نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۳ شماره ۴ / زمستان ۱۴۰۲/ صفحات ۲۱۵-۱۹۹

Evaluation of Physiological Responses of Peanut to Different Irrigation Regimes and Foliar Application of Salicylic Acid

Mehrab Mehri Charvadeh[1], Hamid Reza Zakerin[*2]. Marefat Mostafavi Rad3, Saeed Sayfzadeh[4], Sayed Alireza Valadabady[4]

Received: 29 July 2022 Accepted: 03 November 2022
1- PhD. Student, Dept. of Agronomy, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran.
2- Assist. Prof., Dept. of Agronomy, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran
3- Assist. Prof., Crop and Horticultural Science Research Dept, Guilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.
4- Assoc. Prof., Dept. of Agronomy, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran.
[*]Corresponding Author Email: drzakerin5@gmail.com

Abstract

Background and Objective: In order to evaluate of grain yield, anti-oxidante enzymes activitie and osmolytes accumulation in leaves of peanut (*Arachis hypogaea* L.) as affected by different irrigation levels and Salicylic acid, the present study was done.

Materials and Methods: This experiment carried out as split plat based on randomized complete block design with three replications in experimental field of Agicutural and Natural Resources Research and Education Center of Guilan Province, Astara (Kanroud research station), Iran, during 2018 and 2019 years. Four level of irrigation regimes including no irrigation (as control), irrigation at initial flowering stage, irrigation at pod formation stage and irrigation at initial flowering + pod formation stages and three levels of salicylic acid such as 100, 200 and 300 µmol/l comprised experimental treatments, as main and sub plot, respectively.

Results: Deficit irrigation decreased grain yield, chlorophyll index (SPAD) and leaf relative water content in peanut. But, the rate some physiological characteristics such as prolne, catalaz, superoxide dismutase, peroxidase, leaf soluble sugar content, leaf soluble protein content and leaf anthocyanin content enhanced in responses to deficit irrigation. In addition, foliar application of salicylic acid caused to improve all measured traits in peanut at different irrigation levels. The greatest grain yield of peanut (3450 $kg.ha^{-1}$) was obtained in response to supplementary irrigation at both initial flowering stage + pod formation stage along with foliar application of salicylic acid at the rate of 300 µmol/l.

Conclusion: Based on results of this study, supplementary irrigation and foliar application of salicylic acid could be recommendable in direction to increase plant resistance to drought stress and grain yield improvement in peanut under similar region climatic condition.

Keywords: Ant-Oxidant Enzymes, Drought Stress, Peanut, Plant Growth Regulator, Osmolyte

CC BY NC

DOI: 10.22034/saps.2022.52803.2904

ارزیابی پاسخ‌های فیزیولوژیک بادام زمینی به رژیم‌های مختلف آبیاری و کاربرد برگی سالیسیلیک اسید

محراب مهری چروده[۱]، حمیدرضا ذاکرین*[۲]، معرفت مصطفوی‌راد[۳]، سعید سیف‌زاده[۴]، سید علیرضا ولدآبادی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۸/۱۲

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران
۲-- استادیار ، گروه زراعت، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران
۳-- استادیار، بخش علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گیلان، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، رشت، ایران
۴- دانشیار، گروه زراعت، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران
*مسئول مکاتبه: Email: drzakerin5@gmail.com

چکیده

اهداف: مطالعه حاضر، به‌منظور ارزیابی عملکرد دانه، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و تجمع اسمولیت‌ها در برگ بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.) تحت تاثیر سطوح مختلف آبیاری و سالیسیلیک اسید انجام گردید.

مواد و روش‌ها: این آزمایش، در طی سال‌های زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ به‌صورت کرت‌های خرد شده با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار در مزرعه آزمایشی مرکز تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، آستارا (ایستگاه تحقیقاتی کانرود) اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل چهار سطح رژیم آبیاری: عدم انجام آبیاری (به‌عنوان شاهد)، آبیاری در مرحله گل‌دهی، آبیاری در مرحله نمو غلاف‌ها، آبیاری آبیاری در مرحله گل‌دهی + مرحله نمو غلاف‌ها و سه سطح سالیسیلیک اسید شامل ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میکرومول در لیتر به‌ترتیب به‌عنوان کرت اصلی و فرعی بود.

یافته‌ها: کم‌آبیاری سبب کاهش عملکرد دانه، شاخص کلروفیل برگ (عدد اسپاد) و محتوای نسبی آب برگ در بادام زمینی گردید. ولی، میزان برخی صفات فیزیولوژیکی نظیر پرولین، کاتالاز، سوپراکسیددیسموتاز، پراکسیداز، محتوای قندهای محلول در برگ‌ها، محتوای پروتئین محلول در برگ و محتوای آنتوسیانین برگ در واکنش به کم‌آبیاری افزایش پیدا کرد. به‌علاوه، کاربرد برگی سالیسیلیک اسید سبب بهبودی تمامی صفات اندازه‌گیری شده بادام زمینی در سطوح مختلف آبیاری گردید. بیشترین عملکرد دانه بادام زمینی (۳۴۵۰ کیلوگرم در هکتار) در پاسخ به انجام آبیاری تکمیلی در هر دو مرحله شروع گل‌دهی + تشکیل غلاف‌ها همراه با کاربرد ۳۰۰ میکرومول سالیسیلیک اسید در لیتر به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: براساس نتایج این مطالعه، آبیاری تکمیلی و کاربرد برگی سالیسیلیک اسید می‌تواند در راستای افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش خشکی و بهبود عملکرد دانه تحت شرایط اقلیمی مشابه قابل توصیه باشد.

واژه‌های کلیدی: اسمولیت‌ها، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، بادام زمینی، تنش خشکی، تنظیم‌کننده رشد گیاه

مقدمه

بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.) یکی از دانه-های روغنی مهم خانواده لگوم‌ها و حاوی ۴۷ تا ۵۳ درصد روغن و ۲۵ تا ۳۶ درصد پروتئین می‌باشد و به دو صورت دیم و فاریاب کشت می‌شود. تنش خشکی یکی از مهمترین عوامل محدودکننده تولید گیاهان زراعی در سراسر جهان به‌شمار می‌رود (جابرالدار و همکاران ۲۰۱۷) که از طریق کاهش هدایت روزنه‌ای و محدود کردن تبادل گازی دی‌اکسید کربن، نقصان ظرفیت فتوسنتزی گیاه موجب کاهش عملکرد دانه در گیاهان زراعی می‌گردد (حسین و همکاران ۲۰۱۹). محققان نشان دادند که عملکرد دانه بادام زمینی (راتنا کومار و وادز ۲۰۱۱)، کتان (موحدی دهنوی و همکاران ۲۰۱۷)، کلزا (یوسفی و همکاران ۲۰۱۱) و سویا (معصومی و همکاران ۲۰۱۱) در واکنش به تنش خشکی کاهش پیدا کرد. در چنین شرایطی، آبیاری تکمیلی یا کم‌آبیاری یک استراتژی بهینه برای تولید اقتصادی محصولات تحت شرایط کمبود آب است که برای گسترش سطح کشت و به حداکثر رساندن و یا تثبیت تولید محصولات یک منطقه می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (گریت و رئیس ۲۰۰۹). در این راستا، مرحله پرشدن غلاف در بادام زمینی (کامبیراندا و همکاران ۲۰۱۲) و مراحل گل‌دهی و تشکیل خورجین در کلزا (اسکندری و عالیزاده امرایی ۲۰۱۵)، به‌عنوان حساس‌ترین مرحله رشد زایشی نسبت به تنش خشکی گزارش شده است. محققان متعددی گزارش کرده‌اند که آبیاری تکمیلی بر عملکرد دانه بادام زمینی (آیدینساکیر و همکاران ۲۰۱۶)، کلزا (اسکندری و عالیزاده امرایی ۲۰۱۵) و سویا (دیمکپا و همکاران ۲۰۱۷) تاثیر مثبت داشت. تنش خشکی منجر به تولید و تجمع گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) مانند رادیکال سوپراکسید (O_2^-)، پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و رادیکال هیدروکسیل (OH) می‌شود (کریشنا و همکاران ۲۰۰۴). به‌دنبال وقوع تنش‌های محیطی مکانیسم دفاع آنتی اکسیدانی گیاهان فعال می‌شود (معصومی و همکاران ۲۰۱۰). در این راستا، آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز نقش اساسی در حفاظت از گیاهان در مقابله با تنش خشکی ایفا می‌کنند. محققان نشان دادند که فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز در پاسخ به تنش‌های محیطی نظیر خشکی و شوری در بوته‌های بادام زمینی (آکسای و همکارن ۲۰۱۰)، پنبه (گزیا و همکاران ۲۰۱۹)، شلغم روغنی (جیا و همکاران ۲۰۲۰)، کلزا (میرزایی و همکاران ۲۰۱۳) و ذرت (مظهر و همکاران ۲۰۲۱) افزایش پیدا کرد. همچنین، افزایش اسمولیت‌ها مکانیسم داخلی مهمی برای مقابله با تنش‌های اکسیداتیو به‌شمار می‌روند. در این راستا، محققان نشان دادند که تنش‌های محیطی نظیر شوری و خشکی قند محلول را در برگ برنج (لی و همکاران ۲۰۱۷)، کلزا (حاتم‌وند و همکاران ۲۰۱۵) و پنبه (گزیا و همکاران ۲۰۱۹) گردید. همچنین، تحت شرایط تنش خشکی، افزایش میزان آنتوسیانین در انیسون (آسادا ۲۰۰۶) و کاهش محتوای نسبی آب برگ (RWC) در کلزا (غفاری و همکاران ۲۰۱۱ و حاتم وند و همکاران ۲۰۱۵) گزارش شده است.

سالیسیلیک اسید یک ترکیب فنلی است که به‌عنوان پیام‌رسان ثانویه عمل کرده و باعث فعال شدن مکانیسم‌های دفاع آنتی اکسیداتیو در گیاه و بهبود استحکام غشاها و عملکرد گیاهان می‌شود (راجشواری و بوانشواری ۲۰۱۷). سالیسلیک اسید باعث کاهش آثار تنش‌های محیطی و محافظت از دستگاه فتوسنتزی گیاهان (چن و همکاران ۲۰۱۶) می‌گردد و با تنظیم فرآیندهای زیستی و بیوشیمیایی گیاهان سبب می‌گردد که فعالیت فیزیولوژیک گیاهان تا حد ممکن از حالت عادی خارج نشود (پلگ و بلوموالد ۲۰۱۱). اثر سالیسیلیک اسید بر روی فرآیندهای رشدی گیاهان مختلف بسته به غلظت به‌کار رفته، نوع گونه گیاهی، دوره رشدی و شرایط محیطی مختلف، متفاوت گزارش شده است (اراسلان و همکاران ۲۰۰۷). کشاورز و مدرس ثانوی ۲۰۱۴ نشان دادند که کاربرد سالیسیلیک اسید در غلظت‌های مختلف در شرایط تنش خشکی از طریق افزایش مقدار رنگیزه های فتوسنتزی، پرولین و قندهای محلول برگ سبب کاهش پراکسیداسیون لیپیدی غشاء و کاهش خسارت اکسیداتیو در بوته‌های کلزا گردید و بیشترین عملکرد کلزا در واکنش به کاربرد سالیسیلیک اسید با غلظت ۲۰۰ میکرومول در لیتر به-دست آمد (کشاورز و مدرس ثانوی ۲۰۱۴). محققان دیگری گزارش کردند که محلولپاشی سالیسیلیک اسید

با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تاثیر مثبت بر عملکرد دانه گندم داشت (نارویی و همکاران ۲۰۱۷). همچنین، گزارش شده است که تیمار گیاهان با سالیسیلیک اسید موجب افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش گردید و عملکرددانه کنجد را بهبود بخشید (یاسر و همکاران ۲۰۱۵). به‌علاوه، افزایش آنزیم‌های کاتالاز در کتان (موحدی‌دهنوی و همکاران ۲۰۱۷)، سوپراکسیداز دیسموتاز (SOD) در ذرت (مظهر و همکاران ۲۰۲۱) و پراکسیداز در کنجد (یوسف‌زاده نجف‌آبادی و احسان زاده ۲۰۱۹) و آفتابگردان (قبادی و همکاران ۲۰۱۳) در واکنش به کاربرد سالیسیلیک اسید تحت شرایط تنش خشکی گزارش شده است. مطالعه حاضر، با هدف ارزیابی اثر آبیاری تکمیلی و کاربرد برگی سالیسیلیک اسید بر عملکرد دانه بادام زمینی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و اسمولیت‌ها تحت شرایط اقلیمی منطقه انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در طی سال‌های زراعی ۱۳۹۸و ۱۳۹۹ به‌صورت کرت‌های خرد شده با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار در مزرعه آزمایشی مرکز تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، آستارا (ایستگاه تحقیقاتی آستارا) اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل چهار سطح رژیم آبیاری: عدم انجام عملیات آبیاری (شرایط دیم)، آبیاری در مرحله گل‌دهی، آبیاری در مرحله تشکیل غلاف‌ها، آبیاری در مرحله گل‌دهی + مرحله تشکیل غلاف‌ها و سه سطح سالیسیلیک اسید شامل ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میکرومول در لیتر به‌ترتیب به‌عنوان کرت‌های اصلی و فرعی بودند. آماده‌سازی زمین زراعی در فروردین ماه و کاشت بادام زمینی در تاریخ ۲۰ اردیبهشت ماه انجام شد. قبل از کاشت جهت تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در چند نقطه از خاک مزرعه آزمایشی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری و به آزمایشگاه ارسال شد و نتایج آزمون خاک در جدول ۱ درج شده است. همچنین، پارامترهای اقلیمی منطقه اجرای آزمایش در جدول ۲ ارایه گردیده است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

عمق نمونه برداری (cm)	بافت خاک	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	اسیدیته خاک	کربن آلی (%)	نیتروژن کل (%)	فسفر قابل دسترس ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل دسترس ($mg.kg^{-1}$)
صفر تا ۳۰	شنی رسی	۳۰/۷	۲۸/۱	۴۱/۲	۵/۷	۱/۷۹	۰/۱۷۱	۹/۳	۲۱۰

جدول ۲- پارامترهای اقلیمی منطقه اجرای آزمایش (آستارا) در طی سال‌های زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹

سال زراعی ۱۳۹۹					سال زراعی ۱۳۹۸					
بارندگی (mm)	میانگین رطوبت نسبی (%)	میانگین دما °C	میانگین حداکثر دما °C	میانگین حداقل دما °C	بارندگی (mm)	میانگین رطوبت نسبی (%)	میانگین دما °C	میانگین حداکثر دما °C	میانگین حداقل دما °C	ماه
۲۳۹/۲	۸۷	۱۱	۱۳/۷	۸/۲	۲۰۷/۸	۸۸/۴	۱۱/۶	۱۳/۶	۹/۵	فروردین
۷۹/۹	۸۳	۱۶/۱	۱۹/۶	۱۲/۵	۹۱/۴	۷۹/۵	۱۷/۲	۲۰/۷	۱۳/۷	اردیبهشت
۱/۸	۷۰	۲۳	۲۸/۵	۱۷/۴	۷	۶۵/۵	۲۳/۷	۲۹	۱۸/۳	خرداد
۱/۳	۶۵	۲۶/۱	۳۱/۵	۲۰/۷	۸/۴	۶۷	۲۵/۹	۳۰/۶	۲۱/۱	تیر
۹۰	۷۲	۲۵/۵	۲۹/۹	۲۱	۹۰/۸	۶۸	۲۶	۳۰/۶	۲۱/۳	مرداد
۲۳۲/۲	۷۸	۲۳/۳	۲۷/۷	۱۸/۹	۴۰۰/۵	۷۵	۲۲/۸	۲۶/۵	۱۸/۱	شهریور

کوددهی براساس نتایج آزمون خاک انجام گردید و مقدار ۱۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل و ۶۰ کیلوگرم اوره به‌عنوان نیتروژن آغازگر قبل از کاشت و به‌طور یکنواخت در سطح مزرعه پاشیده شد و به‌وسیله دیسک سبک با خاک مخلوط گردید. فاصله ردیف‌های کاشت بادام زمینی ۵۰ و فاصله بوته‌ها روی ردیف کاشت ۲۰ سانتی‌متر و هر کرت شامل ۶ خط به طول ۵ متر بود. کنترل علف‌های هرز به‌روش وجین دستی در دو مرحله ۴ تا ۶ برگی و مرحله نمو غلاف‌ها و مصادف با خاک-دهی پای بوته‌های بادام زمینی انجام شد. محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید یک‌بار در مرحله شروع گل‌دهی و بار دوم ۳۰ روز پس از محلولپاشی مرحله اول و مصادف با مرحله نمو غلاف‌ها صورت گرفت. سه مرحله آبیاری براساس تیمارهای مورد مطالعه و با توجه به مرحله رشدی گیاه به‌صورت کرتی انجام گردید که شامل آبیاری در مرحله آغاز گلدهی (۲۳ خرداد ماه)، آبیاری در مرحله نمو غلافها (۱۷ تیر ماه) و آبیاری در مرحله آغاز گلدهی + مرحله نمو غلافها و تیمارهای تحت شرایط دیم بود. سایر مراقبت‌های زراعی در طی دوره رویش گیاه انجام شد و در پایان فصل رشد (۳۰ شهریور ماه هر سال) و همزمان با رسیدگی فیزیولوژیک دانه بادام زمینی (پیدایش رگه‌های قهوه‌ای رنگ بر روی غلاف‌ها)، به‌طور همزمان، تمامی کرت‌های آزمایشی پس از حذف نیم متر از ابتدا و انتهای خطوط کاشت (حذف اثر حاشیه‌ای)، تعداد ۵۰ بوته به‌طور تصادفی از چهار ردیف وسطی در سطحی معادل پنج متر مربع از هر کرت برداشت و عملکرد دانه پس از خشک کردن بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید. اندازه‌گیری پرولین به‌روش بیتز و همکاران (۱۹۷۳)، قندهای محلول برگ به‌روش دیوبویز و همکاران (۱۹۵۶)، آنزیم‌های سوپراکسیداز دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز به‌روش سوده‌کار و همکاران (۲۰۰۱)، شاخص کلروفیل برگ با دستگاه کلروفیلمتر مدل (SPAD 502, Minolta Camera Co., Osaka, Japan) (سید شریفی و همکاران ۲۰۱۶)، پروتئین محلول برگ به‌روش برادفورد (۱۹۷۶)، آنتوسیانین به-روش ماسوکاسو و همکاران (۲۰۰۳) و رطوبت نسبی برگ به‌روش روش گونزالس و گونزالس ویلار (۲۰۰۳) در مرحله حدود ۱۰ درصد رسیدگی غلاف‌های بادام زمینی (مرحله ۸۱ براساس کدبندی BBCH) و در پنج برگ انتهایی ساقه انجام گردید (مونگر و همکاران ۱۹۹۸). تجزیه واریانس مرکب داده‌ها پس از انجام آزمون بارتلت و اطمینان از یکنواختی اشتباه آزمایشی با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS و مقایسه میانگین‌ها به‌روش آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

در این آزمایش، اثر متقابل رژیم آبیاری و سالیسیلیک اسید بر تمامی صفات اندازه‌گیری شده در بادام زمینی به استثنای آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز معنی‌دار بود (جدول ۳). عملکرد دانه بادام زمینی تحت شرایط تنش خشکی کاهش چشمگیری نشان داد و بیشترین میزان عملکرد دانه (۳۴۵۰ کیلوگرم در هکتار) تحت اثر متقابل انجام عملیات آبیاری تکمیلی دو مرحله‌ای در شروع گل‌دهی و نمو غلاف‌ها همراه با کاربرد ۳۰۰ میکرومول سالیسیلیک اسید در لیتر به‌دست آمد (جدول ۴). محققان متعددی نشان دادند که عملکرد دانه بادام زمینی (راتناکومار و وادز ۲۰۱۱)، کتان (موحدی‌دهنوی و همکاران ۱۳۹۶)، کلزا (یوسفی و همکاران ۲۰۱۱) و سویا (معصومی و همکاران ۲۰۱۰) در واکنش به وقوع تنش خشکی کاهش پیدا کرد. به‌علاوه، اثر مثبت کاربرد سالیسیلیک اسید بر عملکرد دانه کلزا (کشاورز و مدرس ثانوی ۲۰۱۴)، کنجد (یوسف‌زاده نجف‌آبادی و احسان‌زاده ۲۰۱۹)، و سویا (کریشنا و همکاران ۲۰۰۴) گزارش شده است. در مطالعه حاضر، همبستگی عملکرد دانه با محتوای کروفیل برگ (r= 0.71**)، پرولین (r= 0.69**)، آنزیم کاتالاز (r= 0.66**)، آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (r= 0.73**)، آنزیم پراکسیداز (r= 0.80**)، قندهای محلول در برگ (r= 0.85**)، پروتئین محلول در برگ (r= 0.73**)، آنتوسیانین‌ها در برگ (r= 0.79**) و محتوای نسبی آب برگ (r= 0.81**) مثبت و معنی‌دار بود

(جدول ۵). محققان دیگری نشان دادند که همبستگی عملکرد دانه سویا با محتوای کلروفیل کل برگ و مقدار سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و گلوتاتیون پراکسیداز در شرایط تنش خشکی مثبت و معنی‌دار بود (معصومی و همکاران ۲۰۱۰). نتایج این آزمایش، نشان داد که وقوع تنش خشکی سبب افت عملکرد دانه و انجام عملیات آبیاری تکمیلی و محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید به‌صورت مجزا و یا ترکیبی سبب بهبودی نسبی عملکرد دانه بادام زمینی گردید. نتایج بیانگر آن است که انجام دو بار آبیاری تکمیلی در مراحل گل‌دهی و نمو غلاف‌ها با تامین بخش مهمی از نیاز آبی گیاه، اثرات منفی تنش کم‌آبی را به‌مقدار زیادی کاهش داد و گیاه بادام زمینی توانست فرآیند طبیعی رشد خود را بنحو مطلوب سپری کند و عملکرد دانه در هکتار را افزایش دهد. همچنین، محلولپاشی سالیسیلیک اسید اثرات منفی تنش کم‌آبی را کاهش داد. در حقیقت، یکی از مزایای کاربرد سالیسیلیک اسید تعدیل آثار نامطلوب تنش خشکی و افزایش دامنه تحمل گیاهان در برابر تنش کم-آبی است. چون سالیسیلیک اسید به‌طور ذاتی در گیاهان نقش آنتی اکسیدانها را عمل کرده و باعث حذف رادیکال‌های آزاد شده در گیاهان می‌شود (ال طیب، ۲۰۰۵، خالید و همکاران، ۲۰۰۷ و الیزابت ابرو و مونی بوش، ۲۰۰۸). بدین ترتیب، کاربرد برگی سالیسیلیک اسید در هر دو شرایط آبیاری تکمیلی و عدم انجام عملیات آبیاری (کشت دیم) سبب بهبود وضعیت رشد بوته‌های بادام زمینی و بهبود صفات زراعی و ارتقای عملکرد دانه در واحد سطح گردید. به‌علاوه، مطالعه ضرایب همبستگی حاکی از آن است که افزایش محتوای کلروفیل برگ، فعالیت آنزیم‌های پرولین، کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز، قندهای محلول در برگ، پروتئین محلول در برگ، آنتوسیانین‌ها و محتوای نسبی آب برگ تحت شرایط تنش کم‌آبی سبب بهبودی نسبی عملکرد دانه بادام زمینی می‌گردد.

شاخص کلروفیل برگ (عدد SPAD)

شاخص کلروفیل برگ بادام زمینی بسته به‌شدت تنش خشکی کاهش پیدا کرد و بالاترین شاخص کلروفیل برگ (۵۷/۷۷ عدد اسپاد) تحت اثر متقابل آبیاری تکمیلی دو مرحله‌ای در شروع گل‌دهی و آغاز تشکیل غلاف‌های بادام زمینی و کاربرد برگی سالیسیلیک اسید با غلظت ۳۰۰ میکرومول در لیتر به-دست آمد (جدول ۴). در این راستا، گزارش شده است که تنش کم‌آبی محتوای کلروفیل کل را در ارقام ارزن کاهش داد (ژانگ و همکاران ۲۰۱۲). محققان دیگری نشان دادند که اثر متقابل رژیم آبیاری و سالیسیلیک اسید بر محتوای کلروفیل کل برگ‌های کنجد معنی‌دار بود و محتوای کلروفیل‌ها تحت شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط آبیاری (تیمار شاهد) کاهش یافت (یوسف‌زاده و همکاران ۱۳۹۸). به‌علاوه، گزارش شده است که سالیسیلیک اسید سبب جلوگیری از تخریب کلروفیل و موجب محافظت از دستگاه فتوسنتزی می-شود (چن و همکاران ۲۰۱۶). در آزمایش حاضر، همبستگی بین شاخص کلروفیل برگ و عملکرد دانه (r= 0.71**) مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۵). در مطالعه مشابه‌ای، همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه و محتوای کلروفیل برگ در ارزن گزارش شده است (ژانگ و همکاران ۲۰۱۲). نتایج بیانگر آن است که اعمال تیمارهای آبیاری تکمیلی و کاربرد برگی سالیسیلیک اسید از طریق تعدیل آثار سوء تنش خشکی و افزایش شاخص کلروفیل برگ سبب افزایش ظرفیت فتوسنتزی بوته‌های بادام زمینی و به تبع آن موجب افزایش سنتز کربوهیدات‌ها و بهبود عملکرد دانه در واحد سطح می-گردد. بدین ترتیب، کاهش شاخص کلروفیل برگ‌های بادام زمینی را می‌توان یکی از دلایل مهم کاهش رشد و عملکرد دانه بادام زمینی تحت شرایط تنش خشکی برشمرد. براساس مطالعه ضرایب همبستگی، افزایش شاخص سبزینگی برگ‌ها در شرایط وقوع تنش خشکی با انجام عملیات آبیاری تکمیلی و استفاده از هورمون-های دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی نظیر سالیسیلیک اسید گام مهمی در راستای بهبود فرآیند فتوسنتز و ارتقای عملکرد دانه بادام زمینی می‌باشد. دلیل این امر، افزایش سرعت فتوسنتز و سنتز کربوهیدات ها به موازات افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی و شاخص کلروفیل برگ‌ها می‌باشد.

جدول ۳- تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات اندازه‌گیری شده در بادام زمینی تحت اثر متقابل رژیم آبیاری و سالیسیلیک اسید

منابع تغییر	عملکرد دانه	شاخص کلروفیل برگ	پرولین	سوپراکسید دیسموتاز	کاتالاز	پراکسیداز	قندهای محلول در برگ	پروتئین محلول در برگ	آنتوسیانین	محتوای نسبی آب برگ
سال	۳۷۹۱۷۸/۲۴**	۵۰/۲۱۸**	۴/۱۷۲**	۳۶۷/۱۲۲**	۷۸۹/۶۲**	۵۹۵/۱۱**	۱۳۲۱/۷۹۸**	۱۵۶/۵۷۰**	۲/۰۷۲**	۴۷۱/۴۹۹**
تکرار (سال)	۴۱۵۹۹۵/۳۷	۶۶۷/۳۱۵	۶/۱۹۴	۷۰۲/۲۰۳	۵۱۶/۳۵	۴۳۸/۴۰۴	۲۰۹۲/۲۶	۱۰۵/۹۶۶	۸۳/۴۷۲	۹۸۹/۸۱۶
رژیم آبیاری (I)	۱۹۶۸۱۲۱۵/۲۸**	۸۷۰/۷۰۴**	۳/۷۴۹**	۱۲۸۸/۹۲۷**	۳۵۵/۴۰**	۶۲۰۲/۹۹۹**	۲۹۰۵۵/۲۴۴**	۱۷۸/۲۰۴**	۲/۵۱۷**	۲۲۰۷/۶۳۳**
سال (Y) × رژیم آبیاری (I)	۱۱/۵۷ns	۰/۰۲۴ns	۰/۰۱۱ns	۴/۵۳۰ns	۲/۵۳ns	۰/۰۰۲۸ns	۰/۰۳۱۰ns	۰/۰۲۲۶ns	۰/۰۰۰۶ns	۰/۰۳۸۸ns
اشتباه اصلی	۱۶۲۰/۰۴	۰/۱۹۳۴	۰/۰۶۱۲	۷/۵۳۷	۸۷/۱۵۴	۸/۹۵۰۱	۰/۰۷۵۶	۰/۰۵۵۱	۰/۰۰۷۵	۰/۵۱۹۴
سالیسیلیک اسید (S)	۱۸۹۶۶۳۵۴/۱۷**	۱۷۶۶/۸۱۲**	۱۱۶/۲۶۱**	۴۳۰/۳۵۸**	۳۷۲/۶۶**	۱۶۷۲/۹۷۲**	۷۶۵۵/۲۱۹**	۲۵/۲۲۲**	۳۹/۵۵۷**	۵۲۳/۴۶۵**
(S) × (Y)	۱۱/۵۷ns	۰/۰۰۴ns	۰/۰۱۱ns	۴/۲۲۸ns	۱۴/۲۱ns	۰/۰۳۶۲ns	۰/۰۰۱۷ns	۰/۰۳۶۳ns	۰/۰۰۰۵۸ns	۰/۰۱۷۳ns
S × I	۷۳۷۳۷۲/۶۹**	۱۳۰/۰۱۱**	۰/۲۱۸**	۴/۷۸۵ns	۱۹/۲۶ns	۴۶/۷۰۷**	۳۸/۹۶۸**	۱۷/۶۸۵**	۰/۰۱۷*	۰/۶۶۹*
S × I × Y	۱۱/۵۷ns	۰/۰۱۵ns	۰/۰۳۶ns	۵/۹۳۸ns	۱۲/۱۴ns	۰/۰۱۵۳ns	۰/۰۱۲ns	۰/۰۱۵۵ns	۰/۰۰۲۲ns	۰/۰۰۳۶ns
اشتباه فرعی	۶۰۴/۷	۰/۱۷۳۹	۰/۰۴۳۰۱	۶/۷۳۴	۱۴/۹۴	۸/۵۷۲۴	۰/۰۴۱۱	۰/۰۵۵۴	۰/۰۰۶۲	۰/۲۷۳۷
ضریب تغییرات (C.V%)	۱۲/۲۴	۹/۷۹	۳/۴۹	۸/۵۶	۶/۲۶	۷/۰۵	۱۰/۵۴	۱۵/۲۷	۱۳/۳۱	۱۰/۴۸

ns، ** و *: به‌ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می باشد.

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در بادام زمینی تحت اثر متقابل رژیم آبیاری و سالیسیلیک اسید

رژیم آبیاری	تیمار سالیسیلیک اسید	عملکرد دانه ($kg.ha^{-1}$)	شاخص کلروفیل برگ (spad)	پرولین ($\mu mol.g^{-1}$)	پراکسیداز nano ($mol.mg^{-1}$ protein.min^{-1})	قندهای محلول در برگ ($mg.g^{-1}$ FW)	پروتئین محلول در برگ ($mg.g^{-1}$ DW)	آنتوسیانین ($\mu mol.g^{-1}$)	محتوای نسبی آب برگ (٪)
عدم انجام آبیاری (تیمار شاهد)	۱۰۰ میکرومول در لیتر	۱۰۰۸/۳۳j	۳۵/۹۶l	۸/۲۵a	۵۱/۴۱c	۲۵۴/۳a	۱۵/۶۰c	۵/۳۶g	۳۶/۷۹j
	۲۰۰ میکرومول در لیتر	۱۳۵۸/۳۳i	۴۱/۰۹h	۶/۰۳d	۵۴/۰۹b	۲۳۳/۲۸b	۱۶/۰۳b	۶/۳۵c	۳۹/۹۳i
	۳۰۰ میکرومول در لیتر	۱۵۰۸/۳۳h	۴۰/۰۷i	۵/۶۲de	۶۴/۶۴a	۲۲۹/۲۸d	۲۲/۵۵a	۶/۸۲a	۴۲/۰۴h
آبیاری در مرحله گلدهی	۱۰۰ میکرومول در لیتر	۲۰۰۸/۳۳g	۳۸/۶۵j	۸/۱۲ab	۳۵/۵۸g	۲۱۳/۳۳g	۱۴/۲۰e	۵/۲۰h	۴۳/۱۹k
	۲۰۰ میکرومول در لیتر	۲۲۵۸/۳۳f	۴۴/۵۱e	۵/۷۰d	۳۹/۶۰f	۱۹۶/۲۵i	۱۴/۶۵d	۶/۲۲d	۴۶/۰۹g
	۳۰۰ میکرومول در لیتر	۲۹۲۵c	۵۲/۲۵c	۵/۳۱ef	۴۴/۳۰d	۱۹۳/۳۱j	۱۴/۶۴d	۶/۷۳a	۴۸/۰۱e
آبیاری در مرحله نمو غلافها	۱۰۰ میکرومول در لیتر	۲۱۵۸/۳۳g	۳۷/۹۹k	۷/۵۵c	۳۳/۸۵h	۲۳۳/۵۵c	۱۴/۰۳e	۵/۰۸i	۴۷/۰۳f
	۲۰۰ میکرومول در لیتر	۲۳۷۵e	۴۳/۷۸f	۵/۵۷de	۳۷/۳۸g	۲۱۵/۲۹e	۱۴/۱۳e	۶/۰۴e	۵۰/۱۴d
	۳۰۰ میکرومول در لیتر	۳۱۹۱/۶۷b	۵۳/۷۱b	۵/۱۴f	۴۱/۸۷e	۲۱۱/۱۸h	۱۴/۰۸e	۶/۴۶b	۵۱/۹۷c
آبیاری در مرحله گلدهی + آبیاری در مرحله نمو غلافها	۱۰۰ میکرومول در لیتر	۲۳۷۵e	۴۱/۸۳g	۷/۳۹c	۲۷/۷۶i	۱۹۰/۵۳l	۱۲/۶۰g	۴/۸۹j	۵۱/۷۶c
	۲۰۰ میکرومول در لیتر	۲۵۵۸/۳۳d	۴۸/۱۴d	۵/۳۹e	۳۱/۴۶h	۱۷۱/۴۷n	۱۳/۰۲f	۵/۸۴f	۵۴/۸۱b
	۳۰۰ میکرومول در لیتر	۳۴۵۰a	۵۷/۷۷a	۵/۰۱f	۳۵/۹۰g	۱۷۴/۵۱m	۱۳/۰۳f	۶/۳۳c	۶۲/۹۶a

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD نمی‌باشند.

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه و صفات فیزیولوژیک بادام زمینی تحت اثر متقابل رژیم آبیاری و سالیسیلیک اسید

صفات	عملکرد دانه ($kg.ha^{-1}$)	شاخص کلروفیل برگ (spad)	پرولین ($\mu mol.g^{-1}$)	کاتالاز nano mol.mg^{-1} (protein.min^{-1})	سوپراکسید دیسموتاز nano mol.mg^{-1} protein.min^{-1})	پراکسیداز nano) mol.mg^{-1} protein.min^{-1})	قندهای محلول در برگ mg.g^{-1} (FW)	پروتئین محلول در برگ (mg.g^{-1} (DW	آنتوسیانین ($\mu mol.g^{-1}$)	محتوای نسبی آب برگ (%)
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۱	۱									
۲	۰/۷۱**	۱								
۳	۶۹/۰**	۶۴/۰**	۱							
۴	۶۶/۰**	۰/۷۲**	۸۲/۰**	۱						
۵	۰/۷۳**	۰/۲۳ ns	۰/۱۳ ns	۰/۷۹**	1					
۶	۸۰/۰**	۰/۸۴**	۸۳/۰**	۸۸/۰**	−۰/۹۰**	۱				
۷	۸۵/۰**	−۰/۷۵**	۸۶/۰**	۸۰/۰**	۰/۸۷**	۹۲/۰**	۱			
۸	۷۳/۰**	۰/۶۴**	۸۵/۰**	۸۶/۰**	۰/۶۸**	۹۱/۰**	۹۱/۰**	۱		
۹	۰/۷۹**	۰/۷۲**	۰/۷۵**	۰/۸۵**	۰/۵۹*	۰/۰۱ ns	۰/۶۸**	۰/۰۲ ns	1	
۱۰	۸۱/۰**	۰/۸۶**	۸۸/۰**	۸۴/۰**	۰/۶۳**	۹۳/۰**	۹۷/۰**	۰/۹۳**	۰/۸۹**	۱

ns، ** و *: به‌ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

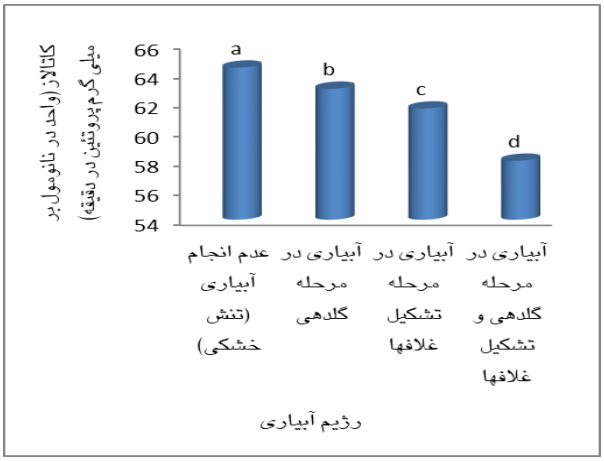
پرولین

محتوای اسید آمینه پرولین برگ‌ها تحت تاثیر تنش خشکی افزایش پیدا کرد و بیشترین میزان پرولین (۸/۲۵ میکرومول بر گرم وزن تر) به اثر متقابل عدم انجام عملیات آبیاری (شرایط دیم) و کاربرد ۱۰۰ میکرومول سالیسیلیک اسید در لیتر اختصاص داشت (جدول ۴). کشاورز و مدرس ثانوی (۲۰۱۴) گزارش کردند که تنش خشکی سبب افزایش محتوای پرولین و کاربرد سالیسیلیک اسید تحت شرایط تنش خشکی سبب افزایش مقدار پرولین برگ‌های کلزا و کاهش پراکسیداسیون لیپیدی غشاء و خسارت اکسیداتیو در بوته‌های کلزا گردید. در این آزمایش، به‌دنبال انجام عملیات آبیاری تکمیلی و افزایش میزان مصرف سالیسیلیک اسید میزان اسید آمینه پرولین در برگ‌های گیاه بادام زمینی کاهش یافت. به‌عبارت دیگر، با افزایش تنش خشکی و نامساعد شدن شرایط محیطی رشد میزان پرولین برگ‌ها افزایش و با مساعد شدن شرایط محیطی سنتز پرولین در برگ بادام زمینی کاهش نشان داد. بدین ترتیب، نتایج نشان داد که مقاومت گیاهان در برابر خشکی با افزایش محتوای پرولین برگ‌های بادام زمینی همراه بود. بدین ترتیب، افزایش سنتز پرولین در گیاهان مختلف شاخص مهمی برای مقاومت به تنش خشکی محسوب می‌شود. به‌علاوه، همبستگی میزان پرولین با شاخص کلروفیل برگ (r= 0.64**) و عملکرد دانه (r= 0.69**) مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۵) و نشان داد که تحت تنش خشکی افزایش مقدار پرولین به موازات افزایش شاخص کلروفیل برگ می‌تواند سبب بهبودی نسبی عملکرد دانه بادام زمینی گردد.

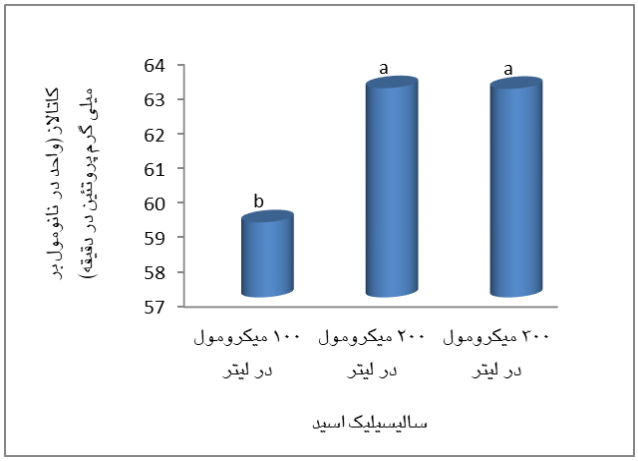
آنزیم کاتالاز

فعالیت آنزیم کاتالاز در واکنش به تنش خشکی افزایش پیدا کرد و بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز (۶۴/۳۷ نانومول بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) تحت شرایط عدم انجام عملیات آبیاری به‌دست آمد (شکل ۱). همچنین، افزایش کاربرد برگی سالیسیلیک اسید تا حدی سبب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز گردید و بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز (۶۳/۰۵ نانومول بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) در واکنش به کاربرد برگی سالیسیلیک اسید با غلظت۲۰۰ میکرومول در لیتر به‌دست آمد (شکل ۲). در مطالعه مشابه‌ای، گزارش شده است که اثر تنش خشکی بر فعالیت آنزیم کاتالاز در کلزا مثبت بود (میرزایی و همکاران ۲۰۱۳). محققان دیگری

نشان دادند که تحت شرایط تنش خشکی، فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) در برگ‌های بادام زمینی (آکسای و همکاران ۲۰۱۰) و ذرت (مظهر و همکاران ۲۰۲۱) افزایش پیدا کرد. برخی محققین بیان کردند که سالیسیلیک اسید در شرایط تنش، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند کاتالاز رادر سویا افزایش داد و باعث کاهش تنش گردید (حیات و همکاران ۲۰۰۵). محققان دیگری نشان دادند که اثر متقابل رژیم آبیاری و سالیسیلیک اسید بر فعالیت آنزیم کاتالاز در برگ‌های کنجد مثبت و معنی‌دار بود (یوسف‌زاده و همکاران ۲۰۱۹). در بررسی دیگری نیز گزارش کردند که عملکرد دانه کنجد تحت شرایط تنش خشکی کاهش یافت اما تیمار گیاهان با سالیسیلیک اسید موجب بهبودی عملکرد دانه کنجد گردید (یاسر و همکاران ۲۰۱۵). تحت تنش‌های خشکی و شوری، افزایش در میزان فعالیت کاتالاز در بررسی محلولپاشی سالیسیلیک اسید بر روی گیاه کتان نیز گزارش شده است (موحدی دهنوی و همکاران ۲۰۱۷). محققان دیگری دریافتند که گیاهان در مواجهه با تنش‌های محیطی معمولا رادیکالهای فعال اکسیژن را به‌وسیله دفاع آنزیمی آنتی‌اکسیدانت‌ها نظیر سوپراکسیداز دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز پاک‌سازی می‌کنند (سانتوز و آلمیدا، ۲۰۱۱). سالیسیلیک اسید سبب افزایش فعالیت سیستم دفاع آنتیاکسیداتیو (راجشواری و بوانشواری ۲۰۱۷) و کاهش نشت یونی، افزایش محتوای نیتروژن و کلسیم و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (خان و همکاران، ۲۰۱۰) می‌شود. در این آزمایش، همبستگی بین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز و صفاتی از قبیل عملکرد دانه (r= 0.66**)، شاخص کلروفیل برگ (r= 0.72**) و میزان پرولین (r= 0.82**)، مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۵). محققان دیگری نشان دادند که همبستگی فعالیت کاتالاز با عملکرد دانه و محتوای کلروفیل کل در برگ سویا مثبت و معنی‌دار بود (معصومی و همکاران ۲۰۱۰). همچنین، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین کاتالاز و محتوای کلروفیل برگ و عملکرد دانه ارزن گزارش شده است (ژانگ و همکاران ۲۰۱۲). نتایج نشان داد که اعمال تنش خشکی سبب افزایش سنتز آنزیم کاتالاز می‌شود تا بدین وسیله مقاومت بوته‌های بادام زمینی را در برابر تنش خشکی افزایش دهد و به‌تبع آن رشد گیاه و فرآیند فتوسنتز و تولید محصول را بهبود بخشد. همچنین، کاربرد ۲۰۰ میکرومول سالیسیلیک اسید در لیتر به صورت محلولپاشی بر روی اندام‌های هوایی بادام زمینی توانست از طریق افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز مقاومت گیاه در برابر تنش خشکی را افزایش دهد. به‌علاوه، مطالعه ضرایب همبستگی نشان داد که افزایش سنتز کاتالاز به موازات سنتز پرولین و رنگدانه‌های فتوسنتزی (شاخص کلروفیل) منجر به بهبود فعالیت فتوسنتزی گیاه و عملکرد دانه می‌شود.



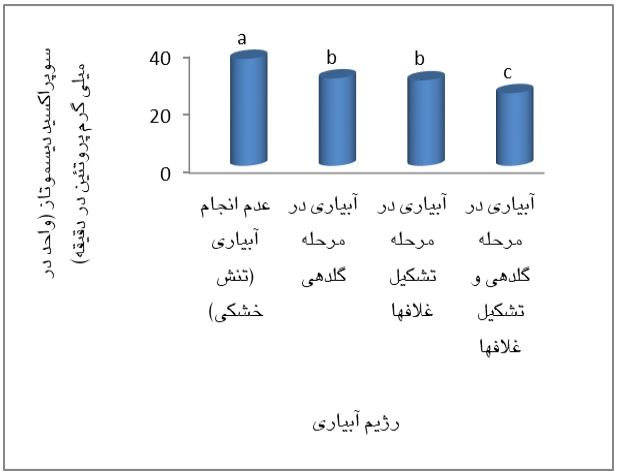
شکل ۱- مقایسه میانگین میزان کاتالاز تحت تاثیر رژیم‌های مختلف آبیاری



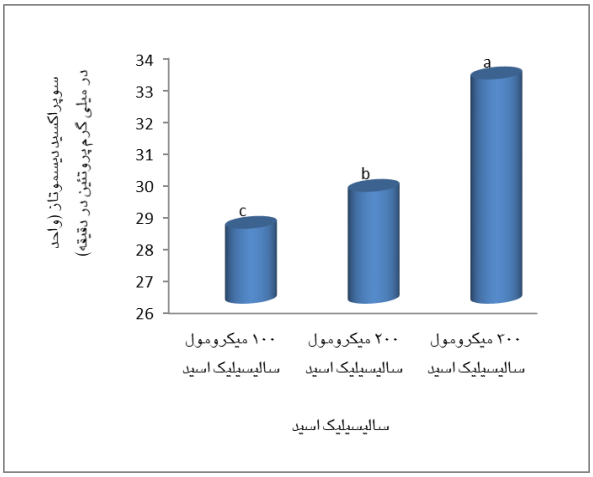
شکل ۲- مقایسه میانگین میزان کاتالاز تحت تاثیر سالیسیلیک اسید

آنزیم سوپراکسیددیسموتاز

فعالیت آنزیم وپراکسیددیسموتاز در پاسخ به اعمال تیمار تنش خشکی افزایش پیدا کرد و بیشترین میزان آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (۳۶/۸۲ واحد در میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) تحت شرایط دیم تولید گردید (شکل ۳). همچنین، کاربرد برگی سالیسیلیک اسید سبب افزایش میزان آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در برگ‌های بادام زمینی گردید و بیشترین میزان آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (۳۵/۹۸ واحد در میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) در واکنش به کاربرد برگی سالیسیلیک اسید با غلظت ۳۰۰ میکرومول در لیتر به‌دست آمد (شکل ۴). محققان نشان دادند که تنش خشکی محتوای آنتی‌اکسیدان سوپراکسیددیسموتاز را در برگ ذرت (مظهر و همکاران ۲۰۲۱)، سویا (معصومی و همکاران ۲۰۱۰)، کلزا (عابدی و پاکنیت ۲۰۱۰)، نخود (آواری و همکاران ۲۰۱۷)، ارزن (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۲) و شلغم روغنی (جیا و همکاران ۲۰۲۰) افزایش داد. برخلاف نتایج این آزمایش، محققان دیگری گزارش کردند که محلولپاشی سالیسیلیک اسید تاثیر معنی‌داری بر فعالیت آنزیم سوپراکسیدازدیسموتاز (SOD) نداشت (یوسف‌زاده و همکاران ۲۰۱۹). در این آزمایش، همبستگی بین میزان آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در برگ‌های بادام زمینی و صفاتی از قبیل عملکرد دانه (r= 0.73**)، آنزیم کاتالاز (r= 0.79**) مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۵) که با نتایج دیگر محققان در مطالعه بر روی سویا (معصومی و همکاران ۲۰۱۰) و ارزن (ژانگ و همکاران ۲۰۱۲) مطابقت داشت. نتایج نشان داد که افزایش سنتز آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در برگ‌های بادام زمینی در واکنش به وقوع تنش خشکی مکانیسمی برای تعدیل آثار منفی تنش خشکی در راستای بهبود رشد و عملکرد گیاه بود. به‌علاوه، نتایج نشان داد که محلولپاشی سالیسیلیک اسید با غلظت ۳۰۰ میکرومول در لیتر می‌تواند مقاومت بوته‌های بادام زمینی را در برابر تنش خشکی افزایش دهد تا گیاه بتواند روند طبیعی رشد خود را به سرانجام برساند. همچنین، نتایج نشان داد که تحت شرایط تنش خشکی بین فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز و کاتالاز در برگ‌های بادام زمینی رابطه مستقیم وجود دارد و تحت شرایط تنش خشکی افزایش سنتز آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به موازات افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز سبب افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش خشکی و بهبودی نسبی عملکرد دانه بادام زمینی می‌شود.



شکل ۳- مقایسه میانگین میزان سوپراکسیددیسموتاز تحت تاثیر رژیم‌های مختلف آبیاری



شکل ۴- مقایسه میانگین میزان سوپراکسیددیسموتاز تحت تاثیر سالیسیلیک اسید

آنزیم پراکسیداز

اعمال تنش خشکی و کاربرد برگی سالیسیلیک اسید به‌صورت جداگانه و یا ترکیبی سبب افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز در برگ‌های بادام زمینی گردید و اثر متقابل عدم انجام عملیات آبیاری (شرایط دیم) × کاربرد برگی سالیسیلیک اسید با غلظت ۳۰۰ میکرومول در لیتر بیشترین فعالیت آنزیم پرکسیداز (۶۴/۶۴ نانومول بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) را نشان داد (جدول ۴). محققان دیگری نشان دادند که تحت تنش خشکی، فعالیت آنزیم پراکسیداز در برگ‌های پنبه (گزیا و همکاران ۲۰۱۹)، شلغم روغنی (جیا و همکاران ۲۰۲۰)، کنجد (یاسر و همکاران ۲۰۱۵)، ذرت (مظهر و همکاران ۲۰۲۱)، کلزا (میرزایی و همکاران ۲۰۱۳)، کنجد (یوسف‌زاده و همکاران ۲۰۱۹) و آفتابگردان (قبادی و همکاران ۲۰۱۳) افزایش پیدا کرد. همچنین، یوسف‌زاده و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که اثر متقابل رژیم آبیاری و سالیسیلیک اسید بر فعالیت آنزیم پراکسیداز معنی‌دار بود و فعالیت آنزیم پراکسیداز در واکنش به محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید با غلظت ۰/۶ میلی مولار در سطوح مختلف تنش خشکی نسبت به شرایط آبیاری افزایش پیدا کرد. در این آزمایش، سنتز آنزیم پرکسیداز در برگ‌های بادام زمینی تحت شرایط تنش خشکی افزایش یافت تا بتواند با حذف گونه‌های اکسیژن فعال، مقاومت گیاه در برابر تنش اکسیداتیو ناشی از تنش خشکی را افزایش دهد. به‌علاوه، نتایج نشان داد که در شرایط اعمال تنش خشکی، کاربرد برگی سالیسیلیک اسید با غلظت ۳۰۰ میکرومول در لیتر توانست سنتز آنزیم پرکسیداز در برگ‌های بادام زمینی را افزایش دهد که گام مهمی در راستای تخفیف فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن و تعدیل آثار منفی تنش خشکی بر روی بوته‌های بادام زمینی محسوب می‌شود. بدین ترتیب، محلول‌پاشی بوته‌های بادام زمینی با سالیسیلیک اسید راه‌کار زراعی مناسبی برای تخفیف آثار منفی تنش خشکی و کمک به تداوم رشد طبیعی گیاه می‌باشد. همبستگی بین فعالیت آنزیم پرکسیداز و صفاتی از قبیل عملکرد دانه (r= 0.80**)، محتوای پرولین برگ‌ها (r= 0.83**)، شاخص کلروفیل برگ (r= 0.84**) و فعالیت آنزیم کاتالاز (r= 0.88**) مثبت و معنی‌دار و همبستگی فعالیت آنزیم پرکسیداز با فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (r= -0.90**) منفی و معنی‌دار بود (جدول ۵). محققان دیگری نشان دادند که فعالیت آنزیم پراکسیداز در برگ شلغم همبستگی مثبت و معنی‌داری با فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز و محتوای پرولین داشت (جیا و همکاران ۲۰۲۰). همچنین، تحت شرایط تنش خشکی همبستگی مثبت و معنی‌داری بین فعالیت آنزیم پراکسیداز با کلروفیل کل، عملکرد دانه، فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز و کاتالاز در سویا گزارش شده است (معصومی و همکاران ۲۰۱۰). نتایج نشان داد که تحت شرایط تنش خشکی بین فعالیت آنزیم پراکسیداز با فعالیت آنزیم کاتالاز و محتوای پرولین برگ‌های بادام زمینی رابطه مستقیم وجود داشت. ولی، رابطه فعالیت آنزیم پروکسیداز با فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز معکوس بود. بدین ترتیب، سنتز آنزیم پراکسیداز تحت شرایط بروز تنش خشکی به موازات سنتز آنزیم کاتالاز و پرولین در برگ‌های بادام زمینی افزایش پیدا می‌کند و منجر به نابودی رادیکال‌های فعال اکسیژن، کاهش تنش اکسیداسیون ناشی از تنش خشکی و به تبع آن موجب بهبودی نسبی عملکرد دانه می‌گردد.

قندهای محلول برگ

تنش خشکی منجر به افزایش محتوای قندهای محلول در برگ‌های بادام زمینی و کاربرد برگی سالیسیلیک اسید در شرایط بروز تنش خشکی تا حدی سبب افزایش و سپس موجب کاهش قندهای محلول در برگ گردید و بیشترین میزان قندهای محلول (۲۵۴/۳۰ میلی گرم بر گرم وزن تر) تحت اثر متقابل عدم انجام عملیات آبیاری (شرایط دیم) و کاربرد ۱۰۰ میکرومول سالیسیلیک اسید در لیتر حاصل گردید (جدول ۴). محققان دیگری نشان دادند که تحت شرایط تنش شوری، مقدار قند محلول در ارقام مقاوم به شوری برنج افزایش یافت (لی و همکاران ۲۰۱۷). در آزمایش

دیگری گزارش شده است که تحت تأثیر تنش خشکی میزان قندهای محلول برگ در ارقام متحمل به خشکی کلزا افزایش پیدا کرد (حاتم‌وند و همکاران ۱۳۹۳). به‌علاوه، محققان گزارش کردند که استفاده از سالیسیلیک اسید در غلظت‌های مختلف با افزایش قندهای محلول در برگ‌ها سبب افزایش تحمل در برابر تنش خشکی گردید (کشاورز و مدرس ثانوی ۲۰۱۳). همبستگی بین میزان قندهای محلول در برگ‌های بادام زمینی و صفاتی از قبیل عملکرد دانه (r= 0.85**)، محتوای پرولین (r= 0.86**)، آنزیم کاتالاز (r= 0.80**)، آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (r= 0.87**) و آنزیم پراکسیداز (r= 0.92**) مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۵). محققان دیگری نشان دادند که قندهای محلول در برگ شلغم با آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز، پراکسیداز و پرولین همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جیا و همکاران ۲۰۲۰). همچنین، رابطه معنی‌داری بین میزان مواد تنظیم‌کننده اسمزی و فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان تحت شرایط تنش‌های محیطی در پنبه گزارش شده است (گزیا و همکاران ۲۰۱۹). نتایج نشان داد که در پاسخ به اعمال تنش خشکی (کشت دیم) میزان قندهای محلول در برگ-های بادام زمینی افزایش یافت که این امر سبب افزایش پتانسیل اسمزی در سلول‌های برگ بادام زمینی می-شود و از پژمردگی سلولی برگ‌های گیاه جلوگیری می-کند. در چنین شرایطی، محلول‌پاشی سلیسیلیک اسید با غلظت ۱۰۰ میکرومول در لیتر توانست تجمع قندهای محلول در داخل سلول‌های برگ بادام زمینی را افزایش دهد که به‌نوبه خود می‌تواند گام مهمی در راستای افزایش مقاومت گیاه در برابر آثار منفی تنش خشکی محسوب گردد. نتایج مطالعه بر روی ذرت حاکی از آن است که تحت شرایط تنش خشکی گیاهان اسمولیت‌های قندی را در سیتوسول خود افزایش می‌دهند (علی و اشرف ۲۰۱۱) و افزایش قندهای محلول برگ می‌تواند متابولیسم گیاه را افزایش دهد و به‌عنوان یک سیستم دفاع داخلی فشار آماس سلولی را در زمان وقوع تنش، در سطح بالایی نگه دارند و از تنش اکسیداسیون ناشی از تنش خشکی و پژمردگی سلول‌ها جلوگیری می‌کند (فیشر و همکاران ۲۰۰۵). به‌علاوه، مطالعه ضرایب همبستگی نشان داد که سنتز و تجمع قندهای محلول در برگ‌های بادام زمینی با سنتز آنزیم‌های پرولین، کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز رابطه مستقیم دارد و نشانگر آن است که بهبود فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانت محیط متابولیکی مطلوبی برای حفظ تعادل فیزیولوژیکی عادی و تجمع مواد محلول در سلولها فراهم می‌سازد (ویو و همکاران ۲۰۱۳). در حقیقت، افزایش قندهای محلول در برگ‌های بادام زمینی به موازات افزایش فعالیت آنزیم‌های پرولین، کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز موجب کاهش تعداد رادیکال‌های فعال اکسیژن، تعدیل تنش اکسیداسیون سلولی، بهبود متابولیسم گیاه و حفظ تورژسانس سلولی و به تبع آن منجر به بهبودی نسبی فرآیند فتوسنتزی و عملکرد دانه در واحد سطح می‌گردد.

پروتئین محلول برگ

محتوای پروتئین محلول در برگ بادام زمینی در پاسخ به اعمال تیمار تنش خشکی افزایش نشان داد و تحت شرایط تنش خشکی، کاربرد برگی سالیسیلیک اسید سنتز و تجمع پروتئین‌های محلول در برگ را افزایش داد و بیشترین میزان پروتئین محلول در برگ (۲۲/۵۵ میلی گرم بر گرم وزن خشک) تحت شرایط عدم انجام عملیات آبیاری (کشت دیم) همراه با کاربرد برگی سالیسیلیک اسید با غلظت ۳۰۰ میکرومول در لیتر به-دست آمد (جدول ۴). محققان دیگری دریافتند که میزان افزایش پروتئین محلول در برگ‌های ارقام مقاوم برنج تحت شرایط تنش شوری افزایش پیدا کرد (لی و همکاران ۲۰۱۷). همبستگی بین میزان پروتئین محلول در برگ‌های بادام زمینی با صفاتی از قبیل عملکرد دانه (r= 0.73**)، شاخص کلروفیل برگ (r= 0.64**)، پرولین (r= 0.85**)، فعالیت کاتالاز (r= 0.86**)، سوپراکسید دیسموتاز (r= 0.68**)، پراکسیداز (r= 0.91**) و قندهای محلول در برگ (r= 0.91**) مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۵). محققان دیگری رابطه معنی-داری بین میزان مواد تنظیم‌کننده اسمزی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تحت شرایط تنش‌زای محیطی در پنبه گزارش کردند و نشان دادند که با تنظیم

پروتئین محلول و فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز و کاتالاز خسارت اکسیداتیو کاهش یافت و تعادل اسمزی حفظ گردید (گزیا و همکاران ۲۰۱۹). نتایج نشان داد که تنش خشکی و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بر روی اندام‌های هوایی بوته‌های بادام زمینی محتوای پروتئین محلول در برگ-ها را افزایش می‌دهد که می‌تواند منبع مهمی برای تامین نیتروژن مورد نیاز برای سنتز کلروفیل و بهبود ظرفیت فتوسنتزی گیاهان ایفا نماید. به‌علاوه، نتایج بیانگر آن است که در واکنش به اعمال تیمار تنش خشکی، میزان پروتئین محلول در برگ‌های بادام زمینی به موازات افزایش سنتز پرولین، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسیددیسموتاز و پراکسیداز و قندهای محلول در برگ‌ها بالا رفته و با افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش خشکی و حفظ تعادل فیزیولوژیکی گیاه، عملکرد دانه بادام زمینی را بهبود می‌بخشد که با نتایج دیگر محققان بر روی پنبه مطابقت داشت (ویو و همکاران ۲۰۱۳).

محتوای آنتوسیانین برگ‌ها

در این آزمایش، اعمال تیمار تنش خشکی و کاربرد برگی سالیسیلیک اسید سبب افزایش محتوای آنتوسیانین‌های برگ در بادام زمینی گردید و بیشترین میزان آنتوسیانین برگ‌ها (۶/۸۲ میکرومول بر گرم وزن تر) تحت شرایط عدم انجام عملیات آبیاری (شرایط دیم) و کاربرد برگی سالیسیلیک اسید با غلظت ۳۰۰ میکرومول در لیتر به‌دست آمد (جدول ۴). محققان دیگری گزارش کردند که با افزایش تنش خشکی میزان آنتوسیانین افزایش یافت (سنجری و همکاران ۱۳۹۵). محققان دیگری دریافتند که تنش خشکی میزان آنتوسیانین را در انیسون افزایش داد (آسادا ۲۰۰۶). همبستگی میزان آنتوسیانین با عملکرد دانه (r= 0.79**)، شاخص کلروفیل برگ (r= 0.72**)، محتوای پرولین (r= 0.75**)، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز (r= 0.85**) و سوپراکسیددیسموتاز (r= 0.59*) و قندهای محلول در برگ (r= 0.68**) مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج نشان داد که تحت شرایط تنش خشکی محتوای آنتوسیانین برگ‌های بادام زمینی افزایش یافت که این امر می‌تواند نقش بارزی در حفاظت نوری و حذف مستقیم گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) در طول تنش اکسیداسیون ناشی از تنش خشکی داشته باشد (ژانگ و همکاران ۲۰۱۰). همچنین، نتایج نشان داد که کابرد برگی سالیسیلیک اسید در هنگام وقوع تنش خشکی موجب افزایش میزان آنتوسیانین‌ها در برگ‌های بادام زمینی می‌شود. نتایج مطالعه ضرایب همبستگی بیانگر آن است که میزان آنتوسیانین‌ها در واکنش به اعمال تنش خشکی به موازات افزایش سنتز پرولین، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز، شاخص کلروفیل برگ و قندهای محلول در برگ افزایش پیدا کرده و ضمن حذف رادیکال‌های فعال اکسیژن و کاهش تنش اکسیداسیون درون سلولی موجب بهبودی نسبی عملکرد دانه در واحد سطح می‌شود.

محتوای نسبی آب برگ (RWC)

نتایج نشان داد که وقوع تنش خشکی سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ و کاربرد سالیسیلیک اسید تحت شرایط تنش خشکی موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ گردید و بیشترین میزان محتوای نسبی آب برگ (۶۲/۹۶ درصد) به اثر متقابل عملیات آبیاری دو مرحله-ای در شروع گل‌دهی و آغاز تشکیل غلاف‌ها و کاربرد برگی سالیسیلیک اسید با غلظت ۳۰۰ میکرومول در لیتر اختصاص داشت (جدول ۳). نتایج تحقیقات پیشین بر روی کلزا نشان داد که محتوای نسبی آب برگ تحت شرایط تنش خشکی کاهش و در تیمارهای آبیاری شده افزایش پیدا کرد (غفاری و همکاران ۲۰۱۱ و حاتم‌وند و همکاران ۲۰۱۵). رمرودی و خمر (۲۰۱۳) نشان دادند که سالیسیلیک اسید تاثیر مثبت بر محتوای نسبی آب برگ ریحان داشت. در این آزمایش، محتوای نسبی آب برگ با عملکرد دانه (r= 0.81**)، شاخص کلروفیل برگ (r= 0.86**)، میزان پرولین (r= 0.88**)، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز (r= 0.84**)، سوپراکسیددیسموتاز (r= 0.63**) و پروکسیداز (r= 0.93**)، قندهای محلول در برگ (r= 0.97**)، پروتئین‌های محلول در برگ (r= 0.93**) و آنتوسیانین‌ها (r= 0.89**) همبستگی مثبت و معنی‌دار

داشت (جدول ۴). نتایج نشان داد که تحت شرایط تنش خشکی به‌دلیل ناکافی بودن رطوبت خاک محتوای نسبی آب برگ کاهش پیدا کرد و تامین رطوبت کافی در خاک از طریق انجام آبیاری تکمیلی سبب افزایش فراهمی رطوبت برای گیاه زراعی و بهبود محتوای نسبی آب برگ گردید. در این آزمایش، کاربرد سالیسیلیک اسید تحت شرایط تنش خشکی محتوای نسبی آب برگ بادام زمینی را بهبود بخشید. محتوای نسبی آب برگ نقش مهمی در تنظیم هدایت روزنه‌ای برگ، تبادل گازی دی-اکسید کربن و در نتیجه سرعت فتوسنتز گیاه دارد. بدین ترتیب، تنش خشکی با کاهش محتوای نسبی آب برگ و کاهش هدایت روزنه‌ای (انتشار دی‌اکسیدکربن به فضای بین سلولی) و رنگدانه‌های کلروفیل سبب افت میزان فتوسنتز در گیاهان می‌شود و انجام عملیات آبیاری تکمیلی و کاربرد برگی سالیسیلیک اسید از طریق افزایش رطوبت نسبی برگ سبب افزایش هدایت روزنه‌ای و تبادل گازی دی‌اکسید کربن و ارتقای سرعت و ظرفیت فتوسنتزی گیاه و به‌تبع آن سبب بهبودی نسبی عملکرد دانه در مقایسه با تنش خشکی می‌شود. براساس نتایج ضرایب همبستگی، تحت شرایط تنش خشکی، افزایش محتوای نسبی آب برگ به موازات افزایش سنتز پرولین، کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، پروکسیداز و بهبود شاخص کلروفیل برگ، قندهای محلول در برگ، پروتئین‌های محلول در برگ و آنتوسیانین‌ها موجب بهبودی نسبی عملکرد دانه می-گردد.

نتیجه‌گیری

در این آزمایش، اثر متقابل رژیم آبیاری و سالیسیلیک اسید تاثیر معنی‌داری بر تمامی صفات مورد مطالعه در بادام زمینی به استثنای آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز داشت. آبیاری تکمیلی سبب تامین بخشی از نیاز آبی در مراحل حساس رشد باددام زمینی و افزایش عملکرد دانه در مقایسه با شرایط عدم انجام عملیات آبیاری گردید و کاربرد برگی سالیسیلیک اسید در هر دو شرایط آبیاری تکمیلی و شرایط عدم انجام آبیاری سبب بهبود شرایط محیطی رشد و افزایش تحمل گیاهان در برابر تنش خشکی و به تبع آن موجب ارتقای نسبی رشد و فعالیت فتوسنتزی بوته‌های بادام زمینی و عملکرد دانه گردید. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که انجام آبیاری تکمیلی و کاربرد برگی سالیسیلیک اسید با غلظت ۳۰۰ میکرومول در لیتر جهت بهبود شرایط رشد گیاهان، ارتقای ظرفیت فتوسنتزی و عملکرد دانه ضرورت دارد.

سپاسگزاری

از مساعدت صمیمانه مدیریت و همکاران محترم بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان در اجرای پروژه و انجام فعالیت‌های آزمایشگاهی و مزرعه‌ای تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

Abedi T and Pakniyat H. 2010. Antioxidant Enzyme Changes in Response to Drought Stress in Ten Cultivars of Oilseed Rape (*Brassica napus* L.). Czech Journal of Genetics and Plant Breeding, 46(1): 27-34.

Akcay UC, Ercan O, Kavas M, Yildiz L, Oktem HA and Yucel M. 2010. Drought-induced Oxidative Damage and Antioxidant Responses in Peanut (*Arachis hypogaea* L.) Seedlings. Journal of Plant Growth Regulation, 61(1): 21-28.

Asada K. 2006. Production and scavenging of reactive oxygen species in chloroplasts and their functions. Plant Physiology, 141:391-396.

Ali Q, Ashraf M, Anwar F and Al-Qurainy F. 2012. Trehalose-induced changes in seed oil composition and antioxidant potential of maize grown under drought stress. Journal of the American Oil Chemists Society, 89: 1485–1493.

Ali Q and Ashraf M. 2011. Induction of drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) due to exogenous application of trehalose: growth, photosynthesis, water relations and oxidative defence mechanism. Journal of Agronomy and Crop Science, 197(4): 258–271.

Aydinsakir K, Nazmi D, Dursun B, Ruhi B and Ramazan T. 2016. Assessment of different irrigation levels on peanut crop yield and quality components under Mediterranean conditions. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 142(9): doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001062.

Bates L, Waldren SRP and Teare ID. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil, 39: 205-207.

Bradford M. 1976. A rapid & sensitive method for the quantitation of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Annual Review Biochemistry, 72: 248-254.

Chen YE, Cui JM, Li GX, Yuan M, Zhang ZW, Yuan S and Zhang HY. 2016. Effect of salicylic acid on the antioxidant system and photosystem II in wheat seedlings. Biologia Plantarum, 60: 139-147.

Dimkpa CO, Bindraban PS, Fugice J, Agyin-Birikorang S, Singh U and Hellums D. 2017. Composite micronutrient nanoparticles and salts decrease drought stress in soybean. Agronomy for Sustainable Development, 37(1): 5. doi.org/10.1007/s13593-016-0412-8.

Dornbos DL and Mullen RE. 1985. Soybean seed quality and drought stress intensity during development. Iowa Seed Science, 7: 9–11.

Elizabeth Abreu M. and Munné-Bosch S. 2008. Salicylic acid may be involved in the regulation of droughtinduced leaf senescence in perennials: A case study in field-grown Salvia officinalis L. plants. Environmental and Experimental Botany, 64: 105–112.

El-Tayeb MA. 2005. Response of barley grain to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Plant Growth Regulation, 45: 215-225.

Eraslan F, Inal A, Gunes A and Alpaslan M. 2007. Impact of exogenous salicylic acid on growth, antioxidant activity and physiology of carrot plants subjected to combined salinity and boron toxicity. Scientia Horticulturae, 113: 120–128.

Eskandari H. 2015. Effect of complementary irrigarion during reproductive growth period on grain yield, oil and energy efficiency of rapeseed under dry land farming system, Journal of Crops Improvement, 18(4): 907-919. (In Persian).

Geerts S and Raes D. 2009. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. Agricultural Water Management, 96(9): 1275-1284.

Ghaffari G, Toorchi M, Aharizad S and Shakiba MR. 2011. Evaluation of traits related to water deficit stress in winter rapeseed cultivars. Journal of Environmental Research and Technology, 1: 338-350.

Ghobadi M, Taherabadi S, Ghobadi ME, Mohammadi GR. and Jalali Honarmand S. 2013. Antioxidant capacity, photosynthetic characteristics and water relations of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars in response to drought stress. Industrial Crops and Products, 50: 29-38.

Gonzalez L and Gonzalez-Vilar M. 2003. Determination of Relative Water Content. In: Handbook of plant ecophysiology techniques (Eds. Manuel J. and Goger R.). Pp. 207-212, Kluwer Academic Publishers, London.

Hatamvand M, Hasanloo T, Dehghan Nayeri F, Shiranirad AH, Tabatabaei A and Hosseini SM. 2015. Evaluation of some physiological and biochemical indices of canola cultivars in response to drought stress. 2015. Environmental Stresses in Crop Sciences, 7(2): 173-185. (In Persian).

Hussain HA, Men S, Hussain S, Chen Y, Ali S, Zhang S, Zhang K, Li Y, Xu Q, Liao C and Wang L. 2019. Interactive effects of drought and heat stresses on morpho-physiological attributes, yield, nutrient uptake and oxidative status in maize hybrids. Scientific Reports, 9(1): https://doi.org/10.1038/s41598-018-37186-2 PMID: 30626917.

Jabereldar AA, El Naim AM, Abdalla AA and Dagash YM. 2017. Effect of water stress on yield and water use efficiency of sorghum (*sorghum bicolor* L. Moench) in semi-arid environment. International Journal of Agriculture and Forestry, 7(1): 1-6.

Jia K, Yan C, Yan H and Gao J. 2020. Physiological responses of turnip (*Brassica rapa* L. subsp. Rapa) seedlings to salt stress. Horsscience, 55(10):1567–1574.

Kambiranda DM, Vasanthaiah HKN, Katam R, Ananga A, Basha SM and Naik N. 2012. Impact of drought stress on peanut (*Arachis hypogaea* L.) productivity and food safety. Plants and Environment, Rijeka, Croatia InTech, 249-272.

Keshavarz H and Modarres Sanavy SAM. 2014. Effect of salicylic acid on chlorophyll, some growth characteristics and yield of two canola varieties. Electronical Journal of Crop Production, 7(4): 167-178. (In Persian).

Khaled T, Feras QA. Mohammad G. Mohammad M and El-Tamam E. 2007. Antioxidant activity and total phenolic content of selected Jordanian plant species. Food Chemistry, 104: 1372–1378.

Khan NA, Syeed S, Masood A, Nazar R, Iqbal N. 2010. Application of salicylic acid increases contents of nutrients and antioxidative metabolism in Mungbean and alleviates adverse effects of salinity stress. International. Journal of Plant Biology, 1(1): 1-8.

Kishor PBK, Sangama S, Amrutha RN.,Laxmi PS, Naidu KR and Rao KS. 2005. Regulation of praline in higher plants: its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. Current Science, 88: 424- 438.

Krishna S, Surinder K, Thind SK and Gurpreet K. 2004. Interactive effects of phenolics and light intensity on vegetative parameters and yield in soybean (*Glycine max* L. Merrill). Environemental Ecology, 22: 390-394.

Khan N, Bano A, Rahman MA, Rathinasabapathi B and Babar MA. 2018. UPLC-HRMS based untargeted metabolic profiling reveals changes in chickpea metabolome following long-term drought stress. Plant, Cell and Environmen, 42(1): 115-132.

Li Q, Yang A and Zhang WH. 2017. Comparative studies on tolerance of rice genotypes differing in their tolerance to moderate salt stress. BMC Plant Biology, 17(1):141.

Masukasu H, Karin O and Kyoto H. 2003. Enhancement of anthocyanin biosynthesis by sugar in radish (*Raphanus sativus*) hypocotyls. Plant Science, 164 (2): 259-265.

Masoumi H, Masoumi M, Darvishi F, Daneshian J, Nourmohammadi G and 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(3): 86-94.

Mazhar MV, Ali Q, Ishtiaq M, Ghani A, Maqbool M and Hussain T. 2021. Zinc-Aspartate-Mediated drought amelioration in maize promises better growth and agronomic parameters than zinc sulfate and L-Aspartate. SABRAO Journal of Breeding and Genetics, 1: 53(2):

Mirzaee M, Moieni A and Ghanati F. 2013. Effects of drought stress on the lipid peroxidation and antioxidant enzyme activity in two canola (*Brassica napus* L.) cultivars. Journal of Agriculture and Science Technology, 15: 593-602. (In Persian).

Movahhedi Dehnavi M, Niknam N, Behzadi Y, Mohtashami R and Bagheri R. 2017. Comparison of physiological responses of linseed (*Linum usitatissimum* L.) to drought and salt stress and salicylic acid foliar application. Iranian Journal of Plant Biology, 9(3): 39-62. (In Persian).

Muner, P., Bleiholder, H., Hack, H., Heb., M., Stauss, R., Van Den Boom, T. and Weber, E. 1998. Phenological growth stages of the peanut plant (*Arachis hypogaea* L.): Codification and description according to the BBCH scale. Journal of Agronomy and Crop Science, 180(2): 101-107.

Noreen S, Fatima K, Athar HUR Ahmad S and Hussain K. 2017. Enhancement of physio-biochemical parameters of wheat through exogenous application of salicylic acid under drought stress. Journal of Animal and Plant Sciences, 27: 153–163.

Peleg Z and Blumwald E. 2011. Hormone balance and abiotic stress tolerance in crop plants. Current Opinion in Plant Biology, 14(3): 290-295.

Rajeshwari V and Bhuvaneshwari V. 2017. Salicylic acid induced salt stress tolerance in plants. International Journal of Plant Biology and Research, 5(3): 1067.

Ramroudi M and Khamr AR. 2013. Interaction effects of salicylic acid spraying and different irrigation levels on some quantity and quality traits, and osmoregulators in basil (*Ocimum basilicum*). Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology, 1(1):19-31. (In Persian).

Ratnakumar P and Vadez V. 2011. Groundnut (*Arachis hypogaea* L.) genotypes tolerant to intermittent drought maintain a high harvest index and have small leaf canopy under stress. Functional Plant Biology, 38(12): 1016-1023.

Santos I and Almeida JM. 2011: Responses of plants at molecular, biochemical and ultrastructural levels as influenced by UV-B radiation. Advances in Plant Physiology, 12: 1–30.

Seyed Sharifi R . 2016. Application of biofertilizers and zinc increases yield, nodulation and unsaturated fatty acids of soybean. Zemdirbyste-Agriculture, 103: 251–258.

Sudhakar C, Lakshmi A and Giridarakumar S. 2001. Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. Plant Science, 161: 613–619.

Wu H, Zhang JS, Shi JY, Fan ZCALY, Zhang P and Zheng S. 2013. Physiological responses of cotton seedlings under low temperature stress. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 33(1): 74-82.

Xia J, Kong X, Shi X, Hao X, Li N, Khan A and Luo H. 2019. Physiolo-biochemical characteristics and correlation analysis of the seeds of some cotton (*Gossypium hirsutum* L.) genotypes under cold temperature stress. Applied Ecology and Environemental Research, 18(1):89-105.

Yasser H, Amin G, Azab A and Gahin H. 2015. Induction of drought stress resistance in sesame (*Sesamum indicum* L.) plant by salicylic acid and kinetin. Journal of Plant Science, 10: 128-141.

Youssefi A, Nshanian A and Azizi M. 2011. Evaluation of influences of drought stress in terminal growth duration on yield and yield components of different spring Brassica oilseed species. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science, 11: 406-410.

Yousefzadeh Najafabadi M and Ehsanzadeh P. 2019. Effect of salicylic acid on photosynthetic pigments content, antioxidant enzyme activity and yield components of three sesame genotypes under different irrigation regimes. Journal of Plant Process and Function, 8(33): 137-152. (In Persian).

Zaghlool SAM. 2002. Effect of salicylic and Jasmonic acids on the response of tomato plants to root knot nematode Meloidogene incognita, infection. Ain-shamsuni., cairo. Egypt. AGRIS, 47(3): 1107-1119.

Zhang PP, Feng BL, Wang PK, Dai HP, Song H, Gao XL, Gao JF, Chen J and Chai Y. 2012. Leaf senescence and activities of antioxidant enzymes in different broomcorn millet (*Panicum miliaceum* L.) cultivars under simulated drought condition. Journal of Food, Agriculture and Environment, 10(2): 438-444.