تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences

مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی
جلد هفتم، شماره اول، نیمه‌اول ۹۳
۶۵- ۷۷

اثر سالیسیلیک اسید در تخفیف تنش خشکی از طریق بهبود برخی صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک، عملکرد بوته و اجزای آن در گیاه خردل (*Brassica compestris* var. parkland)

سید فاضل فاضلی کاخکی*[1]، محمد غیاث آبادی[2]، مرتضی گلدانی[3]

۱. دکترای فیزیولوژی گیاهان زراعی و مدرس مرکز آموزش جهاد کشاورزی خراسان رضوی؛
۲. کارشناس ارشد زراعت؛ ۳. دانشیار و عضو هیئت علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۸/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۸/۱۸

چکیده

سالیسیلیک اسید در کاهش اثرات تنش اکسیداتیو به عنوان یک تنش ثانویه درشرایط خشکی موثر است. به منظور بررسی تاثیر سالیسیلیک اسید در کاهش اثرات تنش خشکی بر گیاه خردل (*Brassica compestris* var. parkland)، آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۱ انجام شد، که در آن فاکتور اول سالیسیلیک اسید در سه سطح (صفر، ۱۰۰ و ppm ۲۰۰) و فاکتور دوم تنش خشکی در سه سطح (۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی) بود. محلول پاشی برگی با سالیسیلیک اسید یک هفته قبل از آغاز تنش خشکی شروع شد و با فاصله هفت روز، تا سه هفته بعد از اعمال تنش خشکی ادامه یافت. نتایج نشان داد که اثر سالیسیلیک اسید و تنش خشکی بر تمام صفات مورفوفیزیولوژیک، وزن دانه در بوته و اجزای آن معنی‌دار بود. بیشترین ارتفاع بوته از اعمال تیمار ppm ۲۰۰سالیسیلیک اسید و تیمار تنش خشکی *FC*۷۵٪ به دست آمد. بیشترین مقدار فتوسنتز و شاخص پایداری غشاء از اعمال تیمار ppm ۱۰۰ سالیسیلیک اسید در تیمار تنش خشکی *FC*۷۵٪ به دست آمد. بیشترین وزن دانه در بوته نیز از اعمال غلظت ppm ۱۰۰ سالیسیلیک اسید در تیمار تنش خشکی *FC*۷۵٪ با مقدار ۱/۴۳ گرم به دست آمد. نتایج ضرایب همبستگی نشان داد که بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین وزن دانه در بوته با تعداد دانه در غلاف (r =۰/۹۳**)، با تعداد غلاف در بوته (r=۰/۸۴**) و وزن ۱۰۰ دانه (r=۰/۸۴**) وجود داشت. در بین صفات فیزیولوژیک نیز بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار (r=۰/۵۳**) بین فتوسنتز و وزن دانه در بوته مشاهده شد. به طور کلی به نظر می‌رسد اعمال تیمار ppm ۱۰۰ سالیسیلیک اسید از طریق بهبود برخی صفات فیزیولوژیک به کاهش اثرات مضر کمبود آب کمک کرده و سبب بهبود رشد و تولید در گیاه خردل شده است.

***واژه‌های کلیدی*: سطح برگ، شاخص پایداری غشاء، تعداد غلاف در بوته، وزن دانه در بوته**

مقدمه

تنش خشکی در اکثر مناطق دنیا مهمترین عامل محدود کننده در گسترش و زادآوری گیاهان در سیستم‌های طبیعی و کشاورزی شناخته شده است (Hanson and Hitz, 1982)، به طوری که عامل تنش خشکی به تنهایی سبب کاهش ۴۵ درصد عملکرد در گیاهان زراعی شده است (Kafi et al., 2009). ایران دارای اقلیمی خشک و نیمه خشک، با متوسط بارندگی ۲۵۰ میلیمتر در سال است که یک سوم بارندگی جهان را دارد و نقشه خطوط همباران نشان می‌دهند که بالغ بر ۹۰ درصد مناطق ایران تحت تنش خشکی قرار دارند. تنش خشکی در مقایسه با سایر تنش‌ها به صورت ناگهانی رخ نمی‌دهد و شدت آن به آرامی در گیاه افزایش می‌یابد (Koocheki and Alizadeh, 1995). بنابراین مدت زمان از نظر بقاء در شرایط تنش خشکی نقش مهمی را ایفا می‌کند. خشکی، تنشی چند بعدی است که بر سطوح گوناگون سازمان گیاه اثر می‌گذارد به طوری که تنش رطوبتی می‌تواند بسیاری از جنبه‌های متابولیسم و رشد گیاه را تحت تاثیر قرار دهد (Kafi et al., 2009). آماس سلولی، باز و بسته شدن روزنه‌ها،

نگارنده پاسخگو: سید فاضل فاضلی کاخکی. آدرس: مشهد- مرکز آموزش جهاد کشاورزی خراسان رضوی.
پست الکترونیک: sf_fazeli@yahoo.com

فرآیندهای فتوسنتز، تنفس و تعرق تحت تاثیر کمبود آب قرار گرفته و کاهش می‌یابد. تاثیر کمبود آب در چند نوبت تا تنش سنگین خشکی سبب مختل شدن فرآیندهای فیزیولوژیکی، تغییر در متابولیسم کربوهیدرات‌ها، تغییر در ساختمان پروتئین‌ها و فعالیت آنزیم‌ها می‌شود (Sinha and Patil, 1986). که این تغییرات در نهایت سبب ایجاد تغییرات مورفولوژیکی در بذر، گیاهچه، برگ، ارتفاع و شکل گیاه می‌شود (Levitt, 1980). بسیاری از هورمون‌های گیاهی مانند اسید آبسزیک و اتیلن و نیز انواع گونه‌های اکسیژن فعال و فسفولیپیدها می‌توانند به بخش‌های مختلف گیاه حرکت کرده و در پاسخ گیاه به شرایط تنش کمک نمایند (Secenji et al., 2005).

سالیسیلیک اسید[1] (SA) ترکیبی فنولیک و تنظیم کننده بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک در گونه‌های گیاهی است که توزیع آن در سرتاسر گیاه سبب ایجاد تحمل به تنش‌های زنده و غیر زنده در گیاهان می‌گردد. این ماده در تنظیم بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند باز و بسته شدن روزنه‌ها، القای گلدهی، رشد و نمو، سنتز اتیلن و تنفس نقش دارد (Raskin, 1992). سالیسیلیک اسید در گیاهانی که تحت تنش‌های محیطی قرار دارند نقش حفاظتی دارد. در همین رابطه آگراوال و همکاران (Agrawal et al., 2005) گزارش کردند که محلول پاشی برگ گندم با سالیسیلیک اسید در شرایط تنش ملایم خشکی سبب بهبود میزان کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ، کاهش میزان تولید هیدروژن پراکسید (H_2O_2) و کاهش میزان پراکسیداسیون لیپیدها شد. در مطالعه دیگری هوروات و همکاران (Horvath et al., 2007) گزارش کردند که اسید سالیسیلیک از طریق جلوگیری از ضایعه اثر تنش اکسیداتیو در غشاء (پراکسیداسیون لیپیدها) سبب پایداری غشاء و باعث ایجاد تحمل به شرایط تنش می‌شود. در بررسی دیگری نیز گزارش شده که کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط تنش خشکی تاثیری بر رشد گندم نداشت (waseem et al., 2006). بنابراین موفقیت در کاربرد سالیسیلیک اسید به چندین عامل بستگی دارد که شامل گونه گیاهی، مرحله نموی گیاه، روش کاربرد و غلظت آن است (Joseph et al., 2010). تحقیقات نشان می‌دهد که کاربرد سالیسیلیک اسید سبب بهبود رشد و ایجاد تحمل در گیاهچه‌های جو (Metwally et al., 2003)، کاهش میزان تبخیر و تعرق، تنظیم هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز در ذرت و سویا (Khan et al., 2003)، جذب و انتقال یون در ذرت (Gunes et al., 2005) شده است. بررسی‌های دیگر نیز نشان می‌دهد که کاربرد سالیسیلیک اسید سبب ایجاد تحمل به تنش خشکی در گندم (Singh and Usha, 2003)، سبب کاهش اثرات بازدارندگی تنش خشکی در گوجه فرنگی و لوبیا (Senaratna et al., 2000) و سبب ایجاد تحمل به تنش گرما در خردل (Dat et al., 1998) شد.

خردل گیاهی قدیمی که به طور وسیعی در نواحی خشک و نیمه خشک رشد می‌کند (Singh et al., 2011). و به دلیل داشتن موسیلاژ خاصیت آرام‌بخش داشته و منبع غنی از پروتئین، کلسیم، منیزیوم، سلینیوم و پتاسیم است، که به آن خاصیت ضد التهابی، آنتی باکتریال و کمک در تسریع جریان خون داده است. به علاوه از روغن و دانه این گیاه نیز در صنایع غذایی استفاده می‌شود.این تحقیق به منظور بررسی اثر سالیسیلیک اسید در تخفیف اثرات تنش خشکی در این گیاه در شرایط کنترل شده طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه درسال ۱۳۹۱ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. برای این منظور از گلدان‌هایی با قطر ۳۰ و ارتفاع ۳۰ سانتی متر استفاده گردید و سپس گلدانها از رس، شن و ماسه به نسبت ۱:۱:۱ پر شد، به طوری که وزن خاک گلدان به ۸ کیلوگرم رسید. به هر گلدان مقدار ۲/۵ گرم کود کامل NPK داده شد و تعداد ۱۰ عدد بذر ضد عفونی شده خردل (*Brassica compestris*var. parkland) که از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی دریافت شده بود، در هر گلدان کاشته شد. پس از سبز شدن و تنک کردن، در هر گلدان تعداد ۴ بوته با فاصله یکنواخت از هم قرار داشت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد، که در آن فاکتور اول سالیسیلیک اسید، در سه سطح صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ ppm و فاکتور دوم تنش خشکی در سه سطح ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی خاک مورد استفاده بود. اعمال تیمارهای آبیاری پس از جوانه‌زنی و سبز شدن بذرها تا اتمام رشد

1. Salicylic acid

گیاه انجام شد. برای اعمال تیمارهای آبیاری از روش وزنی استفاده شد. برای این منظور ابتدا از ترکیب خاک مورد نظر ۱۰۰ گرم برداشته و جهت تعیین میزان رطوبت آن در آون ۷۴ درجه به مدت ۴۸ ساعت گذاشته شد. سه گلدان به عنوان نمونه انتخاب و آب به آنها اضافه شد تا از انتهای گلدان آب خارج شود، سپس روی گلدان‌ها به منظور جلوگیری از تبخیر آب پلاستیک کشیده شد و پس از ۲۴ و ۴۸ ساعت آنها را توزین نموده و درصورت ثابت شدن وزن گلدان‌ها در دو روز متوالی، در این حالت، خاک مورد نظر در ظرفیت زراعی قرار دارد. سپس وزن نهایی گلدان‌ها را از وزن گلدان بدون آب کسر گردید تا میزان آب داده شده محاسبه گردد. برای محاسبه میزان واقعی آب در ظرفیت زراعی در هر گلدان، میزان رطوبت در ۱۰۰ گرم وزن خاک آون را محاسبه و از میزان آب هر گلدان در ظرفیت زراعی کسر گردید. بنابراین میزان آب در ظرفیت زراعی خاک مورد نظر محاسبه و سپس ۷۵٪، ۵۰٪ و ۲۵٪ این آب به عنوان تیمار تنش خشکی اعمال گردید. برای این منظور بر اساس محاسبه میزان آب مورد نیاز در هر تیمار، به‌طور روزانه ابتدا گلدان‌ها وزن و زمانی که وزن گلدان‌ها از مقدار محاسبه شده برای هر تیمار کمتر بود، آب داده شد تا به وزن مورد نظر برای هر تیمار تنش خشکی برسد. محلول پاشی برگی با سالیسیلیک اسید یک هفته قبل از آغاز تنش خشکی شروع شد و با فاصله هفت روز، تا سه هفته بعد از اعمال تنش خشکی ادامه یافت (Najafian et al., 2009). در هر بار محلول پاشی برای هر گلدان ۱۵۰ میلی‌لیتر سالیسیلیک اسید در تیمارهای مختلف استفاده شد (Wang and Li, 2005). پس اتمام مراحل رشد گیاه و در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی آبیاری قطع و اندازه‌گیری‌های لازم انجام شد. در مرحله ۵۰ درصد گلدهی اندازه‌گیری‌های زیر انجام شد.

اندازه‌گیری میزان فتوسنتز و تعرق توسط دستگاه فتوسنتز مدل LCA4 روی جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه-یافته از بوته‌های متفاوت در هر گلدان انجام شد و زمان اندازه‌گیری فاصله بین ساعات ۱۲-۱۰ قبل از ظهر بود. هر اندازه‌گیری حدود سه تا پنج دقیقه به طول انجامید. هدایت روزنه‌ای و محتوای کلروفیل برگ از دستگاه‌های پرومتر و کلروفیل‌متر[1] بر روی جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه یافته اندازه‌گیری شد (Fazeli Kakhki et al., 2012). به منظور تعیین میزان پایداری غشاء (از طریق اندازه‌گیری میزان نشت الکترولیت برگ) از هر تیمار پنج دیسک برگی به قطر ۷ میلی متر از برگ جوان کاملاً توسعه یافته جدا شده و سپس در ۲۰ میلی لیتر آب مقطر دو بار تقطیر شده به مدت ۲۴ ساعت در دمای اطاق نگهداری شد. سپس میزان هدایت الکتریکی محلول فوق به عنوان نشت اولیه اندازه‌گیری شد (EC1)[2]. جهت اندازه گیری نشت ثانویه نمونه‌ها داخل بن‌ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد و به مدت یک ساعت قرار داده شدند.سپس نمونه‌ها سرد شده و به مدت یک ساعت بر روی شیکر قرار گرفتند، سپس میزان هدایت الکتریکی نمونه ها به عنوان نشت ثانویه (EC2) اندازه‌گیری شد. شاخص پایداری غشاء[3] از معادله (۱) محاسبه شد (Sairam et al., 2002).

$$MSI = [(EC_1/EC_2)-1] \times 100 \qquad [۱]$$

جهت اندازه‌گیری مقدار محتوای آب نسبی برگ (RWC)[4]، دو روز بعد از آبیاری در ساعت ۸ تا ۱۰ صبح، ۱۰ دیسک برگی (با قطر ۷ میلی متر) از برگ‌های جوان کاملاً توسعه یافته انتخاب و پس از توزین اولیه (وزن تر)، ۲۴ ساعت در داخل آب مقطر قرار گرفته، سپس مجدداً توزین شدند (وزن تورژسانس) و در مرحله بعد به مدت ۲۴ ساعت درآون ۷۴ درجه قرار گرفته و سپس توزین شدند (وزن خشک). مقدار نسبی آب برگ از طریق معادله (۲) محاسبه شد (Smart and Bingham, 1974).

$$RWC= \frac{\text{وزن خشک - وزن تر}}{\text{وزن خشک - وزن تورژسانس}} \times 100 \qquad [۲]$$

قبل از برداشت، ارتفاع ساقه اصلی، تعداد و طول شاخه جانبی اندازه‌گیری شدند. بعد از برداشت، وزن تر گیاه، وزن برگ و سطح برگ،وزن ریشه، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه و وزن دانه در بوته تعیین شدند. نمونه‌ها در آون ۷۴ درجه به مدت ۴۸ ساعت خشک شده و سپس وزن خشک اندام‌های هوایی گیاه تعیین شد. داده‌ها در جداول مربوطه ثبت و با استفاده از نرم افزارهای آماری MSTAT-C و MINTAB تجزیه واریانس شدند. جهت مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون LSD استفاده شد.

1. Mintola Reading SPAD-502, Japan

2. Electrical Conductivity
3. Memberane Stability Index
4. Relative Water Content

نتایج

ارتفاع: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ارتفاع بوته تحت تاثیر سالیسیلیک اسید، تنش خشکی و برهمکنش آنها معنی‌دار ($P<0.01$) شد (جدول ۱). بیشترین ارتفاع از اعمال تیمار ۲۰۰ ppm سالیسیلیک اسید به دست آمد. با افزایش تنش خشکی ارتفاع بوته کاهش یافت، به طوری که در تیمار خشکی ۲۵٪FC میزان کاهش ارتفاع نسبت به تیمار خشکی ۷۵٪FC حدود ۱۸ درصد بود (جدول ۲). بیشترین ارتفاع بوته از اعمال تیمار ۲۰۰ppm سالیسیلیک اسید و تیمار خشکی ۷۵٪FC بدست آمد و کمترین آن از اعمال تیمار ۲۰۰ppm سالیسیلیک اسید و تیمار خشکی FC ۲۵٪ حاصل شد. با افزایش تنش خشکی تا سطح ۵۰ درصد FC، اعمال ۲۰۰ppm سالیسیلیک اسید توانست ارتفاع بوته را نسبت به سایر تیمارها در همین سطح تنش خشکی بهبود بخشد. با افزایش تنش خشکی به FC ۲۵٪، اعمال تیمار ۱۰۰ppm اسید سالیسیلیک نسبت به تیمار ۲۰۰ppm سالیسیلیک اسید در همین سطح تنش خشکی حدود ۹ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳).

تعداد و طول شاخه: سالیسیلیک اسید تاثیر معنی‌داری ($P<0.01$) بر تعداد شاخه در بوته داشت (جدول ۱). بیشترین تعداد شاخه در بوته با تعداد ۴/۴۴ شاخه در بوته در غلظت ۱۰۰ppm آن به دست آمد و با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید تعداد شاخه کاهش یافت (جدول ۲). تعداد شاخه در بوته تحت تاثیر تنش خشکی قرار نگرفت (جدول ۱). نتایج برهمکنش سالیسیلیک اسید و تنش خشکی بر تعداد شاخه معنی‌دار ($P<0.01$) بود (جدول ۱). بیشترین مقدار این صفت از اعمال تیمار ۱۰۰ppm سالیسیلیک اسید و تیمار تنش خشکی FC ۲۵٪ به دست آمد که نسبت به سطح صفر سالیسلیک اسید در همین سطح تنش حدود ۵۶ درصد افزایش داشت. اعمال ۲۰۰ppm سالیسیلیک اسید در سطوح مختلف تنش خشکی نیز نشان داد که با افزایش سطح تنش میزان این صفت اندکی نسبت به تیمار خشکی ۷۵٪FC افزایش داشت (جدول ۳). طول شاخه در بوته تحت تاثیر سالیسیلیک اسید، سطوح مختلف تنش خشکی و برهمکنش آنها معنی‌دار ($P<0.01$) بود (جدول ۱). اعمال تیمار سالیسیلیک اسید اثر افزاینده‌ای بر طول شاخه در بوته داشت به طوری که با افزایش آن به ۱۰۰ و ۲۰۰ppm طول شاخه نسبت به سطح صفر آن به ترتیب حدود ۴۶ و ۲۸ درصد افزایش داشت اما با اعمال سطوح تنش خشکی طول شاخه کاهش یافت (جدول ۲). نتایج برهکمنش تیمارهای فوق نشان داد که بیشترین طول شاخه در بوته از اعمال غلظت ۲۰۰ ppm سالیسیلیک اسید در سطح تنش خشکی ۷۵٪FC به مقدار ۳۳/۳ سانتی متر حاصل شد و کمترین مقدار صفت فوق در سطح تنش خشکی ۷۵٪FC و غلظت صفر ppm سالیسیلیک اسید به دست آمد (جدول۳).

سطح و وزن برگ: تاثیر تیمارهای سالیسیلیک اسید، تنش خشکی و برهمکنش آنها بر سطح و وزن برگ ($P<0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۱). تیمار ۱۰۰ppm سالیسیلیک اسید با مقدار ۹۴/۱ سانتی‌متر مربع بیشترین سطح برگ و تیمار سطح صفر آن با ۷۶/۳ سانتی‌متر مربع کمترین مقدار آن را داشت (جدول ۲). با افزایش تنش خشکی سطح برگ کاهش یافت به طوری که در تیمار تنش خشکی FC ۲۵٪ مقدار صفت مذکور نسبت به تیمار تنش خشکی ۷۵٪FC حدود ۵۰ درصد کاهش داشت (جدول ۲). برهمکنش سالیسیلیک اسید و تنش خشکی بر سطح برگ ($P<0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین سطح برگ از اعمال تیمار ۱۰۰ppm اسید سالیسیلیک و تیمار تنش خشکی ۷۵٪FC به دست آمد که نسبت به سطح صفر سالیسیلیک اسید و تیمار تنش خشکی ۷۵٪FC، ۱۸ درصد افزایش داشت و کمترین مقدار این صفت در تیمار تنش خشکی FC ۲۵٪ و عدم مصرف سالیسیلیک اسید با مقدار ۴۳/۷ سانتی متر مربع حاصل شد (جدول۳). با افزایش تنش خشکی نیز وزن برگ کاهش یافت به طوری که در تیمارهای ۵۰٪ و ۲۵٪ FC میزان کاهش وزن برگ نسبت به تیمار تنش خشکی ۷۵٪FC به ترتیب ۱۷ و ۳۶ درصد بود. وزن برگ در تیمار تنش خشکی ۷۵٪FC، ۹۵۷ گرم بود (جدول ۲). اعمال ۱۰۰ppm سالیسیلیک اسید سبب کاهش ۶ درصد وزن برگ و افزایش سالیسیلیک اسید به ۲۰۰ppm سبب افزایش ۵ درصدی وزن برگ نسبت به سطح صفر آن شد (جدول ۲). نتایج برهمکنش تیمارها نشان داد که اعمال غلظت ۲۰۰ppm سالیسیلیک اسید در سطح تنش خشکی ۷۵٪FC نسبت به سطح صفر و ۱۰۰ppm سالسلیک اسید در همین سطح تنش خشکی سبب بهبود وزن برگ به

ترتیب به مقدار حدود ۸ و ۱۴ درصد شد. کمترین مقدار صفت فوق به مقدار ۰/۵۴۱ گرم و از اعمال۲۰۰ppm سالیسیلیک اسید و تیمار تنش خشکی FC ۲۵٪ به دست آمد (جدول۳).

وزن خشک ریشه: نتایج تجزیه واریانس حاکی از اثر معنی‌دار ($P<0.01$) تیمارهای سالیسیلیک اسید، تنش خشکی و برهمکنش آنها بر وزن خشک ریشه در بوته بود (جدول ۱). غلظت ۱۰۰ppm سالیسیلیک اسید سبب افزایش ۱۲ درصدی وزن خشک ریشه نسبت به سطح صفر سالیسیلیک اسید شد و با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید به ۲۰۰ppm، وزن خشک ریشه کاهش یافت (جدول ۲). افزایش تنش خشکی به FC ۵۰٪ سبب کاهش صفت مذکور به مقدار حدود ۱۹ درصد نسبت به تیمار تنش خشکی ۷۵٪FC شد و با افزایش تنش خشکی به ۲۵٪FC وزن خشک ریشه به ۵/۵۷ گرم رسید (جدول ۲). نتایج برهمکنش داده نشان داد که بیشترین مقدار وزن ریشه از اعمال ۱۰۰ppm سالیسیلیک اسید و در تیمار تنش خشکی ۷۵٪FC به مقدار ۸/۳ گرم به دست آمد و کمترین مقدار صفت فوق در اعمال ۲۰۰ppm سالیسیلیک اسید و تیمار تنش خشکی FC ۲۵٪ و به مقدار ۳/۹۳ گرم حاصل شد که نسبت به سطح صفر و ۱۰۰ppm سالیسیلیک اسید و در همین سطح تنش خشکی به ترتیب حدود ۵ و ۲۳ درصد کاهش داشت (جدول ۳).

جدول ۱. منابع تغییر، درجه آزادی و میانگین مربعات ارتفاع، تعداد و طول شاخه، سطح برگ، وزن خشک برگ، وزن خشک ریشه، نشت الکترولیت‌ها، محتوای آب نسبی برگ، عدد کلروفیل متر، فتوسنتز، هدایت روزنه ای، تعرق، غلاف در بوته، دانه در غلاف، وزن صد دانه و وزن دانه در بوته گیاه خردل تحت تاثیر سالیسیلیک اسید و شرایط تنش خشکی در شرایط گلخانه در مشهد، ۱۳۹۱.

Table 1- Source of variation, degree of free and mean of squares height, number and length of branch per plant, leaf area, dry leaf weight, dry root weight, membrane stability index, relative water content, spad, photosynthesis, stomata conductivity, transpiration, pod per plant, seed per pod, 100-seed weight and seed weight per plant in mustard plant effected salicylic acid and drought stress in green house condition in mashhad, 2012.

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع	تعداد شاخه در بوته	طول شاخه	سطح برگ	وزن خشک برگ	وزن خشک ریشه	عدد کلروفیل‌متر	فتوسنتز
S.O.V	df	Height	Branches per plant	Branch Length	Leaf area	Leaf weight	Dry root	Spad	Photosynthesis
SA†	2	508**	8.03**	400**	749**	0.01**	2.51**	114**	0.98**
D	2	511**	1.37^{ns}	3.11**	7141**	0.26**	28.1**	145**	7.49**
Interaction SA×D	4	348**	2.03**	42.8**	60.2**	0.01**	0.26**	17.2*	0.11**
خطا (Error)	18	17.2	0.29	2.81	4.6	0.001	0.37	5.38	0.04
ضریب تغییرات (CV)		*8.70*	*15.16*	*7.95*	*7.29*	*6.28*	*10.39*	*6.70*	*5.64*

جدول ۱. ادامه

Table 1. Continued

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعرق	هدایت روزنه‌ای	شاخص پایداری غشاء	محتوای آب نسبی	غلاف در بوته	دانه در غلاف	وزن صد دانه	وزن دانه در بوته
S.O.V	df	Transpira-Tion	Stomatal conductivity	Membrane Stability Index	Relative Water Content	Pod per plant	Seed per pod	100-Seed weight	Seed weight per plant
SA†	2	1.01**	502**	49.8**	34.1**	26.3**	522**	0.01^{ns}	1.37**
D	2	2.74**	10266**	64.7**	1008.1**	2.77**	226**	0.01**	0.26**
Interaction SA×D	4	0.09*	565**	9.01**	42.2**	3.11**	3.28**	0.000^{ns}	0.09**
خطا (Error)	18	0.02	7.0	1.42	2.15	0.44	2.70	0.001	0.01
ضریب تغییرات (CV)		*5.87*	*4.08*	*6.67*	*8.05*	*10.71*	*7.54*	*5.44*	*12.56*

^{ns}، * و **: غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

^{ns}, * and ** are non- significant and significant at the 5 and 1% probability level respectively

†SA: تیمار سالیسیلیک اسید : Salicylic acid treatment ؛ D: تیمار تنش خشکی : Drought Stress

جدول ۲. مقایسه میانگین اثرات ساده سالیسیلیک اسید و تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک (ارتفاع بوته، تعداد و طول شاخه، وزن خشک برگ و وزن خشک ریشه)، فیزیولوژیک (فتوسنتز، عدد کلروفیل متر، شاخص پایداری غشاء، محتوای نسبی آب، تعرق، هدایت روزنه ای)، عملکرد و اجزاء عملکرد (غلاف در بوته، دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه و وزن دانه در بوته) گیاه خردل، ۱۳۹۱.

Table 2.Mean comparsion simple effects Salcykic Acid and Drought stress treatments on morphology (plabt height, number and length branch per plant and root dry weight), physiology (Photosynthesis, Spad, MSI, RWC, Transpiration, Stomata conductivity) and components yields (number pod per plant, seed number per pod, 100-weight and seed weight per plant) traits in mustard plant in 2012.

تیمار	ارتفاع (سانتی متر)	تعداد شاخه در بوته	طول شاخه (سانتی متر)	سطح برگ (سانتی متر مربع)	وزن خشک برگ (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	عدد کلروفیل‌متر	فتوسنتز (میکرومول CO_2 بر متر مربع در ثانیه)
Treatment	**Height** (Cm)	**Branches per plant**	**Branch Length** (Cm)	**Leaf area** (Cm^2)	**Leaf weight** (g)	**Dry root** (g)	**Spad**	**Photosynthesis** ($\mu mol\ CO_2 . m^{-2} . s^{-1}$)
SA1*	76.3[a]	3.0[b]	15.0[c]	76.3[c]	0.787[b]	5.73[b]	38.5[a]	7.71[c]
SA2	64.2[b]	4.44[a]	20.1[b]	94.1[a]	0.743[c]	6.50[a]	33.8[b]	8.35[a]
SA3	78.0[a]	2.67[b]	28.0[a]	86.7[b]	0.829[a]	5.89[b]	31.5[c]	7.96[b]
D1**	80.8[a]	3.00[a]	21.9[a]	110[a]	0.957[a]	5.47[a]	38.2[a]	8.77[a]
D2	72.0[b]	3.33[a]	20.9[a]	91.9[b]	0.791[b]	4.41[b]	36.3[b]	8.24[b]
D3	65.8[c]	3.78[a]	15.7[b]	55.1[c]	0.611[c]	5.57[a]	35.4[b]	7.00[c]

Table 2. Continued **جدول ۲. ادامه**

تیمار	تعرق	هدایت روزنه‌ای	شاخص پایداری غشاء(٪)	محتوای آب نسبی (٪)	غلاف در بوته	دانه در غلاف	وزن صد دانه	وزن دانه در بوته
Treatment	**Transpira-tion**	**Stomatal conductivity**	**Membrane Stability Index** (%)	**Relative Water Content** (%)	**Pod per plant**	**Seed per pod**	**100-Seed weight** (g)	**Seed weight per plant** (g)
SA1*	70.8[a]	6.65[a]	74.0[a]	73.7[a]	5.78[b]	25.8[b]	0.279[a]	0.423[b]
SA2	67.5[b]	5.91[c]	70.9[b]	71.6[b]	8.11[a]	38.4[a]	0.324[a]	1.04[a]
SA3	56.5[c]	6.21[b]	69.4[c]	69.8[c]	4.78[c]	24.8[b]	0.270[a]	0.307[c]
D1**	99.2[a]	6.61[a]	73.0[a]	82.7[a]	6.78[a]	35.1[a]	0.326[a]	0.785[a]
D2	63.8[b]	5.31[b]	73.2[a]	70.8[b]	5.43[b]	28.7[b]	0.283[b]	0.505[b]
D3	31.7[c]	4.08[c]	68.4[b]	61.6[c]	4.80[c]	25.2[c]	0.264[b]	0.476[c]

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

Means in each column, that have same alphabet are not significantly different at α=0.05 by LSD test.

*: تیمار سالیسیلیک اسید (SA1: صفر، SA2: ۱۰۰ ppm و SA3: ۲۰۰ ppm).

*: Salicylic acid treatment: SA1 (zero), SA2 (100 ppm) and SA3 (200 ppm).

**: تیمار تنش خشکی: (D1: ۷۵٪ FC، D2: ۵۰٪ FC و D3: ۲۵٪FC).

**. Drought Stress: D1 :%75 FC, D2: %50 FC and D3: %25 FC

شاخص پایداری غشاء: تیمار سالیسیلیک اسید، خشکی و برهمکنش آنها بر شاخص پایداری غشاء اثر معنی‌داری ($P<0.01$) داشت (جدول ۱). بیشترین و کمترین شاخص پایداری غشاء از تیمار صفر و ۲۰۰ ppm سالیسیلیک اسید به دست آمد و در شرایط تنش خشکی مقدار صفت مذکور در دو سطح تنش خشکی ۷۵٪ و ۵۰٪FC با هم اختلاف معنی‌داری نداشت و در تیمار تنش خشکی ۲۵٪ FC مقدار شاخص پایداری غشاء با ۶٪ کاهش نسبت به تیمار تنش خشکی ۷۵٪ FC به ۶۸/۴ درصد رسید (جدول ۲). نتایج برهمکنش تیمارها نشان داد بیشترین مقدار صفت فوق از اعمال سطح ۱۰۰ppm سالیسیلیک اسید در تیمار تنش خشکی ۷۵٪ FC حاصل شد، با این حال مقدار آن با

تیمارهای ppm۱۰۰ و تیمار تنش خشکی FC ۵۰٪ از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نداشت. نتایج نشان داد که در تمام سطوح تنش خشکی اعمال ppm۱۰۰ سالیسیلیک اسید نسبت به سایر سطوح سالیسیلیک اسید شاخص پایداری غشاء مقدار بیشتری را نشان داد (جدول۳).

محتوای نسبی آب: محتوای نسبی آب تحت تاثیر اثرات ساده و متقابل تیمارها معنی‌دار شد (جدول ۱). کمترین مقدار محتوای نسبی آب برگ از تیمار ppm۲۰۰ سالیسیلیک اسید به دست آمد که نسبت به عدم مصرف آن حدود ۵ درصد کمتر بود. با افزایش تنش خشکی محتوای آب نسبی برگ کاهش یافت (جدول ۲). بیشترین مقدار محتوای نسبی آب برگ از عدم مصرف سالیسیلیک اسید و تیمار تنش خشکی FC ۷۵٪ به دست آمد و کمترین مقدار صفت مذکور در تیمار تنش خشکی FC۲۵٪ و سطح ppm۱۰۰ سالیسیلیک اسید با مقدار ۵۷ درصد دست آمد (جدول ۳). با این حال اعمال ppm۲۰۰ سالیسیلیک اسید در تیمار خشکی FC ۲۵٪ نسبت به اعمال دو تیمار صفر و ppm۱۰۰ سالیسیلیک اسید در همین سطح تنش خشکی به ترتیب سبب افزایش حدود ۴ و ۱۲ درصد محتوای آب نسبی برگ شد (جدول ۳).

عدد کلروفیل‌متر: تاثیر سالیسیلیک اسید، تنش خشکی و برهمکنش آنها بر عدد کلروفیل‌متر معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین مقدار این شاخص از عدم مصرف سالیسیلیک اسید به دست آمد و با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید عدد کلروفیل‌متر کاهش یافت. کمترین مقدار صفت مذکور از تیمار تنش خشکی FC ۲۵٪ به دست آمد. با این حال با تیمار تنش خشکی FC ۵۰٪ تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری در صفت مذکور وجود نداشت (جدول ۲). روند منطقی در بررسی نتایج برهمکنش تیمارها از نظر صفت فوق مشاهده نشد. بیشترین مقدار عدد کلروفیل‌متر از تیمار عدم مصرف سالیسیلیک اسید و تیمار تنش خشکی FC۷۵٪ مشاهده شد و کمترین مقدار صفت مذکور از اعمال ppm۲۰۰سالیسیلیک اسید و در سطح تنش خشکی FC ۵۰٪ به دست آمد (جدول۳).

فتوسنتز: نتایج تجزیه واریانس حاکی از اثر معنی‌دار ($P<0.01$) سالیسیلیک اسید، تنش خشکی و برهمکنش آنها بر مقدار فتوسنتز بود (جدول ۱). بیشترین مقدار فتوسنتز از تیمار ppm۱۰۰ سالیسیلیک اسید به دست آمد که نسبت به عدم مصرف آن حدود ۸ درصد بیشتر بود و کمترین مقدار آن در تیمار صفر سالیسیلک اسید حاصل شد. در شرایط تنش خشکی بیشترین مقدار فتوسنتز از تیمار خشکی FC۷۵٪به دست آمد. افزایش تنش خشکی به FC۲۵٪ سبب کاهش ۲۰ درصدی فتوسنتز نسبت به تیمار تنش خشکی FC۷۵٪ شد، مقدار کاهش صفت مذکور در تیمار تنش خشکی FC۵۰٪ نسبت به تیمار تنش خشکی FC۷۵٪ حدود ۶ درصد بود (جدول ۲). نتایج بر-همکنش داده‌ها نشان داد که بیشترین مقدار صفت مذکور در تیمار تنش خشکی FC۷۵٪ و اعمال ppm۱۰۰ سالیسیلیک اسید به دست آمد که نسبت به عدم مصرف سالیسیلیک اسید در همین سطح تنش خشکی حدود ۵ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). در تیمار تنش خشکی FC۲۵٪ در تمام سطوح اعمال سالیسیلیک اسید مقدار فتوسنتز نسبت به سایر تیمارها کاهش داشت، که بیشترین کاهش آن در سطح صفر سالیسیلیک اسید و تیمار تنش خشکی FC۲۵٪ حاصل شد که مقدار کاهش آن نسبت به مصرف ۱۰۰ و ۲۰۰ ppm سالیسیلیک اسید به ترتیب حدود ۱۱ و ۸ درصد بود (جدول ۳).

هدایت روزنه‌ای: اثر سالیسیلیک اسید، تنش خشکی و برهمکنش آنها بر مقدار هدایت روزنه‌ای معنی‌دار ($P<0.01$) بود (جدول ۱). کمترین مقدار هدایت روزنه‌ای از اعمال ppm۱۰۰سالیسیلیک اسید به دست آمد که نسبت به تیمار عدم مصرف آن حدود ۱۱ درصد کاهش داشت. افزایش خشکی به ۵۰ و ۲۵ درصد FC سبب کاهش صفت مذکور نسبت به تیمار تنش خشکی FC۷۵٪ به ترتیب حدود۲۰ و ۳۸ درصد شد (جدول ۲). مقدار هدایت روزنه‌ای در شرایط اعمالppm ۲۰۰ سالیسیلیک اسید در تمامی سطوح تیمار تنش خشکی نسبت به اعمال ppm ۱۰۰ سالیسیلیک اسید بیشتر بود. کمترین هدایت روزنه‌ای از اعمال ppm ۱۰۰ اسید سالیسیلیک در تیمار خشکی FC۷۵٪ به دست آمد (جدول ۳). روند افزایش هدایت روزنه‌ای در تمامی سطوح سالیسیلیک اسید با افزایش تنش خشکی افزایش نشان داد، به طوری که مقدار این صفت در اعمال ppm ۲۰۰ سالیسیلیک اسید و تیمار-های تنش خشکی ۷۵٪، ۵۰٪ و ۲۵٪ FC به ترتیب ۵/۵۳، ۶/۴۳ و ۶/۸۱ میلی‌مول بر متر مربع بر ثانیه بود (جدول ۳).

جدول ۳. مقایسه میانگین برهمکنش تیمار های سالیسیلیک اسسید × تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک (ارتفاع بوته، تعداد و طول شاخه، وزن خشک ریشه)، فیزیولوژیک (فتوسنتز، عدد کلروفیل متر، شاخص پایداری غشاء، محتوای نسبی آب، تعرق، هدایت روزنه ای)، عملکرد و اجزاء عملکرد (غلاف در بوته، دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه و وزن دانه در بوته) گیاه خردل ، ۱۲۹۱.

Table 3. Mean comparsion of interaction Slicylic acid × drought stess treatments on morphology (plabt height, number and length branch per plant, root dry weight), physiology (Photosynthesis, Spad, MSI, RWC, Transpiration, Stomata conductivity) and components yields (number pod per plant, seed number per pod, 100-weight and seed weight per plant) traits in mustard plant in 2012.

برهمکنش سالیسیلیک اسید در تنش خشکی Interaction between SA× D	ارتفاع (سانتی متر) Height (Cm)	تعداد شاخه در بوته Branches per plant	طول شاخه (سانتی متر) Branch Length (Cm)	سطح برگ (سانتی متر مربع) Leaf area (Cm^2)	وزن خشک برگ (گرم) Leaf weight (g)	وزن خشک ریشه (گرم) Dry root (g)	عدد کلروفیل‌متر Spad	فتوسنتز (میکرومول CO_2 بر متر مربع در ثانیه) Photosynthesis ($\mu mol\ CO_2.\ m^{-2}.\ s^{-1}$)
SA1×D1*	85.3^{b}	3.33^{c}	14.0^{e}	100.6^{c}	0.948^{b}	7.50^{a}	44.1^{a}	8.66^{b}
SA1×D2	74.0^{cd}	3.33^{c}	15.0^{de}	84.3^{e}	0.790^{d}	5.57b^{c}	32.6^{c}	8.03^{d}
SA1×D3	69.7^{cde}	2.33^{d}	16.0^{de}	43.7^{g}	0.622^{e}	4.13^{de}	38.8^{b}	6.47^{g}
SA2×D1	60.3^{f}	3.67^{bc}	23.0^{bc}	123.0^{a}	0.884^{c}	8.30^{a}	35.4^{bc}	9.13^{a}
SA2×D2	65.3^{ef}	4.33^{b}	17.0^{d}	97.7^{c}	0.802^{d}	6.07^{b}	32.3^{c}	8.47^{bc}
SA2×D3	67.0d^{ef}	5.33^{a}	20.3^{c}	61.6^{f}	0.669^{e}	5.13^{bcd}	33.8^{c}	7.47^{e}
SA3×D1	96.7^{a}	2.00^{d}	33.3^{a}	106.6^{b}	1.03^{a}	7.77^{a}	34.9^{bc}	8.60^{b}
SA3×D2	76.7^{c}	2.33^{d}	25.7^{b}	93.8^{d}	0.780^{d}	4.78^{cde}	25.8^{d}	8.23^{cd}
SA3×D3	60.7^{f}	3.67^{bc}	25.7^{b}	59.7^{f}	0.541^{f}	3.93^{e}	33.6^{c}	7.07^{f}

جدول ۳. ادامه

Table 3. Continued

برهمکنش سالیسیلیک اسید در تنش خشکی Interaction between SA× D	تعرق Transpira-tion	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductivity	شاخص پایداری غشاء(٪) Membrane Stability Index (%)	محتوای آب نسبی (٪) Relative Water Content (%)	غلاف در بوته Pod per plant	دانه در غلاف Seed per pod	وزن صد دانه 100-Seed weight (g)	وزن دانه در بوته Seed weight per plant (g)
SA1×D1*	89.9^{b}	6.17^{d}	72.9^{bc}	88.0^{a}	6.00^{cd}	31.3^{cd}	0.317^{a}	0.595^{d}
SA1×D2	81.9^{c}	6.61^{bc}	72.3^{bcd}	70.3^{c}	5.00d^{e}	24.0^{ef}	0.270 ^{a}	0.328^{e}
SA1×D3	40.6^{f}	7.21^{a}	70.9^{d}	62.7^{d}	6.33^{c}	22.1f^{g}	0.250 ^{a}	0.347^{e}
SA2×D1	92.7^{ab}	5.13^{f}	74.9^{a}	81.0^{b}	9.00^{a}	44.7^{a}	0.347 ^{a}	1.43 ^{a}
SA2×D2	47.9^{e}	6.17^{d}	74.2^{ab}	71.3^{c}	7.67^{b}	37.0^{b}	0.317 ^{a}	0.901^{b}
SA2×D3	28.8^{g}	6.67^{bc}	72.0^{bcd}	57.0^{e}	7.67^{b}	33.7^{c}	0.302 ^{a}	0.773^{c}
SA3×D1	95.1^{a}	5.53^{e}	66.6^{e}	79.0^{b}	3.67^{f}	29.3^{d}	0.303 ^{a}	0.325^{e}
SA3×D2	61.6^{d}	6.43^{cd}	65.9^{cd}	70.7^{c}	4.33^{ef}	25.0^{e}	0.273 ^{a}	0.309^{e}
SA3×D3	25.6^{g}	6.81^{b}	65.5^{e}	65.0^{d}	6.27^{c}	20.0^{g}	0.269 ^{a}	0.287 ^{e}

میانگین هایی که دارای حروف مشترکن بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری با هم ندارند.

Means, that have same alphabet are not significantly different at α=0.05 by LSD test.

-تیمار های سالیسیلیک اسید: SA1 (صفر)، SA2: ۱۰۰ ppm و SA3: ۲۰۰ ppm

-Salicylic acid treatment: SA1 (zero), SA2 (100 ppm) and SA3 (200 ppm)

تیمار تنش خشکی: (D1: ۷۵٪ FC ، D2: ۵۰٪ FC و D3: ۲۵٪FC).

- Drought Stress: D1: %75 FC, D2: %50 FC and D3: %25 FC.

تعرق: اثر سالیسیلیک اسید، تنش خشکی و برهمکنش آنها بر مقدار تعرق معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید مقدار تعرق کاهش یافت به طوری که در تیمار ppm ۲۰۰ سالیسیلیک اسید نسبت به تیمار صفر و ppm ۱۰۰ آن مقدار تعرق به ترتیب حدود ۲۰ و ۵ درصد کاهش یافت (جدول ۲). تعرق با افزایش تنش خشکی روند کاهشی نشان داد (جدول ۲). نتایج برهمکنش تیمارها نشان داد که بیشترین مقدار تعرق از تیمار ppm ۲۰۰ سالیسیلیک اسید در تیمار تنش خشکی ۷۵٪FC به دست آمد که نسبت به دو سطح تیمار صفر و ppm ۱۰۰ آن در همین سطح تنش خشکی به ترتیب حدود ۵ و ۳ درصد بیشتر بود. در هر سطح اعمال سالیسیلیک اسید با افزایش تنش خشکی مقدار تعرق کاهش نشان داد و این کاهش در اعمال سطح ppm ۱۰۰ سالیسیلیک اسید و در تمامی سطوح تنش خشکی مشهودتر بود. کمترین مقدار صفت فوق در اعمال تیمارهای ppm ۱۰۰ و ppm ۲۰۰ در تنش خشکی ۲۵٪FC به ترتیب به مقدار ۲۸/۸ و ۲۵/۶ (.mmol $(H_2Ocm^{-2}.s^{-1})$ به دست آمد (جدول ۳).

اجزای عملکرد: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تاثیر سالیسیلیک اسید و تنش خشکی بر تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف معنی‌دار ($P<0.01$) شد (جدول ۱)، به طوری که بیشترین تعداد غلاف در بوته و دانه در غلاف از اعمال ppm۱۰۰ سالیسیلیک اسید حاصل شد. افزایش تنش خشکی سبب کاهش مقدار این صفات شد به طوری که در تیمار تنش خشکی ۵۰٪FC تعداد غلاف در بوته و دانه در غلاف نسبت به تیمار تنش خشکی ۷۵٪FC به ترتیب حدود ۲۰ و ۱۸ درصد کاهش یافت و با افزایش تیمار تنش خشکی به ۲۵٪ FC نیز صفات فوق به مقدار بیشتری کاهش نشان داد (جدول ۲). بیشترین تعداد غلاف در بوته و دانه در غلاف از اعمال ppm ۱۰۰سالیسیلیک اسید و تیمار تنش خشکی ۷۵٪FC به ترتیب با مقدار ۹ و ۴۴/۷ به دست آمدند (جدول ۳). وزن صد دانه تحت تاثیر تیمار خشکی معنی‌دار شد($P<0.01$)، اما تحت تاثیر سالیسیلیک اسید و برهمکنش سالیسیلیک اسید و تنش خشکی قرار نگرفت (جدول ۱). بیشترین مقدار صفت مذکور از تیمار تنش خشکی ۷۵٪FC با مقدار ۰/۳۲۶ گرم حاصل شد و کمترین مقدار آن از تیمار تنش خشکی ۷۵٪FC به دست آمد (جدول ۲).

وزن دانه در بوته: اثرات سالیسیلیک اسید، تنش خشکی و برهمکنش آنها بر وزن دانه در بوته معنی‌دار ($P<0.01$) بود (جدول ۱). بیشترین و کمترین وزن دانه در بوته به ترتیب از اعمال ۱۰۰ و ۲۰۰ ppm سالیسیلیک اسید به ترتیب به مقدار ۱/۰۴ و ۰/۳۰۷ گرم به دست آمد (جدول ۲). با افزایش تنش خشکی به ۵۰ و ۲۵٪ FC، وزن دانه در بوته نسبت به تیمار تنش خشکی ۷۵٪FC به ترتیب حدود ۳۶ و ۳۹ درصد کاهش یافت (جدول ۲). نتایج برهمکنش تیمارها نشان داد که بیشترین مقدار وزن دانه در بوته از اعمال تیمار ppm۱۰۰ سالیسیلیک اسید و تیمار تنش خشکی ۷۵٪FC با مقدار ۱/۴۳ گرم دانه در بوته به دست آمد که نسبت به دو سطح صفر و ppm۲۰۰ سالیسیلیک اسید در همین سطح تنش خشکی (۷۵٪FC) به ترتیب حدود ۵۸ و ۷۷ درصد بیشتر بود. هرچند در تمام تیمارها با افزایش تنش خشکی وزن دانه در بوته کاهش یافت، با این حال اعمال ppm ۱۰۰ سالیسیلیک اسید در تمام سطوح تیمار تنش خشکی مقدار کاهش وزن دانه در بوته نسبت به دو سطح صفر و ppm ۲۰۰ آن کمتر بود. کمترین وزن دانه در بوته از اعمال ppm ۲۰۰ سالیسیلیک اسید و تیمار تنش خشکی ۲۵٪FC به دست آمد (جدول ۳). نتایج ضرایب همبستگی نشان داد که بیشترین همبستگی مثبت و معنی-دار وزن دانه در بوته با تعداد دانه در غلاف ($r=۰/۹۳^{**}$)، با تعداد غلاف در بوته ($r=۰/۸۴^{**}$) و با وزن ۱۰۰ دانه ($r=۰/۸۴^{**}$) داشت. در بین صفات فیزیولوژیک نیز بین وزن دانه در بوته و فتوسنتز همبستگی مثبت و معنی‌دار ($r=۰/۵۱^{**}$) مشاهده شد (جدول ۴).

بحث

متابولیسم گیاه در پاسخ به تنش اسمزی تغییر می‌کند و قرار گرفتن گیاه در معرض تنش اسمزی سبب ایجاد تنش ثانویه اکسیداتیو در گیاه در حال رشد شده و سبب بروز خسارت می‌شود (Munns et al., 2002). در مقابل اثرات مضر تنش خشکی در گیاه، کاربرد سالیسیلیک اسید سبب بهبود وزن تازه اندام هوایی گیاه شده است (Gopal and Iwama, 2007). نتایج این آزمایش نشان داد در شرایط تنش خشکی اعمال ppm ۱۰۰ سالیسیلیک اسید سبب بهبود بسیاری از صفات مورد بررسی مانند وزن دانه در بوته و فتوسنتز شد. اما این الزاماً به این معنی نیست که در شرایط تنش خشکی امکان بهبود برای صفات در یک دامنه

ثابتی قرار دارد (Horvath et al., 2007). در همین رابطه سناراتنا و همکاران (Senaratna et al., 2000) گزارش کردند در شرایط تنش خشکی غلظتی از سالیسیلیک اسید که سبب جلوگیری از ایجاد خسارت در گیاه گوجه فرنگی و لوبیا می‌شود در دامنه بین ۰/۱ تا ۰/۵ میلی‌مولار قرار دارد. در مطالعه دیگری ساخابوتیدونوا و همکاران (Sakhabutdinova et al., 2003) گزارش کردند که اعمال غلظت ۰/۰۵ میلی مولار سالیسیلیک اسید در گیاهچه‌های گندم سبب افزایش تقسیم سلولی در سلول‌های مریستم انتهایی گیاهچه گندم شده که رشد گیاه را افزایش داده است. تاثیر سالیسیلیک اسید در بهبود رشد در شرایط تنش خشکی وابسته به عواملی مانند گونه گیاهی، طریق مصرف و غلظت سالیسیلیک اسید است (Pal et al., 2006; Horvath et al., 2007). در آرابیدوبسیس، سالیسیلیک اسید دارای دو نقش است. ابتدا برای ایجاد دفاع انتی اکسیدانی و نگهداری وضعیت ریداکس سلول ضروری است (Sharma et al., 1996). بنابراین سالیسیلیک اسید برای دفاع آنتی اکسیدانی در مقابل تنش اکسیداتیو تولید شده ناشی از وجود گونه‌های فعال اکسیژن مانند رادیکال‌های هیدروکسیل ($OH^{\bullet}$)، سوپراکسید ($O_2^{\bullet-}$) و اکسیژن نوزاد ($^1O_2$) ضروری است (Rao and Davis, 1999). دوم تجمع زیاد سالیسیلیک اسید سبب تحریک مسیر مرگ برنامه‌ریزی سلول[1] شده و از این طریق حساسیت سلول به تجمع مقدار زیاد گونه‌های فعال اکسیژن را افزایش می‌دهد (Rao and Davis, 1999).

در مطالعه حاضر افزایش غلظت سالیسیلیک اسید به ۱۰۰ppm در تیمار تنش خشکی ۷۵٪FC سبب بهبود وزن دانه در بوته نسبت به عدم مصرف آن در تیمار تنش خشکی ۷۵٪FC به میزان حدود ۵۸ درصد شد و با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید به ۲۰۰ ppm سبب کاهش رشد و وزن دانه در بوته شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که غلظت‌های زیاد سالیسیلیک اسید موجب تخریب بافت‌های درونی برگ و افزایش بافت استحکامی و چوبی شدن ساقه و ریشه می‌شود (Gaspar and Penel, 1991). از طرف دیگر سالیسیلیک اسید یک ترکیب فنلی است و می‌تواند با کاهش pH دیواره سلولی موجب فعال شدن آنزیم‌هایی مانند اکسیدازها و پراکسیدازها شود و از این راه نیز موجب افزایش چوبی شدن سلولها شود (Madah et al., 2006). نتایج تحقیقات نشان داد که اعمال ۱- ۰/۵ میلی‌مولار (۱۳۸-۶۹ میلی‌گرم در لیتر) سالیسیلیک اسید در محیط کشت گیاهچه‌های سویا اثری در رشد آنها نداشت، اما افزایش غلظت آن به ۵ میلی-مولار در لیتر در محیط کشت اثر مضری بر رشد گیاهچه-های سویا داشت (Lian et al., 2000). در مطالعه دیگری کاربرد ۱ میلی مولار ($۱۳۸mg.l^{-1}$) سالیسیلیک اسید در گوجه فرنگی (Tari et al., 2002) و ۰/۵ میلی مولار ($۷۰mg.l^{-1}$) در لوبیا (Senaratna et al., 2000) سبب بهبود اثرات مضر تنش شوری گردید.

در این مطالعه افزایش سطح تنش خشکی به ۵۰ و ۲۵٪ FC سبب کاهش RWC به ترتیب حدود ۱۴ و ۲۶ درصد در مقایسه با شرایط تنش خشکی ۷۵٪FC شد و اعمال سالیسیلیک اسید به میزان ppm ۱۰۰ در تیمار تنش خشکی ۵۰٪FC سبب بهبود میزان RWC سلول شد. افزایش RWC در پاسخ به تنش خشکی با افزایش میزان سالیسیلیک اسید نیز توسط لونت تونا و همکاران (Levent tuna et al., 2007) در ذرت و آگراوال و همکاران (Agrawal et al., 2005) در گندم گزارش شده است. اثر دیگر سالیسیلیک اسید در بهبود رشد و تولید در گیاه، کمک به انسجام و پایداری غشاء از طریق کاهش اثر H_2O_2 در غشاء در مقایسه با شاهد است (Agrawal et al., 2005) که سبب کاهش اثر تنش اکسیداتیو و جلوگیری از پراکسیده شدن غشاء شده است. در مطالعه حاضر اعمال ۱۰۰ ppm سالیسیلیک اسید در سطوح مختلف تنش خشکی سبب بهبود شاخص پایداری غشاء شد. فتوسنتز مهمترین فرآیند گیاه است که تحت تاثیر شرایط محیطی، رشد و تولید را در گیاه تحت تاثیر قرار می‌دهد (NatrandLawor,2005).

با افزایش مقدار سالیسیلیک اسید، میزان فتوسنتز نیز افزایش یافت، که با مطالعات خان و همکاران (Khanetal.,2003) در سویا و سینگ و اوشه (SinghandUsha, 2003) در گندم موافقت دارد. به نظر می‌رسد افزایش فتوسنتز در اثر کاربرد سالیسیلیک اسید ناشی از تاثیر آن بر افزایش فعالیت آنزیم رابیسکو باشد (Gutierrez-Coronadoetal.,1998). از طرفی سالیسیلیک اسید اثر آبسزیک اسید (ABA) را در بستن روزنه‌ها کاهش داده (Raietal., 1986) و در نتیجه سبب

1. Programmed Cell Death Pathway

جدول ۴. همبستگی بین صفات مورفولوژیک (ارتفاع بوته، تعداد و طول شاخه، وزن خشک ریشه)، فیزیولوژیک (فتوسنتز، عدد کلروفیل متر، شاخص پایداری غشاء، محتوای نسبی آب، تعرق و هدایت روزنه ای)، عملکرد و اجزاء عملکرد (غلاف در بوته، دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه و وزن دانه در بوته) گیاه خردل تحت تنش سطوح مختلف خشکی و سالیسیلیک اسید.

Table 6.Corrolation between morphology (plant height, number and length branch per plant, dry root weight), physiology (Photosynthesis, Spad, MSI, RWC, Transpiration, Stomata conductivity) and components yields (number pod per plant, seed number per pod, 100-weight and seed weight per plant) traits in mustard pant was affected by different levels Salcilic acid and drought stress condition.

	1†	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1†	1															
2	-0.51*	1														
3	0.06^{ns}	-0.29^{ns}	1													
4	0.27^{ns}	-0.12^{ns}	0.17^{ns}	1												
5	0.67**	-0.43*	0.10^{ns}	0.83**	1											
6	0.34*	-0.6^{ns}	-0.11^{ns}	0.83**	0.78**	1										
7	0.25^{ns}	-0.39*	-0.34^{ns}	0.46*	0.50**	0.43*	1									
8	0.46*	-0.32^{ns}	-0.08^{ns}	0.82**	0.90**	0.79**	0.57**	1								
9	0.29^{ns}	0.02^{ns}	0.10^{ns}	0.96**	0.78**	0.80**	0.41*	0.76**	1							
10	-0.23^{ns}	0.10^{ns}	-0.20^{ns}	-0.90**	-0.74**	-0.86**	-0.31^{ns}	-0.70**	-0.86**	1						
11	0.22^{ns}	-0.03^{ns}	-061**	-0.10^{ns}	0.21^{ns}	0.33^{ns}	0.24^{ns}	0.37^{ns}	-0.10^{ns}	-0.02^{ns}	1					
12	0.65**	-0.45*	0.01^{ns}	0.73**	0.91**	0.80**	0.60**	0.82**	0.74**	-0.73**	0.20^{ns}	1				
13	-0.68**	0.63**	-0.30^{ns}	0.03^{ns}	-0.32^{ns}	0.10^{ns}	-0.10^{ns}	-0.12^{ns}	0.04^{ns}	-0.13^{ns}	0.22^{ns}	-0.33^{ns}	1			
14	-0.20^{ns}	0.40*	-0.11^{ns}	0.70**	0.31^{ns}	0.71**	0.24^{ns}	0.41^{ns}	0.71**	-0.72**	0.10^{ns}	0.32^{ns}	0.62^{ns}	1		
15	0.03^{ns}	0.30^{ns}	-0.17^{ns}	0.81**	0.51**	0.83**	0.31^{ns}	0.61**	0.75^{ns}	-0.81**	0.31^{ns}	0.51**	0.50**	0.94**	1	
16	-0.44*	0.50*	-0.20^{ns}	0.51**	0.11^{ns}	0.53**	0.20^{ns}	0.30^{ns}	0.51**	-0.61**	0.14^{ns}	0.12^{ns}	0.84**	0.93**	0.84**	1

^{ns}، *و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

^{ns}, *and ** are non- significant and significant at the 5 and 1% probability level respectively

†: ۱)ارتفاع، ۲) شاخه در بوته، ۳) طول شاخه، ۴) سطح برگ، ۵) وزن برگ، ۶) وزن خشک ریشه، ۷) شاخص پایداری غشاء، ۸) محتوای آب نسبی، ۹) فتوسنتز، ۱۰) تعرق، ۱۱) عدد کلروفیل متر، ۱۲) هدایت روزنه ای، ۱۳) غلاف در بوته، ۱۴) دانه در غلاف، ۱۵) وزن ۱۰۰ دانه، ۱۶) وزن دانه در بوته.

†: 1) Height, 2) Branch per plant, 3) Length of branch, 4) Leaf area, 5) Leaf weight, 6) Dry root weight, 7) Membrane stability index, 8) Relative water content, 9) Photosynthesis, 10) Transpiration, 11) Spad, 12) Stomata conductivity, 13) Pod per plant, 14) Seed per pod, 15) 100 seed weight, 16) Seed weight per plant.

افزایش میزان فتوسنتز گردیده است. در این آزمایش با افزایش فتوسنتز، تولید گیاه نیز تحت تاثیر قرار گرفت و افزایش یافت، به طوری که افزایش غلظت سالیسیلیک اسید به ppm ۱۰۰ در تمام تیمارهای تنش خشکی،سبب افزایش وزن دانه در بوته نسبت به عدم مصرف سالیسیلیک اسید در تمام سطوح تنش خشکیبه ترتیب حدود ۵۸، ۶۳ و ۵۵ درصد شد. نتایج مشابهی در خصوصاثر سالیسیلیک اسید در افزایش عملکرد در گیاهان از طریق افزایش اجزای آن، مانند تعداد غلاف در بوته در ماش (SinghandKaur,1980) و لوبیا (SadeghipourandAghaei,2012) گزارش شده است. به نظر می‌رسد سالیسیلیک اسید از طریق به تاخیر انداختن سنتز اتیلن، دپلاریزاسیون غشاء توسط گونه‌های اکسیداتیو اکسیژن، سبب تقویت و تحریک فتوسنتز و در نتیجه باعث افزایش تولید گیاه شده است (LeslieandRomani,1988).

به طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد که کاربرد سالیسیلیک اسید تا ppm ۱۰۰ در شرایط تنش خشکی سبب بهبود بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه شد که در نهایت عملکرد گیاه را تحت تاثیر قرار داد و باعث افزایش آن شد.

منابع

Agrawal, S., Sairam, R.K., Srivastava, G.C., Meena, R.C., 2005. Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in wheat genotypes.BiologiaPlantarum. 49, 541 - 550.

Dat, J.F., Foyer, C.H., Scott, I.M., 1998. Changes in salicylic acid and antioxidants during induced thermo tolerance in mustard seedlings. Plant Physiology. 118, 1455 - 1461.

Fazelikakhki, S.F., Nezami, A., Parsa, M., Kafi, M., 2012.Evaluation of sesame ecotypes (*Sesamum indicum* L.) for salinity tolerance in field and control conditions. Ph.D dissertation, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.[In Persian with English Summary].

Gaspar, T., Penel, C., 1991. Biochemical, Molecular and Physiological Aspects of Plant Peroxidases. Freeman Press, 249P.

Gopal, J., Iwama, K., 2007. In vitro screening of potato against water stress mediated through sorbitol and polyethylene glycol. Plant Cell Reproduction. 26, 693 - 700.

Gunes, A., Inal, A., Alpaslan, M., Cicek, N., Guneri, E., Eraslan, F., Guzelordu, T., 2005. Effects of exogenously applied salicylic acid on the induction of multiple stress tolerance and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.). Archives Agronomy Soil Science. 51, 687-695.

Gutierrez-Corronado, M.A., Trejo-Lopez, C., Larque-Saavedra, A., 1998. Effects of salicylic acid on the growth of roots and shoots in soybean. Plant Physiology and Biochemistry. 38(4), 563-565.

Hanson, A.D., Hitz, W.D., 1982. Metabolic responses of mezophytes to plant water deficit. Annual Review of Plant Physiology. 33, 163-203.

Horvath, E., Szalai, G., Janda, T., 2007. Induction of abiotic stress tolerance by salicylic acid signalling.Plant Growth Regulation. 26, 290 - 300.

Joseph, B., Jini, D., Sujatha, S., 2010. Insight into role of exogenous salicylic acid on plants growth under salt environment.Asian Journal of Crop Science. 2(4), 226 - 235.

Kafi, M., Borzoei, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masomi, A., Nabati, J., 2009. Enviromental Stress on Plant Physiology. Mashhad University Jahad publication. (Translation).

Khan, W., Prithiviraj, B., Smith, D.L., 2003. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. Journal of Plant Physiology. 160, 485-492.

Koocheki, A.R., Alizadeh, A., 1995. Fundamental Agronomy in Dryland Region. Astane Ghods Razavi Press.

Leslie, C.A., Romani, R.J., 1988. Inhibition of ethylene biosynthesis by salicylic acid. Plant Physiology. 88, 833-837.

Levent Tuna, A., Kaya, C., Dikilitas, M., Yokas, I., Burun, B., Altunlu, H., 2007.Comparative effects of various salicylic acid derivatives on key growth parameters and some enzyme activities in salinity stressed maize (*Zea mays* L.) plants.Pakistan Journal of Botany. 39(3), 787 - 798.

Levitt, J., 1980. Stress Terminology. In: Tuner, N.C., Kramer, P.J.(eds.), Adaptation of Plants to Water and High Tempreture Stress. Willey, New York, USA, pp437-439.

Lian, B., Zhou, X., Miransari, M., Smith, D.L., 2000. Effects of salicylic acid on the development and root nodulation of soybean seedlings.Journal of Agronomy and Crop Science. 185, 187-192.

Madah, S.M., Fallahian, F.A., Sabaghpoor, S.H., Chalibian, F., 2006. Effect of salicylic acid on yield, yield components and anatomical structure of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Journal of Basic Sciences (Islamic Azad Univercity).1(62), 61- 70. [In Persian with English Summary].

Metwally, A., Finkemeier, I., George, M., Dietz, K., 2003. Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings. Plant Physiology. 132, 272-281.

Munns, R., Husain, S., Rivelli, A.R., James, R.A., Condon, A.G., Lindsay, M.P., Lagudah, E.S., Schachtman, D.P. Hare, R.A., 2002. Avenues for increasing salt tolerance of crops and the role of physiologically based selection traits. Plant and Soil. 247, 93-105.

Najafian, S., Khoshkhui, m., Tavallali, V., Saharkhiz, M.J., 2009. Effect of Salicylic Acid and Salinity in Thyme (*Thymus vulgaris* L.): investigation on changes in gas

exchange, water relations, and membrane stabilization and biomass accumulation. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 3(3), 2620-2626.

Natr, L., Lawlor, D.W., 2005. Photosynthetic Plant Productivity. In: Pessarakli, M. (ed.), Handbook of Photosynthesis, 2nd Ed. C.R.C. Press, New York, USA, 501-524.

Pal, M., Horvath, E., Janda, T., Paldi, E., Szalai, G., 2006. Physiological changes and defense mechanisms induced by cadmium stress in maize. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 169, 239 - 246.

Rai, V.K., Sharma, S.S., Sharma, S., 1986. Reversal of ABA–induced Stomatal closure by phenolic compounds. Journal of Experimental Botany. 37, 129–34.

Rao, M.V., Davis, R.D., 1999. Ozone-induced cell death occurs via two distinct mechanisms in Arabidopsis: the role of salicylic acid. Plant Journal. 17, 603-614.

Raskin, I., 1992. Role of salicylic acid in plants.Annual Review on Plant Physiology and Molecular Biology.43, 439–63.

Sadeghipour, O., Aghaei, P., 2012. Response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to exogenous application of salicylic acid (SA) under water stress conditions. Advances in Environmental Biology. 6(3), 1160-1168.

Sakhabutdinova, A.R., Fatkhutdinova, D.R., Bezrukova, M.V., Shakirova, F.M., 2003. Salicylic acid prevents the damaging action of stress factors on wheat plants. Bulgarian Journal of Plant Physiology. Special Issue, 314 - 319.

Sairam R.K., Rao K.V., Srivastava G.C., 2002. Differential response of wheat genotypes to longterm salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolate concentration. Plant Science. 163, 1037–1046.

Secenji, M., Lendvai, Á., Hajósné, Z., Dudits D., Györgyey, J., 2005. Experimental system for studying long-term drought stress adaptation of wheat cultivars. Acta Biologica Szegediensis. 49(1-2), 51-52.

Senaratna, T., Touchell, D., Bunn, E., Dixon, K., 2000. Acetyl salicylic acid (Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. Plant Growth Regulation. 30, 157 - 161.

Sharma, Y.K., Leon, J., Raskin, I., Davis, K.R., 1996. Ozone-induced response in Arabidopsis thaliana: role of salicylic acid in the accumulation of defense- related transcripts and induced resistance. Proceeding of the national Academy of Sciences of the United State of America. 93(10), 5066-5104.

Singh, G., Kaur, M., 1980.Effect of growth regulators on padding and yield of mung bean (*Vignaradiata* L.) Wilczek. Indian Journal of Plant Physiology.23, 366–70.

Singh, B., Usha, K., 2003. Salicilic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedling under water stress. Plant Growth Regulation. 39, 137 - 141.

Singh, S., Singh, R.R., Verma, A.K., 2011.Improvement protocol for shoot regeneration in Brassica compestris L. International Journal of Science Innovations and Discoveries. 1(2), 247-254.

Sinha, N.C., Patil, B.D., 1986. Screening of barley varieties for drought resistance.Plant Breeding. 97, 13-19.

Smart, R.E., Bingham, G.E. 1974.Rapid estimates of relative water content. Plant Physioligy, 53: 258–260.

Tari, I., Csiszar, J., Szalai, G., Horvath, F., Pecsvaradi, A., Kiss, G., Szepesi, M.A., Szabo, Erdei, L., 2002. Acclimation of tomato plants to salinity after a salicylic acid pre-treatment. Acta Biologica Szegediensis. 46, 55-56.

Wang, L.J., Li, S.H., 2005. Salicylic acid-induced heat or cold tolerance in relation to Ca^{2+} homeostasis and antioxidant systems in young grape plants. Plant Science. 170, 685–694.

Waseem, M., Athar, H., Ashraf, M., 2006. Effect of salicylic acid applied through rooting medium on drought tolerance of wheat. Pakistan Journal of Botany. 38(4), 1127 - 1136.