

اثر تنش خشکی و محلول پاشی تنظیم کننده های رشد بر محتوای رنگیزه های فتوسنتزی و عملکرد دانه
کلزا (*Brassica napus* L.) رقم هایولا ۴۰۱
Effect of drought stress and foliar application of growth regulators on
photosynthetic pigments and seed yield of rapeseed (*Brassica napus* L. cv. Hyola 401)

سید احمد کلانتر احمدی^۱، علی عبادی^۲، جهانفر دانشیان^۳، سید عطاءاله سیادت^۴
و سدابه جهانبخش^۵

چکیده

کلانتر احمدی، س. ا.، ع. عبادی، ج. دانشیان، س. ع. سیادت و س. جهانبخش. ۱۳۹۵. اثر تنش خشکی و محلول پاشی تنظیم کننده های رشد بر محتوای رنگیزه های فتوسنتزی و عملکرد دانه کلزا (*Brassica napus* L.) رقم هایولا ۴۰۱. مجله علوم زراعی ایران. ۱۸ (۳): ۲۱۷-۱۹۶.

شرایط نامساعد محیطی باعث ایجاد تنش در گیاهان و اختلال در رشد و نمو و بقای آنها می شود. تنظیم کننده های رشد باعث بهبود تحمل گیاه نسبت به شرایط نامطلوب محیطی می شوند، بنابراین به منظور بررسی اثر تنش خشکی و مصرف مواد تنظیم کننده رشد بر محتوای کلروفیل و عملکرد دانه کلزا رقم هایولا ۴۰۱، آزمایشی به صورت کرت های یک بار خرد شده در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار به مدت دو سال زراعی (۹۳-۱۳۹۱) در مرکز تحقیقات کشاورزی صفی آباد اجرا شد. عامل اصلی در سه سطح: ۱- آبیاری پس از ۷۰ میلی متر تبخیر از تشتک به عنوان شاهد (آبیاری مطلوب)، ۲- قطع آبیاری در مرحله گلدهی (تنش شدید)، ۳- قطع آبیاری در مرحله خورجین دهی (تنش ملایم) و عامل فرعی نیز در ۱۰ سطح: اسید آسکوربیک با غلظت ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم در لیتر، اسید سالیسیلیک با غلظت ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میکرومول، متانول با غلظت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی و شاهد (محلول پاشی با آب مقطر) بودند. نتایج نشان داد که قطع آبیاری در مرحله گلدهی و خورجین دهی عملکرد دانه را به ترتیب ۳۸ و ۱۵ درصد کاهش داد. اثر متقابل قطع آبیاری و محلول پاشی نشان داد که حداکثر عملکرد دانه (۴۴۹۳ کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری مطلوب با محلول پاشی ۳۰۰ میلی گرم در لیتر اسید آسکوربیک و حداقل عملکرد دانه (۱۹۶۸ کیلوگرم در هکتار) نیز در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی و محلول پاشی با آب مقطر (شاهد) بدست آمد. محلول پاشی ۳۰۰ میلی گرم در لیتر اسید آسکوربیک باعث بهبود عملکرد دانه در تیمار رطوبتی مطلوب و قطع آبیاری در مرحله خورجین دهی گردید. با افزایش شدت تنش خشکی، میزان کلروفیل a برگ ها کاهش و میزان کلروفیل b افزایش یافت. اثر متانول (۳۰ درصد) بر افزایش تجمع پرولین در تیمارهای تنش ملایم و شدید خشکی بیشتر از اسید آسکوربیک و اسید سالیسیلیک بود. نتایج آزمایش نشان داد که محلول پاشی تنظیم کننده های رشد از طریق بهبود تجمع پرولین و میزان رنگیزه های فتوسنتزی و اجزای عملکرد، باعث افزایش عملکرد دانه کلزا در شرایط تنش خشکی شدند. در شرایط آبیاری مطلوب و تنش ملایم خشکی کاربرد اسید آسکوربیک (۳۰۰ میلی گرم در لیتر) و تحت شرایط تنش شدید خشکی کاربرد متانول (۳۰ درصد) از بیشترین نقش در بهبود عملکرد دانه برخوردار بودند.

واژه های کلیدی: پرولین، خورجین، روغن دانه، کاروتنوئیدها، کلزا و کم آبیاری.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۲۴ این مقاله مستخرج از پروژه تحقیقاتی مصوب به شماره ۹۲۲۰۳-۷۱-۲ می باشد.

۱- پژوهشگر مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ایران.

عضو انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: Kalantar.ahmadi@gmail.com)

۲- استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی

۳- دانشیار موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر

۴- استاد دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

۵- دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی

مقدمه

گیاهان بر اساس راهکارهای سازگاری به تنش‌های غیرزنده محیطی از قبیل شوری، خشکی، سرما و گرما و تاثیر آنها بر رشد و تولید، دسته‌بندی می‌شوند (Gill et al., 2003). سازگاری گیاهان بوسیله سازوکارهای مختلفی از جمله تغییر در مورفولوژی و الگوی نمو و واکنش‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی آنها انجام می‌شود (Strain and Fletcher, 2003). القای تحمل به خشکی در گیاهان از طریق مصرف اسید آسکوربیک می‌تواند کاربرد زیادی در کشاورزی داشته باشد (Hamada, 2000). باکری و همکاران (Bakry et al., 2013) در آزمایشی اثر سطوح تنش خشکی (۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد آبیاری) و اسید آسکوربیک (۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ میلی گرم در لیتر و شاهد) بر گندم را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که بیشترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری ۸۰ درصد حاصل گردید که با تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری اختلاف معنی‌داری نداشت. اثر مثبت مصرف اسید آسکوربیک بر بهبود تحمل کلزا به خشکی و افزایش رشد آن نیز گزارش شده است (Shafiq et al., 2014). سطوح بالاتر اسید آسکوربیک در گیاه گندم اثر معنی‌داری بر افزایش عملکرد دانه، عملکرد کاه، میزان پروتئین، عملکرد پروتئین، ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله و کارایی مصرف آب داشت (Amin et al., 2008). در بررسی‌های انجام شده روی گیاه کلزا نیز گزارش شده است که محلول پاشی اسید آسکوربیک (۲۰۰ میلی گرم در لیتر) باعث افزایش تجمع پرولین، رنگدانه‌ها و افزایش رشد و عملکرد دانه کلزا شد (Sakr and Arafa, 2009). گزارش شده است که اسید آسکوربیک فراوان‌ترین آنتی اکسیدانت است که از سلول‌های گیاه در مقابل عوامل اکسید کننده حفاظت کرده و بر تقسیم و تمایز سلول و فتوسنتز نیز اثر مثبت دارد (Bolikhina et al., 2003). اسید سالیسیلیک یک هورمون طبیعی گیاهی است

که در تنظیم فرایندهای فیزیولوژیک گیاهان زراعی (Wang et al., 2010) اثر داشته و توان مقاومتی گیاه نسبت به تنش‌های محیطی را افزایش می‌دهد (Kolupaev et al., 2011). اسید سالیسیلیک بر بسیاری از صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاهان اثر داشته (Maghsoudi and Arvin, 2010) و باعث القای سازوکارهای دفاعی در برابر تنش‌های زنده و غیر زنده می‌شود. نتایج برخی مطالعات نشان داده است که محلول پاشی گیاه خردل ۳۰ روزه با اسید سالیسیلیک (۱۰^{-۵}، ۱۰^{-۴} و ۱۰^{-۳} مولار) باعث افزایش تعداد خورجین و عملکرد دانه شده و حداکثر عملکرد دانه و تعداد خورجین در تیمار ۱۰^{-۵} مولار مشاهده شد (Fariduddin et al., 2003).

نتایج آزمایش‌های متعدد نشان داده است که افزایش میزان دی اکسید کربن هوا باعث بهبود عملکرد (Devlin et al., 1994)، تسریع گلدهی (Fisher et al., 1996) و تجمع بیشتر کربوهیدرات‌ها (Abdel-Latif et al., 1996) در گیاهان می‌شود. متانول می‌تواند منبع کربن جایگزین مناسبی برای گیاهان باشد. بر اساس نتایج برخی آزمایشات مشخص گردید که گیاهان تیمار شده با متانول از آماس سلولی بیشتر، رشد بالاتر و عملکرد بیشتری در مقایسه با شاهد (بدون تیمار) برخوردار بودند (Nonomura and Benson, 1992). اثر مثبت متانول بر رشد برخی گونه‌های گیاهی سه کربنه از جمله گندم و جو (Nonomura and Benson, 1992; Bhattacharya et al., 1995)، ماش (Albrecht et al., 1995)، گوجه فرنگی (Rowe et al., 1994)، پنبه (Makhdom et al., 2002)، چغندر قند (Nadeali et al., 2010) و نعنای (Mitchell et al., 1994) نیز گزارش شده است.

این آزمایش با هدف ارزیابی اثر محلول پاشی با مواد تنظیم کننده رشد بر واکنش گیاه کلزا در شرایط تنش خشکی طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به مدت دو سال زراعی (۹۳-۱۳۹۱) در مرکز تحقیقات کشاورزی صفی آباد با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۲ دقیقه، طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه و ارتفاع ۸۲ متر از سطح دریا به صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی آبیاری در سه سطح: ۱- آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک به عنوان شاهد (آبیاری مطلوب: S1) (Kalantar Ahmadi et al., 2013)، ۲- قطع آبیاری در مرحله گلدهی (تنش شدید) (S2) و ۳- قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی (تنش ملایم) (S3) بود. در تیمارهای قطع آبیاری تا پایان دوره رشد آبیاری انجام نگردید. ثبت مراحل فنولوژیک بر اساس سیستم کدبندی (Sylvester-Bradley and Makepeace, 1984) انجام شد. عامل فرعی شامل تیمارهای محلول پاشی در ۱۰ سطح شامل: اسید آسکوربیک با غلظت‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر (به ترتیب معادل ۵۶۸، ۱۱۳۶ و ۱۷۰۴ میکرومول)، اسید سالیسیلیک با غلظت‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میکرومول، متانول با غلظت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی و شاهد (محلول پاشی با آب مقطر) در ۳ تکرار منظور شد. محلول پاشی در دو مرحله غنچه‌دهی و شروع گلدهی انجام شد. محلول پاشی با استفاده از سمپاش پشتی کتابی با نازل نوع سیلابی انجام شد. حجم پاشش برای هر کرت فرعی سه لیتر بود و تهیه محلول تیمارهای مورد نظر با آب مقطر انجام شد. رقم کلزای مورد آزمایش نیز Hyola401 (شاهد منطقه) بود. خاک محل آزمایش دارای بافت لومی -رسی با اسیدیته ۷/۶۴ و هدایت الکتریکی ۰/۵۷ دسی زیمنس بر متر بود. طبق نتایج حاصل از تجزیه خاک میزان مواد آلی ۰/۷۲ درصد، فسفر ۸/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و پتاسیم خاک ۱۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم (از منبع سولفات پتاسیم) و ۶۹ کیلوگرم

در هکتار فسفر خالص (از منبع سوپر فسفات تریپل) به صورت پایه مصرف گردید. کود نیتروژن مصرفی نیز به میزان ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار (از منبع اوره) بود که در سه مرحله (یک سوم قبل از کاشت، یک سوم در مرحله شروع ساقه رفتن و یک سوم در اوایل گلدهی) بطور مساوی به خاک داده شد (Kalantar Ahmadi and Fathi, 2009; Kalantar Ahmadi et al., 2014a). جهت کنترل علف‌های هرز قبل از کاشت علف کش ترفلان به میزان دو لیتر در هکتار به خاک افزوده شده و سپس با استفاده از فاروئر ردیف‌های با عرض ۷۵ سانتیمتر در مزرعه ایجاد شد. آرایش کاشت بصورت دو ردیف روی پشته با فواصل ۷۵ سانتیمتر با تراکم ۸۰ بوته در مترمربع بود (Kalantar Ahmadi and Fathi, 2009). هر کرت فرعی شامل چهار پشته شش متری بود و هر کرت فرعی نیز با یک پشته بصورت نکاشت از کرت فرعی کناری جدا گردید. عملیات داشت و کنترل دستی علف‌های هرز در طول فصل رشد برحسب نیاز انجام گرفت. اندازه‌گیری محتوای پرولین، کلروفیل و کاروتنوئیدها نیز در مرحله شروع پر شدن دانه در برگ‌های توسعه یافته انتهایی انجام شد. سنجش میزان کلروفیل بر اساس روش آرنون (Arnon, 1967). اندازه‌گیری میزان پرولین طبق روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973) انجام شد. برای اندازه‌گیری صفات تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه، تعداد ۱۰ بوته بصورت تصادفی انتخاب و صفات مذکور اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری تعداد دانه در خورجین، ۱۰۰ عدد خورجین از ۱۰ بوته انتخابی جدا شده و دانه‌های آنها با استفاده از دستگاه بذر شمار الکتریکی شمارش شده و بعد از میانگین‌گیری، تعداد دانه در خورجین محاسبه شد. پس از حذف حاشیه (دو خط کناری هر کرت و یک متر ابتدا و انتهای هر کرت)، محصول ۴/۸ متر مربع از هر کرت برداشت و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری میزان روغن دانه از هر تیمار یک نمونه ۳۰

گرمی دانه انتخاب و با استفاده از روش NMR، میزان روغن اندازه گیری شد.

جهت ارزیابی یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی آزمون بارتلت انجام گرفت و نتایج کای اسکور نشان دهنده یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی در دو سال بود. تجزیه آماری با استفاده از نرم افزار SAS 9 انجام و مقایسه میانگین ها با استفاده از روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه مرکب داده ها نشان داد که اثر ساده سال، تنش خشکی، محلول پاشی و اثر متقابل سال $\times$ تنش خشکی و تنش خشکی $\times$ محلول پاشی بر میزان کلروفیل a و b معنی دار بود. مقایسه میانگین های مربوط به اثر متقابل تنش خشکی $\times$ محلول پاشی در دو سال آزمایش نشان داد که هر چند محلول پاشی مواد تنظیم کننده رشد در مقایسه با شاهد در شرایط آبیاری مطلوب، تنش ملایم و شدید افزایش میزان کلروفیل a را بدنال داشت، اما این افزایش معنی دار نبود و می توان نتیجه گرفت که معنی دار شدن اثر متقابل تیمارها بیشتر ناشی از اثر تنش خشکی بوده است (شکل ۱). مقایسه میانگین های مربوط به اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی با مواد تنظیم کننده رشد در دو سال آزمایش نیز نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل b (۰/۴۳۳ میلی گرم بر گرم وزن تر) به تیمار تنش شدید خشکی (قطع آبیاری در مرحله گلدهی) و محلول پاشی با متانول (۳۰ درصد) اختصاص داشت. کمترین مقدار کلروفیل b (۰/۱۶ میلی گرم بر گرم وزن تر) نیز در تیمار آبیاری مطلوب و محلول پاشی با آب مقطر مشاهده گردید (شکل ۲).

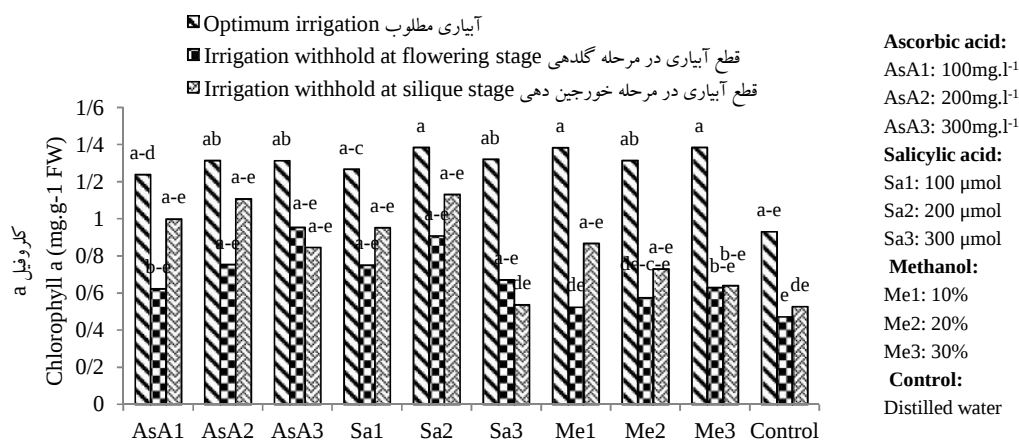
در تیمار تنش رطوبتی شدید (قطع آبیاری در مرحله گلدهی) اثر محلول پاشی با متانول بر میزان

کلروفیل a در مقایسه با اسید آسکوربیک و اسید سالیسیلیک کمتر بود (شکل ۱)، اما افزایش غلظت متانول (۳۰ درصد) در شرایط قطع آبیاری در مرحله گلدهی افزایش میزان کلروفیل b را بدنال داشت (شکل ۲). گزارش شده است که بدنال تنش خشکی آناتومی برگ نیز تغییر یافته و برگ ها کوچک تر و ضخیم تر می شوند و در نتیجه غلظت کلروفیل ها بویژه کلروفیل b و کاروتنوئیدها در واحد سطح برگ بیشتر می شود. بدین ترتیب ممکن است میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ کمتر تحت تاثیر قرار گیرد، اما میزان فتوسنتز در برگ و کل گیاه کاهش می یابد (Kalantar Ahmadi et al., 2014b). با بیشتر شدن غلظت اسید آسکوربیک در تیمارهای رطوبتی مطلوب و قطع آبیاری در مرحله گلدهی، محتوای کلروفیل های a و b برگ افزایش یافت.

نتایج برخی آزمایش ها نشان داده است که برگ های تحت تنش آب در مقایسه با شرایط مطلوب، حاوی مقادیر کمتری کلروفیل a و b و مجموع رنگدانه ها هستند (Sawhney and Singh, 2002). به نظر می رسد که افزایش میزان کلروفیل در اثر محلول پاشی اسید آسکوربیک مربوط به تاثیر آن در پاکسازی گونه های فعال اکسیژن باشد. نتایج برخی آزمایش ها نیز نشان داده است که این تاثیر با محلول پاشی اسید آسکوربیک (۲۰۰ میلی گرم در لیتر) بهبود یافته است (Khalid Hussein and Qader Khursheed, 2014). افزایش غلظت اسید سالیسیلیک (۳۰۰ میکرو مول) در مقایسه با سایر غلظت های آن باعث کاهش میزان کلروفیل های a و b در تمام تیمارهای رطوبتی گردید (شکل های ۱ و ۲). اسید سالیسیلیک از پتانسیل بالایی در ایجاد واکنش های متابولیکی و تاثیر بر مولفه های فتوسنتزی و روابط آبی گیاه برخوردار است. نتایج مشابه در مورد گیاه خردل نیز نشان داد که غلظت های پایین (۱۰-۵ مولار) اسید سالیسیلیک میزان کلروفیل را بطور معنی داری افزایش داد، اما غلظت های بالاتر، اثر

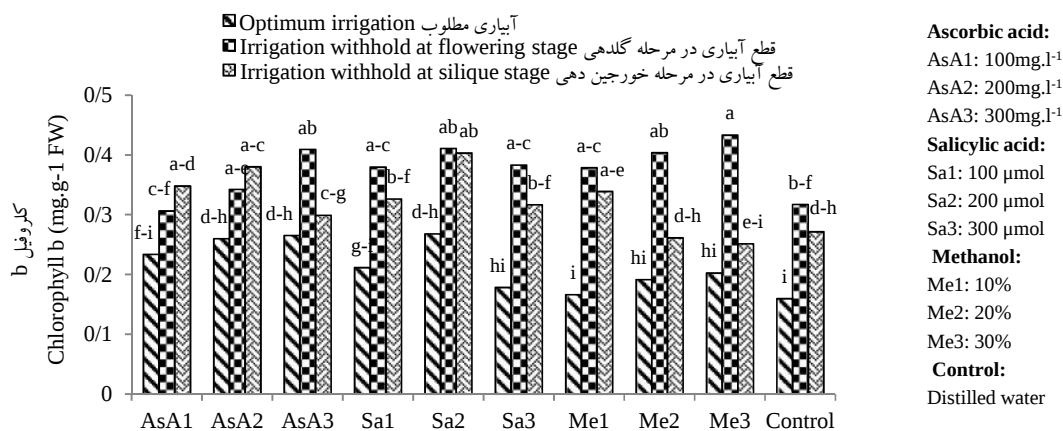
با متابولیسم نیترات داخلی بافت‌ها و بیوسنتز کلروفیل باشد (Shi *et al.*, 2006). افزایش مقدار کلروفیل می‌تواند با اکسیداسیون متانول در شرایط کمبود آب مرتبط باشد. از آنجا که گیاه در شرایط کمبود آب با تنش اکسیداتیو روبرو می‌شود، در چنین شرایطی متانول به فرمالدئید اکسید می‌شود که این موضوع تا حد زیادی توسط کاتالاز انجام می‌شود. بعبارت دیگر آنزیم کاتالاز به‌طور غیر مستقیم از تخریب کلروفیل جلوگیری می‌کند (Nadeali *et al.*, 2011).

بازدارنده داشتند (Fariduddin *et al.*, 2003). محلول پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط تنش کم آبی باعث افزایش میزان کلروفیل b گردید. این موضوع با یافته‌های ادریس و همکاران (Idrees *et al.*, 2011) مطابقت داشت. کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی ممکن است بدلیل ناپایداری کمپلکس‌های پروتئینی و تخریب کلروفیل بوسیله افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز باشد (El-Tayeb, 2005). اثر افزایشی اسید سالیسیلیک بر رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌تواند در ارتباط



شکل ۱- اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی مواد تنظیم کننده رشد بر محتوای کلروفیل a کلزا (۹۳-۱۳۹۱)

Fig. 1. Interaction effect of drought stress × foliar application of growth regulators on chlorophyll_a content of rapeseed (2012-14)



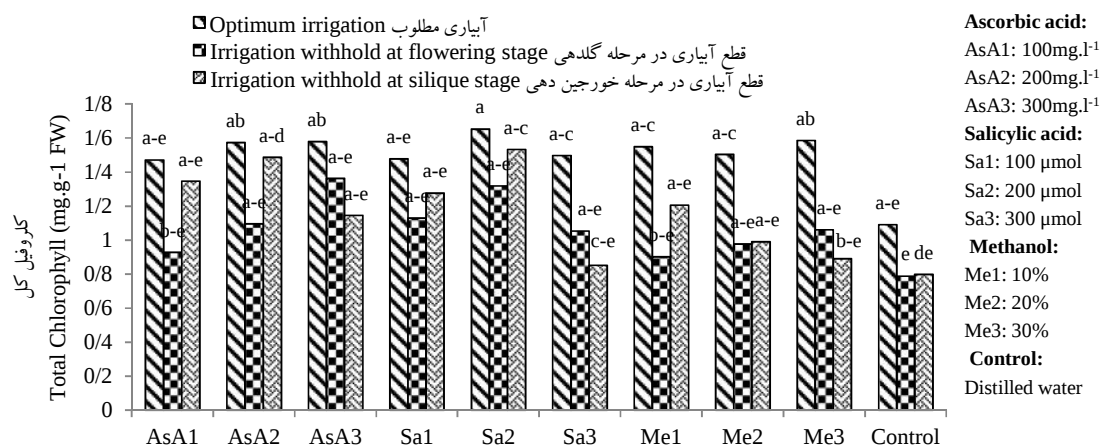
شکل ۲- اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی مواد تنظیم کننده رشد بر محتوای کلروفیل b کلزا (۹۳-۱۳۹۱)

Fig. 2. Interaction effect of drought stress × foliar application of growth regulators on chlorophyll_b content of rapeseed (2012-14)

گیاه متفاوت بود و محلول پاشی اسید سالیسیلیک (۲۰۰ میکرومول) و اسید آسکوربیک (۲۰۰ میلی گرم در لیتر) اثر بهتری در جلوگیری از تاثیر سوء تنش خشکی بر میزان کلروفیل کل داشتند.

تنش کم آبی موجب کاهش میزان کلروفیل شد و غلظت های بالاتر اسید آسکوربیک در شرایط تنش ملایم (قطع آبیاری در مرحله خورجین دهی) میزان کلروفیل کل گیاه را کاهش داد. احتمالاً غلظت های بالای اسید آسکوربیک در چنین شرایطی بر میزان کلروفیل اثر سمی دارد. ابراهیمیان و بایوردی نیز گزارش کردند که غلظت های ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار اسید آسکوربیک باعث کاهش مقدار کلروفیل می شود (Ebrahimian and Bybordi, 2012). کاهش رنگدانه های فتوسنتزی (کلروفیل و کاروتنوئیدها) در شرایط تنش ممکن است بدلیل ناپایداری کمپلکس های پروتئینی و تخریب کلروفیل بوسیله افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز باشد (El-Tayeb, 2005). اثر افزایشی اسید سالیسیلیک بر رنگدانه های فتوسنتزی می تواند در ارتباط با تاثیر آن بر تحریک فعالیت آنزیم رویسکو و فتوسنتز باشد (Idrees et al., 2011). با توجه به اینکه

نتایج تجزیه مرکب داده ها نشان داد که اثر ساده سال، تنش خشکی، محلول پاشی و همچنین اثر متقابل سال × تنش خشکی و تنش خشکی × محلول پاشی بر میزان کلروفیل کل معنی دار بود، اما اثر متقابل سال × محلول پاشی و سال × تنش خشکی × محلول پاشی معنی دار نبود. مقایسه میانگین های مربوط به اثر متقابل تنش خشکی × محلول پاشی در دو سال آزمایش نشان داد که بالاترین مقدار کلروفیل کل (۱/۶۵ میلی گرم بر گرم وزن تر) در شرایط مطلوب رطوبتی و محلول پاشی اسید سالیسیلیک (۲۰۰ میکرومول) بدست آمد. کمترین میزان کلروفیل کل (۰/۷۸ میلی گرم بر گرم وزن تر) نیز در تیمار تنش خشکی شدید (قطع آبیاری در مرحله گلدهی) و محلول پاشی با آب مقطر مشاهده شد (شکل ۳). با تشدید تنش خشکی (قطع آبیاری در مرحله گلدهی) از میزان کلروفیل کل کلیه تیمارهای آزمایشی کاسته شد، اما میزان این کاهش در تیمار محلول پاشی اسید آسکوربیک ۳۰۰ میلی گرم در لیتر و اسید سالیسیلیک (۲۰۰ میکرومول) کمتر بود، اما در شرایط تنش ملایم خشکی (قطع آبیاری در مرحله خورجین دهی) واکنش



شکل ۳- اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی مواد تنظیم کننده رشد بر محتوای کلروفیل کل کلزا (۹۳-۱۳۹۱)

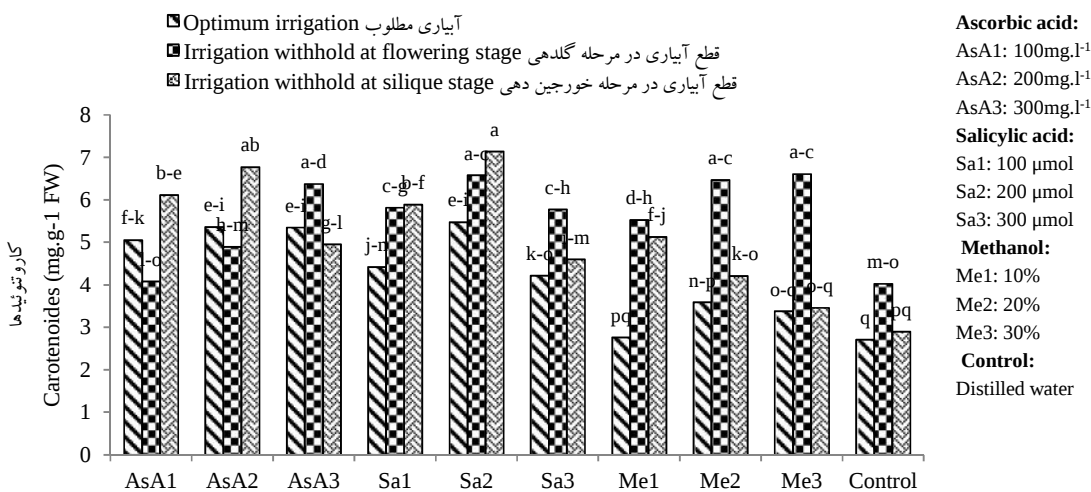
Fig. 3. Interaction effect of drought stress × foliar application of growth regulators on total chlorophyll content of rapeseed (2012-14)

میانگین‌های مربوط به اثر متقابل تنش خشکی × محلول پاشی در دو سال آزمایش نشان داد که حداکثر میزان کاروتنوئیدها (۷/۱۴ میلی گرم بر گرم وزن تر) در تیمار قطع آبیاری در مرحله خورجین دهی و محلول پاشی اسید سالیسیلیک (۲۰۰ میکرومول) و حداقل میزان کاروتنوئیدها (۲/۷۱ میلی گرم بر گرم وزن تر) نیز در تیمار آبیاری مطلوب و محلول پاشی با آب مقطر بدست آمد (شکل ۴). گزارش شده است که محلول پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی باعث افزایش میزان کاروتنوئیدها در شرایط تنش خشکی می‌شود (Idrees *et al.*, 2011). محلول پاشی اسید آسکوربیک نیز هم در شرایط مطلوب و هم در شرایط تنش خشکی می‌تواند از کاهش میزان کاروتنوئیدها جلوگیری کند (Khalid Hussein and Qader Khursheed, 2014).

تجزیه مرکب داده‌های آزمایش حاکی از عدم تاثیر معنی دار سال بر تیمارهای آزمایشی از لحاظ محتوای پرولین بود. میانگین‌های دو ساله مربوط به اثر متقابل

اسید آسکوربیک از فعالیت آنیسی اکسیدانی جهت پاکسازی گونه‌های فعال اکسیژن در شرایط تنش برخوردار است، بنابراین کاهش میزان تخریب کلروفیل دور از انتظار نیست (Ashraf, 2009). تغییرات محتوای کلروفیل گیاه در شرایط مختلف رطوبتی و محلول پاشی متانول متفاوت است. در خصوص اثر متانول بر میزان کلروفیل گیاه نیز گزارشات متفاوتی وجود دارد. نتایج یک آزمایش نشان داد که غلظت‌های متوسط متانول باعث افزایش میزان گیاه سویا شد، ولی غلظت‌های بالاتر کاهش میزان کلروفیل را به همراه داشت (Paknejad *et al.*, 2009)، اما نتایج یک پژوهش دیگر نشان داد که محلول پاشی متانول تاثیری بر فتوسنتز خالص و میزان کلروفیل برگ‌های سویا نداشت (Li *et al.*, 1995).

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که اثر ساده تنش خشکی، محلول پاشی و همچنین اثر متقابل سال × تنش خشکی و تنش خشکی × محلول پاشی بر محتوای کاروتنوئیدها معنی دار بود. مقایسه



شکل ۴- اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی مواد تنظیم کننده رشد بر محتوای کاروتنوئیدهای کلزا (۹۳-۱۳۹۱)

Fig. 4. Interaction effect of drought stress × foliar application of growth regulators on carotenoids content of rapeseed (2012-14)

تنش خشکی و محلول پاشی بر محتوای پرولین نشان‌دهنده افزایش معنی‌دار پرولین در اثر تنش خشکی بود (شکل ۵). بیشترین میزان پرولین (۱/۸ میکروگرم بر گرم وزن تر) در تیمار تنش خشکی شدید و محلول پاشی متانول ۳۰ درصد بدست آمد که البته با تیمار محلول پاشی ۲۰ درصد در یک گروه آماری قرار گرفت. در شرایط رطوبتی مطلوب و تنش شدید، افزایش غلظت اسید آسکوربیک باعث کاهش میزان پرولین گردید، اما در شرایط تنش ملایم (قطع آبیاری در مرحله خورجین دهی)، افزایش تجمع پرولین را بدنبال داشت. بنابراین می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که در شرایط تنش شدید خشکی، محلول پاشی اسید آسکوربیک از بیوستنژ پرولین اضافی جلوگیری می‌کند، اما در شرایط تنش ملایم سازوکار افزایش پرولین به‌منظور حذف گونه‌های فعال اکسیژن، از اولویت برخوردار است (Dolatabadian et al., 2008). افزایش غلظت متانول در کلیه شرایط رطوبتی باعث بیشتر شدن میزان پرولین گردید (شکل ۵).

در شرایط رطوبتی مطلوب و تنش شدید (قطع آبیاری در مرحله گلدهی) افزایش غلظت اسید آسکوربیک از بیوستنژ پرولین جلوگیری کرد، اما در شرایط تنش ملایم، با افزایش غلظت اسید آسکوربیک، میزان تولید پرولین نیز افزایش یافت. الگوی تجمع پرولین در گونه‌های مختلف گیاهی متفاوت بوده و در برخی گیاهان از جمله شاهی نمکی و ترتیزک در شرایط مطلوب، میزان تجمع پرولین افزایش می‌یابد (Murakeözy et al., 2003 Taji et al., 2004) و بسته به شدت تنش، ممکن است میزان تجمع پرولین نیز تغییر یافته و گیاه بجای تجمع پرولین از سازوکارهای دیگری از جمله تجمع سایر متابولیت‌ها و کربوهیدرات‌ها استفاده نماید (Khedr et al., 2003) و استفاده از برخی تنظیم‌کننده‌ها میزان تجمع پرولین را کاهش می‌دهد (Szabados and Savoure, 2010). با توجه به این روند می‌توان چنین اظهار داشت

که افزایش غلظت محلول پاشی اسید آسکوربیک تا حدودی به افزایش تحمل گیاه به تنش کمک کرده و بدین ترتیب گیاه از افزایش میزان سننژ پرولین کاسته و احتمالاً از سازوکارهای دیگری جهت کاهش اثر سوء خشکی استفاده نموده است. در برخی گزارشات به افزایش میزان پرولین در اثر مصرف اسید آسکوربیک اشاره شده است (Khalid Hussein and Qadar Khursheed, 2014). تنش خشکی و محلول پاشی اسید سالیسیلیک، باعث افزایش میزان تجمع پرولین در برگ‌های کلزا شد. نتایج مشابهی نیز توسط سایر محققان گزارش شده است (Ullah et al., 2012; Idrees et al., 2011). بدیهی است که کاربرد اسید سالیسیلیک در گیاه کلزای تحت تنش خشکی موجب افزایش تجمع اسمولیت‌هایی از قبیل پرولین و پروتئین‌های محلول جهت حفظ محتوای آب نسبی می‌شود که حاصل این امر افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی می‌باشد (Ullah et al., 2012). در آزمایش حاضر نیز بالاترین میزان کلروفیل در کلیه تیمارهای آبیاری به محلول پاشی اسید سالیسیلیک (۲۰۰ میکرومولار) اختصاص یافت. در واقع اسید سالیسیلیک از طریق افزایش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی باعث افزایش میزان فتوسنتز و پرولین گردید. در شرایط تنش شدید، پرولین از همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه و کاروتنوئیدها برخوردار بود (جدول ۱)، اما در شرایط تنش ملایم، بین پرولین و سایر صفات مورد مطالعه همبستگی مشاهده نشد (جدول ۲).

تجزیه مرکب داده‌های آزمایش نشان داد که اثر ساده سال، تنش خشکی و محلول پاشی مواد تنظیم‌کننده رشد و همچنین اثر متقابل سال × تنش خشکی و تنش خشکی × محلول پاشی بر تعداد خورجین در بوته معنی‌دار بود. نتایج دو ساله آزمایش نشان داد که قطع آبیاری در مراحل گلدهی و خورجین دهی در مقایسه با

" اثر تنش خشکی و محلول پاشی تنظیم کننده‌های... "

جدول ۱- ضرایب همبستگی بین صفات گیاهی کلزا در تیمار آبیاری مطلوب (۹۳-۱۳۹۱)

Table 1. Correlation coefficients between plant characteristics of rapeseed in optimum irrigation treatment (2012-14)

		عملکرد دانه Seed yield	تعداد خورجین در بوته No. of silique.plant ⁻¹	تعداد دانه در خورجین No. of seed. silique ⁻¹	وزن هزار دانه 1000 seed weight	کلروفیل a Chlorophyll _a	کلروفیل b Chlorophyll _b	کاروتنوئیدها Carotenoids	پرولین Proline	میزان روغن دانه Oil content of seed
Seed yield	عملکرد دانه	1								
No. of silique.plant ⁻¹	تعداد خورجین در بوته	0.41**	1							
No. of seed. silique ⁻¹	تعداد دانه در خورجین	0.44**	0.51**	1						
1000 seed weight	وزن هزار دانه	0.15	0.006	0.21	1					
Chlorophyll _a	کلروفیل a	0.54**	0.48**	0.42**	0.09	1				
Chlorophyll _b	کلروفیل b	0.53**	0.44**	0.46**	0.38	0.54**	1			
Carotenoids	کاروتنوئیدها	0.12	-0.20	-0.02	0.16	-0.05	0.44**	1		
Proline	پرولین	-0.26*	0.04	0.02	0.25	-0.03	-0.05	0.12	1	
Oil content of seed	میزان روغن دانه	0.05	0.32*	0.04	-0.03	-0.15	0.003	0.09	0.18	1

*and**: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively

* و **: به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

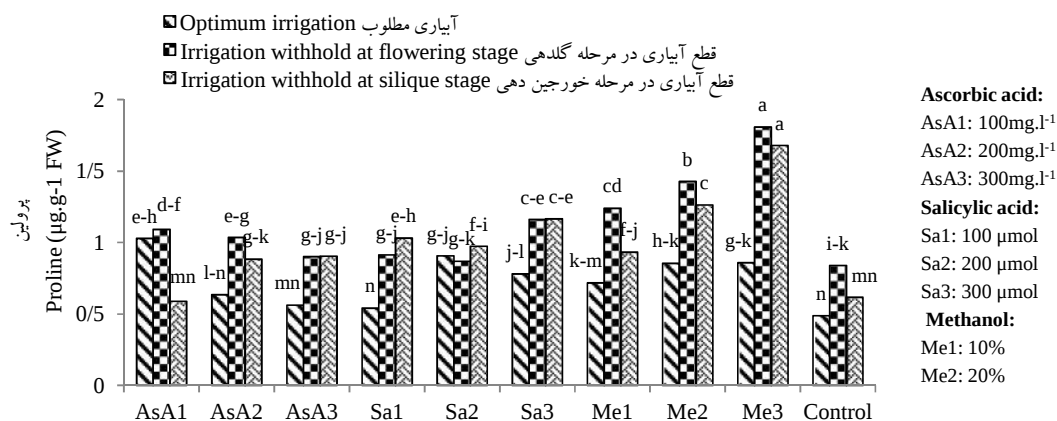
جدول ۲- ضرایب همبستگی بین صفات گیاهی کلزا در تیمار تنش شدید خشکی (۹۳-۱۳۹۱)

Table 2. Correlation coefficients between plant characteristics of rapeseed in severe drought stress treatment (2012-14)

		عملکرد دانه Seed yield	تعداد خورجین در بوته No. of silique.plant ⁻¹	تعداد دانه در خورجین No. of seed. silique ⁻¹	وزن هزار دانه 1000 seed weight	کلروفیل a Chlorophyll _a	کلروفیل b Chlorophyll _b	کاروتنوئیدها Carotenoids	پرولین Proline	میزان روغن دانه Oil content of seed
Seed yield	عملکرد دانه	1								
No. of silique.plant ⁻¹	تعداد خورجین در بوته	0.06	1							
No. of seed. silique ⁻¹	تعداد دانه در خورجین	0.09	0.008	1						
1000 seed weight	وزن هزار دانه	0.33**	0.10	0.34**	1					
Chlorophyll _a	کلروفیل a	0.11	0.62**	-0.17	-0.11	1				
Chlorophyll _b	کلروفیل b	-0.08	0.59**	0.23	0.17	0.35**	1			
Carotenoids	کاروتنوئیدها	0.25*	0.43**	0.03	0.33**	0.44**	0.28*	1		
Proline	پرولین	0.27*	-0.06	0.40**	0.66**	-0.24	0.08	0.34**	1	
Oil content of seed	میزان روغن دانه	0.20	0.10	-0.03	0.24	0.17	-0.11	0.24	0.14	1

*and**: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively

* و **: به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد



شکل ۵- اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی مواد تنظیم کننده رشد بر محتوای پرولین کلزا (۹۳-۱۳۹۱)

Fig. 5. Interaction effect of drought stress × foliar application of growth regulators on proline content of rapeseed (2012-14)

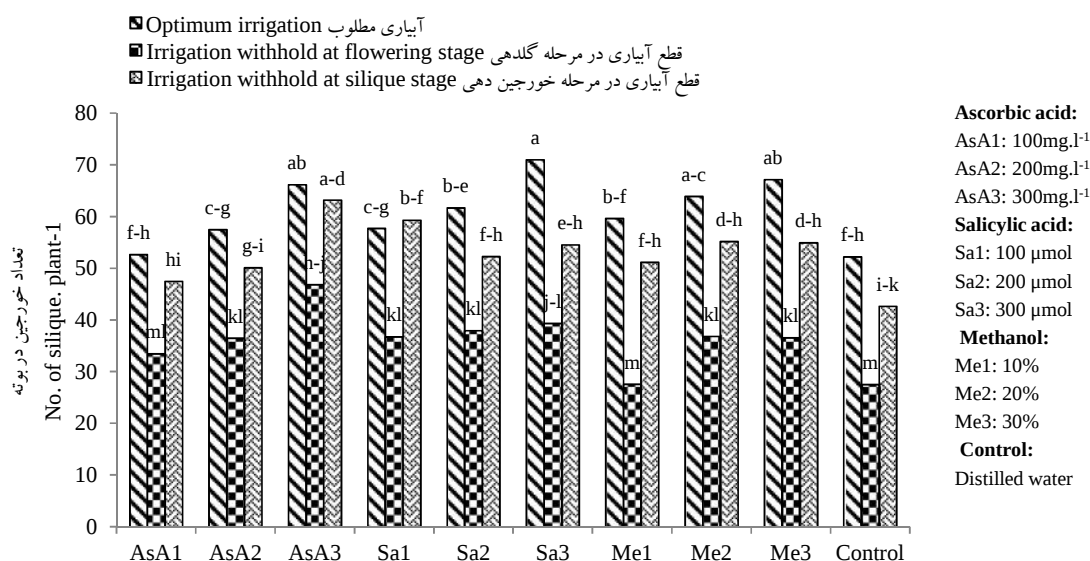
خوارجین در بوته باز هم کاهش نشان داد. محلول پاشی اسید آسکوربیک (۳۰۰ میلی گرم در لیتر) در شرایط قطع آبیاری در مرحله خوارجین دهی نیز بالاترین تعداد خوارجین در بوته را در مقایسه با سایر تیمارهای محلول پاشی داشت (شکل ۶).

گزارش شده است که افزایش رشد ناشی از مصرف اسید آسکوربیک در شرایط تنش و بدون تنش، در اثر افزایش تقسیم و طویل شدن سلول ها می باشد (Athar *et al.*, 2008) و با توجه به این موضوع به نظر می رسد که اثر مثبت اسید آسکوربیک بر رشد گیاه، باعث افزایش تعداد خوارجین شده است. باکری و همکاران (Bakry *et al.*, 2013) اظهار داشتند که افزایش میزان مصرف اسید آسکوربیک اثر معنی داری بر افزایش طول سنبله، تعداد سنبلهچه در سنبله و کارایی مصرف آب گندم داشت. افزایش تعداد خوارجین در تیمار متانول ۳۰ درصد را نیز می توان به تاثیر متانول بر افزایش میزان کلروفیل نسبت داد. راجالا و همکاران (Rajala *et al.*, 1998) نیز اظهار داشتند که مصرف متانول با غلظت ۳۰ درصد باعث افزایش میزان کلروفیل در یولاف شد. مسیرهای متابولیکی مختلفی با رشد، نمو و سازوکارهای دفاعی گیاه در ارتباط هستند که تحت تاثیر مصرف خارجی متانول قرار می گیرند

شاهد، باعث کاهش تعداد خوارجین در بوته به میزان ۴۱ و ۱۱/۵۳ درصد گردید (داده ها ارائه نشده است). تنش در مرحله گلدهی و ساقه رفتن بدلیل عرضه کمتر مواد فتوسنتزی، باعث ریزش گل و خوارجین های در حال رشد می شود. مندهام و سالیسبوری گزارش کردند که کاهش مقدار آب در مرحله گلدهی کلزا باعث کاهش تعداد خوارجین در بوته شد (Mendham and Salisbury, 1995). مقایسه میانگین های مربوط به اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی نشان داد که بالاترین تعداد خوارجین در بوته (۷۱) در تیمار آبیاری مطلوب و محلول پاشی اسید سالیسیلیک (۳۰۰ میکرومول) بدست آمد و با تیمارهای اسید آسکوربیک (۳۰۰ میلی گرم در لیتر) و متانول (۲۰ و ۳۰ درصد) در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۶). قطع آبیاری در مرحله گلدهی تعداد خوارجین در بوته را در تمام تیمارهای محلول پاشی کاهش داد، اما محلول پاشی با اسید آسکوربیک (۳۰۰ میلی گرم در لیتر) در مقایسه با شاهد (آب مقطر)، تعداد خوارجین در بوته را به میزان ۴۱ درصد افزایش داد. هر چند که قطع آبیاری در مرحله خوارجین دهی، شدت کمتری تنش در مقایسه با قطع آبیاری در مرحله گلدهی بر گیاه وارد کرد، اما تعداد

مصرف اسید سالیسیلیک باعث افزایش تعداد خورجین در بوته خردل هندی شد. مصرف خارجی اسید سالیسیلیک بر فرایندهای مختلف فیزیولوژیکی گیاه از جمله بسته شدن روزنه‌ها (Larque-Saavedra, 1979)، کنترل جذب و انتقال یون‌ها (Harper and Balke, 1981)، واکنش هیل (Maslenskova and Toncheva, 1998) و تغییر در میزان فتوسنتز خالص، محتوای کاروتنوئیدها، کلروفیل و قندهای محلول (Chandra and Bhatt, 1998) نیز تاثیر داشته و باعث افزایش تعداد خورجین در بوته می‌شود (Fariduddin et al., 2003).

(Ramadan and Omran, 2015). نتایج برخی آزمایش‌ها نیز نشان داده است که مصرف متانول از طریق افزایش تعداد خورجین در بوته، باعث افزایش عملکرد دانه کلزا می‌شود (Zbiec et al., 2003). در تیمار آبیاری مطلوب، افزایش غلظت اسید سالیسیلیک باعث افزایش تعداد خورجین در بوته گردید، اما در شرایط قطع آبیاری در مرحله خورجین دهی غلظت‌های کمتر اسید سالیسیلیک تاثیر بهتری در افزایش تعداد خورجین در بوته داشتند (شکل ۵). فریدالدین و همکاران (Fariduddin et al., 2003) بیان نمودند که



شکل ۶- اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی مواد تنظیم کننده رشد بر تعداد خورجین در بوته کلزا (۹۳-۱۳۹۱)

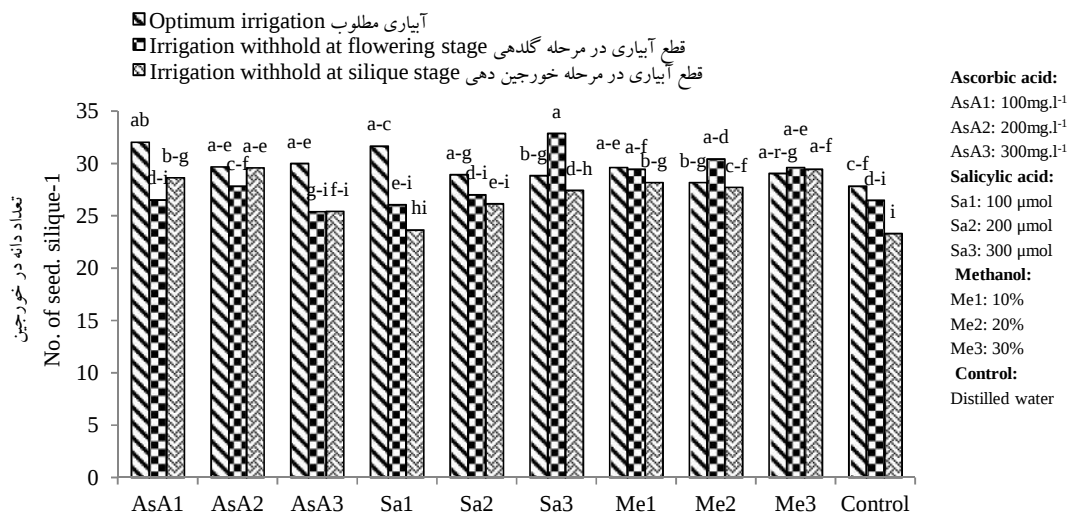
Fig. 6. Interaction effect of drought stress × foliar application of growth regulators on No. of silique .plant⁻¹ of rapeseed (2012-14)

تنش خشکی روی گرده افشانی و بارور شدن گل‌ها دانست. تغییرات تعداد دانه در خورجین در اثر تیمارهای تنش خشکی در مقایسه با تعداد خورجین در بوته و وزن هزار دانه، از شدت کمتری برخوردار بود، به عبارت دیگر تعداد دانه در خورجین کمتر تحت تاثیر تنش خشکی قرار گرفت. تامین آب در مرحله گلدهی

مقایسه میانگین‌های مربوط به اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی نشان داد که حداکثر تعداد دانه در خورجین (۳۲/۸) در شرایط تنش شدید و محلول پاشی با اسید سالیسیلیک (۳۰۰ میکرومول) بدست آمد (شکل ۷). کاهش تعداد دانه در خورجین در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی را می‌توان ناشی از اثر منفی

مصرف برخی از تیمارهای محلول پاشی مانند اسید سالیسیلیک (۳۰۰ میکرومول) در شرایط قطع آبیاری در مرحله گلدهی، از برتری معنی داری نسبت به شاهد (محلول پاشی آب مقطر) برخوردار بود. البته لازم به ذکر است که این موضوع در ارتباط با واکنش سایر اجزای عملکرد نیز می باشد.

و اوایل رشد خورجین ها و شکل گیری خورجین ها و دانه ها، حساس و حیاتی است. محمد و همکاران (Mohammad *et al.*, 2007) گزارش نمودند که تنش خشکی در مرحله گلدهی، با کاهش ذخایر مواد کربوهیدراتی، نمو دانه در خورجین ها را کاهش داده و باعث سقط دانه ها در خورجین می گردد. با این وجود



شکل ۷- اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی مواد تنظیم کننده رشد بر تعداد دانه در خورجین در کلزا (۹۳-۱۳۹۱)

Fig. 7. Interaction effect of drought stress × foliar application of growth regulators on No. of seed.

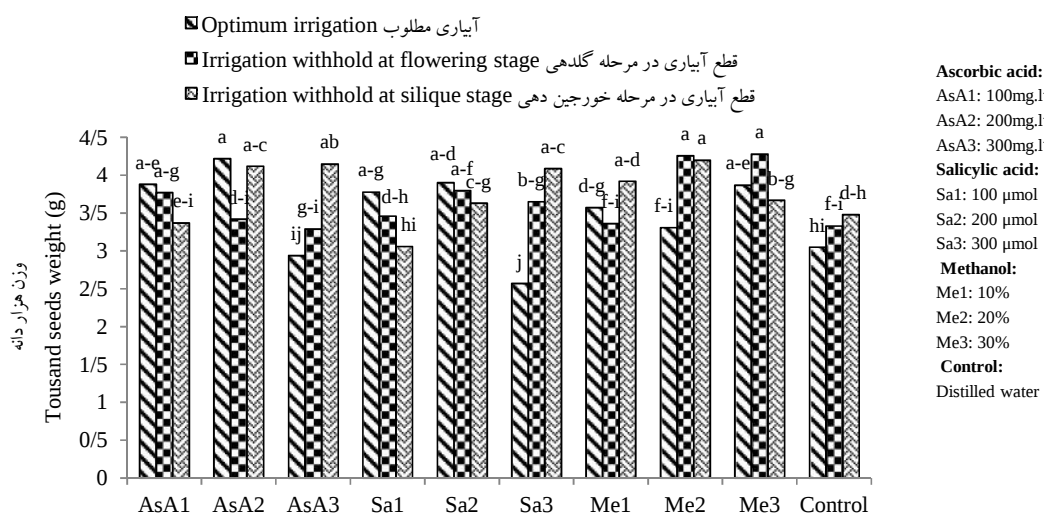
silique⁻¹ of rapeseed (2012-14)

مصرف اسید آسکوربیک باشد. دولت آبادیان و همکاران (Dolatabadian *et al.*, 2010) نیز گزارش دادند که محلول پاشی اسید آسکوربیک (۱۵۰ میلی گرم در لیتر)، اثر سوء تنش خشکی را کاهش داده و باعث بهبود رشد و تولید و افزایش وزن دانه ذرت در شرایط مطلوب و تنش خشکی شد. در شرایط مطلوب افزایش غلظت اسید سالیسیلیک بر وزن هزار دانه اثر منفی داشت. اثر مفید اسید سالیسیلیک بر وزن هزار دانه در شرایط تنش می تواند بدلیل انتقال مواد پرورده بیشتر به دانه ها در طول دوره پر شدن دانه باشد. گزارش شده است که نقش اسید سالیسیلیک در کاهش اثر سوء تنش خشکی مربوط به تاثیر آن بر کاهش میزان تعرق است

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده سال، تنش خشکی، محلول پاشی و همچنین اثر متقابل سال × محلول پاشی و تنش خشکی × محلول پاشی بر وزن هزار دانه معنی دار بود. مقایسه میانگین های مربوط به اثر متقابل قطع آبیاری و محلول پاشی نشان داد که در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی (تنش شدید)، با افزایش میزان اسید آسکوربیک از وزن هزار دانه کاسته شد، اما در تیمار قطع آبیاری در مرحله خورجین دهی، افزایش غلظت اسید آسکوربیک باعث افزایش وزن هزار دانه گردید (شکل ۸). افزایش وزن دانه می تواند بدلیل افزایش شدت فتوسنتز و انتقال مواد پرورده به دانه ها همراه با کاهش اثر تنش خشکی در اثر

هزار دانه، محتوای کاروتنوئیدها و پرولین از همبستگی مثبت و معنی داری با عملکرد دانه برخوردار بودند. همبستگی پرولین با تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه و کاروتنوئیدها نیز مثبت بود (جدول ۲). هر چند که در تیمار تنش شدید خشکی همبستگی رنگیزه‌ها با عملکرد دانه معنی دار نبود، اما همبستگی رنگیزه‌ها با تعداد خورجین در بوته می‌تواند بیانگر این موضوع باشد که رنگیزه‌ها بطور غیرمستقیم از طریق افزایش تعداد خورجین در بوته باعث افزایش عملکرد دانه می‌شوند. در تیمار تنش ملایم خشکی، همبستگی تعداد خورجین در بوته با عملکرد دانه مثبت و معنی دار بود. محتوای کلروفیل‌های a و b نیز از همبستگی معنی داری با تعداد خورجین در بوته برخوردار بودند (جدول ۳).

که این موضوع می‌تواند باعث افزایش وزن دانه‌ها شود (Abo-Hamed *et al.*, 1990). واکنش کلزا در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی به متانول مثبت بود. بیشترین وزن هزار دانه (۴/۲۴ گرم) نیز در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی در تیمار محلول پاشی متانول ۳۰ درصد مشاهده شد (شکل ۸). میراخوری و همکاران (Mirakhori *et al.*, 2009) نیز اظهار داشتند که محلول پاشی با متانول (۲۱ درصد) باعث افزایش وزن هزار دانه سویا می‌شود. با توجه به ضرایب همبستگی مثبت تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین با کلروفیل‌های a و b نیز می‌توان نتیجه‌گیری کرد که افزایش محتوای کلروفیل‌ها در افزایش اجزای عملکرد تاثیر مثبت دارد. در تیمار تنش شدید خشکی، وزن



شکل ۸- اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی مواد تنظیم کننده رشد بر وزن هزار دانه در کلزا (۹۳-۱۳۹۱)

Fig. 8. Interaction effect of drought stress × foliar application of growth regulators on thousand seeds weight of rapeseed (2012-14)

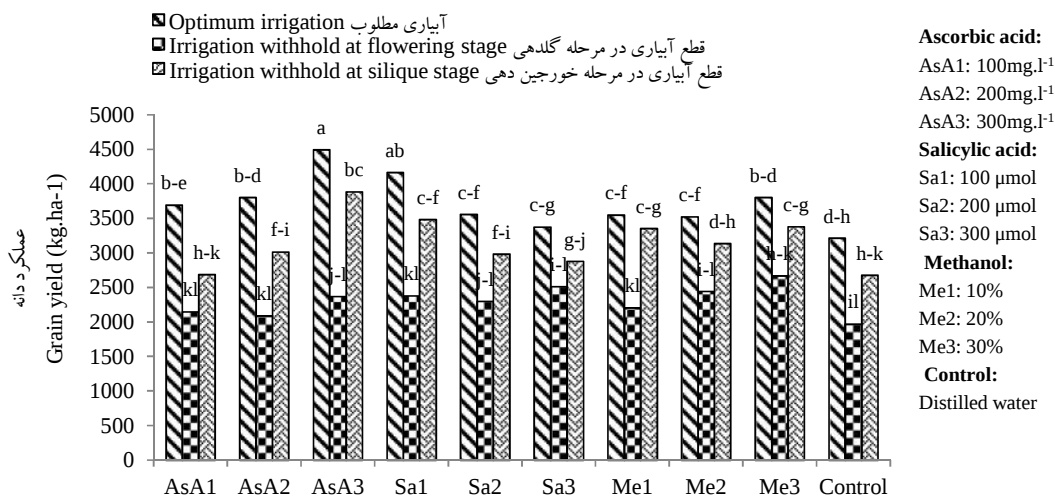
آبیاری و محلول پاشی در دو سال آزمایش نشان داد که حداکثر عملکرد دانه (۴۴۹۳ کیلوگرم در هکتار) در تیمار آبیاری مطلوب با محلول پاشی اسید آسکوریک (۳۰۰ میلی گرم در لیتر) و حداقل عملکرد دانه (۱۹۶۸ کیلوگرم در هکتار) نیز در تیمار قطع آبیاری در

اثر متقابل سال × تنش خشکی × محلول پاشی بر عملکرد دانه معنی دار نبود، اما اثر ساده سال، تنش خشکی، محلول پاشی و همچنین اثر متقابل سال × تنش خشکی، سال × محلول پاشی و تنش خشکی × محلول پاشی معنی دار بودند. نتایج مربوط به اثر متقابل قطع

مرحله گلدهی و آبیاری با آب مقطر (شاهد) بدست آمد (شکل ۹). در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی، شدت تنش به اندازه‌ای بود که به استثنای محلول پاشی با متانول ۳۰ درصد، کلیه تیمارهای محلول پاشی با مواد تنظیم کننده رشد با شاهد (محلول پاشی آب مقطر) در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۹). به نظر می‌رسد که اثر مثبت متانول ۳۰ درصد بر عملکرد دانه از طریق تاثیر بر افزایش محتوای کاروتنوئیدها که در افزایش تحمل تنش موثر هستند، بوده است. بر اساس نتایج بدست آمده، واکنش گیاه کلزا نسبت به متانول در تیمارهای آبیاری متفاوت بود و در هر یک از تیمارها از طریق بهبود برخی صفات باعث افزایش عملکرد دانه شد. در شرایط مطلوب آبیاری، متانول از طریق افزایش میزان پرولین، تعداد خورجین در بوته و وزن هزار دانه افزایش عملکرد دانه را بدنبال داشت. در تیمار قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی، بدلیل اثر مثبت آن در افزایش تجمع پرولین، کاروتنوئیدها، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه، باعث افزایش عملکرد دانه در مقایسه با شاهد شده و در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی بهبود عملکرد دانه از طریق افزایش میزان کلروفیل b، کاروتنوئیدها، پرولین، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه بوده است.

با توجه به نتایج بدست آمده به نظر می‌رسد که اثر محلول پاشی مواد تنظیم کننده رشد در تیمارهای تنش خشکی بیشتر صرف سازوکارهای تحمل به تنش از جمله تولید پرولین شده است. با کاهش شدت تنش (قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی) اثر مواد تنظیم کننده رشد بر عملکرد دانه مشهودتر بود و افزایش غلظت اسید آسکوربیک (۳۰۰ میلی گرم در لیتر)، باعث افزایش عملکرد دانه شد، بعبارت دیگر محلول پاشی اسید آسکوربیک (۳۰۰ میلی گرم در لیتر) در تیمار قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی با شرایط مطلوب رطوبتی و محلول پاشی

اسید آسکوربیک (۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر) در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۹). به نظر می‌رسد که با کاهش شدت تنش و افزایش میزان اسید آسکوربیک می‌توان از کاهش عملکرد دانه کلزا اجتناب نمود. محلول پاشی اسید آسکوربیک از طریق تاثیر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی از جمله تحریک فعالیت‌های تنفسی، تقسیم سلولی و فعالیت‌های آنزیمی، باعث افزایش عملکرد دانه در گندم می‌شود (El-Hamed et al., 2004; Irfan et al., 2006). در شرایط آبیاری مطلوب و قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی، محلول پاشی اسید سالیسیلیک با غلظت کمتر در مقایسه با غلظت‌های بالاتر، تاثیر بهتری بر عملکرد دانه داشت، اما در تیمار تنش شدید (قطع آبیاری در مرحله گلدهی)، واکنش گیاه به سطوح بالاتر اسید سالیسیلیک مثبت بود (شکل ۹). افزایش عملکرد دانه و اجزای عملکرد آفتابگردان در اثر مصرف اسید سالیسیلیک بدلیل تاثیر آن بر فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه، بهبود رشد و انتقال مواد پرورده از منبع به مخزن بوده (Grown, 2012) و غلظت‌های بالای اسید سالیسیلیک اثر بازدارنده داشتند (Fariduddin et al., 2003). در بین تیمارهای متانول نیز، محلول پاشی با غلظت ۳۰ درصد در تیمار قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی از عملکرد دانه بالاتری برخوردار بود. بیشتر بودن محتوای کلروفیل b را می‌توان به اثر مثبت محلول پاشی متانول در افزایش عملکرد دانه نسبت داد. بعلاوه در اثر افزایش تولید ساکارز، آماس سلول‌های گیاه بیشتر شده و حساسیت گیاهان تیمار شده با متانول به کمبود آب کاهش می‌یابد (Zbiec et al., 2003). ضرایب همبستگی بین صفات گیاهی مورد مطالعه در شرایط آبیاری مطلوب نشان داد که عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، محتوای کلروفیل‌های a و b داشته (جدول ۱) و این موضوع مبین اهمیت این صفات در افزایش عملکرد دانه در شرایط

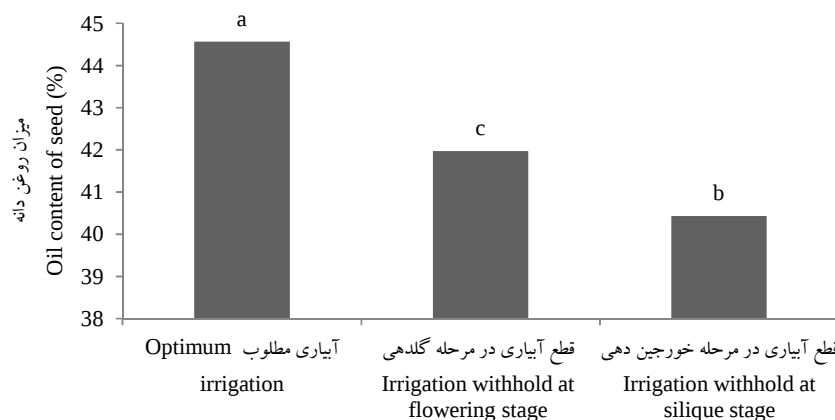


شکل ۹- اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی مواد تنظیم کننده رشد بر عملکرد دانه در کلزا (۹۳-۱۳۹۱)

Fig. 9. Interaction effect of drought stress × foliar application of growth regulators on seeds yield of rapeseed (2012-14)

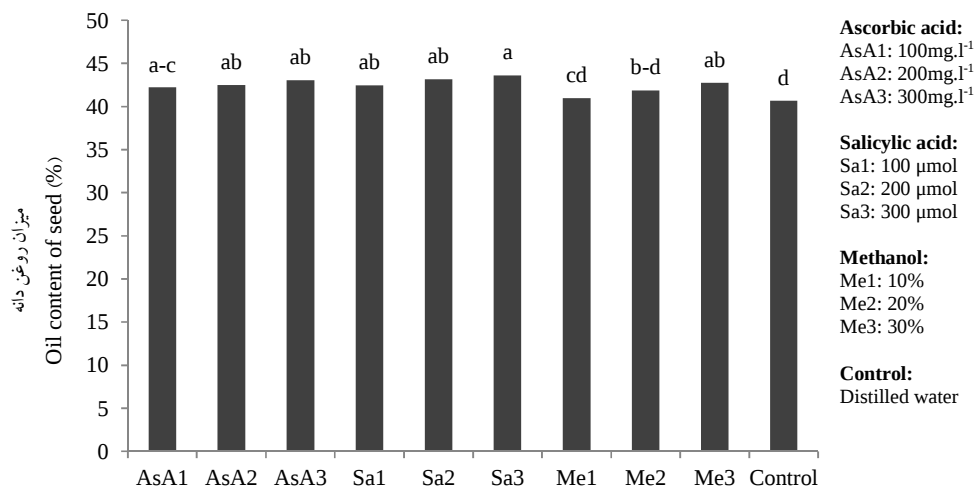
قطع آبیاری در مراحل گلدهی و خورجین دهی به ترتیب ۴۴/۵، ۴۱/۹ و ۴۰/۴ درصد بود (شکل ۱۰). تنش خشکی در مرحله گلدهی و خورجین دهی با کاهش ظرفیت دانه در جذب مواد پرورده و تبدیل آنها به روغن، بیشترین اثر منفی را بر میزان روغن دانه دارد. در مورد اثر تنش خشکی در مرحله گلدهی بر میزان روغن دانه کلزا گزارش شده است که

آبیاری مطلوب می باشد. همبستگی پرولین با عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب منفی بود (جدول ۱). نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر ساده تنش خشکی و محلول پاشی تنظیم کننده ها بر میزان روغن دانه معنی دار بود. مقایسه میانگین های مربوط به اثر ساده تنش خشکی در دو سال آزمایش نشان داد که میزان روغن دانه در تیمارهای آبیاری مطلوب،



شکل ۱۰- اثر تیمارهای تنش خشکی بر میزان روغن دانه کلزا (۹۳-۱۳۹۱)

Fig. 10. Effect of drought stress treatments on oil content of seed of rapeseed (2012-14)



شکل ۱۱- اثر ساده محلول پاشی مواد تنظیم کننده رشد بر میزان روغن دانه کلزا (۹۳-۱۳۹۱)

Fig. 11. Effect of foliar application of growth regulators on oil content of seed of rapeseed (2012-14)

که جهت دستیابی به عملکرد دانه مطلوب در کلزا باید از تنش خشکی در مرحله گلدهی اجتناب شود. شدت تنش خشکی در اثر قطع آبیاری در مرحله گلدهی به حدی بود که تیمارهای محلول پاشی مواد تنظیم کننده رشد نیز باعث جبران کاهش عملکرد دانه نشدند، اما در تیمار قطع آبیاری در مرحله خورجین دهی و محلول پاشی با اسید آسکوربیک (۳۰۰ میلی گرم در لیتر) عملکرد دانه تا حدودی بهبود یافت و در مقایسه با سایر تیمارهای محلول پاشی برتر بود. در شرایط رطوبتی مطلوب نیز محلول پاشی اسید آسکوربیک (۳۰۰ میلی گرم در لیتر) و اسید سالیسیلیک (۱۰۰ میکرو مول) اثر مثبتی بر عملکرد دانه داشتند. بر اساس نتایج آزمایش حاضر تنش خشکی در مراحل گلدهی و خورجین دهی باعث کاهش میزان روغن دانه کلزا شده و در صورت بروز تنش در این مراحل می توان با محلول پاشی مواد تنظیم کننده رشد از جمله اسید سالیسیلیک (۳۰۰ میکرو مول) از کاهش میزان روغن دانه کلزا جلوگیری نمود.

تنش خشکی در مرحله گلدهی و گرده افشانی، بعلاوه اثر سوء آن بر تخریب فرایندهای متابولیک دانه، اختلال در انتقال مواد پرورده به دانه ها و احتمالاً تولید ترکیبات ثانویه نامطلوب در تولید روغن می باشد (Bouchereau *et al.*, 1996). اثر محلول پاشی متانول به میزان ۱۰ درصد حجمی همراه با شاهد (آب مقطر)، کمترین میزان روغن دانه را داشتند. هر چند که کلیه غلظت های اسید سالیسیلیک و اسید آسکوربیک از نظر تاثیر بر میزان روغن دانه در یک گروه آماری قرار گرفتند، اما حداکثر میزان روغن دانه (۴۳/۶ درصد) به تیمار اسید سالیسیلیک ۳۰۰ میکرومول اختصاص یافت (شکل ۱۱). اولاده و همکاران (Ullah *et al.*, 2012) اظهار داشتند که مصرف اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی در مقایسه با عدم کاربرد آن موجب افزایش میزان روغن دانه کلزا گردید.

نتیجه گیری

بر اساس نتایج حاصل از آزمایش، به نظر می رسد

References

Abdel-Latif, A., U. Schmieden, S. Barakat and A. Wild. 1996. Physiological and biochemical responses of

منابع مورد استفاده

- sunflower plant to enhanced CO₂ level. Plant Physiol. Biochem., Special Issue. 133: 81-88.
- Abo_Hamed, S., M. Younis, O. EShahaby and S. Haroun. 1990.** Plant growth, metabolism and adaptation in relation to stress conditions. IX. Endogenous levels of hormones, minerals and organic solutes in *Pisum sativum* plants as affected by salinity. Phyto Annales Rei Botanicae. 30: 187-193.
- Albrecht, S. L., C. L. Douglas, E. L. Klepper, P. E. Rasmussen, R. W. Rickman, R. W. Smiley, D. W. Wysocki and D. E. Wilkins. 1995.** Effects of foliar methanol application on crop yield. Crop Sci. 35: 1642– 1646.
- Amin, A., ESM., Rashad and F. Gharib, 2008.** Changes in morphological, physiological and reproductive characters of wheat plants as affected by foliar application with salicylic acid and ascorbic acid. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 2: 252-261.
- Arnon, A. N. 1967.** Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agron. J. 23: 112-121.
- Ashraf, M. 2009.** Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. Biotechnol. Adv. 27: 84-93.
- Athar, H. R., A. Khan and M. Ashraf. 2008.** Exogenously applied ascorbic acid alleviates salt induced oxidative stress in wheat. Environ. Exp. Bot. 63: 224–231.
- Bakry, B. A., T. A. Elewa, M. F. El-Kramany and A. M. Wali. 2013.** Effect of humic and ascorbic acids foliar application on yield and yield components of two wheat cultivars grown under newly reclaimed sandy soil. International Journal of Agronomy and Plant Production.4: 1125-1133.
- Bates, L. S., R. P. Waldren and I. D. Teare. 1973.** Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil. 39: 205-208.
- Bhattacharya, S., N. C. Bhattacharya and B. B. Bhatnagar. 1985.** Effect of ethanol, methanol and acetone on rooting etiolated cuttings of *Vigna radiata* in presence of sucrose and auxin. Ann. Bot. 55: 143–145.
- Bolkhina, O., E. Virolainen and K. Fagerstedt. 2003.** Antioxidant, oxidative damage and oxygen deprivations stress. A Rev. Ann. Bot. 91: 179-194.
- Bouchereau, A., N. Clossais-Besnard, A. Bensaoud, L. Leport and M. Renard. 1996.** Water stress effects on rapeseed quality. Eur. J. Agron. 5: 19-30.
- Chandra, A. and R. K. Bhatt. 1998.** Biochemical and physiological response to salicylic acid in relation to the systemic acquired resistance. Photosynthetica, 35: 255-258.
- Ebrahimian, E., A. Bybordi. 2012.** Influence of ascorbic acid foliar application on chlorophyll, flavonoids, anthocyanin and soluble sugar contents of sunflower under conditions of water deficit stress. Journal of Food, Agriculture and Environment. 10: 1026-1030.
- Grown, B. A. O. S. P. 2012.** Physiological role of salicylic acid in improving performance, yield and some biochemical aspects of sunflower plant grown under newly reclaimed sandy soil. Aust. J. Basic Appl. Sci. 6: 82-89.
- Devlin, R. M., P. C. Bhowmik and S. J. Karczmarczyk. 1994.** Influence of methanol on plant growth. Plant Growth Reg. Soc. Am. Quart. 22: 102-108.

- Dolatabadian, A., S. A. M. Modarresi Sanavy and K. S. Asilan. 2010.** Effect of ascorbic acid foliar application on yield, yield component and several morphological traits of grain corn under water deficit stress conditions. *Notulae Scientia Biologicae*. 2: 45-50.
- Dolatabadian, A., S. Sanavy and N. Chashmi. 2008.** The effects of foliar application of ascorbic acid (vitamin C) on antioxidant enzymes activities, lipid peroxidation and proline accumulation of canola (*Brassica napus* L.) under conditions of salt stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 194: 206-213.
- El-Hamed, A. M., S.H. Sarhan and H. Z. Abd El-Salam. 2004.** Evaluation of some organic acids as foliar application on growth, yield and some nutrient contents of wheat. *J. Agric. Sci. Mansoura Univ*. 29: 2475-2481.
- El-Tayeb, MA. 2005.** Response of barley gains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regulation*, 45: 215-225.
- Fariduddin, Q., S. Hayat and A. Ahmad. 2003.** Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity and seed yield in *Brassica juncea*. *Photosynthetica*. 41: 281-284.
- Fisher, B. U., J. Nosberger and M. Frehner. 1996.** Effect of an elevated partial pressure of CO₂ on source – sink relations during regrowth of *Lolium perenne* L. *Plant Physiol. Biochem., Special Issue*. 20: 945-952.
- Gill, P. K., A. D. Sharma, P. Singh and S. S. Bhullar. 2003.** Changes in germination, growth and soluble sugar contents of *Sorghum bicolor* L. Moench seeds under various abiotic stresses. *Plant Growth Regul.* 40: 157-162.
- Hamada, A. 2000.** Amelioration of drought stress by ascorbic acid, thiamin or aspirin in wheat plants. *Indian J. Plant Physic.* 5: 358-364.
- Harper, J. R., and N. E. Balke. 1981.** Characterization of the inhibition of K⁺ absorption in oat roots by salicylic acid. *Plant Physiol.* 68: 1349-1353.
- Idrees, M., M. M. A. Khan, M. Naeem, T. Aftab, N. Hashmi and M. Alam. 2011.** Modulation of defence responses by improving photosynthetic activity, antioxidative metabolism and vincristine and vinblastine accumulation in *Catharanthus roseus* (L.) G. Don through salicylic acid under water stress. *Russ. Agric. Sci.* 37: 474-482.
- Irfan, A., S. M. A. Basra, F. Mohammed and A. Nawaz. 2006.** Alleviation of salinity stress in spring wheat by hormonal priming with ABA, Salicylic acid and ascorbic acid. *Int. J. Agric. Biol.* 8: 23-28.
- Kalantar Ahmadi, S. A. and G. Fathi. 2009.** The effect of seed sowing rate, different levels of nitrogen and different sowing dates on canola grain yield, cv. Hyola401 in north Khuzestan conditions. *Iran. J. Field Crop Sci.* 40: 191-204. (In Persian with English abstract).
- Kalantar Ahmadi, S. A., A. H. Shiranirad and S. A. Sidat. 2013.** Study of limited irrigation stress on grain yield of canola cultivars in north Khuzestan conditions. *J. Oil Plant Prod.* 1: 53-65.
- Kalantar Ahmadi, S. A., A. Ebadi, S. A. Siadat and H. Tavakoli Hasanklou. 2014 a.** Effects of heat stress due to changing of sowing date on grain yield of rapeseed cultivars in north Khuzestan conditions. *Iran. J. Crop Sci.* 16: 1-15. (In Persian with English abstract).
- Kalantar Ahmadi, S. A., A. Ebadi, S. Jahanbakhsh, J. Daneshian and S. A. Siadat. 2014 b.** Effects of water

- stress and nitrogen on changes of some amino acids and pigments in canola. Bulletin of Environment, pharmacology and Life Sciences. 4: 114-122.
- Khalid Hussein, Z. and M. Qader Khursheed. 2014.** Effect of foliar application of ascorbic acid on growth, yield components and some chemical constituents of wheat under water stress conditions. Jordan Journal of Agricultural Sciences. 10: 1-15.
- Khedr, A. H. A., M. A. Abbas, A. A. A. Wahid, W. P. Quick, and G. M. Abogadallah. 2003.** Proline induces the expression of salt-stress-responsive proteins and may improve the adaptation of *Pancreaticum maritimum* L. to salt-stress. J. Exp. Bot. 54: 2553-2562.
- Kolupaev, Y., T. Yastreb, Y. V. Karpets and N. Miroshnichenko. 2011.** Influence of salicylic and succinic acid on antioxidant enzymes activity, heat resistance and productivity of *Panicum miliaceum* L. Journal of Stress Physiology and Biochemistry. 7: 154-163.
- Larque-Saavedra, A. 1979.** Stomatal closure in response to acetylsalicylic acid treatment. Zeitschrift für Pflanzenphysiologie, 93: 371-375.
- Li, Y., G. Gupta, J. Joshi and A. Siyumbano. 1995.** Effect of methanol on soybean photosynthesis and chlorophyll. J. Plant Nutr. 18: 1875-1880.
- Maghsoudi, K. and M. Arvin. 2010.** Salicylic acid and osmotic stress effects on seed germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. J. Plant Ecophysiol. 2: 7-11.
- Makhdom, M. I., M. N. A. Malik, S. U. Din, F. Ahmad and F. I. Chaudhry. 2002.** Physiological response of cotton to methanol foliar application. J. Res. Sci. 13: 37-43.
- Maslenkova, L. T. and S. R. Toncheva. 1998.** Salicylic acid-induced changes in Photosystem II reactions in barley plants. Biotechnol Biotechnol Equip. 51: 101-104.
- Mendham, N. J. and P. A. Salisbury. 1995.** Physiology. Crop Development. Growth and Yield in: Kimber. D. and D. I. M.c Greagor (Eds.). CAB international.
- Mirakhori, M., F. Paknejad, F. Moradi, M. Ardakani, H. Zahedi and P. Nazeri. 2009.** Effect of drought stress and methanol on yield and yield components of soybean Max (L17). American Journal of Biochemistry and Biotechnology. 5: 162-169.
- Mitchell, A. R., F. J. Crowe and M. D. Butler. 1994.** Plant performance and water use of peppermint treated with methanol and glycine. J. Plant Nutr. 17: 1955-1962.
- Mohammad, T., A. Ali, M. A. Nadeem, A. Tanveer and Q. M. Sabir. 2007.** Performance of canola (*Brassica napus*) and Indian mustard (*B. juncea*) to soil water deficits: yield and yield components. Field Crops Res. 42: 1-13.
- Murakeözy, É. P., Z. Nagy, C. Duhazé, A. Bouchereau and Z. Tuba. 2003.** Seasonal changes in the levels of compatible osmolytes in three halophytic species of inland saline vegetation in Hungary. J. Plant Physiol. 160: 395-401.

- Nadeali, E., F. Paknejad, F. Moradi, M. Naseri and A. Pazuki. 2011.** Effects of methanol application on sugar beet relative water content, chlorophyll content and chlorophyll fluorescence parameters under drought stress conditions. *Iran. J. Filed Crop Sci.* 41: 731-740. (In Persian with English abstract).
- Nadeali, E., F. Paknejad, F. Moradi and S. Vazan. 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. *Seed Plant Prod. J.* 2: 95-108. (In Persian with English abstract).
- Nonomura A. M. and A. A. Benson. 1992.** The path of carbon in photosynthesis: Methanol and light. *Photosyn. Res.* 3: 911-914.
- Paknejad, F., M. Mirakhori, M. J. Al-Ahmadi, M. R. Tookalo, A. R. Pazuki and P. Nazeri. 2009.** Physiological response of soybean (*Glycine max*) to foliar application of methanol under different soil moistures. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences.* 4: 311-318.
- Rajala, A., j. Kärkkäinen, J. Peltonen and P. Peltonen-Sainio. 1998.** Foliar applications of alcohols failed to enhance growth and yield of C₃ crops. *Ind. Crop Prod.* 7: 129-137.
- Ramadan, T. and Y. A. M. M. Omran. 2015.** The effect of foliar application of methanol on productivity and fruit quality of grapevine cv. Flame Seedless. *VITIS-J. Grapevine Res.* 44(1): 11.
- Rowe, R. N., D. J. Farr and B. A. J. Richards. 1994.** Effects of foliar and root applications of methanol or ethanol on the growth of tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Crop Hort. Sci.* 22: 335-337.
- Sakr, M. T. and A. A. Arafa. 2009.** Effect of some antioxidants on canola plants grown under soil salt stress condition. *Pak. J. Biol Sci.* 12: 582-588.
- Sawhney, V. and D. Singh. 2002.** Effect of chemical desiccation at the post-anthesis stage on some physiological and biochemical changes in the flag leaf of contrasting wheat genotypes. *Field Crops Res.* 77: 1-6.
- Shafiq, S., N.A., Akram, M., Ashraf and A., Arshad, 2014.** Synergistic effects of drought and ascorbic acid on growth, mineral nutrients and oxidative defense system in canola (*Brassica napus* L.) plants. *Acta Physiologiae Plantarum.* 36: 1-15.
- Shi, Q., Z. Bao, Z. Zhu, Q. Ying and Q. Qian. 2006.** Effects of different treatments of salicylic acid on heat tolerance, chlorophyll fluorescence and antioxidant enzyme activity in seedlings of *Cucumis sativa* L. *Plant Growth Reg.* 39: 137-141.
- Strain, D., and J. Fletcher. 2003.** Plant ascorbic acid chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *J. Sci. Food Agric.* 80: 825-850.
- Sylvester-Bradley, R. and R. J. Makepeace. 1984.** A code for stages of development in oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Aspects Appl. Biol.* 6: 399-419.
- Szabados, L. and A. Savoure. 2010.** Proline: a multifunctional amino acid. *Trends Plant Sci.* 15: 89-97.
- Taji, T., M. Seki, M. Satou, T. Sakurai, M. Kobayashi, K. Ishiyama and K. Shinozaki. 2004.** Comparative

genomics in salt tolerance between *Arabidopsis* and *Arabidopsis*-related halophyte salt cress using *Arabidopsis* microarray. Plant Physiol. 135: 1697-1709.

Ullah, F., A. Bano and A. Nosheen. 2012. Effects of plant growth regulators on growth and oil quality of canola (*Brassica napus* L.) under drought stress. J. Bot. 44: 1873-1880.

Wang, L. J., L. Fan, W. Loescher, W. Duan, L. Guo-Jie, C. Jian-Shan, L. Hai and S. Li. 2010. Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under heat stress and accelerates recovery in grapevine leaves. BMC Plant Biol. 10: 34-41.

Zbiec, I., S. Karczmarczyk, C. Podsiadło. 2003. Response of some cultivated plants to methanol as compared to supplemental irrigation. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities. 6: 1-5.

Effect of drought stress and foliar application of growth regulators on photosynthetic pigments and seed yield of rapeseed (*Brassica napus* L. cv. Hyola 401)

Kalantar Ahmadi¹, S. A.¹, A. Ebadi², J. Daneshian³, S. A. Siadat⁴
and S. Jahanbakhsh⁵

ABSTRACT

Kalantar Ahmadi¹, S.A., A. Ebadi, J. Daneshian, S.A. Siadat and S. Jahanbakhsh. 2017. Effect of drought stress and foliar application of growth regulators on photosynthetic pigments and seed yield of rapeseed (*Brassica napus* L. cv. Hyola 401). **Iranian Journal of Crop Sciences. 18(3): 196-217. (In Persian).**

Changes in environmental conditions have led to various types of stresses that affect plants growth, development, and also its survival. Since the growth regulators improve plant tolerance to unfavorable environmental conditions, therefore, the effect of drought stress and foliar application of some growth regulators on rapeseed cv. Hyola 401 was studied. A field experiment was carried out as split plot arrangements using randomized complete block design with three replications at Safiabad Agricultural Research Center, Dezful, Iran during 2012-2014. The main plots were assigned to three irrigation levels; irrigation after 70mm evaporation from evaporation pan as control treatment (Optimum irrigation), withholding irrigation at flowering and silique stages, and sub plots included 10 levels of foliar application (100, 200, 300 mg.l⁻¹ ascorbic acid, 100, 200, 300 µmol; salicylic acid; 10, 20, 30 vol% methanol and distilled water as control treatment). Results showed that withholding irrigation at flowering and silique stages led to reduction in grain yield by 38% and 15%, respectively. The interaction of withholding irrigation × foliar application showed that the highest (4493 kg.ha⁻¹) seed yield under optimum irrigation conditions belonged to foliar application of ascorbic acid (300 mg.l⁻¹) and the lowest (1968 kg.ha⁻¹) to withholding irrigation at flowering stage and foliar application of distilled water (control). Foliar application of ascorbic acid (300 mg.l⁻¹) led to enhancement of seed yield under optimum irrigation conditions and withholding irrigation during the silique stage. By increasing drought stress severity chlorophylla decreased while chlorophyllb was enhanced. Effect of methanol (30%) on proline accumulation was more than ascorbic acid and salicylic acid under mild and severe drought stress conditions. It was concluded that application of growth regulators increased seed yield due to increase in proline and photosynthetic pigments accumulation and their effect on seed yield components. Application of ascorbic acid (300 mg.l⁻¹) under optimum irrigation and mild stress and methanol (30%) at severe stress conditions improved seed yield of rapeseed cv. Hyola 304.

Key words: Carotenoids, Limited irrigation, Oil content, Proline Rapeseed and Silique.

Received: May 2016

Accepted: December 2017

1- Researcher, Safiabad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Dezful, Iran. (Corresponding author)(Email: Kalantar.ahmadi@gmail.com)

2-Professor, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

3-Associate Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran

4-Professor, University of Ramin Agriculture and Natural Resources, Ahvaz, Iran

5-Assistant Prof., University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran