

پاسخ دو رقم گندم نان به محلول پاشی سالیسیلیک اسید در شرایط رژیم‌های متفاوت رطوبتی

فرشته دارابی^۱، رحیم ناصری^۲، امیر میرزایی^{۳*} و میثم مرادی^۴

۱. دانشجویان دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

۲. استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان ایلام

۳. مری، گروه علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، جمهوری اسلامی ایران

۴. تاریخ دریافت: ۹۵/۰۸/۰۲ - تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۳/۲۲

چکیده

تنش خشکی از پدیده‌هایی است که رشد و عملکرد گیاهان زراعی را در سراسر جهان، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک تحت تأثیر قرار می‌دهد. به‌منظور بررسی تأثیر سالیسیلیک اسید بر عملکرد و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی دو رقم گندم نان در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت طرح کرت‌های خردشده (اسپلیت پلات) فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی سرابله در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در چهار تکرار انجام شد. عامل‌های مورد بررسی شامل تیمارهای رطوبتی در سه سطح (کنترل (۱۰۰)، ۷۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی خاک)، تنظیم‌کننده رشد سالیسیلیک اسید در سه سطح (شاهد (۰)، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار) و دو رقم گندم نان (پیش‌تاز و بهار) بود. نتایج بررسی‌ها نشان داد، با افزایش شدت تنش خشکی رنگدانه‌های نورساختی (فتوستتزی)، شمار دانه در سنبله و وزن هزاردانه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، اما کاربرد سالیسیلیک اسید با غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار در این شرایط سبب بهبود این صفات شد. محتوای پرولین و کربوهیدرات‌های محلول در شرایط تنش خشکی روندی افزایشی داشت که این روند با کاربرد سالیسیلیک اسید (غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار) نزول یافت. اگرچه اختلاف معنی‌داری بین دو رقم در میزان عملکرد در شرایط تنش مشاهده نشد اما از نظر عددی در شرایط تنش بیشترین و کمترین میزان عملکرد به ترتیب مربوط به رقم پیش‌تاز در تیمار ترکیبی ۷۰ درصد رطوبت خاک به همراه ۱۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید و رقم بهار تیمار ترکیبی ۴۰ درصد رطوبت خاک و حالت بدون کاربرد سالیسیلیک اسید بود. به‌طورکلی با توجه به نتایج این آزمایش به‌نظر می‌رسد کاربرد سالیسیلیک اسید با غلظت حداقل ۵۰ میکرومولار در شرایط تنش خشکی با بهبود فرآیندهای فیزیولوژیکی، ضمن افزایش مقاومت گیاه، منجر به کاهش افت عملکرد اقتصادی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، تنظیم‌کننده رشد، پرولین، عملکرد.

Response of two bread wheat cultivars to application of salicylic acid under variable moisture regimes

F. Darabi¹, R. Naseri², A. Mirzaei^{3*} and M. Moradi⁴

1 and 2. Ph.D students in Crop Physiology, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

3. Assistant Prof., Agriculture and Natural Resources Research Center, Ilam, Iran

4. Instructor, Department of Agricultural Science, Islamic Republic Iran

(Received: October 23, 2016 - Accepted: June 12, 2017)

ABSTRACT

Drought stress is one of the phenomena that limited growth and crop yield around the world, especially in arid and semi-arid regions. To investigate the effect of salicylic acid on yield and some physiological parameters of wheat under drought stress, a split plots experiment was conducted in a randomized complete block design with four replications at Agricultural Research Center of Ilam, during 2014-2015 cropping season. Experimental factors included moisture treatments in three levels (control (100), 70 and 40 % field capacity), salicylic acid in three levels (0, 50 and 100 μM) and two wheat cultivars (Bahar and Pishtaz). The results showed that triple interaction between drought stress, salicylic acid and cultivars on all traits was significant. By increasing drought stress photosynthetic pigments, number of grains per spike and thousand seed weight was significantly decreased, while the use of 50 and 100 μM salicylic acid in this situation improved these traits. Proline content and soluble carbohydrates were ascending with increasing severity of drought stress, that this trend by use of salicylic acid (50 and 100 μM) decreased. Although no significant difference between the two cultivars in the grain yield was observed under drought stress, but numerically under drought stress the highest and lowest yield related to Pishtaz, 70 % field capacity by 100 μM salicylic acid and Bahar, 40 % field capacity by non salicylic acid treatment, respectively. Generally, it seems that application of salicylic acid (50 μM) under drought stress by improving the plants physiological processes, while increasing plant resistance, lead to greater economic performance.

Key words: Drought stress, Plant growth regulators, Proline, Yield.

* Corresponding author E-mail: amir.mirzaei53@gmail.com

مقدمه

گندم نخستین غله و مهم‌ترین گیاه زراعی جهان است که به دلیل داشتن خاصیت نانوائی نقش بسیار مهمی در جیره غذایی مردم سراسر جهان ایفا می‌کند. در سال زراعی ۹۴-۹۳ سطح زیر کشت گندم در کشور ۵۷۱۵۶۱۶ هکتار بوده که از این میزان ۲ میلیون و ۲۳۸ هزار هکتار زیر کشت گندم آبی و ۳ میلیون و ۴۷۸ هزار هکتار زیر کشت گندم دیم بوده است (آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی ایران، سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳)، ولی با این وجود عملکرد محصول آن در کشورمان به شدت توسط تنش خشکی محدود می‌شود. میانگین عملکرد گندم آبی در کشور ۳۵۲۶ کیلوگرم در هکتار و گندم دیم ۱۰۴۳ کیلوگرم در هکتار بوده است (آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی ایران، سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳).

تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی یکی از عامل‌های مهم محدودکننده رشد و نمو گندم در اغلب نقاط جهان بوده و از بازدارنده‌های اصلی رسیدن به ظرفیت عملکرد این گیاه است. تنش خشکی تا حدودی همه فرآیندهای رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد هرچند که پاسخ به تنش بستگی به شدت، سرعت و دوره در معرض قرار داشتن گیاه دارد (Brar et al., 1990). تنش خشکی انتهای فصل رشد در مناطق مدیترانه‌ای متداول است. در این مناطق بخش عمده‌ای از بارندگی سالیانه در زمستان و اوایل بهار باریده می‌شود و از اواسط بهار همزمان با کاهش بارندگی و رطوبت محیط، دمای هوا نیز به شدت افزایش می‌یابد. بخش گسترده‌ای از اراضی زیر کشت گندم ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارد (Rajaram et al., 1995).

کاربرد برگی برخی از ترکیب‌ها از جمله تنظیم‌کننده‌های رشد با کاهش اثرگذاری‌های تنش‌های محیطی به افزایش رشد و محصول گیاهان زراعی کمک می‌کند (Hajihashemi et al., 2007; Dat et al., 1998). کاهش رشد گیاه در شرایط تنش خشکی نتیجه برهم خوردن تعادل هورمون‌ها است بنابراین کاربرد خارجی تنظیم‌کننده‌های رشد در شرایط تنش خشکی می‌تواند عاملی در جهت

معکوس کردن تأثیر تنش‌های غیر زیستی باشد (Satvir et al., 2000). سالیسیلیک اسید یکی از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و جزئی از مسیر سیگنالینگ است که توسط تنش‌های زنده و غیرزنده القا می‌شوند و همچنین به‌عنوان سیگنال تنظیم‌کننده درونی در گیاه در برابر حمله بیمارگر (پاتوژن)‌ها شناخته شده است (Raskin, 1992). گزارش شده است که سالیسیلیک اسید تأثیر متفاوتی بر نورساخت (فتوسنتز)، جذب یونی، پایداری غشا، فعالیت آنزیم‌ها و تنش خشکی دارد (Hayat et al., 2008). این تأثیر به عامل‌های زیادی از جمله رقم و مرحله رشدی گیاه، نحوه کاربرد، غلظت مورد استفاده و به سطوح داخلی آن در گیاه هدف بستگی دارد (Horvath et al., 2007). گزارش‌های چندی مبنی بر نقش سالیسیلیک اسید بر کاهش تأثیر ناشی از تنش‌ها وجود دارد. از جمله سالیسیلیک اسید با تأثیر روی آنزیم‌های پاداکسنده (آنتی‌اکسیدان) مانند کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، پلی فنل اکسیداز و پراکسیدازها و متابولیت‌هایی مانند اسید آسکوربیک و گلوکاتینون تأثیر ناشی از تنش‌های خشکی، گرما، سرما، شوری، فلزهای سنگین و بیماری‌های گیاهی را کاهش می‌دهد (Coronado et al., 1998). در نتایج برخی بررسی‌ها گزارش شده است که کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید فعالیت آنزیم‌های پاداکسندگی درون‌یاخته‌ای (سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز) را تحریک کرده و تحمل گیاه به تنش‌های محیطی را افزایش می‌دهد (Sakhabutdinova et al., 2004). همچنین Amin et al. (2008) در نتایج بررسی‌های خود نشان دادند، پاشش (اسپری) برگی ۱۰۰ میلی-گرم در لیتر سالیسیلیک اسید در مرحله رشد رویشی گندم سبب افزایش محتوای سبزینه (کلروفیل)، سطح برگ پرچم، وزن خشک و ظرفیت نورساختی گیاه در شرایط آبیاری عادی شده است. در نتایج برخی بررسی‌ها گزارش شده است، کاربرد برگی سالیسیلیک اسید طیف گسترده‌ای از فرآیندها را در گیاهان تحت تأثیر قرار می‌دهد که شامل جوانه‌زنی، بذر، بسته شدن روزنه، جذب و انتقال یون، نفوذپذیری غشاء، نورساخت و رشد گیاه است (Aftab

شیمیایی انجام گرفت (جدول ۱). شرایط آب و هوایی محل اجرای آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است. زمین محل کشت به مدت دو سال آیش بود و در اول پاییز شخم زده شد. عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک، تسطیح زمین و ایجاد فارو بود. هر واحد آزمایشی شامل ۸ ردیف به فاصله ۲۵ سانتی متر و طول ۴ متر با تراکم کاشت ۴۵۰ بذر در مترمربع بود. بذره‌های رقم‌های موردنظر در تاریخ ۱۳ آبان برابر نقشه طرح کشت شد. برای جلوگیری از حرکت جانبی آب و کود نیتروژن، اطراف هر کرت پشته‌هایی به عرض ۱ متر قرار داده شد. افزون بر این، برای اطمینان بیشتر از عدم حرکت جانبی آب، فاصله بین کرت‌های مربوط به تیمارهای مختلف آبیاری ۳ متر در نظر گرفته شد. پیش از کاشت بذرها با قارچکش ویتاواکس ضدعفونی شدند. با توجه به نتایج آزمون خاک مزرعه، میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات آمونیوم و ۷۵ کیلوگرم کود اوره پیش از کاشت و مابقی کود اوره در دو نوبت به صورت سرک در دو مرحله پنجه‌دهی و ساقه‌روی مصرف شد. در طول دوره رشد مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی انجام شد. همه کرت‌های آزمایشی تا آغاز مرحله گلدهی ($ZDS=6.1$) یکسان و همزمان آبیاری شدند. با ورود گیاه به مرحله گلدهی اعمال تیمارهای رطوبتی آغاز شد و تا پایان دوره رشد ادامه داشت. زمان ورود هر دو رقم به مرحله گلدهی نزدیک به اواسط اردیبهشت (۱۵ اردیبهشت) بود و اختلاف چندان نداشت. معیار تعیین مرحله پدیدشناختی (فنولوژیک)، ورود بیش از ۱۰ درصد بوته‌ها در هر کرت به مرحله مورد نظر بود. اعمال تیمارهای رطوبتی در این مرحله به این صورت بود که تیمار شاهد به صورت آبیاری کامل و دیگر سطوح بر پایه درصد ظرفیت زراعی خاک تعیین شده انجام گرفت. برای تعیین میزان آب مورد نیاز در هر نوبت آبیاری از درصد رطوبت وزنی خاک استفاده شد. برای انجام این کار ۲۴ ساعت پیش از هر آبیاری از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه با مته (اوگر) نمونه‌برداری و در آن در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک شد و میزان رطوبت وزنی خاک تعیین

(*et al.*, 2010). محتوای پرولین در گیاهان تیمار شده با سالیسیلیک اسید افزایش اندکی نشان داد که با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید محسوس‌تر بود (Kiarostami *et al.*, 2011). به نظر می‌رسد پرولین در بسیاری از گونه‌های گیاهی و در بسیاری از شرایط تنش مانند خشکی، شوری، دما و شدت نور زیاد تجمع می‌یابد (Claussen, 2005).

لذا با توجه به اهمیت گندم و نقش تنش خشکی در کاهش عملکرد آن و همچنین با توجه به نقش تنظیم‌کننده‌های رشد در کاهش تأثیر منفی تنش خشکی، هدف از این تحقیق تعیین تأثیر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر عملکرد و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی دو رقم گندم در شرایط تنش خشکی بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به منظور بررسی تأثیر سالیسیک اسید بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک دو رقم گندم در شرایط تنش خشکی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی سرابله واقع در ۳۰ کیلومتری شرق ایلام در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ اجرا شد. محل آزمایش در عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی با ارتفاع ۹۷۵ متر از سطح دریا بود.

آزمایش در قالب طرح کرت‌های دو بار خرد شده (اسپیلت، اسپیلت پلات) با طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. عامل‌های مورد بررسی شامل تنش خشکی در سه سطح کنترل (۱۰۰ درصد)، ۷۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی خاک در کرت‌های اصلی، تنظیم‌کننده رشد سالیسیک اسید در سه سطح شاهد (۰)، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار در کرت‌های فرعی و دو رقم گندم نان بهار (عملکرد بالا، کیفیت نانوائی متوسط تا خوب، بهاره، مقاوم به خوابیدگی و ریزش دانه) و پیش‌تاز (عملکرد بالا، کیفیت نانوائی مطلوب، متحمل به زنگ و سیاهک، مقاوم به ورس و سرما) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. پیش از آغاز آزمایش نمونه‌های خاک در عمق ۳۰ سانتی‌متری کرت‌ها تهیه و تجزیه فیزیکی و

صورت گرفت. محلول پاشی با استفاده از یک پاشش-کننده دستی انجام گرفت. بوته‌های شاهد با آب مقطر پاشش شدند. نمونه‌گیری از برگ گندم ۴۸ ساعت پس از محلول پاشی دوم انجام شد. در زمان رسیدگی فیزیولوژیک، با حذف دو خط کناری (اثر حاشیه‌ای) از سطحی معادل ۶ مترمربع (کل پلات) کل زیست‌توده بالای سطح خاک کف بر شد. پس از خشک کردن بوته‌ها عملکرد دانه با جدا کردن دانه‌ها از کاه و کلش و توزین آن‌ها برحسب کیلوگرم در هکتار، شمار دانه در سنبله با جدا کردن ۲۰ سنبله در نمونه برداشت شده و جدا کردن دانه‌ها و محاسبه میانگین شمار دانه در یک سنبله و وزن هزاردانه با جدا کردن ۵۰۰ دانه به‌طور تصادفی و توزین آن‌ها، اندازه‌گیری شد.

شد. سپس میزان آب مورد نیاز برای هر آبیاری تا رسیدن رطوبت خاک به حد ظرفیت مزرعه از رابطه (۱) محاسبه شد. در این رابطه D_n : عمق آب آبیاری (cm)، FC: درصد رطوبت حجمی در حالت ظرفیت زراعی (٪)، تا: رطوبت وزنی خاک (٪)، p_b : چگالی ظاهری خاک ($g.cm^{-3}$) و D : عمق توسعه ریشه است. در نهایت با ضرب کردن میزان آب آبیاری مورد نیاز هر کرت محاسبه شده و در نتیجه حجم آب آبیاری تعیین شد.

$$D_n = \frac{(F.C - s \times p_b) D}{100} \quad (1)$$

محلول پاشی در دو نوبت به فاصله ۷۲ ساعت یک‌بار و از اواسط مرحله گلدهی (نزدیک به یک هفته پس از آغاز تنش رطوبتی) و در ساعت‌های پایانی روز

جدول ۱. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1. The results of physical and chemical analysis in soil of experiment's place

Weight Humidity (%)	Potassium (ppm)	Phosphorus (ppm)	Nitrogen (%)	pH	EC ($Ds.m^{-1}$)	soil Texture	Soil depth (cm)
2.95	611	20.1	0.13	7.8	2.66	Loam	0-30

جدول ۲. شرایط آب و هوایی محل اجرای آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۳-۹۴

Table 2. Results of climatic properties of experimental location in 2014-2015

Month	Precipitation(mm)	Monthly absolute minimum temperature ($^{\circ}C$)	Monthly absolute maximum temperature ($^{\circ}C$)	Relative humidity (%)	Evaporation (mm)
October	50.7	5.4	34.8	44	151.1
November	77.7	0.2	26.4	59	65.4
December	45.1	1.2	19.6	70	26.7
January	17.2	-4.6	18	64	6.6
February	15.7	-1.6	20.2	55	0
March	52.9	-4.4	23	55	0
April	58.9	1.2	31	55	181.9
May	7.5	3	36.6	32	269.9
Jun	0.1	15.6	41	20	400.6
July	0	18	45.2	22	395

حمام آب گرم (۱۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. پس از سرد شدن لوله‌ها به هرکدام از آن‌ها ۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه شد و با استفاده از دستگاه لرزا (ورتکس) به مدت ۲۰ ثانیه لوله‌ها تکان داده شدند. بخش (فاز) رویی را که به رنگ قرمز و حاوی پرولین محلول در تولوئن بود، برداشته و همزمان با نمونه‌های استاندارد در دستگاه طیف‌سنج نوری (اسپکتروفتومتر) قرار گرفت و جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد. در نهایت غلظت پرولین برحسب میلی‌گرم

اندازه‌گیری محتوای پرولین برگ

میزان پرولین برگ با روش Bates *et al.*, (1973) مشخص شد. به این منظور ۰/۲ گرم بافت تر برگ توزین و در هاون چینی در ۳ میلی‌لیتر سولفوسالیسیک اسید ۳ درصد به‌خوبی سائیده شد. همگن حاصل با دور ۱۸۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس ۲ میلی‌لیتر معرف ناین هیدرین و ۲ میلی‌لیتر استیک اسید گلاسیال اضافه شد. پس از بستن در لوله‌ها به مدت یک ساعت در

در طول موج ۵۳۵ نانومتر و با توجه به منحنی استاندارد حاصل از غلظت‌های مختلف گلوکز تعیین شد (Ahmadi & Sio-Se Mardeh, 2004).

بر گرم بافت تر برگ با استفاده از منحنی استاندارد تعیین شد.

اندازه‌گیری میزان پروتئین محلول برگ

۰/۱ گرم از ماده‌ی تر گیاه پس از توزین، با ۳ میلی‌لیتر بافر استخراج تریس-کلریک اسید (Tris-HCL, PH=) (6.8) مخلوط شد، به منظور حفظ فعالیت آنزیم‌ها این عمل روی یخ صورت گرفت. پس از همگن‌سازی سانتریفیوژ نمونه‌ها در سرعت ۱۳۰۰۰ g به مدت ۲۵ دقیقه در دمای ۴ درجه‌ی سلسیوس انجام شد. روشنای حاصل را جدا کرده، حجم روشنای را اندازه گرفته و در دمای ۷۰- درجه‌ی سلسیوس نگهداری و برای بررسی کمی و کیفی پروتئین‌ها استفاده شد. به همه‌ی لوله‌های آزمایش حاوی ۲/۵ میلی‌لیتر معرف برادفورد، ۱۰ میکرولیتر عصاره و ۴۰ میکرولیتر بافر استخراج اضافه شد و لوله‌ها به سرعت (به مدت ۱۰ ثانیه) با سرعت $2200 \times g$ مخلوط شدند. پس از گذشت ۲۵ تا ۳۰ دقیقه جذب در ۵۹۵ nm خوانده شد. با کمک منحنی استاندارد (با استفاده از آلبومین سرم گاوی در محدوده ۰ تا ۰/۲ میلی‌گرم در میلی‌لیتر) غلظت پروتئین موجود در هر نمونه برحسب میلی‌گرم در گرم وزن تر محاسبه شد (Bradford, 1976).

اندازه‌گیری غلظت کربوهیدرات‌های محلول برگ

به منظور اندازه‌گیری غلظت کربوهیدرات‌های محلول نمونه‌های برگ در آغاز در دمای ۸۰ درجه‌ی سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک شده، پس از آن کربوهیدرات‌های محلول با سه بار عصاره‌گیری ۱ گرم از برگ در ۱۵ میلی‌لیتر الکل اتیلیک داغ ۸۰ درصد استخراج شد. سپس عصاره حاصل با استفاده از ۴/۷ میلی‌لیتر هیدروکسید باریم ۰/۳ نرمال و ۵ میلی‌لیتر سولفات روی ۵ درصد صاف شد. پس از اضافه کردن ۱ میلی‌لیتر فنل ۵ درصد و ۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک غلیظ به ۲ میلی‌لیتر از نمونه‌های صاف شده غلظت کربوهیدرات‌های محلول به وسیله‌ی طیف‌سنج نوری

غلظت مالون دی آلدئید برگ

به منظور تعیین غلظت مالون دی آلدئید در برگ، در آغاز ۰.۵ گرم برگ تازه را در محلول ۲۰ درصد تیوکرواستیک اسید (TCA) که حاوی ۰.۵ درصد تیوباربتوریک اسید بود کامل پودر کرده، آنگاه این مخلوط به مدت ۲۵ دقیقه در دمای ۹۵ درجه‌ی سلسیوس در حمام بن ماری گرما داده شد. سپس این مخلوط در حمام یخ سرد شده و با روش Valentovic *et al.*, 2006) غلظت مالون دی آلدئید در طول موج ۵۳۲ نانومتر اندازه‌گیری شد. غلظت مالون دی آلدئید با استفاده از ضریب اصطهلاک μ میکرومول بر گرم وزن تر ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{ F.W.}$) بیان شد.

سنجش رنگیزه‌های نورساختی

میزان سبزینه (کلروفیل)ها از روش آرنون Arnon (1949) و کاروتنوئید از روش Lichtenthder (1987) اندازه‌گیری شد. غلظت سبزینه a، سبزینه b، سبزینه کل و کاروتنوئید از رابطه‌های زیر به دست آمدند:

$$\begin{aligned} \text{سبزینه a (میلی‌گرم بر میلی‌لیتر عصاره)} &= (0.0127 \times \text{OD663} - \text{OD645} \times 0.00269) \\ \text{سبزینه b (میلی‌گرم بر میلی‌لیتر عصاره)} &= (\text{OD645} \times 0.0229 - \text{OD663} \times 0.00468) \\ \text{سبزینه کل (میلی‌گرم بر میلی‌لیتر عصاره)} &= (0.0202 \times \text{OD645}) + (0.00802 \times \text{OD663}) \\ &= [(1.82 \times \text{chl a}) - (85.02 \times \text{chl b}) / 198] \times (10 / (1000/2)) - (\text{OD470} \times 1000) \end{aligned}$$

(عصاره)

محاسبه آماری

برای تجزیه داده‌ها از نرم‌افزار SAS VER 9.2 استفاده شد. نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثر متقابل سه‌گانه بین تیمارهای رطوبتی، محلول پاشی سالیسیلیک اسید و رقم‌های گندم در همه صفات مورد بررسی معنی‌دار بود (جدول ۳ و ۴).

عملکرد و اجزای عملکرد

با افزایش شدت تنش شمار دانه در سنبله در هر دو رقم نسبت به شاهد کاهش یافت، اما با کاربرد سالیسیلیک اسید (غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار) شمار دانه در سنبله افزایش یافت (شکل ۱). کاربرد سالیسیلیک اسید (هر دو غلظت) در رطوبت ۷۰ درصد خاک نسبت به حالت بدون کاربرد آن باعث افزایش شمار دانه در سنبله شد. در تنش ۴۰ درصد رطوبت خاک اگرچه کاربرد سالیسیلیک اسید باعث افزایش شمار دانه در سنبله شد اما نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری نشان داد. رقم پیش‌تاز با داشتن میزان بالاتر شمار دانه در سنبله در حالت شاهد در رویارویی با تنش ۴۰ درصد نسبت به رقم بهار تحمل بهتری از خود نشان داد و در نتیجه افت کمتری داشت (شکل ۱).

وزن هزاردانه با افزایش تنش رطوبتی نسبت به شرایط شاهد کاهش یافت، به‌طوری‌که در تیمار ۴۰ درصد رطوبت خاک میزان کاهش شدیدتر بود (شکل ۲). با این حال کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط تنش موجب بهبود مقاومت و در نتیجه افزایش وزن هزاردانه نسبت به حالت بدون کاربرد آن شد. وزن هزاردانه در رقم بهار در شرایط شاهد نسبت به رقم پیش‌تاز بالاتر بود، اما با افزایش شدت تنش مشاهده شد که رقم پیش‌تاز در مقایسه با بهار در برابر تنش میزان کاهش کمتری داشت. کمترین میزان وزن هزاردانه در شرایط تنش مربوط به سطح رطوبتی ۴۰ درصد، بدون کاربرد سالیسیلیک اسید و در رقم بهار بود.

عملکرد دانه با افزایش شدت تنش کاهش یافت به‌طوری‌که در شرایط تنش ۴۰ درصد رطوبت خاک، بدون کاربرد سالیسیلیک اسید و در رقم بهار کمترین میزان عملکرد دانه به دست آمد (شکل ۳). رقم بهار

در حالت شاهد عملکرد بیشتری نسبت به رقم پیش‌تاز داشت اما در تنش ۴۰ درصد رطوبت خاک عملکرد کمتری داشت. در تنش ۴۰ درصد رطوبت خاک با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید از نظر عددی عملکرد هر دو رقم بهبود یافت، به‌طوری‌که رقم پیش‌تاز به این افزایش غلظت بیشتر واکنش نشان داد. اگرچه اختلاف معنی‌داری بین دو رقم در میزان عملکرد در شرایط تنش مشاهده نشد اما از نظر عددی در شرایط تنش بیشترین و کمترین میزان عملکرد به ترتیب مربوط به رقم پیش‌تاز در تیمار ترکیبی ۷۰ درصد رطوبت خاک به همراه ۱۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید و رقم بهار تیمار ترکیبی ۴۰ درصد رطوبت خاک و حالت بدون کاربرد سالیسیلیک اسید بود.

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عامل‌هایی است که می‌تواند رشد و شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد. با این حال واکنش گیاهان به تنش خشکی به رقم و نژادگان، طول مدت و شدت تنش و سن و مرحله رشدی گیاه بستگی دارد (Bray, 1997). بنا بر نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق، تنش خشکی سبب کاهش عملکرد گیاه در مقایسه با شاهد شد، درحالی‌که کاربرد هورمون سالیسیلیک اسید در گندم در شرایط تنش خشکی موجب بهبود رشد گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد و اجزا عملکرد شد. کاهش عملکرد گیاه در شرایط تنش خشکی ممکن است به دلایل مختلفی از جمله کاهش سطح برگ، میزان سبزینه، اختلال در نورساخت و انتقال مواد پرورده، افزایش تنفس و اختلال در جذب مواد غذایی از خاک باشد. در نتایج بررسی‌هایی توسط محققان گزارش شده است که کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید ممکن است تأثیر زیانبار عامل‌های تنش‌زای مختلف را کاهش دهد که این حفاظت می‌تواند در ظرفیت نورساختی بالاتر آشکار شود (Horvath et al. 2007; Radwan & Soltan 2012; Sasheva et al. 2013; Tirani et al. 2013). همچنین سالیسیلیک اسید ممکن است از طریق کنترل ساخت (سنتز) اتیلن باعث جلوگیری از پیری و مرگ گیاه شده باشد. همچنان که گزارش شده است سالیسیلیک اسید به

با کاربرد سالیسیلیک اسید عملکرد دانه در گندم افزایش می‌یابد (Shakirova *et al.*, 2003). همچنین محققان مختلفی در زمینه تأثیر این هورمون بر رشد ذرت بیان کردند که اسید سالیسیلیک رشد ذرت را افزایش می‌دهد (Amin *et al.*, 2008; Abdel-Wahed *et al.*, 2006; El-Mergawi *et al.*, 2007).

دلیل داشتن گروه هیدروکسیل آزاد (-OH) روی حلقه بنزوئیک اسید قادر به کلاته کردن فلزها است، بنابراین با کلاته کردن آهن موجود در آنزیم ACC اکسیداز موجب محدود (بلوکه) کردن این آنزیم و در نهایت مهار زیست‌ساخت (بیوسنتز) اتیلن می‌شود (Raskin, 1992).

جدول ۳. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات فیزیولوژیک گندم تحت تیمارهای کمبود رطوبتی و محلول پاشی سالیسیلیک اسید.

Table 3. Analysis of variance for some physiological characteristics of wheat under deficit water treatments and salicylic acid spraying

S.O.V	d.f	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Chlorophyll c	Total Chlorophyll	Ratio a/b	Soluble Proteins	Proline Content	Malonaldehyde Content	Soluble Carbohydrates
Replication	3	1.6	27.85	15.62	0.036	0.082	0.419	0.00305	0.182	1149.23
Drought stress(A)	2	49.78**	641*	485.6*	5.731*	0.156*	1763*	0.134*	1.359**	170085**
Ea	6	1.57	27.29	29.9	0.094	0.047	0.71	0.00424	0.416	351.4
Cultivar (B)	1	324.7**	5711 ^{ns}	13128*	0.446 ^{ns}	0.033*	941 ^{ns}	0.584*	12.357 ^{ns}	691791*
Drought Stress * Cultivar (A*B)	2	18.1**	170.3 ^{ns}	175.4*	0.06 ^{ns}	0.005*	85.9*	0.527 ^{ns}	1.967**	4246*
Eb	8	0.28	32.7	18.65	0.106	0.02	0.26	0.0046	0.226	497.2
Spraying (C)	2	10.22**	6.39 ^{ns}	242.07*	1.558**	0.354*	30.71**	0.277*	9.891**	58718*
Drought stress*sparying (A*C)	4	0.57**	13.8*	15.1*	0.367 ^{ns}	0.109**	0.153 ^{ns}	0.0295*	0.396*	2629*
Spraying*Cultivar (B*C)	2	0.116 ^{ns}	1131.2*	2245 ^{ns}	0.269*	0.026*	0.26**	0.0726 ^{ns}	0.270*	22126 ^{ns}
Drought Stress*Spraying* Cultivar (A*B*C)	4	0.27*	44.5**	44.1*	0.11**	0.031*	1.75**	0.03527*	0.287*	1967*
Ec	16	0.107	49.5	29.16	0.104	0.015	0.95	0.0094	0.213	724.8
CV(%)	-	13.06	3.21	5.74	11.29	9.13	12.09	2.56	5.53	5.02

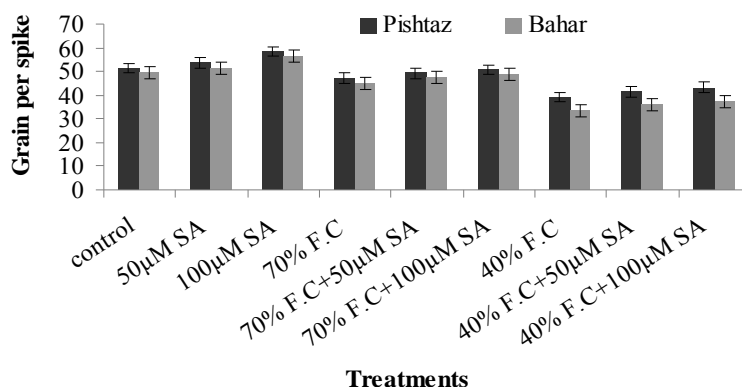
ns, * and ** indicate non-significant and significant at 5 and 1% levels of probability, respectively. * و ** به ترتیب بیانگر معنی‌دار نبودن و معنی‌دار بودن در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهد.

جدول ۴. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و اجزای عملکرد گندم تحت تیمارهای کمبود رطوبتی و محلول پاشی سالیسیلیک اسید.

Table 4. Analysis of variance for yield and yield components of wheat under deficit water treatments and salicylic acid spraying

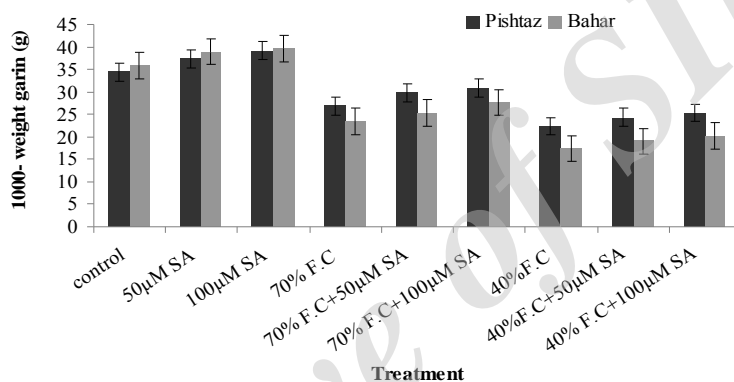
S.O.V	d.f	Number of grains per spike	Grain -1000 weight	Grain yield
Replication	3	185.98	2.546	538096
Drought stress(A)	2	117.6*	1081*	137368473*
Ea	6	66.3	68.39	9988245
Cultivar (B)	1	17.14*	4.89*	18202062*
Drought Stress * Cultivar (A*B)	2	61.19*	15.26*	3343788*
Eb	8	32.19	12.199	5777727
Spraying (C)	2	224.91*	12.532 ^{ns}	143871728 ^{ns}
Drought stress*sparying (A*C)	4	9.801*	8.062*	12091232*
Spraying*Cultivar (B*C)	2	29.79*	3.968 ^{ns}	4848355*
Drought Stress*Spraying* Cultivar (A*B*C)	4	11.98*	13838**	212861*
Ec	16	25.12	10.337	5584585
CV (%)	-	11.19	8.32	27.9

ns, * and ** indicate non-significant and significant at 5 and 1% levels of probability, respectively. * و ** به ترتیب بیانگر معنی‌دار نبودن و معنی‌دار بودن در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهد.



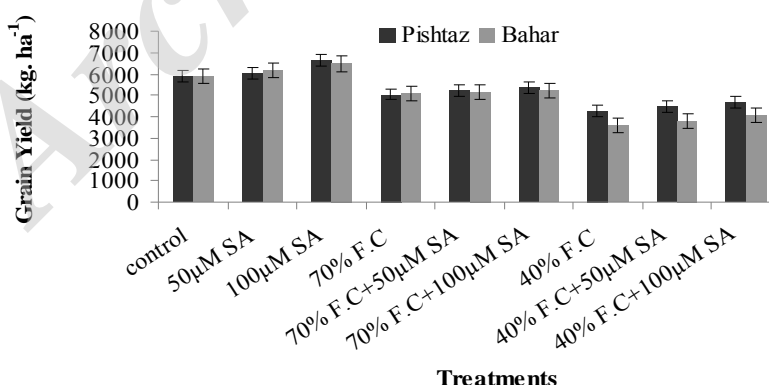
شکل ۱. تأثیر تنش کمبود آب و سالیسیلیک اسید بر شمار دانه در سنبله دو رقم گندم. مقادیر برابر با میانگین سه تکرار ± استاندارد ارور. (F.C= ظرفیت مزرعه).

Figure 1. Effect of water deficit stress and SA on grain per spike of wheat cultivars. Values are means of three replicates± standard deviation. (F.C: Field Capacity)



شکل ۲. تأثیر تنش کمبود آب و سالیسیلیک اسید بر وزن هزاردانه دو رقم گندم. مقادیر برابر با میانگین سه تکرار ± استاندارد ارور. (F.C= ظرفیت مزرعه).

Figure 2. Effect of water deficit stress and SA on 1000-grain weight of wheat cultivars. Values are means of three replicates± standard deviation. (F.C: Field Capacity)



شکل ۳. تأثیر تنش کمبود آب و سالیسیلیک اسید بر عملکرد دانه دو رقم گندم. مقادیر برابر با میانگین سه تکرار ± استاندارد ارور. (F.C= ظرفیت مزرعه).

Figure 3. Effect of water deficit stress and SA on Grain Yield of wheat cultivars. Values are means of three replicates± standard deviation. (F.C: Field Capacity)

جمله اکسین و سیتوکینین (Shakirova, et al., 2003) باعث افزایش نورساخت و عملکرد می شود. با

سالیسیلیک اسید با بهبود نورساخت (El-Tayeb, 2005) و افزایش بعضی از هورمون های گیاهی از

پراکسیداز شد (Pirasteh *et al.*, 2012). همچنین گزارش شده است، رنگیزه‌های نورساختی در ذرت با کاربرد اسید سالیسیلیک افزایش می‌یابد (Azooz *et al.*, 2011). به نظر می‌رسد سالیسیلیک اسید باعث افزایش محتوای سبزینه و زیست‌ساخت آن در گیاهان تحت تنش‌های محیطی شده و تا حدودی بر بیشتر واکنش‌های سوخت‌وسازی (متابولیسمی) گیاه تأثیر گذاشته و موجب تغییراتی در آن‌ها می‌شود که این تغییرات اغلب به صورت سازش‌هایی است که تحمل و سازگاری گیاهان را در مقابل عامل‌های محیطی افزایش می‌دهد. با این حال سالیسیلیک اسید با توجه به غلظت، زمان و گیاه مورد استفاده تأثیر دوگانه‌ای دارد که یا می‌تواند با افزایش گونه‌های فعال اکسیژن موجب تخریب پروتئین‌های کلروپلاستی و پراکسیداسیون لیپیدهای غشاهای تیلاکوئیدی شده، در نتیجه سبب کاهش رنگیزه‌های نورساختی شود یا در غلظت‌های مناسب با کاهش تخریب رنگیزه سبزینه (Belkhadi *et al.*, 2010) افزایش توان پاداکسندگی یاخته و ساخت پروتئین‌های جدید از دستگاه نورساختی حمایت کند (Popova *et al.*, 1997).

محتوای پرولین

تغییر محتوای پرولین در واکنش به اثر متقابل تنش خشکی، سالیسیلیک اسید و رقم‌های گندم معنی‌دار بود. محتوای پرولین در واکنش به افزایش شدت تنش و غلظت سالیسیلیک اسید در هر دو رقم به صورت نزولی کاهش پیدا کرد، درحالی‌که که رقم پیش‌تاز در مقایسه با رقم بهار پاسخ بیشتری به این تیمارها داد (شکل ۴). در هر دو رقم افزایش میزان سالیسیلیک اسید از ۵۰ به ۱۰۰ میکرومولار در شرایط تنش موجب کاهش محتوای پرولین شد.

بنا بر نتایج به‌دست‌آمده افزایش محتوای پرولین در واکنش به تنش خشکی و سالیسیلیک اسید معنی‌دار بود، به طوری‌که میزان افزایش در رقم پیش‌تاز نسبت به رقم بهار بیشتر بود. سازگاری به تنش خشکی با تنظیم‌های سوخت‌وسازی که منجر به تجمع اسمولیت‌ها (چندین املاح آلی مانند قند، پلی‌اول‌ها،

این وجود بهبود بعضی از فرآیندهای فیزیولوژیکی و بازدارندگی از بعضی از فرآیندها بستگی به غلظت اسید سالیسیلیک، گونه‌های گیاهی، مراحل مختلف توسعه و شرایط محیطی دارد (Ding and Want, 2003; Mateo *et al.*, 2003). بنابراین به نظر می‌رسد سالیسیلیک اسید از راه بهبود فرآیند نورساخت، کاهش تعرق، افزایش توسعه شبکه ریشه و افزایش جذب عنصرهای غذایی در شرایط تنش خشکی زمینه تعدیل تأثیر تنش و بهبود رشد و تولید عملکرد مطلوب شده است.

رنگدانه‌های نورساختی

در واکنش به افزایش میزان تنش خشکی میزان رنگدانه‌های نورساختی کاهش معنی‌داری داشت، به طوری‌که میزان کاهش رنگدانه‌ها در تنش ۴۰ درصد رطوبت خاک در رقم پیش‌تاز و بهار به ترتیب ۴۹ و ۶۶/۴۳ درصد بود (جدول ۵). در مورد رنگدانه‌های نورساختی در تیمار رطوبتی ۴۰ درصد رطوبت خاک تفاوت معنی‌داری بین ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید مشاهده نشد. اگرچه با افزایش تنش میزان رنگدانه‌های نورساختی در مقایسه با شاهد کاهش داشتند اما کاربرد سالیسیلیک اسید تا حدود زیادی تأثیر منفی تنش را کاهش داد. با این حال در تنش ۴۰ درصد رطوبت خاک حتی با کاربرد سالیسیلیک اسید میزان کاهش شدیدتر بوده است، هرچند این میزان کاهش در رقم بهار چشمگیرتر است. نتایج بررسی‌ها نشان داد، در هر دو سطح تنش رقم پیش‌تاز نسبت به بهار مقاومت بهتری داشته و در نتیجه میزان کاهش رنگدانه کمتر بوده است.

نتایج بررسی‌ها نشان داد، با افزایش شدت تنش خشکی میزان رنگدانه‌های نورساختی کاهش یافت. همچنین مشاهده شد که در شرایط تنش خشکی با کاربرد سالیسیلیک اسید تا حدود زیادی تأثیر منفی تنش بر رنگدانه‌های نورساختی کاهش یافت. در نتایج تحقیقاتی روی گندم نشان داده شد، کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید به میزان ۰/۷ میلی‌مولار در شرایط تنش خشکی و در مرحله چکمه‌پوش (بوتینگ) سبب افزایش محتوای پروتئین، سبزینه a و b و فعالیت

پروتئین‌های محلول آن در شرایط شاهد، به کاربرد سالیسیلیک اسید واکنش بیشتری داده و پروتئین-های محلول آن نسبت به رقم بهار بالاتر بود. همان‌طور که مشاهده شد میزان پروتئین‌های محلول در نتیجه تنش خشکی در هر دو رقم گندم مورد بررسی در این آزمایش افزایش پیدا کرد و این افزایش با کاربرد سالیسیلیک اسید بیشتر نیز شد. نتایج همسان در بررسی پاسخ گندم به تنش کم‌آبی و سالیسیلیک اسید توسط محققان گزارش شده است (Mohamed *et al.*, 2010). لذا به نظر می‌رسد تیمار سالیسیلیک اسید با بهبود فرآیندهای فیزیولوژیکی مرتبط با ساخت پروتئین‌های محلول سبب افزایش آن‌ها شده است و این افزایش ممکن است در بهبود مقاومت گیاه به تنش اعمال شده نقش داشته باشد.

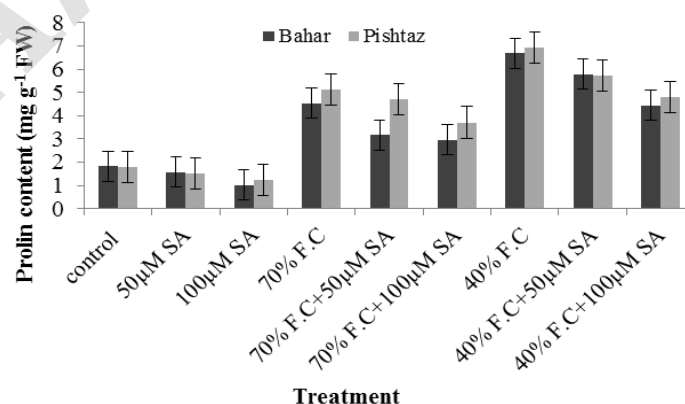
کربوهیدرات‌های محلول

تغییرات کربوهیدرات‌های محلول رقم‌های گندم در پاسخ به اثر متقابل تنش خشکی، سالیسیلیک اسید و رقم‌ها معنی‌دار بود. تیمار تنش خشکی و کاربرد سالیسیلیک اسید در مقایسه با شاهد موجب افزایش میزان کربوهیدرات‌های محلول شد، درحالی‌که با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید از ۵۰ به ۱۰۰ میکرومولار میزان کربوهیدرات‌های محلول کاهش یافت (شکل ۶).

بتائین‌ها و گلايسين و پرولين) می‌شود، مرتبط است (Mohammadkhani & Heidari, 2008). محققان در نتایج بررسی‌های خود بیان کردند، تنش خشکی موجب افزایش میزان پرولين می‌شود و نقش پرولين در افزایش مقاومت به خشکی به مرحله رشد و شدت تنش متغیر است (Ingram & Bartels, 1996). بنابراین رقم‌ها با قابلیت کاهش پتانسیل آبی از طریق تجمع اسمولیت‌هایی مانند پرولين، می‌توانند به‌عنوان رقم‌های متحمل به تنش خشکی انتخاب شوند که در این مورد به نظر می‌رسد بنا بر نتایج این تحقیق رقم پیشتاز نسبت به رقم بهار قابلیت تحمل به خشکی بیشتری دارد.

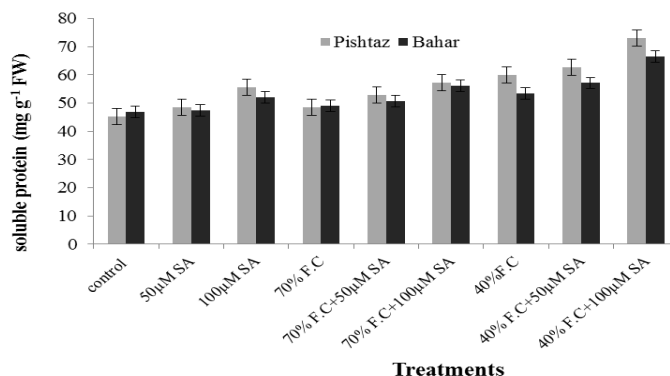
پروتئین‌های محلول

پروتئین‌های محلول با افزایش شدت تنش خشکی نسبت به تیمار شاهد افزایش پیدا کرد، به‌طوری‌که بیشترین میزان پروتئین‌های محلول در تیمار ۴۰ درصد رطوبت خاک به همراه ۱۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید و در رقم پیشتاز به دست آمد (شکل ۵). نتایج بررسی‌ها نشان داد، کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط تنش خشکی باعث افزایش میزان پروتئین‌های محلول شد. همچنین تیمار ۱۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید در مقایسه با غلظت ۵۰ میکرومولار آن تأثیر بیشتری داشت. افزون بر این رقم پیشتاز با وجود پایین‌تر بودن میزان



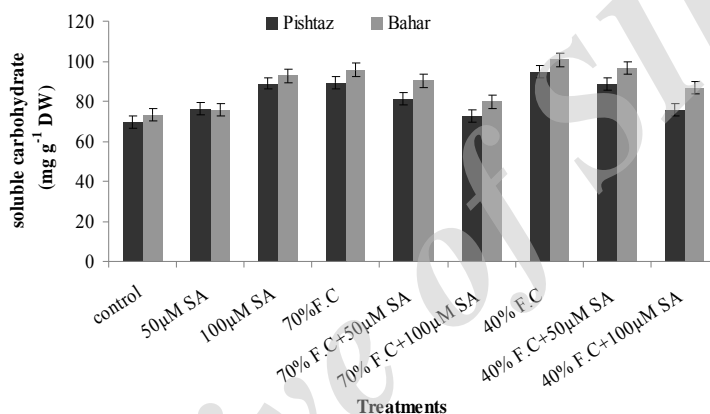
شکل ۴. تأثیر تنش کمبود آب و سالیسیلیک اسید بر محتوای پرولين دو رقم گندم. مقادیر برابر با میانگین سه تکرار ± استاندارد ازور. (F.C = ظرفیت مزرعه).

Figure 4. Effect of water deficit stress and SA on Proline content of wheat cultivars. Values are means of three replicates ± standard deviation. (F.C: Field Capacity)



شکل ۵. تأثیر تنش کمبود آب و سالیسیلیک اسید بر پروتئین محلول دو رقم گندم. مقادیر برابر با میانگین سه تکرار \pm استاندارد ارور. (F.C = ظرفیت مزرعه).

of wheat cultivars. Values are means of Figure 5. Effect of water deficit stress and SA on soluble protein three replicates \pm standard deviation. (F.C: Field Capacity)



شکل ۶. تأثیر تنش کمبود آب و سالیسیلیک اسید بر کربوهیدرات محلول دو رقم گندم. مقادیر برابر با میانگین سه تکرار \pm استاندارد ارور. (F.C = ظرفیت مزرعه).

Figure 6. Effect of water deficit stress and SA on soluble carbohydrate of wheat cultivars. Values are means of three replicates \pm standard deviation. (F.C: Field Capacity)

گزارش شده است که تنش خشکی سبب افزایش قندهای محلول، پرولین، فنل و گلیسین بتائین شد و این افزایش در رقم متحمل بیشتر از رقم حساس بود (Kele and Öncel, 2002). افزایش میزان اسمولایت‌ها در نتیجه تنش خشکی توسط (Yang *et al.*, 2007) هم مشاهده شده است.

مالون دی آلدئید

تنش خشکی سبب افزایش میزان مالون دی آلدئید رقم‌های گندم در مقایسه با شاهد شد، با این حال تغییرات مالون دی آلدئید در واکنش به افزایش شدت تنش خشکی و کاربرد همزمان سالیسیلیک اسید

همچنین رقم بهار نسبت به رقم پیشتاز به افزایش شدت تنش و غلظت سالیسیلیک اسید پاسخ بیشتری داد، به طوری که در تیمار رطوبتی ۴۰ درصد رطوبت خاک این موضوع مشهود است. افزایش تجمع کربوهیدرات‌های محلول در نتیجه تنش خشکی مشاهده شد، که این روند با کاربرد سالیسیلیک اسید افزایش یافت. کربوهیدرات‌های محلول در شرایط تنش خشکی به عنوان اسمولیت‌های سازگار نقش مهمی در القای تحمل به خشکی ایفا می‌کنند. در نتایج پژوهشی گزارش شده است، در شرایط تنش خشکی تجمع کربوهیدرات‌ها به عنوان اسمولیت‌های محافظ افزایش می‌یابد (He *et al.*, 2005). همچنین

برعکس دیگر صفات این آزمایش بود، به طوری در شرایط تنش با کاربرد سالیسیلیک اسید میزان مالون دی آلدئید در مقایسه با حالت بدون کاربرد آن کاهش یافت (شکل ۷).

جدول ۵. تأثیر تنش کمبود آب و سالیسیلیک اسید بر رنگدانه‌های نورساختی دو رقم گندم (به علت نبود تفاوت معنی دار بین سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار سالیسیک اسید، داده‌های مربوط به تیمار ۱۰۰ میکرومولار آورده نشده‌اند).

Table 4. Effect of water deficit stress and SA on the pigment content (mg g^{-1} FW) of wheat cultivars. Values are means (M) of three replicates \pm standard deviation (SD). For a given date, statistically significant of differences compared to the value of control plants was conducted.

Treatment	Cultivar	Chl a	Chl b	Carotenoids	a/b	Total	Decrease
		(mg g^{-1} FW)	(mg g^{-1} FW)	(mg g^{-1} FW)	ratio		percent
		M \pm SD	M \pm SD	M \pm SD			%
control	Pishtaz	1.53 \pm 0.12	0.77 \pm 0.13	0.35 \pm 0.03	1.98	2.65	100
	Bahar	1.61 \pm 0.13	0.74 \pm 0.12	0.39 \pm 0.03	2.17	2.74	100
50 μM SA	Pishtaz	1.69 \pm 0.36	0.99 \pm 0.11	0.42 \pm 0.04	1.7	3.1	117
	Bahar	1.76 \pm 0.38	0.98 \pm 0.11	0.45 \pm 0.04	1.8	3.19	116.4
70% F.C	Pishtaz	0.94* \pm 0.08	0.53 \pm 0.05	0.24 \pm 0.03	1.77	1.71	64.5
	Bahar	0.85* \pm 0.07	0.44* \pm 0.04	0.22 \pm 0.02	1.93	1.51	55.1
70% F.C+50 μM SA	Pishtaz	1.19** \pm 0.1	0.61* \pm 0.06	0.28 \pm 0.02	1.95	2.08	78.4
	Bahar	1.09** \pm 0.9	0.52* \pm 0.05	0.029 \pm 0.02	2.09	1.639	59.8
40% F.C	Pishtaz	0.77** \pm 0.11	0.39* \pm 0.04	0.19* \pm 0.01	1.97	1.35	51
	Bahar	0.6** \pm 0.07	0.21* \pm 0.01	0.11** \pm 0.01	2.86	0.92	33.57
40% F.C+50 μM SA	Pishtaz	1.01** \pm 0.19	0.5* \pm 0.06	0.22* \pm 0.01	2.02	1.73	65.2
	Bahar	0.8* \pm 0.08	0.4** \pm 0.03	0.19** \pm 0.02	2	1.39	50.7

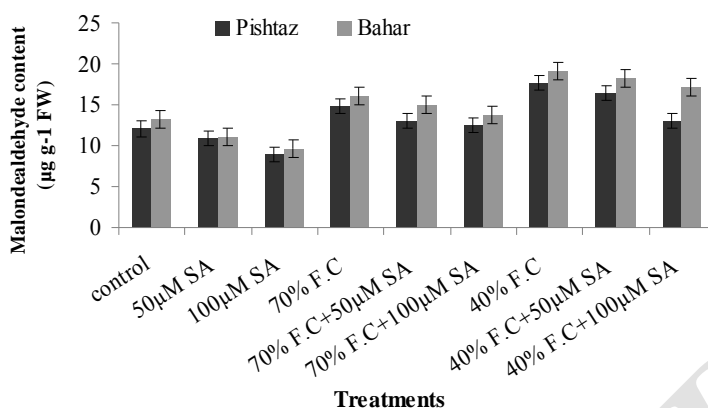
* Significant at $P \leq 0.05$.

** Significant at $P \leq 0.01$.

می‌یابد که این افزایش در نژادگان‌های مختلف، متفاوت است (Liu *et al.*, 2014). گستره آسیب تنش اکسایشی (اکسیداتیو) به غشاهای لیپیدی و پراکسیداسیون لیپیدها تحت تأثیر عامل‌های مختلفی مانند رقم، مرحله رشد، بافت گیاه، وضعیت تغذیه، وجود تنش‌های دیگر و غیره قرار دارد (Masoumi *et al.*, 2010). در حالی که (Gür *et al.*, 2010) در نتایج بررسی خود گزارش کردند، تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر میزان مالون دی آلدئید برگ پنبه نداشت. کاهش میزان مالون دی آلدئید با کاربرد سالیسیلیک اسید در گیاه در شرایط تنش خشکی ممکن است به دلیل نقش تنظیم‌کنندگی آن در برابر تنش‌ها باشد به طوری که

همچنین رقم بهار در مقایسه با پیش‌تاز با کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط تنش خشکی میزان مالون دی آلدئید بالاتری داشت. اگرچه روند تغییرات مالون دی آلدئید در واکنش به تنش خشکی به صورت افزایشی بود، اما با کاربرد سالیسیلیک اسید کاهش یافت. پراکسیده شدن لیپیدها باعث تولید ترکیب‌های ثانویه مختلفی می‌شود. مالون دی آلدئید مهم‌ترین ترکیب بررسی‌شده مربوط به پراکسیداسیون چربی‌های غیراشباعی است. لذا پراکسیده شدن لیپیدها با اندازه‌گیری میزان مالون دی آلدئید برآورد می‌شود. پژوهشگران در نتایج پژوهشی گزارش کردند، در شرایط تنش، میزان مالون دی آلدئید به شدت افزایش

این هورمون به‌عنوان یک مولکول سیگنال طبیعی برای فعال‌سازی سازوکارهای دفاعی در گیاهان شناخته شده است (Wang and Li, 2006).



شکل ۷. تأثیر تنش کمبود آب و سالیسیلیک اسید بر مالون دی آلدئید دو رقم گندم
Figure 7. Effect of water deficit stress and SA on Malonaldehyde content of wheat cultivars. Values are means of three replicates \pm standard deviation. (F.C: Field Capacity)

(۴۰ درصد ظرفیت زراعی) مقاومت بیشتری نسبت به رقم بهار داشت. اگرچه هر دو رقم مورد بررسی در شرایط شاهد نسبت به غلظت‌های بالاتر سالیسیلیک اسید (۱۰۰ میکرومولار) پاسخ مثبت دادند، اما در شرایط تنش پاسخ به غلظت‌های بالاتر در صفت‌های مختلف متفاوت بود. لذا با توجه به نتایج به‌دست‌آمده برای زراعت در شرایط تنش خشکی رقم پیشتاز به همراه کاربرد دست‌کم ۵۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید توصیه می‌شود، هرچند تعمیم نتایج این بررسی نیازمند بررسی‌های دقیق‌تری است.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان داد، تنش خشکی بر همه فعالیت‌های فیزیولوژیکی گندم تأثیر منفی دارد. این درحالی است که به نظر می‌رسد کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط تنش خشکی از راه افزایش مقاومت گیاه به تنش سبب بهبود وضعیت گیاه شده و در نتیجه منجر به عملکرد بیشتر شده است. با این حال میزان پاسخ بسته به سطح تنش رطوبتی، غلظت سالیسیلیک اسید و رقم‌ها متفاوت بود. به‌طوری‌که رقم پیشتاز در شرایط تنش شدید

REFERENCES

1. Abdel-Wahed, M.S.A., Amin, A. A. & El-Rashad, S.M. (2006). Physiological effect of some bioregulators on vegetative growth, yield and chemical constituents of yellow maize plants. *World Journal Agriculture Science Direct*, 2(2), 149-155.
2. Aftab, T., Khan, Idrees, M.M.A., Naeem, M. & Moinuddin, M. (2010). Salicylic acid acts as potent enhancer of growth, photosynthesis and artemisinin production in *Artemisia annua* L. *Journal Crop Scibiotech*. 13:183-188.
3. Ahmadi, A. & Sio-Se Mardeh, A. (2004). The effect of water stress on soluble carbohydrates, chlorophyll and proline contents of four Iranian wheat cultivars under different moisture regimes. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 35(3), 753- 763 (in Persian).
4. Amin, A. A., Rashad, S., Fatma, H. M. & Gharib, A. E. (2008). Changes in morphological, physiological and reproductive characters of wheat and photosynthesis. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2 (2), 252-261.
5. Arnon, D. I. (1949) Copper enzyme in isolated chloroplast and polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24 (1), 1- 15.
6. Azooz, M. M., Youssef, A. M. & Parvaiz, A. (2011). Evaluation of salicylic acid (SA) application on growth, osmotic solutes and antioxidant enzyme activities on broad bean. seedlings grown under diluted seawater. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 3 (14), 253-264.

7. Bates, I.S., Waldern, R.P. & Tear, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Journal of Plant and Soil*, 39, 205-207.
8. Belkhadia, A., Hedijia, H., Abbesa, Z., Nouairib, I., Barhoumic, Z., Zarroukb, M., Chaïbia, W. & Djebalia, W. (2010). Effects of exogenous salicylic acid pre-treatment on cadmium toxicity and leaf lipid content in *Linum usitatissimum* L. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73 (5), 1004-1011.
9. Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72: 248-254.
10. Brar, G. S., Kar, S. & Singh, N.T. (1990). Photosynthetic Response of Wheat to Soil Water Deficits in the Tropics. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 165 (5), 343-348
11. Bray, E.A. (1997). Plant responses to water deficit. *Trends in Plant Science*, 2, 48-54.
12. Cesar, G., Gary, M., Banowetz, C., James, P. & Warren, E. (2003). Dehydrin Expression and Drought Tolerance in Seven Wheat Cultivars. *Crop Sciences*, 43 (2), 577-582.
13. Claussen, W. (2005). Proline as a measure of stress in tomato plant. *Journal of Plant Science*, 168, 241-248
14. Coronado, M. A. G., Lopez, C. T. & Saavedra, A. L. (1998). Effects of salicylic acid on the growth of roots and shoots in soybean. *Journal of Plant physiology Biochemical*, 8, 563-5.
15. Dat, J. F., Lopes Delgado, H., Foyer, C. H. & Scot, I. M. (1998). Parallel changes in H₂O₂ and catalase during thermotolerance induced by salicylic acid or heat acclimation in mustard seedlings. *Journal of Plant Physiology*, 116, 1351-1357.
16. Ding, C. & Want, C.Y. (2003). The dual effects of methyl salicylate on ripening and expression for ethylene biosynthetic genes in tomato fruits. *Journal of Plant Science Direct*. 164: 589-601.
17. El-Mergawi, R. & Abdel-Wahed, M. (2007). Diversity in salicylic acid effects on growth criteria and different indole acetic acid forms among faba bean and maize. *International Plant Growth Substances Association 19th Annual meeting*, Puerto Vallarta, Mexico, July 21-25.
18. El-Tayeb, M. A. (2005). Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regulation*, 45, 215-225.
19. Gür, A., Demirel, U., Özden, M., Kahraman, A. & Çopur, O. (2010). Diurnal gradual heat stress affects antioxidant enzymes, proline accumulation and some physiological components in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *African Journal of Biotechnology*, 9 (7), 1008-1015.
20. Hajihashemi, S. H., Kiarostami, K. H., Saboora, A. & Enteshari, S. H. (2007). Exogenously applied paclobutrazol modulates growth in salt-stressed wheat plants. *Journal of Plant growth Regulation*, 53, 117-128.
21. Hayat, S., Hasan, S.A., Fariduddin, Q. & Ahmad, A. (2008). Growth of tomato (*Lycopersicon esculentum*) in response to salicylic acid under water stress. *Journal of Plant Interactions*. 3, 297-304.
22. He, Y., Liu, Y., Cao, W., Huai, M., Xu, B. & Huang, B. (2005). Effects of salicylic acid on heat tolerance associated with antioxidant metabolism in Kentucky bluegrass, *Crop Science*, 45, 988-995.
23. Horvath, E., Szalai, G. & Janda, T. (2007). Induction of abiotic stress tolerance by salicylic acid signaling. *Journal of Plant Growth Regulation*, 26, 290-300.
24. Horvath, E., Szalai, G. & Janda, T. (2007). Induction of abiotic stress tolerance by salicylic acid signaling. *Journal of Plant Growth Regulation*, 26, 290-300.
25. Ingram, J. & Bartels, D. (1996). The molecular basis of dehydration tolerance in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 47, 377-403.
26. Islamic republic of Iran, Ministry of agriculture-Jahad. (2015). Agricultural statistics. Volume I: crops.
27. Kiarostami, K. H., Abdolmaleki, N. & Heydari, M. (2011). The effect of salicylic acid on reducing salinity stress in canola. *Plant Biology*. 12 (4): 69-82.
28. Kele Y. & Öncel I. (2002). Response of antioxidative defense system to temperature and water stress combinations in wheat seedlings. *Plant Sciences*, 163, 783-790.
29. Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350-382.
30. Liu J.H., Peng T. & Dai W. S. (2014). Critical cis-acting elements and interacting transcription factors: key players associated with abiotic stress responses in plants. *Plant Mol. Biol. Rep*, 32, 303-317.
31. Masoumi, H., Masoumi, M., Darvish, F., Daneshian, J., Nourmohammadi, G. H. & Habibi, D. (2010). Change in several antioxidant enzymes activity and seed yield by water deficit stress in soybean (*Glycine max* L.) Cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 38, 50-59.
32. Mateo, A. F. D., Muhlenbock, P., Kular, B., Kular, P. M. & Karpinski, S. (2006). Controlled levels of salicylic acid are required for optimal photosynthesis and redox homeostasis. *Journal of Experimental Botany*, 57(8), 1795-1807.

33. Mohammadkhani, N. & Heidari, R. (2008). Water stress induced by polyethylene glycol 6000 and sodium chloride in two maize cultivars. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 11 (1), 92-97.
34. Mohamed, A., Tayeb, E., Naglaa, L. & Ahmed, N. (2010). Response of Wheat Cultivars to Drought and Salicylic Acid. *American-Eurasian Journal of Agronomy*, 3 (1), 01-07.
35. Pirasteh, H., Emam, Y., Ashraf, M. & Foolad, M. R. (2012). Exogenous Application of Salicylic acid Chlormequat Chloride Alleviates Negative Effects of Drought Stress in Wheat. *Advanced studies in Biology*, 4(11), 501-520.
36. Popova, L. P., Pancheva, T. V. & Uzunova, A. N. (1997). Salicylic acid: Properties, biosynthesis and physiological role. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 23, 85-93.
37. Radwan, D. E. M. & Soltan, D. M. (2012). The negative effects of clethodim in photosynthesis and gas-exchange status of maize plants are ameliorated by salicylic acid pretreatment. *Photosynthetica*, 50, 171-179.
38. Rajaram . S ., Braum, H . J., Van Ginkel, M. & Tiger stedt, P . M . A . (1995). CIMMYT's approach to breed for drought tolerance . XIV EUCARPIA congress on adaptation in plant breeding . Jyvaskyla . Finland . Euphytica . 92 : 1 - 2 , 145 – 153.
39. Raskin, I. (1992). Role of salicylic acid in plants. *Journal of Plant physiology and Plant Molecular Biology*, 43, 439-463.
40. Sakhabutdinova, A. R. D. R., Fatkhutdinova, & Shakirova, F. M. (2004). 'Effect of Salicylic acid on the Activity of Antioxidant Enzymes in Wheat under Conditions of Salination, *Applied Biochemistry and Microbiology*, 40, 501-05.
41. Sasheva, P., Yordanova, R., Janda, T., Szalai, G. & Maslenkova, L. (2013) Study of primary photosynthetic reactions in winter wheat cultivars after cold hardening and freezing. Effect of salicylic acid. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19, 45-48
42. Satvir, K., Anil, G. K. & Narinder, K. (2000). Effect of GA3, kinetin and indole acetic acid on carbohydrate metabolism in chickpea seedlings germinating under water stress. *Plant Growth Regulation*, 30, 61-70.
43. Shakirova, F. M., Sakhabutdinova, A. R., Bezrukova, M. V., Fatkhutdinova, R. A. and Fatkhutdinova, D. R. (2003). Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant Science*, 164, 317-322.
44. Tirani, M.M., Nasibi, F. & Kalantari, K. M. (2013) Interaction of salicylic acid and ethylene and their effects on some physiological and biochemical parameters in canola plants (*Brassica napus* L.). *Photosynthetica*, 51, 411-418
45. Valentovic, P., Luxova, M., Kolarovi, L. & Gasparikora, O. (2006). Effect of osmotic stress on compatible solutes content, memberane stability and water relation in two maize. *Plant Soil Environment*, 52 (4), 186-191.
46. Wang, L. J. & Li, S. H. (2006). Salicylic acid-induced heat or cold tolerance in relation to Ca²⁺ homeostasis and antioxidant systems in young grape plants. *Plant Science*, 170, 685-94.
47. Yang, Y., Liu, Q., Han, C., Qiao, Y. Z., Yao, X. Q. & Yin, H.J. (2007). Influence of water stress and low irradiance on morphological and physiological characteristics of *Picea asperata* seedlings. *Photosynthetica*, 45 (4): 613-619.
48. *European Journal of Agronomy*, 72, 38-46.