درصد حجمی متانول، B_2: سطح ۳ درصد حجمی متانول، B_3: سطح ۶ درصد حجمی متانول.

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

A_1: level 0 mM salicylic acid, A_2: level 0.7 mM salicylic acid, A_3: 1.4 mM salicylic acid level, B_1: Level 0% by volume of methanol, B_2: level 3% methanol, B_3: Level 6% methanol.

Means with similar letters are not significantly different at 5% probability level.

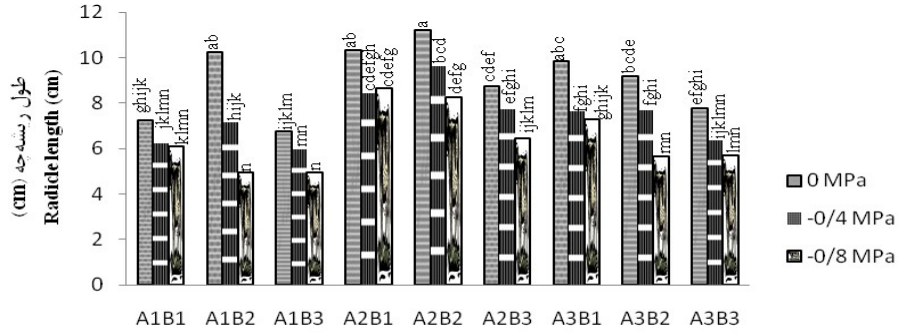
طول ریشه‌چه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل سه‌گانه اسید سالیسیلیک، متانول و تنش خشکی بر طول ریشه‌چه کلزا معنی‌دار ($P<0.01$) بود (جدول ۱). مقایسه میانگین اثرات متقابل سه‌گانه سطوح مختلف اسید سالیسیلیک × متانول × تنش خشکی بر طول ریشه‌چه کلزا نشان داد که بیش‌ترین میزان این صفت در اثرات متقابل سه‌گانه ۰/۷ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × ۳ درصد حجمی متانول × صفر مگاپاسکال تنش خشکی (شاهد) با میانگین ۱۱/۳۷ سانتی‌متر و کم‌ترین آن در اثرات متقابل سه‌گانه صفر میلی‌مولار اسید سالیسیلیک (شاهد) × ۶ درصد حجمی متانول × ۰/۸- مگاپاسکال تنش خشکی با میانگین ۴/۹۱ سانتی‌متر مشاهده شد (شکل ۴). این نتایج با یافته‌های فاتح و همکاران (Fateh *et al*., 2012) مبنی بر افزایش طول ریشه‌چه گندم (رقم روشن) در پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک تحت تنش خشکی مطابقت داشت. کاربرد متانول موجب بهبود طول ریشه‌چه نخود ایرانی (*Cicer arietinum* L.) تحت شرایط تنش خشکی می‌شود (Hossein Zadeh *et al*., 2013).

طول ساقه‌چه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که کلیه اثرات اصلی و متقابل دوگانه اسید سالیسیلیک، متانول و تنش خشکی بر طول ساقه‌چه کلزا معنی‌دار ($P<0.01$) بود

(جدول ۱). مقایسه میانگین اثرات متقابل دوگانه سطوح مختلف پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک × متانول بر طول ساقه‌چه کلزا نشان داد که بیش‌ترین میزان این صفت در اثرات متقابل دوگانه ۱/۴ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × صفر درصد حجمی متانول (شاهد) با میانگین ۷/۳۵ سانتی‌متر و کم‌ترین آن در اثرات متقابل دوگانه صفر میلی‌مولار اسید سالیسیلیک (شاهد) × ۶ درصد حجمی متانول با میانگین ۴/۱۵ سانتی‌متر مشاهده شد (شکل ۵). در بین سطوح مختلف پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی بیش‌ترین طول ساقه‌چه در اثرات متقابل دوگانه ۱/۴ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × صفر مگاپاسکال تنش خشکی با میانگین ۷/۳۷ سانتی‌متر و کم‌ترین آن در اثرات متقابل دوگانه صفر میلی‌مولار اسید سالیسیلیک (شاهد) × ۰/۸- مگاپاسکال تنش خشکی با میانگین ۳/۹۶ سانتی‌متر مشاهده گردید (شکل ۶). هم‌چنین در بین سطوح مختلف پیش‌تیمار بذر با متانول در شرایط تنش خشکی بیش‌ترین طول ساقه‌چه در اثرات متقابل دوگانه ۳ درصد حجمی متانول × صفر مگاپاسکال تنش خشکی با میانگین ۶/۱۸ سانتی‌متر و کم‌ترین آن در اثرات متقابل دوگانه ٪۳ حجمی متانول × ۰/۸- مگاپاسکال تنش خشکی با میانگین ۳/۱۶ سانتی‌متر مشاهده گردید (شکل ۷).



شکل ۴- اثر متقابل اسید سالیسیلیک و متانول بر طول ریشه‌چه کلزا تحت تنش خشکی

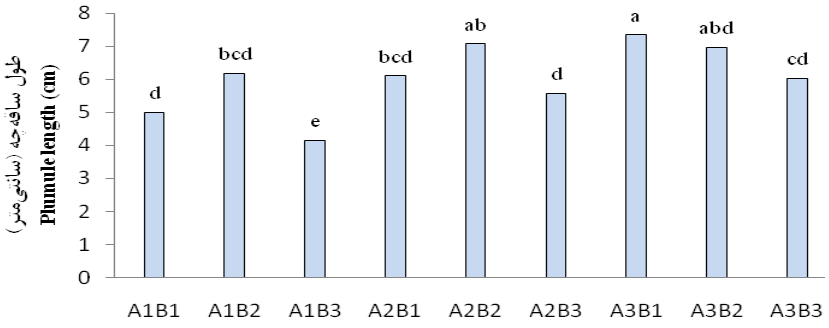
Figure 4- Interaction of salicylic acid and methanol on radicle length of rapeseed under drought stress

A_1: سطح صفر میلی مولار اسید سالیسیلیک، A_2: سطح ۰/۷ میلی مولار اسید سالیسیلیک، A_3: سطح ۱/۴ میلی مولار اسید سالیسیلیک، B_1: سطح صفر درصد حجمی متانول، B_2: سطح ۳ درصد حجمی متانول، B_3: سطح ۶ درصد حجمی متانول.

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

A_1: level 0 mM salicylic acid, A_2: level 0.7 mM salicylic acid, A_3: 1.4 mM salicylic acid level, B_1: Level 0% by volume of methanol, B_2: level 3% methanol, B_3: Level 6% methanol.

Means with similar letters are not significantly different at 5% probability level.



شکل ۵- اثر متقابل اسید سالیسیلیک و متانول بر طول ساقه‌چه کلزا

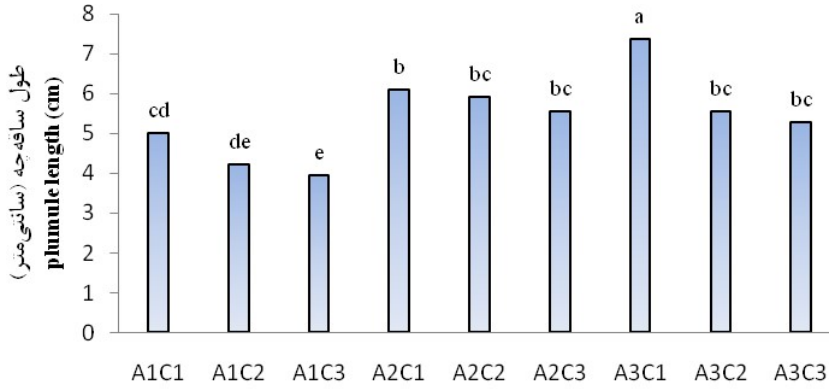
Figure 5- Interaction salicylic acid and methanol on plumule length of rapeseed

A_1: سطح صفر میلی مولار اسید سالیسیلیک، A_2: سطح ۰/۷ میلی مولار اسید سالیسیلیک، A_3: سطح ۱/۴ میلی مولار اسید سالیسیلیک، B_1: سطح صفر درصد حجمی متانول، B_2: سطح ۳ درصد حجمی متانول، B_3: سطح ۶ درصد حجمی متانول.

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

A_1: level 0 mM salicylic acid, A_2: level 0.7 mM salicylic acid, A_3: 1.4 mM salicylic acid level, B_1: Level 0% by volume of methanol, B_2: level 3% methanol, B_3: Level 6% methanol.

Means with similar letters are not significantly different at 5% probability level.



شکل ۶- اثر متقابل اسید سالیسیلیک و تنش خشکی بر طول ساقه‌چه کلزا

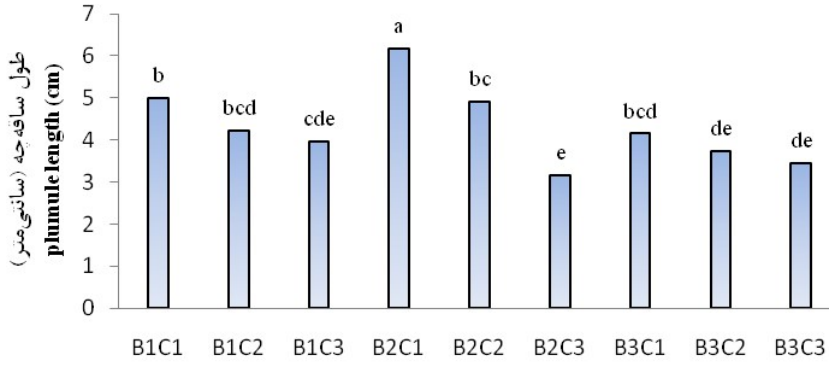
Figure 6- Interaction of salisylic acid and drought stress on plumule length of rapeseed

A_1: سطح صفر میلی مولار اسید سالیسیلیک، A_2: سطح ۰/۷ میلی مولار اسید سالیسیلیک، A_3: سطح ۱/۴ میلی مولار اسید سالیسیلیک، B_1: سطح صفر درصد حجمی متانول، B_2: سطح ۳ درصد حجمی متانول، B_3: سطح ۶ درصد حجمی متانول.

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

A_1: level 0 mM salicylic acid, A_2: level 0.7 mM salicylic acid, A_3: 1.4 mM salicylic acid level, B_1: Level 0% by volume of methanol, B_2: level 3% methanol, B_3: Level 6% methanol.

Means with similar letters are not significantly different at 5% probability level.



شکل ۷- اثر متقابل متانول و تنش خشکی بر طول ساقه‌چه کلزا

Figure 7- Interaction of methanol and drought stress on plumule length of rapeseed

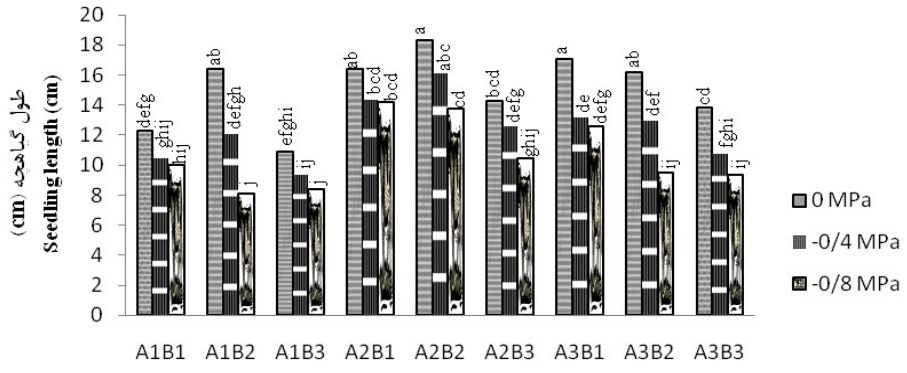
B_1: سطح صفر درصد متانول، B_2: سطح ۳ درصد متانول، B_3: سطح ۶ درصد متانول، C_1: سطح تنش خشکی 0 MPa، C_2: سطح تنش خشکی -0.4 MPa ، C_3: سطح تنش خشکی -0.8 MPa

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

B_1: Level 0% methanol, B_2: level 3% methanol, B_3: level 6% methanol, C_1: level drought stress 0 MPa, C_2: level drought stress -0.4 MPa, C_3: levels drought stress -0.8 MPa.

Means with similar letters are not significantly different at 5% probability level.

آزمایشات مختلف افزایش طول ساقه‌چه کلزا را در شرایط پرایم بذور با اسید سالیسیلیک و کاهش طول ساقه‌چه را با افزایش تنش خشکی گزارش کرده‌اند (Mazaheri and Kalantari, 2006). پرایم بذور با غلظت‌های بالای متانول موجب کاهش طول ساقه‌چه نسبت به شاهد می‌شود (Faver and Gerik, 1996). که دلیل آن را می‌توان به سمیت متانول در غلظت‌های بالا نسبت داد (Holland, 1997).



شکل ۸- اثر متقابل اسید سالیسیلیک و متانول بر طول گیاهچه کلزا تحت تنش خشکی

Figure 8- Interaction of salicylic acid and methanol on seedling length of rapeseed under drought stress

A_1: سطح صفر میلی مولار اسید سالیسیلیک، A_2: سطح ۰/۷ میلی مولار اسید سالیسیلیک، A_3: سطح ۱/۴ میلی مولار اسید سالیسیلیک، B_1: سطح صفر درصد حجمی متانول، B_2: سطح ۳ درصد حجمی متانول، B_3: سطح ۶ درصد حجمی متانول.

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

A_1: level 0 mM salicylic acid, A_2: level 0.7 mM salicylic acid, A_3: 1.4 mM salicylic acid level, B_1: Level 0% by volume of methanol, B_2: level 3% methanol, B_3: Level 6% methanol.

Means with similar letters are not significantly different at 5% probability level.

طول گیاهچه

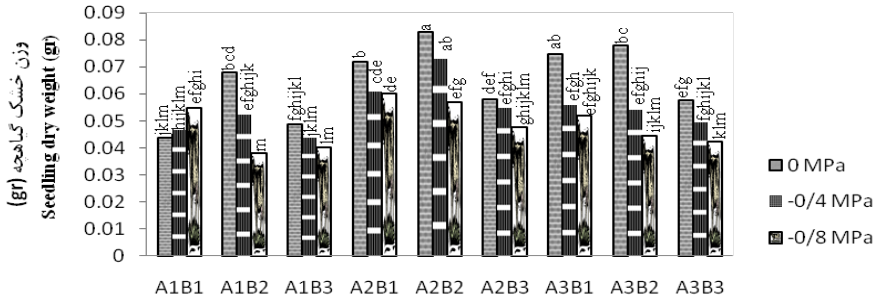
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل سه‌گانه اسید سالیسیلیک، متانول و تنش خشکی بر طول گیاهچه کلزا معنی‌دار ($P<0.01$) بود (جدول ۱). مقایسه میانگین اثرات متقابل سه‌گانه سطوح مختلف اسید سالیسیلیک×متانول×تنش خشکی بر طول گیاهچه کلزا نشان داد که بیش‌ترین میزان این صفت در اثرات متقابل سه‌گانه ۰/۷ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک×۳ درصد حجمی متانول×صفر مگاپاسکال تنش خشکی (شاهد) با میانگین ۱۸/۳۸ سانتی‌متر و کم‌ترین آن در اثرات متقابل سه‌گانه صفر میلی‌مولار اسید سالیسیلیک (شاهد)×۳ درصد حجمی متانول×۰/۸- مگاپاسکال تنش خشکی با میانگین ۸/۱ سانتی‌متر مشاهده شد (شکل ۸). این نتایج با یافته‌های عیسوند و همکاران (Eisvand *et al*., 2008) مبنی بر کاهش طول گیاهچه تحت تنش خشکی و افزایش طول گیاهچه کلزا در پیش‌تیمار با سالیسیلیک اسید مطابقت داشت (Alivand *et al*., 2012). هم‌چنین این نتایج با یافته‌های رامبرگ و همکاران (Ramberg *et al*., 2002) مبنی بر افزایش طول گیاهچه کلزا در پیش‌تیمار با متانول هم‌خوانی داشت.

وزن خشک گیاهچه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل سه‌گانه اسید سالیسیلیک، متانول و تنش خشکی بر وزن خشک گیاهچه کلزا معنی‌دار ($P<0.05$) بود (جدول ۱). مقایسه میانگین اثرات متقابل سه‌گانه سطوح مختلف اسید سالیسیلیک×متانول×تنش خشکی بر وزن خشک گیاهچه کلزا نشان داد که بیش‌ترین میزان این صفت در اثرات متقابل سه‌گانه ۰/۷ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک×۳ درصد حجمی متانول×صفر مگاپاسکال تنش خشکی (شاهد) با میانگین ۰/۰۸۷ گرم و کم‌ترین آن در اثرات متقابل سه‌گانه صفر میلی‌مولار اسید سالیسیلیک (شاهد)×۳ درصد حجمی متانول×۰/۸- مگاپاسکال تنش خشکی با میانگین ۰/۰۳۷ گرم مشاهده شد (شکل ۹). این نتایج با یافته‌های حنان (Hanan, 2007) مبنی بر کاهش وزن خشک گیاهچه تحت تنش خشکی و افزایش این شاخص در پیش‌تیمار بذور گندم و جو با اسید سالیسیلیک مطابقت داشت. هم‌چنین این نتایج با یافته‌های رفیعی و همکاران (Rafie *et al*., 2011) مبنی بر کاهش وزن خشک گیاهچه بذور همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) در پیش‌تیمار با غلظت‌های بالاتر از ۰/۴ درصد متانول (شاهد) هم‌خوانی داشت.

شاخص بنیه بذر

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که به‌جزء اثر متقابل دوگانه اسید سالیسیلیک و تنش خشکی، کلیه اثرات اصلی و متقابل دوگانه اسید سالیسیلیک × متانول و متانول × تنش خشکی بر شاخص بنیه بذر کلزا معنی‌دار ($P<0.01$) بود (جدول ۱).



شکل ۹- اثر متقابل اسید سالیسیلیک و متانول بر وزن خشک گیاهچه کلزا تحت تنش خشکی

Figure 9- Interaction of salicylic acid and mathanol on seedling dry weight of rapeseed under drought stress

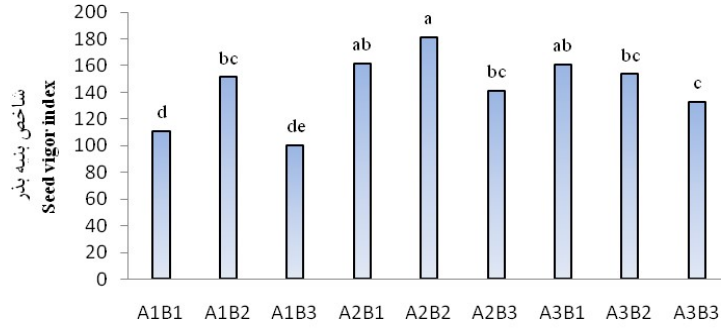
A_1: سطح صفر میلی مولار اسید سالیسیلیک، A_2: سطح ۰/۷ میلی مولار اسید سالیسیلیک، A_3: سطح ۱/۴ میلی مولار اسید سالیسیلیک، B_1: سطح صفر درصد حجمی متانول، B_2: سطح ۳ درصد حجمی متانول، B_3: سطح ۶ درصد حجمی متانول.

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

A_1: level 0 mM salicylic acid, A_2: level 0.7 mM salicylic acid, A_3: 1.4 mM salicylic acid level, B_1: Level 0% by volume of methanol, B_2: level 3% methanol, B_3: Level 6% methanol.

Means with similar letters are not significantly different at 5% probability level.

مقایسه میانگین اثرات متقابل دوگانه سطوح مختلف اسید سالیسیلیک×متانول بر شاخص بنیه بذر کلزا نشان داد که بیش‌ترین میزان این شاخص در اثرات متقابل دوگانه ۰/۷ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک×۳ درصد حجمی متانول با میانگین ۱۸۱/۰۷ و کم‌ترین آن در اثرات متقابل دوگانه صفر میلی مولار اسید سالیسیلیک×۶ درصد حجمی متانول با میانگین ۱۰۰/۵۶ مشاهده شد (شکل ۱۰). هم‌چنین در بین سطوح مختلف پیش‌تیمار بذر با متانول در شرایط تنش خشکی بیش‌ترین شاخص بنیه بذر در اثرات متقابل دوگانه ۳ درصد حجمی متانول×صفر مگاپاسکال تنش خشکی با میانگین ۱۵۱/۱۲ و کم‌ترین آن در اثرات متقابل دوگانه ۶ درصد حجمی متانول× ۰/۸- مگاپاسکال تنش خشکی با میانگین ۷۳/۸۴ مشاهده گردید (شکل ۱۱). این نتایج با یافته‌های میارصادقی و همکاران (Miar Sadeghi *et al*., 2010) مبنی بر افزایش شاخص بنیه بذر کلزا در پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک تحت تنش خشکی مطابقت داشت. هم‌چنین این نتایج با یافته‌های رامبرگ و همکاران (Ramberg *et al*., 2002) مبنی بر افزایش شاخص بنیه بذر کلزا در پیش‌تیمار با متانول هم‌خوانی داشت. با افزایش تنش خشکی ناشی از



شکل ۱۰- اثر متقابل اسید سالیسیلیک و متانول بر شاخص بنیه بذر کلزا

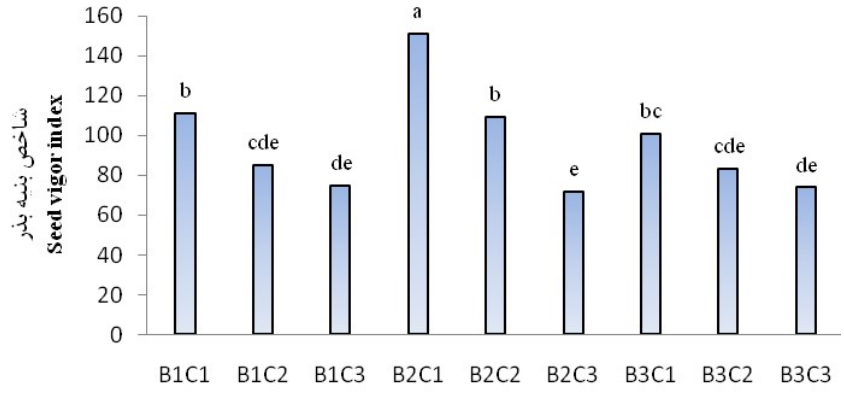
Figure 10- Interaction of salicylic acid and methanol on seed vigor index of rapeseed

A_1: سطح صفر میلی مولار اسید سالیسیلیک، A_2: سطح ۰/۷ میلی مولار اسید سالیسیلیک، A_3: سطح ۱/۴ میلی مولار اسید سالیسیلیک، B_1: سطح صفر درصد حجمی متانول، B_2: سطح ۳ درصد حجمی متانول، B_3: سطح ۶ درصد حجمی متانول.

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

A_1: level 0 mM salicylic acid, A_2: level 0.7 mM salicylic acid, A_3: 1.4 mM salicylic acid level, B_1: Level 0% by volume of methanol, B_2: level 3% methanol, B_3: Level 6% methanol.

Means with similar letters are not significantly different at 5% probability level.



شکل ۱۱- اثر متقابل متانول و تنش خشکی بر شاخص بنیه بذر کلزا

Figure 11- Interaction methanol and drought stress on seed vigor index of rapeseed

B_1: سطح صفر درصد متانول، B_2: سطح ۳ درصد متانول، B_3: سطح ۶ درصد متانول، C_1: سطح تنش خشکی 0 MPa، C_2: سطح تنش خشکی -0.4 MPa ، C_3: سطح تنش خشکی -0.8 MPa

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

B_1: Level 0% methanol, B_2: level 3% methanol, B_3: level 6% methanol, C_1: level drought stress 0 MPa, C_2: level drought stress -0.4 MPa, C_3: levels drought stress -0.8 MPa.

Means with similar letters are not significantly different at 5% probability level.

اعمال پلی اتیلن گلایکول شاخص بنیه بذر ارقام مختلف کلزا کاهش می‌یابد (Aghighi Shahverdikandi *et al*., 2011).

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده از این آزمایش، افزایش تنش خشکی ناشی از پلی اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ بر کلیه صفات جوانه‌زنی کلزا رقم هایولا ۴۰۱ تأثیر کاهنده‌ای داشت. پیش‌تیمار بذور با اسید سالیسیلیک و غلظت ۳ درصد حجمی متانول در کاهش اثرات تنش خشکی مؤثر بود. در غلظت ۶ درصد حجمی متانول کلیه صفات جوانه-زنی کلزا رقم هایولا ۴۰۱ نسبت به شاهد کاهش نشان دادند که دلیل آن را می‌توان به سمیت متانول در غلظت‌های بالا نسبت داد. به‌طورکلی پیش‌تیمار بذور با غلظت‌های ۰/۷ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و ۳ درصد حجمی متانول و اثر متقابل این دو سطح کلیه صفات جوانه‌زنی کلزا (رقم هایولا ۴۰۱) را تحت هر دو شرایط مطلوب و اعمال تنش خشکی بهبود بخشید. با توجه به نتایج این مطالعه پیشنهاد می‌شود که تحت شرایط تنش خشکی پیش‌تیمار بذور کلزا رقم هایولا ۴۰۱ با غلظت‌های بهینه‌ی اسید سالیسیلیک و متانول انجام گیرد.

سپاسگزاری

در اینجا از اساتید خوبم دکتر عیسوند و دکتر اکبری که من را در انجام این پژوهش یاری کردند تشکر و قدردانی می‌کنم.

منابع

Aghighi Shahverdi kandi, A., Tobeh, A., Jahanbakhsh, S. and Rastegar, Z. 2011. The study of germination index of canola cultivars for drought resistance. International Journal of Agronomy and Plant Production, 2(3): 89-95. (In Persian)**(Journal)**

Agrawal, R. L. 2004. Seed technology. Oxford and IBH Publishing Co. Ltd New Delhi, Pp: 217-242. **(Book)**

A-Khan, W., Prithiviraj, B. and Smith, D. L. 2003. Photosynthetic response of corn and soybean to foliar application of salicylates. Journal of Plant Physiology, 160: 485-492. **(Journal)**

Alivand, R., Tavakolafshari, R. and Sharifzade, F. 2012. Effect of gibberellic acid, salicylic and ascorbic acid on seed germination characteristics of rapeseed crumbling. Iranian Journal of Field Crop Science, 43(4): 561-571. (In Persian)**(Journal)**

Askari Nejad, H. 2013. The effects of seed priming techniques in improving germination and early seedling growth of *Aeluropus macrostachys*. International of Journal Advanced Biological and Biomedical Research, 1: 86-95. (In Persian)**(Journal)**

Czabator, F. J. 1962. Germination value: an index combining speed and completeness of pine seed germination. Forest Science, 8: 386-396. **(Journal)**

Daneshmand, A., Nikkhah Kouchaksaraei, H., Goldoust Khorshidi, H. and Moradpour, S. 2013. The study quality and quantity yield Canola cultivar Hyola 401 in condition different levels consumable nitrogen and plant density. Journal of Crop Sciences, 4(16): 103-116. (In Persian)**(Journal)**

Eisvand, H. R., Tavakkol Afshari, R., Sharif Zadeh, F. and Maddah Arefi, H. 2008. Improving the physiological seed quality deterioration in tall wheat grass (*Agropyron elongatum* Host) using hormonal priming for stress and non-stress conditions. Iranian Journal of Field Crop Sciences, 39(1): 53-65. (In Persian)**(Journal)**

Ellis, R. H. and Roberts, E. H. 1981. The quantification of aging and survival in orthodox seeds. Journal of Seed Science and Technology, 9: 373-409. **(Journal)**

Farooq, M., Basra, S., Tauseef, M. A., Rehman, H. and Munir, H. 2012. Priming with ethanol, ascorbate and salicylate enhances the germination and early seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.). Pakistan Journal of Agricultural Science, 44: 30-39. **(Journal)**

Fateh, E., Jiriaii, M., Shahbazi, S. and Jashni, R. 2012. Effect of salicylic acid and seed weight on germination of Wheat (CV. BCRoshan) under different levels of osmotic stress. European Journal of Experimental Biology, 2(5): 1680-1684. (In Persian)**(Journal)**

Fathi, G., Moradi, M. and Naderi, A. 2011. Physiology of Rape. Chamran University Press, 248P. (In Persian)**(Book)**

Faver, K. L. and Gerik, T. J. 1996. Foliar-applied methanol effects on cotton (*Gossypium hirsutum* L.) gas exchange and growth. Field Crops Research, 47(2): 227-234. **(Journal)**

Hanan, E. D. 2007. Influence of salicylic acid on stress tolerance during seed germination of *Triticum aestivum* and *Hordeum vulgare*. Advances in Biological Research, 1: 40-48. **(Journal)**

Holland, M. A. 1997. Occams razor applied to hormonology. Are cytokinins produced by plants? Plant Physiology, 115: 865-868. **(Journal)**

Hossein Zadeh, R., Salimi, A. and Ganjali, S. R. 2013. Effect of methanol on some characteristics associated with the roots of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Environmental Stresses in Crop Sciences, 17: 150-139. (In Persian)**(Journal)**

International Rules for Seed Testing. 2010. International Seed Testing Association, Zurich, Switzerland, Pp: 39-48. **(Handbook)**

International Seed Testing Association. 2009. International rules for seed testing. Journal of Seed Science Technology, 24: 155- 202. **(Journal)**

Mazaheri Tirani, M. and Kalantari, I. 2006. Evaluation of three factors salicylic acid, ethylene and drought and their interaction on seed germination of canola (*Brassica napus* L.). Iranian Journal of Biology, 19(4): 408-418. (In Persian)**(Journal)**

Mehrafarin, A., Naghdi Badi, H., Noormohammadi, G., Zand, E., Rezazadeh, Sh. and Qaderi, A. 2011. Effects of environmental factors and methanol on germination and emergence of Persian Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). African Journal of Agricultural Research, 6(19): 4631-4641. **(Journal)**

Miar Sadeghi, S., Shekari, F., Fotovet, R. and Zangani, E. 2010. The effect of priming by salicylic acid on vigor and seedling growth of canola (*Brassica napus*) under water deficit condition. Journal of Plant Biology, 6: 57-70. (In Persian)**(Journal)**

Michel, B. E. and Kaufmann, M. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. Journal of Plant Physiology, 51: 914-916. **(Journal)**

Mohammadi, G. R. and Amiri, F. 2010. The effect of priming on seed performance of canola (*Brassica napus* L.) under drought stress. American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science, 9(2): 202-207. (In Persian)**(Journal)**

Nadali, I., Paknezhad, F., Moradi, F. and Vazan, S. 2010. Effect of methanol on yield and some quality characteristics of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) cv. Rasoul in drought and non-drought stress conditions. Journal of Seed and Plant Improvement, 26: 95-108. (In Persian)**(Journal)**

Rafie, H., Mehrafarin, A. and Naghdibadi, H. A. 2011. Responses of germination Marigold (*Calendula officinalis* L.) in the application of aqueous solutions of methanol and ethanol. Second National Conference of Seed Science and Technology, Islamic Azad University, Mashhad, 4 to 5 November, 1706-1711. (In Persian)**(Conference)**

Ramberg, H. A., Bradley, J., Olson, J., Nishio, J. N., Markwell, J. and Osterman, J. C. 2002. The role of methanol in promoting plant growth: An update. Rev. Plant Biochemical and Biotechnology, 1: 113-124. **(Journal)**

Ramezani, M. and Rezaei soukhtabndani, R. 2012. Comparison of different time and priming concentration on the seedling charachteristics of winter rape seed Sarigol. Journal of Agronomy and Plant Breeding, 8(1): 145-159. (In Persian)**(Journal)**

Zebarjadi, A., Soheyli Khah, Zh., Ghasempour, H. and Vaisipour, A. 2012. Effects of drought-indused stress by PEG6000 on physiological and morphological traits of safflower (*Carthamus tinctorius*) seed germination in order to selection of drought tolerant genotypes. Iranian Journal of Biology, 25(2): 252-263. (In Persian)**(Journal)**

Zhang, M., Wang, Z., Yuan, L., Yin, C., Cheng, J., Wang, L., Huang, J. and Zhang, H. 2012. Osmopriming improves tomato seed vigor under aging and salinity stress. African Journal of Biotechnology, 11(23): 6305-6311. **(Journal)**

The interaction effect of seed priming by salicylic acid and methanol on germination traits of rapeseed (cultivar Hyola 401) under drought stress

Hossein Kamaei [1]*, HamidReza Eisvand[2], Naser Akbari[3]

Received: January 21, 2016 Accepted: July 3, 2016

Abstract

To study the interaction effect of seed priming with salicylic acid and methanol on germination traits of rapeseed (*Brassica napus* cv. Hyola 401) under drought stress, a factorial experiment was carried out based on a completely randomized design with three replications. The experimental treatments included seed priming with salicylic acid at three levels 0, 0.7 and 1.4 mM, and methanol at three levels of 0, 3% and 6% volume. Polyethylene glycol 6000 at three levels of 0 (control), -0.4 and -0.8 Mpa was used for drought stress. The traits measured in this experiment was Germination percent, Mean germination time, germination rate, radicle length, plumule length, seedling length, seedling dry weight, and seed vigor. Results showed that the interaction of salicylic acid and methanol on all rapeseed germination traits was significant except from the radicle length ($P<0.01$). The interaction of salicylic acid and drought stress on mean germination time, germination rate and plumule length traits rapeseed were significant ($P<0.01$). The interaction of methanol and drought stress on all rapeseed germination traits was significant except from the germination percentage ($P<0.01$). Based on the results of this experiment, it is concluded that the integrated treatment of seed priming with 0.7 mM salicylic acid and 3% volume of methanol concentration, can improve all germination traits of canola under both favorable conditions and drought stress.

Keywords: **Canola; Drought stress; Priming**

How to cite this article

Kamaei, H., Eisvand, H. R. and Akbari, N. 2018. The interaction effect of seed priming by salicylic acid and methanol on germination traits of rapeseed (*Brassica napus* cv. Hyola 401) under drought stress. Iranian Journal of Seed Science and Research, 4(4): 101-114. (In Persian)**(Journal)**

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. Ph.D Student of Agronomy, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran
2. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran
3. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran

*Corresponding author Email: e.kamaei61@yahoo.com