واکنش نخود (*Cicer arietinum*) دیم تحت اثر تلقیح با قارچ میکوریزا، ترکیبات ضدتعرق و تنظیم کننده رشد در شرایط آب و هوایی کامیاران

محمد عزیز رضایی[۱]، بابک پاساری*[۲]، خسرو محمدی[۳]، اسعد رخزادی[۴] و عزت کرمی[۵]

۱) دانش آموخته دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران.

۲، ۳، ۴ و ۵) استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران.

*نویسنده مسئول: **bpasary@yahoo.com**

این مقاله برگرفته از رساله دکتری می‌باشد.

تاریخ دریافت:۱۳۹۹/۰۹/۱۷ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۰**

چکیده

کمبود آب مهم‌ترین عامل کاهش عملکرد نخود دیم به‌شمار می‌رود. بنابراین افزایش دسترسی به منابع آب موجود و افزایش بهره‌وری مصرف آب از طریق به‌کارگیری میکروارگانیسم‌های بهبوددهنده افزایش جذب آب مانند میکوریزا و ترکیبات کاهش‌دهنده تعرق مانند کیتوزان و همچنین تنظیم‌کننده رشد سایکوسل بسیار حائز اهمیت است. این آزمایش در مجاورت سایت هواشناسی ورمهنگ کامیاران واقع در شمال غرب ایران طی دو سال زراعی ۹۶-۱۳۹۴ صورت گرفت. آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات-فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. در این مطالعه فاکتور اصلی شامل تلقیح میکوریزا (عدم تلقیح: کنترل و تلقیح با استفاده از قارچ *Glomus intraradices*) و فاکتور فرعی شامل کاربرد کیتوزان (صفر، ۰/۵ و یک گرم در لیتر) و کاربرد سایکوسل (صفر، ۰/۵ و یک گرم در لیتر) بودند. ۱۰ روز پس از محلول‌پاشی سایکوسل و کیتوزان (۶۰ روز پس از کاشت)، صفات فیزیولوژیکی از قبیل: رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، b و کاروتنوئید، محتوای نسبی آب برگ، دمای کانوپی، پرولین برگ، آنزیم پراکسیداز و همچنین در مرحله رسیدگی کامل، عملکرد دانه اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که صفات محتوی نسبی رطوبت برگ، کلروفیل a، b، پرولین، پراکسیداز و عملکرد دانه تحت اثر برخی از تیمارهای آزمایشی و برهم‌کنش آن‌ها اختلاف معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد نشان دادند. به‌طوری که کلروفیل a در سال اول و کلروفیل b در سال دوم تحت اثر برهم‌کنش میکوریزا × کیتوزان × سایکوسل افزایش معنی‌داری نشان دادند. محتوی نسبی آب تحت اثر سایکوسل در سال اول و تحت اثر تلقیح با میکوریزا در سال دوم افزایش معنی‌داری یافت. تلقیح با میکوریزا در سال دوم ضمن کاهش دمای کانوپی، میزان پرولین را به‌میزان ۲۱/۰۷ درصد افزایش داد. محلول‌پاشی با سایکوسل نیز میزان پراکسیداز را در سال دوم به میزان ۱۳/۴۳ درصد کاهش داد ولی تحت اثر برهم‌کنش میکوریزا × کیتوسان × سال میزان پراکسیداز در طی هر دو سال زراعی افزایش حاصل نمود. در نهایت در سال اول عملکرد دانه تحت اثر برهمکنش تلقیح میکوریزا × سایکوسل (یک گرم در لیتر) در مقایسه با شاهد ۲۴/۰۵ درصد افزایش یافت. بر اساس نتایج این آزمایش کاربرد قارچ میکوریزای گلوموس اینترارادیسس قبل از کاشت و محلول‌پاشی سایکوسل به میزان یک گرم در لیتر در مرحله قبل از گل‌دهی نخود دیم در منطقه کامیاران توصیه می‌گردد.

واژگان کلیدی: سایکوسل، کلروفیل، کیتوزان، میکوریزا و نخود.

مقدمه

میانگین عملکرد نخود (*Cicer arietinum*) در ایران تقریباً ۴۷۲ کیلوگرم در هکتار می‌باشد که نسبت به میانگین عملکرد جهانی (۱۱۸۲ کیلوگرم در هکتار) بسیار پایین است (FAO, 2019). نخود دیم از نظر سطح زیرکشت مهم‌ترین محصول دیم استان کردستان پس از گندم به‌شمار می‌رود. به‌طوری‌که از مجموع ۵۵۳ هزار هکتار سطح زیر کشت سالانه نخود دیم در ایران، حدود ۱۰۸هزار هکتار به این استان اختصاص دارد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۸). نظر به این که استان کردستان بالاترین سطح زیر کشت محصولات دیم را در کشور دارا می‌باشد و از آنجایی که کمبود آب یا خشکی مهم‌ترین عامل کاهش عملکرد محصولات زراعی علی‌الخصوص نخود به‌شمار می‌رود، کاربرد سازوکارهایی که به کاهش خسارت این تنش منتهی گردد، بسیار حائز اهمیت است. یکی از این روش‌ها که اخیراً توجه محققین به آن معطوف گردیده است کاربرد ترکیبات ضدتعرق به‌ویژه کیتوزان جهت تنظیم تعرق و حفظ آب گیاه در حد مطلوب می‌باشد (مهدوی و همکاران، ۱۳۹۲). کیتوزان یک پلی‌ساکارید کاتیونی و مشتقی از کیتین است که به‌عنوان یک فرآورده جانبی از پرورش آبزیان سخت پوست از قبیل: میگو و خرچنگ و یا از دیواره‌های سلولی برخی از قارچ‌ها، حشرات، جلبک‌ها و میکروارگانیسم‌ها حاصل می‌گردد (Lei *et al*., 2011). کیتوزان برای محصولات زراعی، حیوانات و انسان بی‌ضرر است و از نظر زیستی برگشت‌پذیر و دوست‌دار محیط‌زیست است (Dzung *et al*., 2011). این ترکیب باعث تولید اسیدهای فنلیک و فیتواکسین‌ها می‌شود که از بافت و دانه‌های گیاهی در برابر حملات میکروارگانیسم و شرایط نامطلوب محیطی محافظت می‌کند (Jabnoun-Khiareddine *et al*., 2015). همچنین از کیتوزان جهت پوشش دادن بذر، برگ، میوه و همچنین به‌عنوان کود جهت تحریک جوانه‌زنی و رشد گیاه استفاده می‌شود (مهدوی و همکاران، ۱۳۹۲). پوشش حفاظتی ایجاد شده توسط کیتوزان، سبب کاهش هدررفت آب، مهار تبادل گاز، کاهش اتلاف مواد مغذی و جلوگیری از رشد میکروارگانیسم در سطح میوه شده (Kerch, 2015) و با ممانعت از پوسیدگی میوه‌ها، طول عمر انبارداری محصولات زراعی و باغی را افزایش می‌دهد (Hewajulige *et al*., 2015). طبق تحقیقات انجام شده تیمار کیتوزان سبب افزایش رشد و عملکرد در گیاهان زراعی می‌گردد (Emami Bistgani *et al*., 2017; Mihiretu *et al*., 2016; Mondal *et al*., 2013; Sheikha and AlMalki, 2011). امروزه تنظیم‌کننده‌های رشد در حکم ابزارهای اگروشیمیایی مفیدی می‌باشند که گیاهان را در راستای مصرف کارآمدتر عناصر غذایی و تظاهر پتانسیل‌های ژنتیکی و فیزیولوژیکی یاری می‌دهند. از جمله تنظیم کننده-های رشد، کلرومکوات کلراید (۲-کلرو اتیل، تری متیل آمونیوم کلرید) با نام تجاری سایکوسل می‌باشد که موجب تحریک جوانه‌زنی، افزایش رشد ریشه، سطح برگ، بهبود مقاومت به تنش‌های محیطی مانند خشکی و شوری و در نهایت افزایش عملکرد می‌گردد (عباسپور و همکاران، ۱۳۹۰؛ Pourmohammad *et al*., 2014). سایکوسل ضمن افزایش توان دفاعی

گیاه در مقابل تنش خشکی از طریق کاهش تعرق، می‌تواند فعالیت‌های فتوسنتزی را بهبود و در نتیجه سبب افزایش عملکرد گیاه گردد (Del Amor *et al*., 2010; Devi *et al*., 2011;Sarkar *et al*., 2006; Kumari, 2017). از سویی دیگر در سال‌های اخیر ثابت است که تلقیح گیاهان زراعی با قارچ‌های میکوریزا به‌صورت مستقیم از طریق بهبود تغذیه گیاهان در نتیجه افزایش جذب آب و عناصر غذایی و به‌صورت غیرمستقیم از طریق کاهش تنش‌ها به‌ویژه تنش خشکی، سبب افزایش رشد گیاه میزبان می‌شوند (نوروزی چقامارانی، ۱۳۹۷). علاوه‌بر این تلقیح میکوریزایی سبب افزایش فعالیت باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن، بهبود وضعیت آب در گیاه، افزایش فتوسنتز، کاهش نیاز آبی و در نهایت افزایش عملکرد گیاهان می‌گردد (Erman *et al*., 2011; Eulenstein *et al*., 2017; Boldt Porras-Soriano *et al*, 2009; *et al*., 2011). لذا با توجه به اختصاص سطح قابل توجهی از اراضی دیم کردستان به کشت نخود و از آنجایی که میانگین عملکرد این گیاه در استان کردستان (۴۴۰ کیلوگرم در هکتار) نسبت به میانگین کشور پایین است، به نظر می‌رسد هر گونه کاهش رشد رویشی گیاه در جهت افزایش رشد زایشی به‌وسیله محلول‌پاشی سایکوسل و افزایش جذب آب و مواد غذایی توسط تلقیح با قارچ میکوریزا و همچنین محدود نمودن اندازه روزنه‌ها و کاهش تعرق به‌منظور استفاده بهینه از منابع آب قابل دسترس تحت اثر کاربرد کیتوسان، سبب افزایش تولید و عملکرد دانه این گیاه گردد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در شهرک زراعی ورمهنگ از توابع کامیاران در شمال غربی ایران در طی سال‌های ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ تحت شرایط دیم صورت گرفت. محل انجام آزمایش در ارتفاع ۱۴۲۵متر بالاتر از سطح دریا و در عرض جغرافیایی ″۱۶′۳۴°۴۷ شمالی و طول جغرافیایی ″۴۱′۴۶°۵۳ شرقی قرار داشت. میزان بارندگی بر اساس آمار ایستگاه سینوپتیک که در فاصله حدود ۱۰۰ متری مزرعه مورد آزمایش قرار داشت، در طی دو فصل زراعی به‌ترتیب ۳۶۹/۵ و ۵۴۳/۷ میلی‌متر گزارش گردید (جدول۱).

جدول۱: پارامترهای هواشناسی طی دو سال آزمایش (داده‌ها حاصل از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک ورمهنگ)

پارامترها/ ماه	فروردین		اردیبهشت		خرداد		تیر	
	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
میزان بارندگی (میلیمتر)	۷۳/۷	۱۳۶/۱	۶/۲	۳۳/۹	۰/۴	۰	۰	۰
متوسط دما (درجه سانتیگراد)	۱۰/۲	۱۱/۱	۱۶/۶	۱۶/۵	۲۳/۱	۱۹/۸	۲۸	۲۷
متوسط رطوبت (درصد)	۵۹/۶	۶۳	۳۸/۸	۵۲/۳	۲۹/۶	۳۶/۵	۲۲/۷	۲۵
تعداد روزهای بارانی	۹	۱۸	۵	۱۲	۲	۰	۰	۰
ساعات آفتابی هر ماه	۲۷۳	۱۴۱/۳	۳۱۹/۲	۳۰۳/۶	۳۵۱/۴	۴۰۳	۳۵۰/۶	۳۵۹/۶
تبخیر و تعرق ماهیانه (میلیمتر)	۱۰۹/۶	۸۶	۲۳۷	۱۹۴/۳	۳۱۰/۷	۲۵۵/۷	۳۹۹/۳	۳۳۸/۶

آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات- فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. در این مطالعه کرت اصلی شامل تلقیح میکوریزا (عدم تلقیح: شاهد و تلقیح با قارچ *Glomus intraradices*) و کرت‌های فرعی شامل محلول‌پاشی کیتوزان در غلظت‌های (صفر، ۰/۵ و یک گرم بر لیتر) و محلول‌پاشی با سایکوسل در غلظت‌های (صفر، ۰/۵ و یک گرم بر لیتر) بود. قبل از اجرای آزمایش از چند نقطه از زمین مزرعه آزمایشی به صورت زیگزاگ، چند نمونه خاک تهیه و جهت بررسی به آزمایشگاه خاک ارسال گردید و بر اساس آن کوددهی صورت گرفت (جدول۲).

جدول۲: خصوصیات خاک مزرعه آزمایشی

پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	ازت کل (درصد)	ماده آلی (درصد)	میزان اسیدیته	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	بافت خاک
۱۷۲	۱۲/۱۱	۰/۱۵	۱/۱۷	۷/۶	۱/۶	لومی

به‌منظور تهیه بستر بذر، اولین شخم در پائیز سال قبل صورت گرفت و همچنین شخم دوم و عملیات خرد کردن کلوخه‌ها و تسطیح زمین در بهار انجام شد. بر اساس نتایج آزمون خاک، کودهای اوره ۵۵ کیلوگرم در هکتار، سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم هر کدام به میزان ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت به خاک اضافه شدند. هر کرت آزمایشی شامل ۶ خط با طول ۲ متر، فاصله ردیف‌ها ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی خطوط ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. عملیات کاشت نخود رقم $ILC_{۴۸۲}$ به‌صورت ردیفی و با دست در تاریخ ۲۰ و ۲۵ فروردین ماه به‌ترتیب در سال اول و دوم صورت گرفت. ماده تلقیح قارچ میکوریزا (*Glomus intraradices*)، حاوی ۱۲۰-۱۰۰ اسپور زنده در هر گرم ماده تلقیح، توسط شرکت ایران ارگانیک نماینده کمپانی اوپان کانادا تهیه و در تیمارهای تلقیح، قارچ میکوریزا دقیقا قبل از کاشت به‌صورت نواری در خطوط کاشت به‌میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار توزیع و پس از قرار دادن یک لایه خاک حدودا یک سانتی‌متری بر روی آن، بلافاصله کشت نخود صورت گرفت.

سایکوسل و کیتوزان نیز از شرکت سیگما- آلدریچ تهیه شدند و قبل از شروع مرحله گل‌دهی (۵۰ روز پس از کاشت) با فواصل یک روز از هم‌دیگر بر روی اندام‌های هوایی گیاه محلول‌پاشی شدند. محلول‌پاشی به‌وسیله سمپاش پشتی در ساعت خنک روز (۲۰- ۱۷) انجام گردید و عملیات محلول‌پاشی تا شروع ریزش قطرات محلول از اندام‌های هوایی گیاه ادامه یافت.

ده روز بعداز محلول‌پاشی سایکوسل و کیتوزان، بعضی از صفات فیزیولوژیکی از قبیل: رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، b و کاروتنوئید به روش Arnon (۱۹۶۷)، محتوای نسبی آب برگ به روش Ritchie و همکاران (۱۹۹۰)، دمای کانوپی به‌وسیله دستگاه دماسنج مادون قرمز (Infra-red thermometer, Model 8889)، پرولین برگ به‌روش Bates (۱۹۷۳) و آنزیم پراکسیداز به‌روش Mac-Adam و همکاران (۱۹۹۲) اندازه‌گیری گردید. همچنین در مرحله رسیدگی پس از حذف اثرات حاشیه‌ای از هر کرت، فضایی معادل یک متر مربع از خطوط میانی برداشت و دانه‌ها به‌طور

کامل ازبقایای گیاهی جدا و توزین گردید. اعداد حاصله با انجام تناسب، به عملکرد در هکتار تبدیل گردید.

نظر به این که آزمایش مذکور تحت شرایط دیم انجام شد و از آنجایی که میانگین بارندگی در طی دو سال آزمایش بسیار متفاوت بود، جهت مقایسه بهتر صفات مورد مطالعه تحت اثر تیمارهای آزمایشی و درک بهتر نتایج حاصل از آزمایش، عمل تجزیه واریانس داده‌ها در طی دو سال به‌صورت مجزا با نرم افزار $SAS_{9.4}$ انجام گرفت و ارائه نتایج و مقایسه میانگین تیمارها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل b، a و کاروتنوئید)

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مقدار کلروفیل a در سال اول انجام آزمایش و کلروفیل b در سال دوم تفاوت معنی‌داری بین برهم‌کنش میکوریزا × کیتوزان × سایکوسل نشان داد (جدول۳). مطابق شکل۱، حداکثر مقدار کلروفیل a در کاربرد تیمار کیتوزان + سایکوسل به میزان ۰/۵ گرم در لیتر در شرایط عدم تلقیح گیاه با میکوریزا به‌دست آمد. ضمناً در تیمار با تلقیح میکوریزا، حداکثر کلروفیل a بدون محلول‌پاشی این تیمارها به‌دست آمد. به نظر می‌رسد تلقیح میکوریزا با افزایش جذب آب و مواد مغذی مانع ظهور اثرات کیتوزان و سایکوسل شده، و در نهایت تلقیح میکوریزا باعث افزایش میزان کلروفیل شده است. اثربخشی مؤثر میکوریزا در شرایط خشکسالی گزارش شده است (Rahimi *et al*., 2017). از آنجایی که در سال اول آزمایش، میزان بارندگی کم‌تری به وقوع پیوست (جدول۱)، اثرات مفید میکوریزا برجسته‌تر بود. به‌طوری‌که در سال دوم آزمایش، سودمندی میکوریزا به‌دلیل افزایش بارندگی کاهش یافت. در این آزمایش، حداکثر کلروفیل b نیز در تیمار عدم تلقیح میکوریزا و استفاده از کیتوزان ۰/۵ گرم بر لیتر در سال دوم حاصل شد (شکل۲). رنگدانه کاروتنوئید نیز تحت اثر هیچ یک از تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت. به نظر می‌رسد اثرات سه گانه میکوریزا با کیتوزان و سایکوسل هیچ اثر هم‌افزایی بر این صفت نداشته و حتی میزان کلروفیل را اندکی کاهش داده است، به‌ویژه در خصوص کلروفیل b. طی بررسی منابع متعدد، هیچ گزارشی در خصوص استفاده از این تیمارها به‌طور هم‌زمان ارائه نشده است. کیتوزان می‌تواند جذب مواد مغذی، به‌ویژه نیتروژن، که عنصر اصلی در ترکیب ساختار مولکولی کلروفیل است، را افزایش دهد. Mondal و همکاران (۲۰۱۳) دریافتند که ارتفاع بوته، سطح برگ، کل ماده خشک، کلروفیل و آنزیم نیترات ردوکتاز با کاربرد کیتوزان افزایش یافته است.

همچنین بهبود طول ریشه، وزن خشک اندام‌های هوایی، سطح برگ و همچنین محتوی کلروفیل‌ها طی کاربرد کیتوزان توسط Sheikha و Al-Malki (۲۰۱۱) گزارش شده است. Dzung و همکاران (۲۰۱۱) نیز دریافتند که کاربرد کیتوزان محتوای کلروفیل را تا ۱۵/۳۶ درصد افزایش داد.

جدول۳: نتایج تجزیه واریانس اثرات میکوریزا، کیتوزان و سایکوسل بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و محتوی نسبی آب برگ در نخود دیم در طی دو سال آزمایشی

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a (میلی‌گرم/ گرم وزن تر)		کلروفیل b (میلی‌گرم/ گرم وزن تر)		کارتنوئید (میلی‌گرم/ گرم وزن تر)		محتوی نسبی آب (درصد)	
		سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
بلوک	۲	۰/۰۰۷ ns	۰/۲۹ns	۰/۰۱۶ns	۰/۰۰۳ns	۰/۰۱۶ns	۰/۰۰۹ns	۶۳/۹۵ns	۲/۱۳**
میکوریزا	۱	۰/۰۴۲ ns	۰/۲۰۸ns	۰/۰۰۰۳ns	۰/۰۱۲ns	۰/۰۰۰۱ns	۰/ ۰۰۰۰۷ns	۱/۲۵ns	۰/۶۹*
خطای a	۲	۰/۰۲۷	۰/۳۲	۰/۰۱۹	۰/۰۶۶	۰/۰۲۷	۰/۰۰۱۶	۱۶۰/۵	۰/۰۱۸
کیتوزان	۲	۰/۰۲۱ ns	۰/۲۴ns	۰/۰۰۶ns	۰/۰۲۸ns	۰/۰۰۶ns	۰/۰۱۷ns	۹۲/۷۴ns	۰/۰۳۵ns
سایکوسل	۲	۰/۰۰۸ ns	۰/۳۶ns	۰/۰۰۱ns	۰/۰۱۴ns	۰/۰۱۷ns	۰/۱۱۱ns	۲۰۷/۱۶*	۰/۲۷۲ns
میکوریزا ×کیتوزان	۲	۰/۰۱۲ ns	۰/۷۸ns	۰/۰۰۹ns	۰/۰۰۳ns	۰/۰۱۱ns	۰/۰۵۶ns	۳/۶۲ns	۰/۰۲۹ns
میکوریزا × سایکوسل	۲	۰/۰۳۲ ns	۰/۵۵ns	۰/۰۳۵ns	۰/۰۱۹ns	۰/۰۱۸ns	۰/۰۲۴ns	۳۳/۷۷ns	۰/۲۶۱ns
کیتوزان × سایکوسل	۴	۰/۰۰۴ ns	۰/۳۴ns	۰/۰۲۶ns	۰/۰۰۳ns	۰/۰۰۴ns	۰/۰۴۸ns	۱۱۶/۰۱ ns	۰/۱۵۴ns
میکوریزا ×کیتوزان×سایکوسل	۴	۰/۰۶۳**	۰/۴۴ns	۰/۰۴۲ ns	۰/۰۵*	۰/۰۲۹ns	۰/۰۲۴ns	۳۲/۴۵ns	۰/۱۲۵ns
خطای bc	۳۲	۰/۰۱۷	۰/۴۸۱	۰/۰۱۷	۰/۰۱۵	۰/۰۱۳	۰/۰۵۱	۴۹/۲۱	۰/۱۶۴
ضریب تغییرات (٪)		۱۳/۹۷	۱۷/۳۴	۱۴/۸۵	۱۴/۸۲	۱۹/۸۲	۲۹/۵۳	۹/۵۲	۵/۱۱

ns، * و **: به ترتیب: غیر معنی‌دار و معنی‌دار بودن تفاوت‌ها را در سطح پنج درصد و یک درصد نشان می‌دهند.

افزایش مقدار کلروفیل تحت تاثیر کیتوزان در سایر گیاهان نیز گزارش شده است (یداللهی ده‌چشمه و همکاران، ۱۳۹۳؛ Van *et al*., 2013). از طرف دیگر، Emami Bistgani و همکاران (۲۰۱۷) در یک مطالعه دو ساله با غلظت‌های مختلف کیتوزان مشخص نمودند که اثرات کیتوزان بر محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل a، b و کاروتنوئید نسبتاً بدون تغییر باقی مانده است.

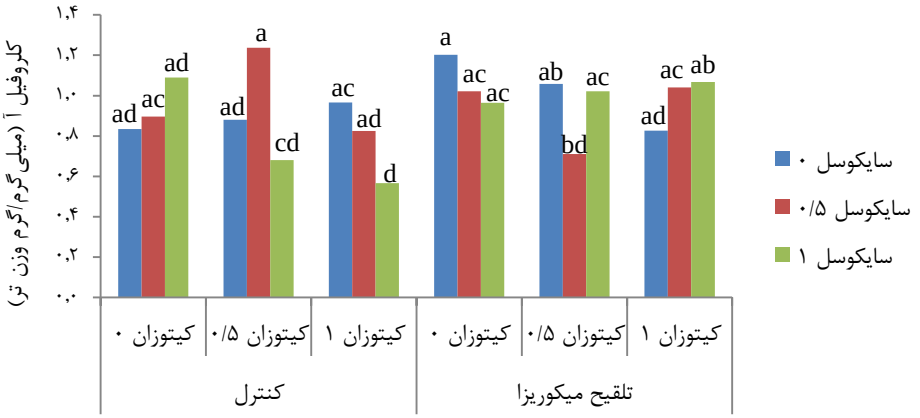
Mihiretu و همکاران (۲۰۱۶) اعلام کردند که کیتوزان می‌تواند سرعت رشد و بیوماس سیب زمینی شیرین را افزایش دهد. این محققین نتیجه گرفتند که افزایش محتوی کلروفیل و ضخامت کوتیکول برگ و همچنین کاهش تراکم روزنه در سطح بالای برگ سبب تسریع در رشد و ظهور اندام‌های گیاه و متعاقب آن افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌گردد. علاوه‌بر این Van و همکاران، (۲۰۱۳) افزایش رشد گیاهچه‌های قهوه را تحت اثر کیتوزان مشاهده نمودند و دریافتند که کاربرد کیتوزان منجر به افزایش میزان کلروفیل (۵۰-۳۰ درصد)، افزایش جذب عناصر غذایی ضروری حاوی نیتروژن (۲۷/۴-۹ درصد)، فسفر (۳۰/۳۰-۱۷/۴ درصد) و پتاسیم (۴۵-۳۰ درصد) گردید.

در همین راستا نتایج آزمایش Sheikha و Al-Malki (۲۰۱۱) نشان دادند که مصرف کیتوزان باعث افزایش محتوای کلروفیل‌های a، b و کل در گیاه باقلا گردید.

جدول۴: مقایسه میانگین اثرات میکوریزا، کیتوزان و سایکوسل بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و محتوی نسبی آب برگ در نخود دیم در طی دو سال آزمایشی

تیمار		کلروفیل a (میلی‌گرم/ گرم وزن تر)		کلروفیل b (میلی‌گرم/ گرم وزن تر)		کارتنوئید (میلی‌گرم/ گرم وزن تر)		محتوی نسبی آب (درصد)	
		سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
میکوریزا (گرم بر لیتر)									
	شاهد	۰/۸۸^{a}	۱/۰۳^{a}	۰/۸^{a}	۰/۷۳^{a}	۰/۳۶^{a}	۰/۶۳^{a}	۷۳/۷۹^{a}	۶۱/۲۸^{b}
	تلقیح	۰/۹۸^{a}	۰/۹۱^{a}	۰/۷۹^{a}	۰/۶۸^{a}	۰/۳۶^{a}	۰/۶۲^{a}	۷۳/۴۸^{a}	۶۵/۰۷^{a}
کیتوزان (گرم بر لیتر)									
	۰	۱/۰۹^{a}	۰/۹۴^{a}	۰/۸۳^{a}	۰/۶۵^{a}	۰/۳۶^{a}	۰/۵۸^{a}	۷۴/۴۳^{a}	۶۲/۴۹^{a}
	۰/۵	۰/۹۳^{a}	۱/۰۹^{a}	۰/۷۹^{a}	۰/۷۷^{a}	۰/۳۳^{a}	۰/۶۲^{a}	۷۵/۴^{a}	۶۲/۹^{a}
	۱	۰/۸۸^{a}	۰/۸۷^{a}	۰/۷۶^{a}	۰/۶۸^{a}	۰/۳۹^{a}	۰/۶۸^{a}	۷۱/۰۸^{a}	۶۴/۱۴^{a}
سایکوسل (گرم بر لیتر)									
	۰	۰/۹۶^{a}	۰/۱۳^{a}	۰/۷۸^{a}	۰/۷۶^{a}	۰/۳۵^{a}	۰/۵۲^{a}	۷۵/۱۹^{a}	۶۲/۴۷^{a}
	۰/۵	۰/۹۵^{a}	۰/۹^{a}	۰/۸۲^{a}	۰/۶۷^{a}	۰/۴^{a}	۰/۸۱^{a}	۷۵/۹۷^{a}	۶۱/۵۴^{a}
	۱	۰/۸۹^{a}	۰/۸۷^{a}	۰/۷۸^{a}	۰/۶۸^{a}	۰/۳۳^{a}	۰/۵۵^{a}	۶۹/۷۴^{b}	۶۵/۵۱^{a}

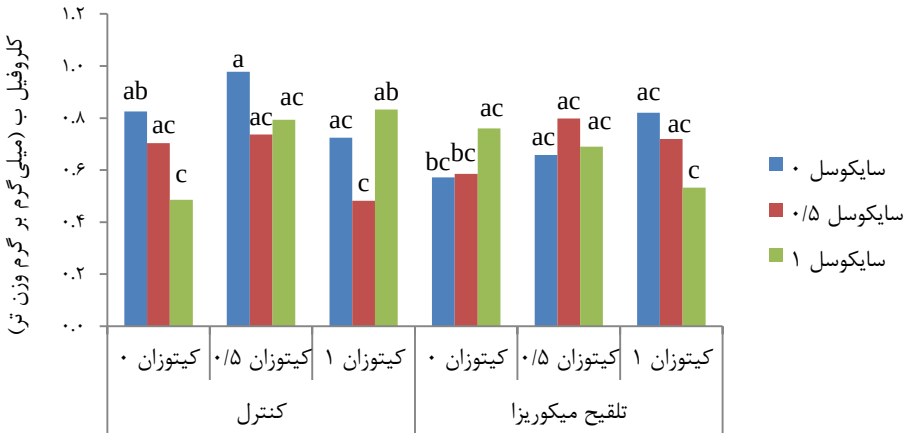
توجه: ستون‌هایی که دارای حروف مشترک هستند اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.



شکل ۱: محتوی کلروفیل a تحت تاثیر تلقیح با میکوریزا و محلول‌پاشی توسط کیتوزان و سایکوسل در سال اول آزمایش

محققان اعلام کرده‌اند که کاربرد کیتوزان باعث کاهش اثر منفی تنش خشکی بر کلروفیل و به تبع آن افزایش محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه می‌گردد (خواجه و نادری، ۱۳۹۲). در مطالعات انجام شده دیگر در سویا و بادام زمینی و قهوه نیز کیتوزان منجر به افزایش مقدار کلروفیل و کاروتنوئید شده است (Dzung *et al.*, 2011). Limpanavech و همکاران (۲۰۰۸) نیز دریافتند که کیتوزان در افزایش محتوی کلروفیل و فتوسنتز نقش دارد و ثابت نمودند که کیتوزان بیان ژن کلروپلاست برگ را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به‌طوری که تغییرات در اندازه و تعداد کلروپلاست ممکن است عامل تحریک کننده رشد گیاهان باشد. در این آزمایش اثرات مطلوب سایکوسل بر روی محتوای کلروفیل a در سال اول مطالعه به‌دلیل

بارندگی کم مشهود بود (شکل۱). Sarkar و همکاران (۲۰۰۶) نتیجه‌گیری نمودند که استفاده از سایکوسل در شرایط تنش کمبود آب می‌تواند فعالیت‌های فتوسنتزی کنجد را بهبود بخشد. همچنین Kumari (۲۰۱۷) ثابت نمود که سایکوسل باعث افزایش سرعت فتوسنتز و تنفس در برگ‌های ارزن مروارید در شرایط تنش کم آبی می‌گردد. Devi و همکاران (۲۰۱۱)، در طی مطالعه‌ای سه ساله، حداکثر محتوی کلروفیل توسط سایکوسل را در غلظت ۵۰۰ پی‌پی‌ام مشاهده نمودند. Del Amor و همکاران (۲۰۱۰) اعلام نمودند که در اثر مصرف مواد ضدتعرق، هدایت روزنه‌ای و تعرق کاهش، اما در مجموع فتوسنتز افزایش یافت. آن‌ها همچنین اعلام کردند که ماده ضدتعرق موجب بهبود مقاومت گیاه فلفل شیرین به خشکی می‌شود.



شکل۲: محتوی کلروفیل b تحت تاثیر تلقیح با میکوریزا و محلول‌پاشی توسط کیتوزان و سایکوسل در سال دوم آزمایش

محتوای نسبی آب برگ (RWC)

در سال دوم آزمایش، RWC از نظر تلقیح میکوریزا تفاوت معنی‌داری نشان داد، به‌طوری‌که در مقایسه با شاهد ۶/۱۸ درصد افزایش نشان داد. قارچ‌های میکوریزا باعث افزایش میزان آب جذب شده توسط گیاهان از خاک می‌شوند. به‌طوری‌که سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ و افزایش کارایی مصرف آب در گیاهان می‌گردند (Porcel and Ruiz-Lozano, 2004; Rahimi *et al*., 2017). در این آزمایشRWC تحت اثر کاربرد مقادیر مختلف سایکوسل در سال اول اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ نشان داد. به‌طوری‌که محتوای نسبی آب برگ در غلظت کم سایکوسل، اندکی افزایش یافت، اما در غلظت زیاد، مجددا کاهش یافت (جدول۴). چنین افزایشی را می‌توان به اثر سایکوسل در کوچک نمودن اندازه سلول‌ها مرتبط دانست. براساس نتایج مقایسه میانگین در جدول۴، اثرات سایکوسل در غلظت‌های مختلف در طی دو سال آزمایش متفاوت بوده و در سال اول آزمایش، محتوی آب برگ نسبت به سال دوم بالاتر بود. از آنجا که گیاه نخود نسبتا به خشکی

مقاوم است، به نظر می‌رسد با توجه به کمبود بارندگی در فصل رشد همراه با افزایش میانگین دما، افزایش ساعات آفتابی، افزایش تبخیر و همچنین کاهش رطوبت نسبی محیط و کاهش روزهای بارانی در سال اول آزمایش (جدول۲)، مکانیسم-های مقاومت به خشکی، از جمله افزایش محتوی نسبی آب در گیاه افزایش یافته است. در آزمایشی مشابه، سایکوسل باعث افزایش RWC و کاهش پتانسیل اسمزی در شرایط تنش کم‌آبی گردید (Kumari, 2017).

در این مطالعه، RWC تحت اثر کیتوزان اندکی افزایش یافت هر چند این اختلاف معنی‌داری نبود (جدول۴). افزایش جذب آب و عناصر غذایی ضروری گیاه به‌وسیله کیتوزان توسط Guan و همکاران (۲۰۰۹) گزارش شده است. این محققین اعلام نمودند که این افزایش مربوط به تنظیم فشار اسمزی سلولی و بهبود آنتی‌اکسیدان‌ها و فعالیت‌های آنزیمی است.

در یک مطالعه دیگر، کم‌ترین تراکم روزنه در سطح بالایی برگ در سیب زمینی‌شیرین تحت اثر کیتوزان مشاهده شد (Mihiretu *et al*., 2016). بنابراین، کاهش تراکم روزنه می‌تواند منجر به کاهش اتلاف آب در اثر تعرق شده و وضعیت آبی گیاهان را بهبود بخشد. علاوه‌بر این، بیماری‌های قارچی در گیاهان، از طریق ورود میسلیوم قارچی به داخل سلول‌ها، باعث از دست رفتن آب گیاه می‌شوند و از این طریق محتوای نسبی آب برگ‌ها را کاهش می‌دهند. طی تحقیقات مختلف صورت گرفته، ثابت شده است که کیتوزان به‌عنوان یک قارچ‌کش عمل نموده و از شیوع بیماری‌های قارچی ممانعت می‌نماید (Suarez-Fernandez *et al*., 2020). علاوه‌بر این اثر، باعث افزایش ارتفاع، و افزایش وزن ریشه و قسمت هوایی گیاه می‌گردد (Jabnoun-Khiareddine *et al*., 2015).

دمای کانوپی

دمای کانوپی در سال دوم آزمایش تحت اثر تلقیح گیاه با میکوریزا اندکی کاهش یافت، هر چند معنی‌دار نگردید (جدول۶). از آنجایی که تلقیح قارچ‌های میکوریزا، سبب افزایش رشد ریشه و افزایش توان جذب آب گیاهان می‌گردد، در نتیجه پتانسیل آبی گیاه را بهبود بخشیده (Boldt *et al*., 2011; Porcel and Ruiz-Lozano, 2004; Rajala, 2003) و بنابراین کاهش دمای کانوپی منطقی به نظر می‌رسد. از طرف دیگر افزایش میزان تعرق در گیاه می‌تواند دمای کانوپی را کاهش دهد. در این راستا Wu و Xia (۲۰۰۶) گزارش نمودند که نهال‌های لیموی تلقیح شده با میکوریزا در مقایسه با شاهد از پتانسیل آب برگ، فتوسنتز و تعرق بیش‌تر و در نتیجه دمای کم‌تر برگ برخوردار بودند. هم‌زیستی قارچ‌های میکوریزا با گیاهان، سبب افزایش محتوی آب گیاه و افزایش هدایت روزنه‌ای گردیده و در نتیجه جذب CO_2 و میزان فتوسنتز افزایش می‌یابد (Boldt *et al*., 2011).

جدول۵: تجزیه واریانس اثرات میکوریزا، کیتوزان و سایکوسل بر روی مقادیر صفات دمای کانوپی، میزان پرولین، آنزیم پراکسیداز و عملکرد دانه نخود دیم در طی دو سال آزمایشی

منابع تغییرات	درجه آزادی	دمای کانوپی (درجه سانتی‌گراد)		پرولین (میلی‌گرم/گرم وزن تر)		پراکسیداز (واحد/میلی‌گرم پروتئین)		عملکرد دانه(کیلوگرم/ هکتار)	
		سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
بلوک	۲	۳/۱۴ ns	۲۷/۴۸ ns	۰/۱۷ ns	۲۳/۵۵ ns	۰/۰۰۰۰۴ ns	۰/۰۰۱ ns	۷۶۱۹۹۸/۶ ns	۱۸۷۱۲۸ ns
میکوریزا	۱	۰/۰۰۰۷ ns	۲/۴ ns	۰/۱۹ ns	۵۳/۹۳ *	۰/۰۰۰۰۲ ns	۰/۰۱ ns	۴۱۵۶۴۵/۴ ns	۳۱۳۷۳۳۸ ns
خطای a	۲	۶/۵۱	۱/۲	۰/۹۹	۲/۴۱	۰/۰۰۰۴	۰/۰۱۵	۶۱۲۷۵۴/۴	۲۲۹۵۶۰۶
کیتوزان	۲	۰/۸۸ ns	۰/۸۲ ns	۰/۲۴ ns	۲۱/۹۹ ns	۰/۰۰۰۰۷ ns	۰/۰۰۹ ns	۱۴۱۶۴۳/۵ ns	۱۱۶۱۱/۶۹ ns
سایکوسل	۲	۰/۱۷ ns	۰/۳۲ ns	۰/۰۷ ns	۶/۵۸ ns	۰/۰۰۰۰۴ ns	۰/۰۴۵ *	۱۹۱۲۵۲/۱ ns	۲۲۸۲۳/۳۵ ns
میکوریزا × کیتوزان	۲	۰/۵۲ ns	۰/۱۳ ns	۰/۰۶ ns	۱۷/۴۲ ns	۰/۰۰۰۳ ns	۰/۰۰۸ ns	۲۴۳۶۵۶/۳ ns	۳۵۶۷۰۲ ns
میکوریزا × سایکوسل	۲	۰/۷۹ ns	۰/۵ ns	۱/۴۲ ns	۱۰/۶۷ ns	۰/۰۰۰۲ ns	۰/۰۰۷ ns	۴۲۴۷۲۶/۲*	۱۳۷۷۰۰/۲ ns
کیتوزان × سایکوسل	۴	۱/۰۱ ns	۲/۲۱ ns	۰/۴ ns	۳۲/۷۸ ns	۰/۰۰۰۰۷ ns	۰/۰۱ ns	۳۴۵۶۶/۰۴ ns	۴۲۸۸۶/۴۱ ns
میکوریزا × کیتوزان × سایکوسل	۴	۰/۲۳ ns	۱/۷ ns	۱/۲۱ ns	۲۷/۳۶ ns	۰/۰۰۰۴ **	۰/۰۴ **	۱۵۳۴۳۳/۹ ns	۳۶۸۳۷/۱۹ ns
خطای bc	۳۲	۱/۴۳	۱/۷۹	۰/۵۱۱	۲۵/۲۳	۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۲	۱۹۰۳۲۹/۹۱	۱۵۷۲۳۶/۴۸
ضریب تغییرات		۴/۰۷	۳/۸۶	۲۰/۶۵	۴۷/۸۵	۲۲/۵۶	۱۷/۹۹	۲۳/۹۴	۱۹/۴

ns، * و **: به ترتیب: غیر معنی‌دار و معنی‌دار بودن تفاوت‌ها را در سطح پنج درصد و یک درصد نشان می‌دهند.

جدول۶: نتایج مقایسه میانگین اثرات میکوریزا، کیتوزان و سایکوسل بر روی صفات دمای کانوپی، میزان پرولین، آنزیم پراکسیداز و عملکرد دانه نخود دیم در طی دو سال آزمایشی

تیمار		دمای کانوپی (درجه سانتی‌گراد)		پرولین (میلی‌گرم/گرم وزن تر)		پراکسیداز (واحد/میلی‌گرم پروتئین)		عملکرد دانه (کیلوگرم/ هکتار)	
		سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
میکوریزا	شاهد	۲۹/۳۶ a	۳۴/۹۱ a	۳/۵۲ a	۹/۴۹ b	۰/۰۵ a	۰/۶ a	۱۷۳۴/۶ a	۱۸۰۲/۲ a
	تلقیح	۲۹/۳۷ a	۳۴/۴۸ a	۳/۴ a	۱۱/۴۹ a	۰/۰۵ a	۰/۶۳ a	۱۹۱۰ a	۲۲۸۴/۳ a
کیتوزان (گرم/ لیتر)	۰	۲۹/۳۱ a	۳۴/۴۶ a	۳/۴۶ a	۹/۶۹ a	۰/۰۵ a	۰/۶۱ a	۱۷۲۴/۴ a	۲۰۴۸/۶ a
	۰/۵	۲۹/۶۱ a	۳۴/۸۸ a	۳/۵۷ a	۱۱/۷۶ a	۰/۰۵ a	۰/۶ a	۱۸۹۷/۴ a	۲۰۶۵/۶ a
	۱	۲۹/۱۷ a	۳۴/۷۴ a	۳/۳۴ a	۱۰/۰۳ a	۰/۰۵ a	۰/۶۴ a	۱۸۴۵/۱ a	۲۰۱۵/۶ a
سایکوسل (گرم/ لیتر)	۰	۲۹/۲۸ a	۳۴/۵۴ a	۳/۴۷ a	۱۰/۰۹ a	۰/۰۵ a	۰/۶۷ a	۱۷۰۴/۴ a	۲۰۰۵/۳ a
	۰/۵	۲۹/۳۳ a	۳۴/۷۸ a	۳/۳۹ a	۱۱/۱۹ a	۰/۰۵ a	۰/۶ ab	۱۸۹۵/۴ a	۲۰۴۸/۶ a
	۱	۲۹/۴۷ a	۳۴/۷۶ a	۳/۵۲ a	۱۰/۲ a	۰/۰۵ a	۰/۵۸ b	۱۸۶۷/۲ a	۲۰۷۵/۹ a

توجه: ستون‌هایی که دارای حروف مشترک هستند اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

پرولین

پرولین یکی از ترکیبات آلی موثر در تنظیم اسمزی تحت شرایط خشکی است. این صفت تحت اثر تلقیح گیاه با میکوریزا در سال دوم آزمایش افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول۶). تجمع ترکیباتی همانند پرولین و اسیدهای آمینه در گیاهان تا حدی شرایط لازم برای ادامه جذب آب از محیط ریشه را برای این گیاه فراهم می‌نماید (Good and Zaplachiniski,1994). بنابراین می‌توان تصور نمود که افزایش میزان پرولین تحت اثر میکوریزا یک نوع مکانیسم در جهت کمک به گیاه جهت افزایش جذب آب در شرایط دیم باشد. در این آزمایش میزان پرولین در غلظت‌های کم کیتوزان

و سایکوسل نیز افزایش یافت، هرچند معنی‌دار نگردید. طی تحقیقی مشابه خواجه و نادری (۱۳۹۲) در گیاه بادرنجبویه افزایش میزان پرولین را تحت اثر کیتوزان گزارش نمودند. کاربرد سایکوسل موجب افزایش پروتئین در دانه، افزایش تجمع پرولین در برگ و افزایش مقاومت گیاه در شرایط وقوع تنش خشکی می‌گردد (عباسپور و همکاران، ۱۳۹۰).

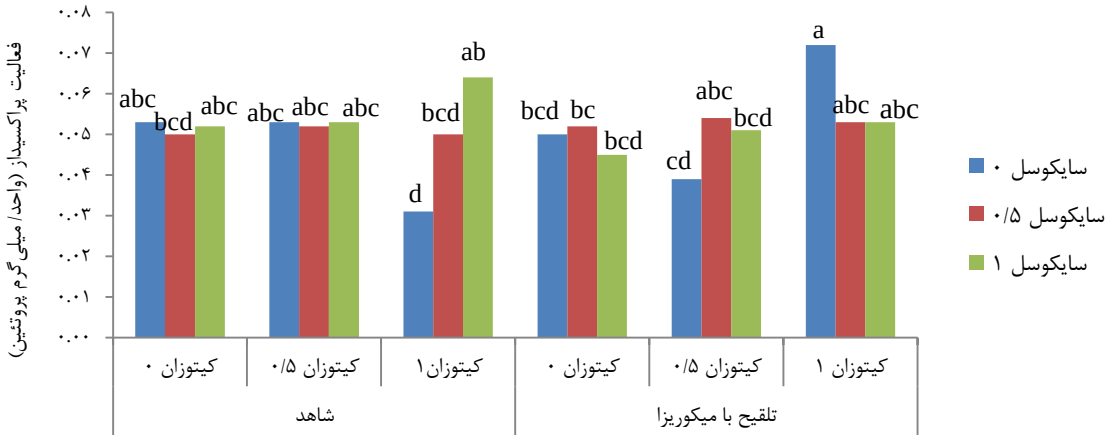
فعالیت آنزیم پراکسیداز

فعالیت آنزیم پراکسیداز تحت اثر سایکوسل در سال دوم در سطح پنج درصد و برهم‌کنش میکوریزا × کیتوزان × سایکوسل در هر دو سال آزمایش در سطح احتمال یک معنی‌دار گردید (جدول۵). در سال اول آزمایش، کاربرد یک گرم در لیتر کیتوزان در شرایط عدم کاربرد سایکوسل و تلقیح گیاه با میکوریزا حداکثر مقدار پراکسیداز را حاصل نمود (شکل۳). در حالی‌که در سال دوم آزمایش، کیتوزان بر افزایش فعالیت پراکسیداز حتی در شرایط بدون تلقیح با میکوریزا روند افزایشی نشان داد، اگرچه اختلاف بین تیمارها معنی‌دار نگردید به نظر می‌رسد در سال اول آزمایش که میزان بارندگی کم-تر بود، تلقیح با میکوریزا از طریق افزایش فعالیت پراکسیداز موجب مقاومت گیاه نسبت به تنش خشکی گردیده باشد در صورتی که در سال دوم آزمایش به‌دلیل بارندگی بیش‌تر این روند مشاهده نگردید (شکل۴ و جدول ۱).

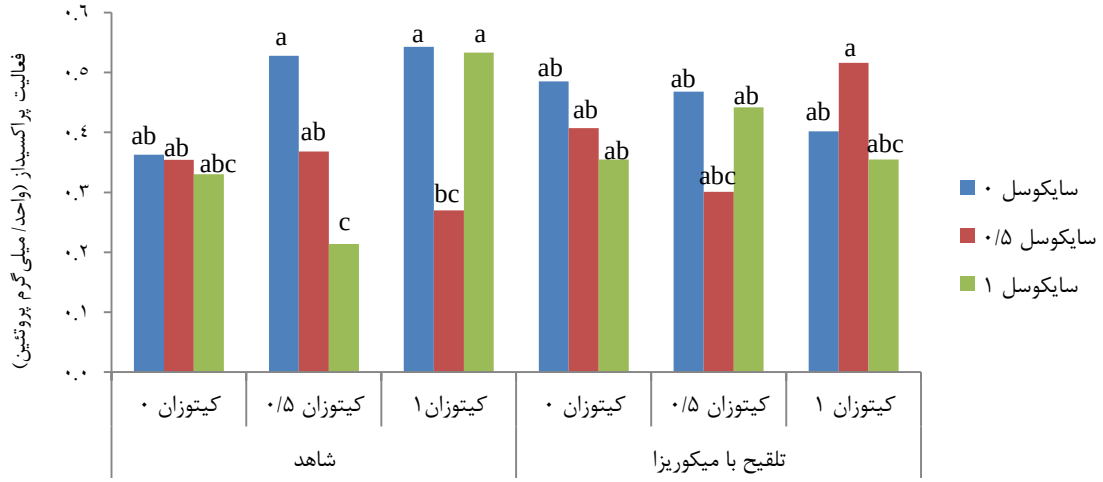
اثرات مثبت کیتوزان در افزایش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی و از بین بردن رادیکال‌های آزاد توسط محققان مختلف مورد تایید قرار گرفته است (مهدوی و همکاران، ۱۳۹۲؛ González *et al*., 2015). Harish Prashanth و همکاران (۲۰۰۷) طی مطالعه‌ای اعلام کردند که کیتوزان می‌تواند رادیکال‌های آزاد OH وO^{-2} را از بین‌برده و از DNA محافظت نماید. همچنین طبق بررسی‌های صورت گرفته فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و پلی فنل‌اکسیداز در ریشه بادمجان تحت تیمار با کیتوزان افزایش یافته است (Mandal, 2010). در مطالعه‌ای دیگر کیتوزان فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز را در دو گونه ذرت افزایش داده است (Guan *et al*., 2009). مهدوی و همکاران (۱۳۹۲) نیز افزایش میزان پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز را تحت اثر تیمار کیتوزان در گیاهچه‌های گلرنگ گزارش نمودند. این محققین اعلام نمودند که افزایش غلظت ماده ضدتعرق بر روی گیاهان دارای اثرات جانبی نامرئی بوده و در برخی موارد مسمومیت گیاه و افزایش تنفس حادث می‌گردد.

در این آزمایش اثر سایکوسل در سال اول در کنار کیتوزان بدون تلقیح میکوریزا مشهود بود ولی این روند در شرایط تلقیح با میکوریزا و در غلظت‌های بالاتر کیتوزان متفاوت بود. در عین حال اثر سایکوسل در سال دوم تحت اثر تلقیح با میکوریزا مشهودتر بود. نتایج مطالعه Wang و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که تیمارهای سایکوسل ۱، ۱/۵ و ۲ گرم بر لیتر به‌طور معنی‌داری باعث افزایش فعالیت آنتی اکسیدان‌های آنزیمی مانند سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز و کاتالاز در برگ سیب زمینی می‌شوند. آن‌ها اعلام کردند که افزایش فعالیت سوپراکسید از دستگاه فتوسنتزی در برابر آسیب گونه‌های

اکسیژن فعال (ROS) در گیاهان زراعی در معرض تنش‌های مختلف محافظت می‌نماید. با این وجود، Pirasteh Anosheh و همکاران (۲۰۱۲) مشاهده کردند که فعالیت سوپراکسید دیسموتاز در گندم بدون تغییر باقی مانده است، در حالی‌که فعالیت پراکسیداز و کاتالاز در پاسخ به کاربرد محلول‌پاشی شاخ و برگ افزایش یافت. این محققین دریافتند که سایکوسل، رشد ریشه را بهبود می‌بخشد. همچنین افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در پاسخ به کاربرد سایکوسل می‌تواند از دستگاه فتوسنتزی در برابر صدمات ناشی از ROS در شرایط کمبود آب محافظت کنند (Rajala, 2003; Pirasteh Anosheh *et al*., 2012; Wang *et al*., 2010).



شکل۳: میزان پراکسیداز تحت تاثیر میکوریزا و کاربرد محلول‌پاشی کیتوزان و سایکوسل در سال اول آزمایش



شکل۴: میزان پراکسیداز تحت تاثیر میکوریزا و کاربرد محلول‌پاشی کیتوزان و سایکوسل در سال دوم آزمایش

عملکرد دانه

صفت عملکرد دانه تحت اثر اثرات اصلی تیمارهای میکوریزا، کیتوزان و سایکوسل در هر دو سال آزمایش افزایش یافت، اگرچه معنی‌دار نبودند (جدول ۶). نتایج نشان داد که عملکرد دانه تنها تحت اثر برهم‌کنش میکوریزا × سایکوسل قرار

گرفت. به‌طوری‌که حداکثر عملکرد دانه در تیمار تلقیح میکوریزا و محلول‌پاشی سایکوسل (یک گرم در لیتر) به‌دست آمد که نسبت به شاهد ۲۴/۰۵ درصد برتری نشان داد. به نظر می‌رسد افزایش عملکرد دانه در این آزمایش به‌دلیل افزایش جذب آب و مواد مغذی در شرایط خشک توسط میکوریزا باشد که توسط سایر محققان ثابت شده است. Hazzoumi و همکاران (۲۰۱۷) نیز اعلام کردند که تلقیح گیاهان با میکوریزا با کمبود آب در شرایط تنش مقابله نموده و باعث افزایش عملکرد و بهبود کیفیت دانه می‌گردد. از آنجایی که تلقیح گیاهان با قارچ‌های میکوریزا، مقدار جذب آب و مواد غذایی را در گیاه افزایش داده و به دنبال آن مقاومت گیاه را به تنش‌های محیطی و بیماری‌ها افزایش می‌دهد (Porras-Soriano *et al*., 2009)، لذا افزایش معنی‌دار شاخص‌های رشد در گیاهان تیمار شده با میکوریزا نسبت به گیاهان شاهد امری قابل انتظار است. طی مطالعات صورت گرفته اثرات مطلوب میکوریزا در افزایش عملکرد دانه گیاه ذرت به افزایش ارتفاع بوته، اجزای عملکرد و همچنین افزایش جذب فسفر از خاک نسبت داده شده است (پاینده و دروگر،۱۳۹۸ ؛ غلامی و محمودی، ۱۳۹۳). از طرف دیگر، افزایش عملکرد دانه در این آزمایش می‌تواند به افزایش فعالیت گره‌های تثبیت کننده نیتروژن روی ریشه‌های نخود در شرایط خشک تحت اثر تلقیح با میکوریزا نیز مرتبط باشد. Erman و همکاران (۲۰۱۱) گزارش نمودند که میکوریزا می‌تواند باعث افزایش کلونیزه شدن و گره‌زایی ریشه شده و میزان فسفر را در بذر و ساقه افزایش و در نهایت سبب افزایش عملکرد دانه شود.

در این آزمایش اثر مثبت سایکوسل بر عملکرد دانه نیز ممکن است به‌دلیل بهبود انتقال سیتوکینین از ریشه به اندام‌های هوایی و در نتیجه افزایش رشد اندام‌های رویشی و در نهایت افزایش وزن خشک بوته و عملکرد دانه باشد (Pourmohammad *et al*., 2014). در آزمایشی دیگر افزایش فتوسنتز در کنجد تحت اثر تیمار با سایکوسل توسط Sarkar و همکاران (۲۰۰۶) گزارش شد و ثابت گردید که سایکوسل در شرایط تنش کم آبی می‌تواند ۲۸ تا ۳۷ درصد کاهش عملکرد را جبران نماید. همچنین سایکوسل از طریق تحریک رشد ریشه و کاهش تعرق، راندمان مصرف آب را افزایش داده و از تخریب کلروفیل جلوگیری کند (Wang *et al*.,2011). Devi و همکاران (۲۰۱۱) پی بردند که افزایش عملکرد دانه توسط سایکوسل با افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی در ارتباط است. در آزمایشی مشابه، افزایش عملکرد ارزن مرواریدی تحت تنش رطوبتی توسط سایکوسل، منجر به کاهش ارتفاع گیاه شد، اما باعث افزایش سیستم ریشه و فراهمی آب، افزایش سطح برگ و بنابراین افزایش جذب نور و فتوسنتز و نهایتاً منجر به افزایش عملکرد در شرایط تنش کم آبی گردید (Kumari, 2017).

Rajala (۲۰۰۳) اظهار داشت مصرف سایکوسل در گندم در شرایط تنش خشکی موجب رشد بیش‌تر ریشه و افزایش کارآیی جذب آب از لایه‌های پائین خاک گردیده و از این طریق عملکرد دانه را افزایش می‌دهد. افزایش عملکرد دانه تحت

اثر کاربرد سایکوسل به افزایش رشد ریشه، افزایش مقاومت روزنه‌ای و پتانسیل آب برگ نسبت داده شده است (عباسپور و همکاران، ۱۳۹۰). نجفی و همکاران (۱۳۹۸) اعلام نمودند که با افزایش مصرف سایکوسل، عملکرد دانه در گیاه برنج افزایش یافت. این محققین اعلام نمودند که سایکوسل انتقال مجدد ذخایر ساقه را به سمت دانه‌ها افزایش داده و از طریق افزایش اجزای عملکرد و طول دوره پر شدن دانه، عملکرد گیاه را افزایش می‌دهد.

نتیجه‌گیری

براساس یافته‌های این تحقیق، برخی صفات فیزیولوژیکی مانند محتوی کلروفیل a، b، محتوای آب نسبی برگ، میزان پرولین، پراکسیداز و عملکرد دانه تحت تأثیر تیمارها قرار گرفتند. به عنوان مهم‌ترین صفات مورد بررسی، عملکرد دانه در تیمار برهمکنش تلقیح میکوریزا و محلول‌پاشی کیتوزان به میزان یک گرم در لیتر، در سال اول آزمایش، ۲۴/۰۵ درصد افزایش یافت. به نظر می‌رسد در این آزمایش، کاهش میزان بارندگی و کاهش درصد رطوبت در سال اول با افزایش دمای هوا، افزایش تعداد ساعات آفتابی و افزایش تبخیر باعث ایجاد اثرات معنی‌داری بر روی تیمارهای آزمایشی شده است. این اثرات در سال دوم آزمایش به دلیل افزایش میزان بارندگی و تغییر سایر پارامترهای هواشناسی که باعث کاهش تبخیر و تعرق شد، کم‌تر مشهود بود.

منابع

احمدی، ک.، عبادزاده.، ح. ر.، حاتمی.، ف.، عبدشاه، ه. و کاظمیان، آ. ۱۳۹۸. آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶. جلد اول: محصولات زراعی. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. ۸۷ صفحه.

پاینده، خ. و دروگر، ن. ۱۳۹۸. بررسی عملکرد کمی و کیفی ذرت (*Zea mayz* L.) تحت فواصل مختلف آبیاری و اثر تلفیق قارچ میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی ،دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز جلد ۱۱ شماره ۴، ص ۱۲۹-۱۴۲.

خواجه، ه. و نادری، س. ۱۳۹۲. تأثیر کیتوزان بر برخی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و خصوصیات بیوشیمیایی در ملیسا (*Melissa officinalis*). مجله پژوهشی علوم زراعی منطقه خشک شماره ۱، ص ۱۰۰- ۱۱۶.

عباسپور، ا.، مسعودسینکی، ج.، تاج‌علیپور، ز. و سعیدی ساز، س. ۱۳۹۰. اثر کاربرد سایکوسل و محلول‌پاشی روی بر ذرت دانه‌ای در شرایط تنش خشکی. فصلنامه تولید گیاهان زراعی در شرایط تنش‌های محیطی، دانشگاه آزاد دامغان جلد ۳ شماره ۳ و ۴، ص ۱۵-۲۹.

غلامی، ع. و محمودی، م. ۱۳۹۳. بررسی اثر قارچ میکوریزا (*VAM*) و مقادیرکود فسفر بر ویژگی‌های کمی و کیفی ذرت دانه‌ای سینگل‌کراس کارون. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی ،دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز جلد ۶ شماره۲۲، ص ۱۱۵-۱۳۰.

مهدوی، ب.، مدرس‌ثانوی، س. ع.، علیخانی، م. آ. و شریفی، م. ۱۳۹۲. اثر غلظت‌های کیتوزان بر جوانه‌زنی بذر و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت گلرنگ در شرایط کم آبی. مجله پژوهش‌های گیاهی جلد ۲۶ شماره ۳، ص ۳۵۲- ۳۶۵.

نجفی، ن. ،سید شریفی، ر. و خلیل‌زاده، ر. ۱۳۹۸. اثر نیتروژن و سایکوسل بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و عملکرد دانه برنج (*Oryza sativa* L). فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی ،دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز جلد۱۱ شماره ۴۳، ص ۴۷-۶۷.

نوروزی چقامارانی، ن. ،محمدی، غ. ر. و قبادی، م. ۱۳۹۷. عملکرد و ویژگی های رشدی ارقام آفتابگردان تلقیح شده با قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا در شرایط تنش خشکی. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی ،دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز جلد ۱۰ شماره ۴۰، ص ۷۵-۹۷.

یداللهی‌ده‌چشمه، پ. ،باقری، ع. ا. ،امیری، ا. و اسمعیل‌زاده‌بهابادی، ص. ۱۳۹۳. اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی کیتوزان بر عملکرد و رنگیزه‌های فتوسنتزی در آفتابگردان (*Heliantus unnuus* L.). فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی ،دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز جلد ۶ شماره ۲۱، ص ۷۳-۸۳.

Arnon, A. N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal. 23: 112- 121.

Bates, L. S., Waldran, R. P. and Teare, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water studies. Plant Soil. 39: 205-208.

Boldt, K., Pors, Y., Haupt, B., Bitterlich, M., Kuhn, C., Grimm, B. and Franken, P. 2011. Photochemical processes, carbon assimilation and RNA accumulation of sucrose transporter genes in tomato *arbuscular mycorrhiza*. Journal of Plant Physiology. 168: 1256-1263.

Del Amor, F. M., Cuadra-Crespo, P., Walker, D. J., Camara, J. M. and Madrid, R. 2010. Effect of foliar application of antitranspirant on photosynthesis and water relations of pepper plants under different levels of CO_2 and water stress. Journal of Plant Physiology. 167: 1232-1238.

Devi, K. N., Vyas, A. K., Singh, M. S. and Singh, N. G. 2011. Effect of bioregulators on growth, yield and chemical constituents of soybean (*Glycine max*). Journal of Agricultural Science. 3(4): 151-159.

Dzung, N. A., Khanh, V. T. P. and Dzung, T. T. 2011. Research on impact of chitosan oligomers on bio-physical characteristics, growth, development and drought resistance of coffee. Carbohydrate Polymers. 84: 751-755.

Emami Bistgani, Z., Siadat, S. A., Bakhshandeh, A., Ghasemi Pirbalouti, A. and Hashemi, M. 2017. Interactive effects of drought stress and chitosan application on physiological characteristics and essential oil yield of *Thymus daenensis* Celak. Crop Journal. 5: 407-415.

Erman, M., Demir, S., Ocak, E., Tüfenkçi, Ş., Oğuz, F. and Akköprü, A. 2011. Effects of Rhizobium, arbuscular mycorrhiza and whey applications on some properties in chickpea (*Cicer arietinum L.*) under irrigated and rainfed conditions 1-Yield, yield components, nodulation and AMF colonization. Crop Research. 122: 14-24.

Eulenstein, F., Tauschke, M., Behrendt, A., Monk, J., Schindler, U., Lana, M. A. and Monk, Sh. 2017. The application of mycorrhizal fungi and organic fertilizers in horticultural potting soils to improve water use efficiency of crops. Horticulturae. 3 (8): 1-8.

Fao. 2019. Food and agriculture organization of the United Nations. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC.

González, L. M., Guerrero, Y. R., Rodríguez, A. F. and Vázquez, M. N. 2015. Effect of seed treatment with chitosan on the growth of rice (*Oryza sativa* L.) seedlings cv. Inca lp-5 in saline medium. Cultivos Tropicales. 36 (1): 136-142.

Good, A. and Zaplachiniski, S. 1994. The effects of drought on free amino acid accumulation and protein synthesis in *Brassica napus*. Physiologia Plantarum. 90: 9-14.

Guan, Y. J. J., Hu, X., Wang, J. and Shao, C. X. 2009. Seed priming with chitosan improves maize germination and seedling growth in relation to physiological changes under low temperature stress. Plant Science. 10: 427-433.

Harish Prashanth, K. V., Dharmesh, K. S., Jagannatha, R. and Tharanathan, R. N. 2007. Free radical-induced chitosan depolymerized products protect calf thymus DNA from oxidative damage. Carbohydrat. 342: 190-195.

Hazzoumi, Z., Moustakime, Y. and Amrani Joutei, K. H. 2017. Effect of *Arbuscular Mycorrhizal* fungi and water stress on ultrastructural change of glandular hairs and essential oil compositions in *Ocimum gratissimum*. Chemical and Biological Technologies in Agriculture. 4(20): 1-13.

Hewajulige, I. G. N., Wilson Wijeratnam, R. S., Perera, M. G. D. S. and Fernando, S. A. 2015. Extending storage life of commercially important tropical fruits using bio-waxes. Acta Horticulture. 1091: 283-290.

Jabnoun-Khiareddine, H., El-Mohamedy, R. S. R., Abdel-Kareem, F., Aydi Ben Abdallah, R., Gueddes-Chahed, M. and Daami-Remadi, M. 2015. Variation in chitosan and salicylic acid efficacy towards soil-borne and air-borne fungi and their suppressive effect of tomato wilt severity. Journal of Plant Pathology and Microbiology. 6 (11): 1-10.

Kerch, G. 2015. Chitosan films and coatings prevent losses of fresh fruit nutritional quality: A review. Trends in Food Science and Technology. 46: 159-166.

Kumari, S. 2017. Effect of Kinetin (6-FAP) and Cycocel (CCC) on growth, metabolism and cellular organelles in Pearl Millet (*Pennisetum glaucum*) under water stress. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 6 (8): 2711-2719.

Lei, C., Ma, D., Pu, G., Qiu, X., Du, Z., Wang, H., Li, G., Ye, H. and Liu, B. 2011. Foliar application of chitosan activates artemisinin biosynthesis in *Artemisia annua* L. Industrial Crops and Products. 33: 176-182.

Limpanavech, P., Chaiyasuta, S., Vongpromek, R., Pichyangkura, R., Khunwasi, C., Chadchanwan, S., Lotrakul, P., Bunjongrat, R., Chaidee, A. and Bangyeekhun, T. 2008. Effect of chitosan on floral production, gene expression and anatomical changes in the Dendrobium orchid. Science Horticulture. 116: 65-72.

Mac-Adam, J. W., Nelson, C. J., Sharp, R. E. 1992. Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall fescue: i. spatial distribution of ionically bound peroxidase activity in genotypes differing in length of the elongation zone. Plant Physiology. 99 (3): 872-878.

Mandal, S. 2010. Induction of phenolics, lignin and key defense enzymes in eggplant (*Solanum melongena* L.) roots in response to elicitors. Journal of Biotechnology. 9: 8038-8047.

Mihiretu, H. C., Du Toit, E., Steyn, J. M., Laurie, S. M. and Robbert, S. 2016. Chitosan improved in vitro growth, leaf ultrastructure and acclimatization of micro propagated sweet potato. World Congress on Root and Tuber Crops Nanning, Guangxi, China, January 18-22.

Mondal, M. M. A., Malek, M. A., Puteh, A. B. and Ismail, M. R. 2013. Foliar application of chitosan on growth and yield attributes of mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). Bangladesh Journal of Botany. 42 (1): 179-183.

Pirasteh Anosheh, H., Emam, Y., Ashraf, M. and Foolad, M. R. 2012. Exogenous application of salicylic acid and chlormequat chloride alleviates negative effects of drought stress in wheat. Advanced Studies in Biology. 11: 501-520.

Porcel, R. and Ruiz-Lozano, J. M. 2004. Arbuscular mycorrhizal influence on leaf water potential, solute accumulation, and oxidative stress in soybean plants subjected to drought stress. Journal of Experimental Botany. 55: 1743-1750.

Porras-Soriano, A., Soriano-Martín, M. L., Porras-Piedra, A. and Azcon, R. 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi increased growth, nutrient uptake and tolerance to salinity in olive trees under nursery conditions. Journal of Plant Physiology. 166 (13): 1350-1359.

Pourmohammad, A., Shekari, F. and Soltaniband, V. 2014. Cycocel priming and foliar application affect yield components of rapeseed (*Brassica napus* L.). Cercetări Agronomice în Moldova. 157 (1): 59-69.

Rahimi, A., Jahanbin, Sh., Salehi, A. and Farajee, H. 2017. Changes in content of chlorophyll, carotenoids, phosphorus and relative water content of medicinal plant of borage (*Borago officinails* L.) under the influence of mycorrhizal fungi and water stress. Journal of Biological Sciences. 17: 28-34.

Rajala, A. 2003. Plant growth regulators to manipulate cereal growth in Northern growing conditions. University of Helsinki, Finland. 432 pp.

Ritchie, S. W., Nguyen, H. T. and Haloday, A. S. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Journal of Crops Science. 30: 105-111.

Sarkar, S., Datta, J. and Bandhu, S. 2006. Influence of growth regulators on performance of sesame under varying irrigation levels. Journal of crop and weed. 2 (2): 1-4.

Suarez-Fernandez, M., Marhuenda-Egea, F. C., Lopez-Moya, F., Arnao, M. B., Cabrera-Escribano, F., Nueda, M. J., Gunsé, B. and Lopez-Llorca, L. V. 2020. Chitosan induces plant hormones and defenses in tomato root exudates. Frontier in Plant Science. 11:572087. doi: 10.3389/fpls.2020.572087.

Sheikha, S. A. and Al-Malki, F. M. 2011. Growth and chlorophyll responses of bean plants to chitosan applications. European Journal of Scientific Research. 50 (1): 124-134.

Van, S. N., Minh, H. D. and Anh, D. N. 2013. Study on chitosan nanoparticles on biophysical characteristics and growth of Robusta coffee in green house. Bioctalysis and Agricultural Biotechnology. 2(4): 289-294.

Wang, H, Xiaoa, L., Tonga, J. and Liu, G. 2010. Foliar application of chlorocholine chloride improves leaf mineral nutrition, antioxidant enzyme activity, and tuber yield of potato (*Solanum tuberosum L.*). Scientia Horticulturae. 125: 521-523.

Wu, Q. S. and Xia, R. X. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. Journal of Plant Physiology. 163: 417-425.