

نوع مقاله: مروری

کاربرد کیتوزان روشی نوین جهت افزایش تولید پایدار محصولات کشاورزی

محمدعزیز رضایی^۱، بابک پاساری (نویسنده مسئول)^{۲*}، خسرو محمدی^۳، اسعد رخزادی^۴ و عزت کرمی^۵

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران، azizrezaii@yahoo.com

۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران، b.pasari@iau.ac.ir

۳- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران، khosro.mohammady@gmail.com

۴- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران، asadrokh@yahoo.com

۵- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران، ezzatut81@yahoo.com

تاریخ دریافت: تیر ۱۴۰۴ تاریخ پذیرش: شهریور ۱۴۰۴

Application of chitosan as a new method to increase sustainable production of agricultural products

Mohammad Aziz Rezaie¹, Babak Pasari (Corresponding author)^{2*}, Khosro Mohammadi³, Asad Rokhzadi⁴ and Ezzat Karami⁵

1- Ph.d Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Sa.C., Islamic Azad University, Sanandaj, Iran, azizrezaii@yahoo.com

2- Associate professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Sa.C., Islamic Azad University, Sanandaj, Iran, b.pasari@iau.ac.ir

3- Associate professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Sa.C., Islamic Azad University, Sanandaj, Iran, khosro.mohammady@gmail.com

4- Assistant professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Sa.C., Islamic Azad University, Sanandaj, Iran, asadrokh@yahoo.com

5- Assistant professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Sa.C., Islamic Azad University, Sanandaj, Iran, ezzatut81@yahoo.com

Received: July 2025 Accepted: September 2025

Abstract

Rapid population growth and the increasing need for food make it inevitable to increase agricultural production. At the same time, the use of conventional methods to increase agricultural production, including the use of chemical fertilizers and pesticides in crops, has caused environmental problems, regardless of the high cost. Therefore, in the last few decades, increasing the quantity and quality of crops through environmentally friendly methods has received much attention and emphasis. The use of chitosan, a cationic polysaccharide derived from chitin, is obtained from waste materials from the processing of seafood containing crustaceans such as shrimp and crab, and has recently attracted the attention of researchers. Chitosan increases vegetative growth, increases the quantitative and qualitative yield of crops, reduces drought and salinity stress, repels some pests and diseases, and increases the shelf life and storage of crops and horticultural products after harvest. As a biodegradable and environmentally friendly material, this compound increases the yield of agricultural products by increasing the absorption of nutrients, stimulating germination, increasing photosynthetic pigments, and vegetative growth. Chitosan also increases the resistance of plants to drought stress through antioxidant activity, reduced stomatal density, and reduced transpiration rate. Increasing the quality of agricultural products, including increasing the percentage of oil, protein and carbohydrates, are other benefits of using chitosan in sustainable agriculture.

Keywords: Chitosan, Growth promoter, Stress, Sustainable agriculture, Yield

Iranian Journal of Plant & Biotechnology
Summer 2025, Vol 20, No 2, Pp 1-12

چکیده

رشد سریع جمعیت و نیاز روزافزون به مواد غذایی، ضرورت افزایش تولید محصولات کشاورزی را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. در عین حال به کارگیری روش‌های مرسوم افزایش تولیدات کشاورزی از جمله مصرف کودها و سموم شیمیایی در محصولات زراعی، صرف نظر از هزینه گزاف، سبب بروز مشکلات زیست محیطی گردیده است. لذا در چند دهه اخیر افزایش کمی و کیفی محصولات زراعی به روش‌های سازگار با محیط زیست، بسیار مورد توجه و تاکید قرار گرفته است. کاربرد کیتوزان که یک پلی‌ساکارید کاتیونی و مشتق از کیتین است از مواد زاید حاصل از فرآوری غذاهای دریایی حاوی سخت پوستان از قبیل میگو و خرچنگ حاصل گردیده و اخیراً مورد توجه محققان است. کیتوزان سبب افزایش رشد رویشی، افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان زراعی، کاهش تنش خشکی و شوری، دفع برخی از آفات و بیماری‌ها و افزایش ماندگاری و انبارداری محصولات زراعی و باغی پس از برداشت می‌گردد. این ترکیب به‌عنوان یک ماده قابل تجزیه و دوستدار محیط زیست از طریق افزایش جذب عناصر غذایی، تحریک جوانه‌زنی، افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی و رشد رویشی سبب افزایش عملکرد محصولات کشاورزی می‌گردد. کیتوزان همچنین از طریق فعالیت آنتی‌اکسیدانی و کاهش تراکم روزنه و کاهش میزان تعرق، مقاومت گیاهان را در برابر تنش خشکی افزایش می‌دهد. افزایش کیفیت محصولات کشاورزی از جمله افزایش درصد روغن، پروتئین و کربوهیدرات از سایر مزایای کاربرد کیتوزان در کشاورزی پایدار می‌باشد.

کلمات کلیدی: تنش، عملکرد، کشاورزی پایدار، کیتوزان، محرک رشد

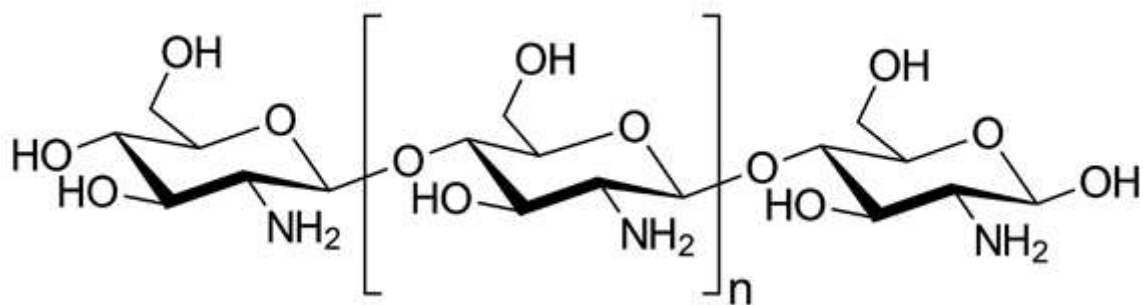
فصلنامه گیاه و زیست فناوری ایران

تابستان ۱۴۰۴، دوره ۲۰، شماره ۲، صص ۱-۱۲

مقدمه و کلیات

افزایش روزافزون جمعیت بشری و در نتیجه لزوم تولید بیشتر محصولات کشاورزی جهت تامین نیاز غذایی مردم، ایجاب می‌نماید که میزان عملکرد گیاهان زراعی و باغی افزایش یابد. از طرف دیگر کاربرد روش‌های مرسوم به زراعی از قبیل: مصرف بی‌رویه کودها و سموم شیمیایی در محصولات زراعی، صرف نظر از هزینه زیاد آن، مشکلات زیست محیطی را نیز به همراه داشته است. لذا امروزه کاربرد تکنیک‌ها و روش‌های افزایش عملکرد کمی و کیفی محصولات زراعی با در نظر گرفتن عدم اثرات سوء بر محیط زیست بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Yokamo *et al.*, 2025). از راهکارهای افزایش ثبات تولید و کاهش خطرات زیست محیطی، بکارگیری ترکیباتی است که مشتق از محیط زیست و به نوعی تجزیه پذیر و قابلیت برگشت به چرخه تولید در محیط زیست را داشته باشند. یکی از این ترکیبات، کیتوزان یا کیتوسان (Chitosan) می‌باشد. ترکیب اصلی این ماده کیتین بوده که یکی از فراوانترین پلی‌ساکاریدهای موجود در طبیعت می‌باشد (Sreethu and Venugopal, 2025). کیتوزان یک موکوپلی‌ساکارید و در شکل طبیعی خود، یک پلیمر خطی از گلوکزآمین با پیوند ۱،۴-گلیکوزیدی (۲-آمینو-۲-دئوکسی-D-گلوکوپیرانوز) است. با این حال، در عمل، معمولاً حاوی بقایای استیل گلوکزآمین (۲-استامیدو-۲-دئوکسی-D-

گلیکوپیرانوز) نیز می‌باشد. اگر غلظت این استیل گلوکزآمین‌ها کمتر از ۵۰ درصد باشد، ماده به عنوان کیتوزان و اگر غلظت ۵۰ درصد یا بیشتر باشد، به عنوان کیتین طبقه‌بندی می‌شود. بر اساس محدوده وزن مولکولی آن، کیتوزان را می‌توان به سه نوع مختلف کیتوزان با وزن مولکولی بالا (بیشتر از ۷۰۰ کیلو دالتون)، کیتوزان با وزن مولکولی متوسط (۷۰۰-۱۵۰ کیلو دالتون) و کیتوزان با وزن مولکولی پایین (کمتر از ۱۵۰ کیلو دالتون)، طبقه‌بندی نمود (Román-Doval *et al.*, 2023). این فرآورده زیستی، ترکیب اصلی دیواره سلولی برخی از جانوران از جمله سخت پوستان بوده و از مواد زائد حاصل از فرآوری غذاهای دریایی مانند میگو، خرچنگ، حشرات، پاتوژن‌های گیاهی و میکروارگانیسم‌ها حاصل می‌گردد (Ye and Lou, 2009). این ماده برای گیاهان زراعی، دام‌ها و انسان بی‌ضرر و از نظر زیستی برگشت‌پذیر و دوستدار محیط زیست بوده و در زمینه‌های مختلف از جمله پزشکی و داروسازی، صنایع و کشاورزی کاربرد دارد (Dzung 2011). در کشاورزی از کیتوزان برای پوشش دادن بذر و افزایش عمر انبارداری میوه، و به عنوان کود جهت تحریک جوانه‌زنی و رشد گیاه و همچنین خواص ضد میکروبی، ضد قارچی و ضد ویروسی استفاده می‌شود (Román-Doval *et al.*, 2023; Gallegos- *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2024). (Morales



شکل ۱- شکل هندسی مولکول کیتوزان

Fig 1- Geometric shape of the chitosan molecule

نمود که محتوی نیتروژن، پتاسیم و همچنین کلروفیل‌های بیشتری در گیاه لوبیا در غلظت کم کیتوزان حادث می‌گردد. Mondal و همکاران (۲۰۱۳) دریافتند که در گیاه لوبیا حداکثر ارتفاع بوته، شاخه و تعداد برگ، سطح برگ، کل ماده خشک، کلروفیل و نیترات ردوکتاز با کاربرد کیتوزان در غلظت ۵۰ میلی‌لیتر بر لیتر حاصل گردید. Dzong و همکاران (۲۰۱۱) دریافتند که کاربرد کیتوزان در غلظت‌های ۰-۸۰ میلی‌گرم بر لیتر محتوای کلروفیل در گیاه قهوه را تا ۱۵/۳۶ درصد افزایش داد. همچنین افزایش وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه، سطح برگ و همچنین محتوی کلروفیل تحت تاثیر کاربرد کیتوزان با غلظت‌های ۰-۳ درصد در گیاه لوبیا گزارش شده است (Sheikha and Al-Malki, 2011). Zeng و Luo (۲۰۱۲) اظهار داشتند که محتوی کلروفیل بطور معنی‌داری کارایی فتوسنتزی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این محققان دریافتند که پرایمینگ بذور گندم توسط کیتوزان با غلظت ۰/۸-۰/۲ گرم بر لیتر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a, b و کاروتنوئید) گیاه را افزایش داد. Boonlertnirun و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که افزایش عملکرد دانه

اثرات مثبت کیتوزان بر رشد و افزایش کمی و کیفی محصولات زراعی و باغی ثابت شده است. در این مقاله به اثرات مثبت کاربرد کیتوزان در کشاورزی که سبب بهبود عملکرد گیاهان می‌گردد، پرداخته می‌شود.

افزایش رشد رویشی و عملکرد: تحریک رشد و افزایش عملکرد تحت تاثیر کاربرد کیتوزان توسط محققان بسیاری به اثبات رسیده است. هرچند تا به حال سازوکار عمل کیتوزان روی رشد گیاهان ناشناخته باقی مانده است. احتمالاً این ترکیب سیگنالی را برای سنتز هورمون‌های گیاهی مانند جبرلین ارسال نموده و رشد و نمو گیاه توسط بعضی مسیرهای مربوط به بیوسنتز اکسین را از طریق مسیر وابسته به تریپتوفان افزایش دهد (Uthairatanakij et al., 2007). به نظر می‌رسد کیتوزان می‌تواند جذب مواد مغذی، به ویژه نیتروژن، که عنصر اصلی در ترکیب ساختار مولکولی کلروفیل است را افزایش دهد. افزایش عملکرد حبوبات به دلیل کاربرد کیتوزان ممکن است به دلیل تأثیر آن در تحریک فرآیندهای فیزیولوژیکی، بهبود رشد رویشی و به دنبال آن انتقال مجدد فتوآسیمیلات‌ها از بافت منبع به بافت مخزن باشد (Abu-Muriefah, 2013). این محقق مشاهده

برنج از طریق محلول‌پاشی کیتوزان با غلظت ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر به دلیل افزایش شاخص سبزی‌نگی یا اسپاد، تعداد خوشه و پنجه در گیاه است. کیتوزان در غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام در گیاه ارکیده دندروبیوم بیان ژن کلروپلاست برگ را تحت تأثیر قرارداد به‌طوری که تغییرات در اندازه و توسعه کلروپلاست عامل تحریک کننده رشد گیاه اعلام گردید (Limpanavech et al., 2008). همچنین افزایش میزان کلروفیل، فتوسنتز، شاخص سطح برگ و در نهایت افزایش عملکرد به میزان ۶۵-۷۶ درصد در ارقام گوجه فرنگی تحت تأثیر محلول‌پاشی با کیتوزان در غلظت‌های ۲۰۰۰-۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر گزارش گردیده است (Reyes-Pérez et al., 2025). افزایش جذب آب و عناصر غذایی ضروری گیاه از طریق پرایمینگ بذور ذرت با کیتوزان در غلظت‌های ۰/۷۵-۰/۲۵ گرم بر لیتر 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 مربوط بوده که در نهایت رشد و عملکرد گیاه ذرت را به ترتیب به میزان ۲۱ و ۱۷ درصد افزایش می‌دهد. طی تحقیقی با محلول‌پاشی کیتوزان با غلظت ۱-۳ در هزار در گیاه گوجه فرنگی نشان داد که در تمامی غلظت‌های مورد استفاده، کیتوزان با تأثیر بر افزایش جذب آب و مواد غذایی و همچنین بهبود فرآیندهای فیزیولوژیکی، رشد رویشی را افزایش داده در نتیجه سبب افزایش مقدار عملکرد و افزایش جذب عناصر غذایی گردید (زندیان و همکاران، ۱۴۰۱). علاوه بر این Van و همکاران (۲۰۱۳) مشاهده نمودند که محلول‌پاشی نانوذرات کیتوزان با غلظت ۱۰

میلی‌گرم بر لیتر در گیاه قهوه منجر به افزایش میزان کلروفیل (۳۰-۵۰ درصد)، افزایش جذب عناصر غذایی ضروری حاوی نیتروژن (۸/۴-۹/۲۷ درصد)، فسفر (۳۰/۳۰-۱۷/۴ درصد) و پتاسیم (۳۰-۴۵ درصد) گردید. Iriti و همکاران (۲۰۱۰) نیز اعلام کردند که پرایمینگ بذور لوبیا با کیتوزان باعث افزایش تعداد دانه و غلاف در گیاه گردید. در تحقیقی دیگر کاربرد کیتوزان به صورت پرایمینگ با غلظت ۱-۰/۲ درصد سبب بهبود صفات جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و شاخص بنیه بذر در گیاه سیاه دانه گردیده است (عرب و همکاران، ۱۴۰۴). Mihiretu و همکاران (۲۰۱۶) اعلام کردند که کیتوزان می‌تواند سرعت رشد و بیوماس سیب زمینی شیرین را افزایش دهد. آن‌ها نتیجه گرفتند که افزایش محتوی کلروفیل و ضخامت کوتیکول برگ و همچنین کاهش تراکم روزنه در سطح بالای برگ سبب سرعت بخشیدن به رشد و ظهور اندام‌های ریشه و ساقه گردیده و در نهایت رشد و عملکرد گیاه افزایش می‌یابد. Mondal و همکاران (۲۰۱۳)، پنج غلظت کیتوزان (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) را مورد بررسی قرار داده و دریافتند که با افزایش غلظت کیتوزان تا ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، تعداد غلاف در بوته به‌طور قابل توجهی افزایش یافت. همچنین، نتیجه‌گیری شد که طول غلاف، تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه در گیاهان تحت تأثیر تیمار با کیتوزان در غلظت‌های ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم بر لیتر افزایش یافت. با این وجود، کلیه اجزای عملکرد در ۱۰۰ پی‌پی‌ام کیتوزان کاهش یافت و بیانگر اثر سمیت آن در غلظت‌های بالاتر بود. این محققان اعلام نمودند که حداکثر عملکرد حاصله

کیتوزان از طریق بستن نسبی روزنه‌ها سبب کاهش تعرق و در نتیجه باعث کاهش اثر منفی تنش خشکی بر کلروفیل و به تبع آن افزایش محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه می‌گردد. طی تحقیقی کمترین تراکم روزنه در سطح بالایی برگ در سیب زمینی شیرین تحت تاثیر کیتوزان مشاهده شد (Mihiretu *et al.*, 2016). بنابراین، کاهش تراکم روزنه می‌تواند منجر به کاهش اتلاف آب در اثر تعرق گردیده و وضعیت آبی گیاهان را بهبود بخشد. طی تحقیقی مشابه کاربرد کیتوزان به عنوان یک محرک رشد زیستی در گیاه عدس توانست تعداد غلاف در بوته، وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد دانه در بوته را به‌طور معنی‌داری بهبود بخشد (Janmohammadi *et al.*, 2014). این محققین پی بردند که کیتوزان می‌تواند اثرات تنش مانند خشکسالی انتهای فصل رشد که در مرحله رشد زایشی بوقوع می‌پیوندد را کاهش دهد. در این حالت سبب افزایش تشکیل غلاف‌ها از طریق افزایش اختصاص عناصر غذایی جذب شده به سمت اندام‌های زایشی می‌گردد. Emami Bistgani و همکاران (۲۰۱۷) در یک مطالعه دو ساله پی بردند که کاربرد کیتوزان با غلظت‌های ۴۰۰-صفر میکرولیتر بر لیتر تحت شرایط سطوح مختلف تنش آبی می‌تواند عملکرد ماده خشک گیاه آویشن را حدود ۲۰-۱۵ درصد افزایش دهد. این محققان اعلام کردند که محلول‌پاشی کیتوزان می‌تواند اثرات نامطلوب تنش کم آبی بر عملکرد را به دلیل افزایش تنظیم اسمزی، خنثی کند. کاربرد کیتوزان با غلظت‌های ۲-صفر گرم در لیتر از طریق کاهش تنش الکترولیت و هیدروژن‌پراکسید و افزایش محتوای نسبی آب برگ باعث بهبود تحمل گیاه مرزه در سطوح

تحت تاثیر کاربرد کیتوزان به دلیل افزایش تولید غلاف در بوته به میزان ۲۷-۲۵ درصد و همچنین افزایش اختصاص ماده خشک به عملکرد اقتصادی بوده است. - **کاهش تنش (خشکی، شوری):** کیتوزان بدلیل فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی توجه زیادی را به خود جلب کرده است. مطالعات متعدد نشان داده است که کیتوزان به‌عنوان یک الیسیتور زیستی می‌تواند رادیکال‌های آزاد OH و O_2^- را از بین ببرد و از DNA محافظت نماید (Harish Prashanth *et al.*, 2007). همچنین طبق بررسی‌های صورت گرفته فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و پلی فنل اکسیداز در ریشه بادمجان تحت تیمار با الیسیتور کیتوزان افزایش یافته است (Mandal, 2010). در مطالعه‌ای دیگر کیتوزان سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز در دو گونه ذرت گردید (Guan *et al.*, 2009). محلول‌پاشی کیتوزان در غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر در گیاه لوبیا چشم بلبلی تحت تاثیر رژیم‌های مختلف تنش کم آبیاری محتوای نسبی آب برگ، فعالیت آنزیم‌های سوپر اکسید دیسموتاز، میزان پرولین و وزن خشک ساقه را افزایش و نشست الکترولیت بین سلولی را کاهش داده است (Alencar *et al.*, 2025). طی آزمایشی دیگر میزان پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز تحت تاثیر محلول‌پاشی با غلظت‌های ۳-۰ درصد کیتوزان در گیاهچه‌های گلرنگ افزایش یافت (Mahdavi *et al.*, 2011). همچنین مطالعات نشان داده است که افزودن کیتوزان با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به محیط کشت گیاه کتان سبب افزایش میزان ترکیبات فنلی می‌شود (Esmaeilzadeh Bahabadi *et al.*, 2012). کاربرد

را نسبت به طیف وسیعی از عوامل بیماریزای خاکزی و اندام‌های هوایی متحمل می‌کند (Hamel and Beaudoin, 2010)، بنابراین کیتوزان به عنوان ابزاری مفید برای پایداری کشاورزی پیشنهاد شده است. این ترکیب یک فعالیت گسترده‌ای در برابر چندین قارچ بیماریزا ایجاد نموده و به‌طور موثر مانع از توسعه آنها در مراحل مختلف چرخه زندگی گیاهان می‌گردد. بیماری‌های قارچی در گیاهان، از طریق ورود میسلیم قارچی به داخل سلول‌ها، باعث از دست رفتن آب گیاه می‌شوند و از این طریق محتوای نسبی آب برگ‌ها را کاهش می‌دهند. طی تحقیقی تیمار گیاه گوجه فرنگی با غلظت‌های ۴-۵/۰ میلی گرم در میلی لیتر کیتوزان در محیط کشت فعالیت ضد قارچی مشاهده گردید به طوری که علاوه بر این تاثیر، باعث افزایش ارتفاع و افزایش وزن ریشه و اندام‌های هوایی گیاه گردید (Jabnoun Khiareddine et al., 2015). تحقیقات نشان می‌دهد که کیتوزان به دلیل ماهیت پلی کاتیونی آن که به وزن مولکولی و درصد داستیلاسیون بستگی دارد، رشد فیتوپاتوژن‌ها را مهار می‌کند. این ترکیب علاوه بر خواص ضد قارچی، به دلیل تحریک هورمونهای گیاهی و محرک زیستی میکروارگانیسم‌های مفید، رشد گیاهان را بهبود می‌بخشد (Gallegos-Morales et al., 2022). در گیاه برنج کیتوزان فعالیت ضد قارچی را در برابر عامل بیماریزای غلاف برنج *Rhizoctonia solani*، افزایش داد (Liu et al., 2012). در گیاه لوبیا چشم بلبلی نیز کیتوزان با غلظت‌های ۶-۴ میلی گرم بر لیتر در محیط کشت از بروز بیماری *Fusarium oxysporum* ممانعت نمود (Berger et al., 2016).

مختلف تنش خشکی گردیده است (علیزاده و همکاران، ۱۴۰۱). گزارش شده است که افزایش مقاومت گیاه پنیروک نسبت به سطوح مختلف تنش کم آبی تحت تاثیر محلول پاشی کیتوزان با غلظت ۱ میلی گرم در لیتر با افزایش فعالیت سیستم دفاع آنتی اکسیدانی گیاه از طریق کاهش پراکسیداسیون لیپیدها، حفظ تعادل آبی سلول، حفظ محتوی نسبی آب برگ و پایداری ساختار سلول میسر می‌گردد (مزارعی و همکاران، ۱۳۹۸). González و همکاران (۲۰۱۵) افزایش ارتفاع و ماده خشک برنج از طریق پرایمینگ بذور با غلظت‌های ۵۰۰-صفر میلی گرم بر لیتر کیتوزان در شرایط تنش شوری را به دلیل کاهش مالون دی آلدئید، افزایش سطح پرولین و تقویت فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز نسبت دادند. افزایش فعالیت‌های آنزیمی پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز در گیاهچه‌های گندم تیمار شده با کیتوزان تحت تنش شوری نیز مشاهده شده است (Ma et al., 2012).

- کاهش شیوع و خسارت آفات و بیماری‌ها:
کیتوزان یک ترکیب نویدبخش برای کنترل بیماری‌ها است. 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. کیتوزان نه تنها اثراتی در برابر قارچ‌های بیماری‌زا دارد، بلکه بطور کلی دارای اثرات تقویت کننده رشد است. کیتوزان سبب کاهش هدررفت آب، مهار تبادل گاز، کاهش اتلاف مواد مغذی و جلوگیری از رشد میکروارگانیسم در سطح میوه می‌شود (Kerch, 2015) تیمار با کیتوزان گیاهان

افزایش داده است (زندیان و همکاران، ۱۴۰۱). افزایش کیفیت بذر لوبیا توسط کیتوزان با غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر در شرایط تنش و بدون تنش ثابت شده است (Abu-Muriefah, 2013). این محقق، افزایش میزان جذب عناصر غذایی، پروتئین و کربوهیدرات دانه را تحت تاثیر کاربرد کیتوزان گزارش نمود. افزایش میزان پروتئین در گیاه سیاه دانه تحت تنش کادمیوم تحت تاثیر تیمار پرایمینگ بذر با کیتوزان در غلظت ۱-۲ درصد مشاهده گردیده است (عرب و همکاران، ۱۴۰۴). کاربرد غلظت‌های کم کیتوزان در گلرنگ، غلظت پروتئین محلول را تحت تنش کمبود آب بهبود داده است (Mahdavi *et al.*, 2011). همچنین محلول پاشی با غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر کیتوزان، بیوسنتز آرتیمیسینین (Artemisinin) را در گیاه در *Artemisia annua* افزایش داده است (Lei *et al.*, 2012). مشاهده گردیده است که محلول پاشی میوه خیار با کیتوزان در غلظت‌های ۱/۵-۱ درصد ضمن جلوگیری از کاهش وزن، حفظ مواد جامد محلول، اسیدیته قابل تیتر، pH، سفتی بافت، کلروفیل پوست، اسیدآسکوربیک و بهبود کیفیت حسی میوه خیار می‌تواند سبب افزایش عمر انبارداری و حفظ کیفیت میوه‌های خیار به مدت طولانی‌تر گردد (فکوری‌زاده و همکاران، ۱۴۰۲).

افزایش ماندگاری و عمر انبارداری محصولات کشاورزی: در طی چند دهه اخیر کاربرد ترکیبات مشتق از نفت در نگهداری و بسته‌بندی محصولات غذایی نگرانی‌های زیست محیطی فراوانی را به همراه داشته است. لذا تلاش‌های زیادی جهت جایگزینی آنها با ترکیبات زیستی دارای خواص ضد میکروبی و ضد قارچی صورت گرفته است (Putra *et al.*, 2025).

افزایش کیفیت محصول: کیتوزان به عنوان الیسیتور زیستی کارآمد جهت افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی متعددی مورد تأیید قرار گرفته است (Cheng *et al.*, 2006). بهبود کیفیت میوه از طریق افزایش تعداد میوه در بوته، افزایش طول و قطر و همچنین وزن تک میوه در تیمار کیتوزان گزارش شده است (Mondal *et al.*, 2013). محلول پاشی کیتوزان در غلظت‌های ۲۰۰-۵۰۰ میلی گرم بر لیتر در ارقام گوجه فرنگی سبب بهبود کیفیت میوه از طریق افزایش میزان پلی فنل‌ها، ظرفیت آنتی اکسیدان‌ها، فلاونوئیدها، کارئوتنوئیدها و ویتامین ث گردیده است (Reyes-Pérez *et al.*, 2025). در یک تحقیق دیگر با کاربرد کیتوزان با وزن‌های مختلف ملکولی مشاهده گردید که حداکثر وزن گل فریزیا توسط کیتوزان در وزن مولکولی ۵۰ و ۹۷۰ کیلو دالتون و در غلظت ۰/۵ درصد بدست آمد. این محققین دلیل آن را افزایش تعداد برگ‌ها، شاخه‌ها و گل‌ها اعلام نمودند (2014 Salachna and Zawadzińska). اثر مثبت کیتوزان در کاهش اثرات نامطلوب شرایط تنش کم آبی بر ماده خشک و عملکرد روغن به افزایش تنظیم اسمزی از طریق تجمع پرولین و کاهش سطح لیپید پراکسیداز نسبت داده شده است (Emami *et al.*, 2017). Van Bistgani و همکاران (۲۰۱۳) افزایش رشد گیاهچه‌های قهوه توسط محلول پاشی کیتوزان با غلظت ۱-۳ در هزار را به افزایش میزان کلروفیل (۵۰-۳۰٪)، جذب عناصر غذایی ضروری از قبیل: نیتروژن (۲۷-۸٪/۹)، فسفر (۳۰/۴ - ۱۷/۳٪) و پتاسیم (۴۵-۳۰٪) مرتبط دانستند. کاربرد کیتوزان میزان فسفر، سدیم، نیتروژن و ویتامین ث را در گوجه فرنگی نیز

خاصیت ضد میکروبی محلول کیتوزان ماحصل ایجاد یک پوشش نازک روی خوراکی‌هایی نظیر میوه و سبزیجات است که به صورت یک فیلم محافظ ضدباکتری و ضدقارچ مانع از فساد محصولات کشاورزی می‌شود. محلول‌پاشی یا غوطه‌ور نمودن محصولات کشاورزی در محلول کیتوزان سبب تشکیل پوشش نیمه‌تراوا بر روی محصولات گردیده و عبور و مرور گازها را به داخل میوه کاهش می‌دهد. بنابراین با کاهش عبور مولکول‌های بخار آب از اتلاف آب محصول که یکی از مشکلات اساسی محصولات برداشت شده است، جلوگیری می‌کند. همچنین از طریق کاهش سرعت عبور اکسیژن و دی‌اکسیدکربن باعث ایجاد یک اتمسفر تغییر یافته در داخل محصول می‌شوند که نتیجه آن کاهش میزان تنفس و تولید اتیلن و بطور کلی کاهش سرعت رسیدن و پیری محصول است. کیتوزان با تشکیل لایه نیمه نفوذی روی پوست میوه، میزان تنفس میوه را کاهش و در نتیجه افزایش زمان نگهداری و کیفیت میوه را افزایش می‌دهد. محلول‌پاشی کیتوزان با غلظت $1/5$ درصد دوره نگهداری میوه سیب را با کنترل بار میکروبی و حفظ کیفیت میوه افزایش داده است (پاشازاده و همکاران، ۱۴۰۰). کیتوزان به عنوان یک ترکیب طبیعی سالم و به دلیل دارا بودن قابلیت خوراکی، می‌تواند جایگزین مناسبی برای پوشش‌های متداول حاصل از منابع نفتی می‌باشد و به دستیابی به تولید ارگانیک و کاهش مصرف مواد شیمیایی خطرناک کمک می‌کند. کیتوزان علاوه بر قابلیت پوشش‌دهی به محصول با فعال کردن سیستم‌های مقاومت به آفات و بیماری‌ها و نیز اثر میکروب‌کشی مستقیم از توسعه پوسیدگی‌ها در

محصولات برداشت شده در طول دوره نگهداری و حمل و نقل جلوگیری می‌کند. نتایج نشان داده است که کیتوزان عمر انبارداری را افزایش و پوسیدگی میوه‌های گرمسیری مهم تجاری مانند میوه‌های پاپایا و انبه را کاهش می‌دهد (Hewajulige et al., 2011). محلول‌پاشی کیتوزان بر روی میوه توت فرنگی در مراحل مختلف رشد، سبب تولید میوه‌هایی با ماندگاری بیشتر می‌گردد (Saavedra et al., 2011). محلول‌پاشی کیتوزان با غلظت‌های $0/3-0/6$ درصد سبب بهبود سفتی بافت، ویتامین ث، شاخص طعم، مواد فنولی و مقدار مواد جامد محلول بیشتر و افزایش ماندگاری میوه توت‌فرنگی گردیده است (قاسمی ارشد و همکاران، ۱۴۰۲). از طرف دیگر محلول‌پاشی کیتوزان با غلظت‌های $0/1-0/2$ درصد جهت افزایش ماندگاری گل شاخه بریده آنتوریوم با توجه به سازگار بودن آن با محیط‌زیست مورد تاکید قرار گرفته است (رحمانی و همکاران، ۱۳۹۹).

نتیجه‌گیری کلی

گرایش به سمت روش‌های نوین افزایش کمی و کیفی تولید محصولات کشاورزی در راستای نیل به کشاورزی پایدار توجهات را به سمت کاربرد روش‌ها و ترکیبات دوستدار محیط زیست جلب نموده است. کیتوزان به عنوان یک فرآورده فرعی صنعت آبریان با ویژگی‌های منحصر به فرد پتانسیل قابل توجهی را در جهت افزایش محصولات زراعی و باغی نشان داده است. کیتوزان با افزایش جذب عناصر غذایی، تحریک فرآیند سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی و هورمون‌های گیاهی سبب تحریک رشد و عملکرد گیاهان می‌گردد. این ترکیب با تشکیل یک لایه پوششی ضمن کاهش

۵) علیزاده، ع.، مقدم، م.، اصغرزاده، ا. و م.، محمودی سורستانی. ۱۴۰۱. ارزیابی کاربرد کیتوزان بر ویژگی‌های رشدی، بیوشیمیایی و میزان اسانس مرزه تحت سطوح مختلف رطوبت خاک. تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۵(۲): ۴۲۷-۴۴۲.

۶) فکوری زاده، س.، دانشور، م. ح. و م. ر.، زارع بوانی. ۱۴۰۲. کاربرد پس از برداشت کیتوزان و پوترسین بر حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری خیار (*Cucumis sativus* L.) مجله علوم و صنایع غذایی ایران، ۲۰(۱۴۴): ۱۱۲-۱۳۰.

۷) قاسمی ارشد، ز.، احتشام نیا، ع.، حزباوی، ع.، مومینوند، ح. و م.، سلیمانی @اقدام. ۱۴۰۲. بررسی اثر محلول پاشی قبل از برداشت کیتوسان و پوشش دهی تیمول بر کیفیت و عمر انبارمانی توت فرنگی رقم پاروس. پژوهش‌های تولید گیاهی، ۳۰(۴): ۲۱-۴۰.

۸) مزارعی، ا.، سیروس مهر، ع. ر.، بروشکی، م.، بابایی، ز. و ع. ا.، محمودی. ۱۳۹۸. اثر دور آبیاری و محلول پاشی کیتوزان بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی پنیرک معمولی (*Malva sylvestris*). علوم زیستی گیاهی، ۱۱(۲): ۷۷-۱۰۲.

9) Abu-Muriefah, S.S. 2013. Effect of chitosan on common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants grown under water stress conditions. *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science*, 3(6): 192-199.

10) Alencar, R. Sd., Viana, P. MdO., Dias, G.F., Bonou, S.I., Ribeiro, L.D., Lourenço, De., Araujo, Y.M., Cavalcante, I.E., Almeida, H. Ad., Viégas, P.R.A. and A.Sd, Melo. 2025. Chitosan mitigates water stress in cowpea plants through modulation of growth, homeostasis, and antioxidant activities. *Frontiers in Plant Science*, 16:1591920. doi: 10.3389/fpls.2025.1591920.

تعرق و مصرف آب، گیاهان را در مواجهه با تنش خشکی مقاوم می‌نماید. همچنین محلول پاشی و غوطه‌ور نمودن محصولات کشاورزی در محلول رقیق شده کیتوزان سبب ممانعت از اتلاف آب از سطح میوه و نفوذ عوامل بیماریزا به درون محصولات و در نتیجه افزایش ماندگاری و انبارداری محصولات می‌گردد. با توجه به موارد فوق شناسایی روش‌های کم هزینه جهت استخراج کیتوزان و معرفی این ترکیب در کشاورزی بسیار حائز اهمیت است.

منابع

۱) پاشازاده، ب.، الهامی راد، ا. ح.، حاج نجاری، ح. و پ.، شرایعی. ۱۴۰۰. بررسی اثر پوشش کیتوزان و عصاره دارچین بر خصوصیات کیفی، فیزیکوشیمیایی و میکروبی میوه سیب طی نگهداری در سردخانه. نشریه فراآوری و نگهداری مواد غذایی، ۱۳(۴): ۲۳-۴۲.

۲) رحمانی، ا.، سلگی، م.، خالقی، ع. ر. و ع.، میرزاخانی. ۱۳۹۹. افزایش عمر گلجایی گل شاخه بریده آنتوریوم با استفاده از کیتوزان. دوفصلنامه فنآوری تولیدات گیاهی، ۱۲(۱): ۱-۱۵.

۳) زندیان، ف.، فرنیاء، ا.، شیخ السالمی، م. و ع. رضایی زاد. ۱۴۰۱. بررسی کاربرد کیتوزان بر عملکرد و برخی ویژگی‌های کیفی گوجه فرنگی. مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی)، ۵۲(۳): ۲۸۵-۲۹۸.

۴) عرب، ا.، آهنگر، ل. و ع.، بیابانی. ۱۴۰۴. تاثیر پرایمینگ بذر کیتوزان بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و خصوصیات بیوشیمیایی گیاهچه‌های سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) تحت تنش کادمیوم. پژوهشنامه

اصلاح گیاهان زراعی، ۱۷(۱): ۱۴۲-۱۵۸.

- Inca lp-5 in saline medium. *Cultivos Tropicales*, 36(1): 136-142.
- 19) Guan, Y.J.J., Hu, X., Wang, J. and C.X, Shao. 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.
- 20) Hamel, L.P. and N, Beaudoin. 2010. Chitooligosaccharide sensing and downstream signaling: Contrasted outcomes in pathogenic and beneficial plant-microbe interactions. *Planta*, 232: 787-806.
- 21) Harish Prashanth, K.V., Dharmesh, K.S., Jagannatha, R. and R.N, Tharanathan. 2007. Free radical-induced chitosan depolymerized products protect calf thymus DNA from oxidative damage. *Carbohydrat*, 342: 190-195.
- 22) Hewajulige, I.G.N., Wilson Wijeratnam, R.S., Perera, M.G.D.S. and S.A, Fernando. 2015. Extending storage life of commercially important tropical fruits using bio-waxes. *Acta Horticulture*, 1091: 283-290.
- 23) Iriti, M., Giulia, C., Sara, V., Ilaria, M., Soave, C., Fico, G. and F, Faoro. 2010. Chitosan-induced ethylene-independent resistance does not reduce crop yield in bean. *Biological Control*, 54: 241-247.
- 24) Jabnoun-Khiareddine, H., El-Mohamedy, R.S.R., Abdel-Kareem, F., Aydi Ben Abdallah, R., Gueddes-Chahed, M. and M, Daami-Remadi. 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.
- 25) Janmohammadi, M., Mostafavi, H., Kazemi, H., Mahdavinia, G.H.R. and N, Sabaghnia. 2014. Effect of chitosan application on the performance of lentil genotypes under rainfed conditions. *Acta Technologica Agriculturae*, 4: 86-90.
- 26) 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.
- 27) Limpanavech, P., Chaiyasuta, S., Vongpromek, R., Pichyangkura, R., Khunwasi, C., Chadchanwan, S., Lotrakul, P., Bunjongrat, R., Chaidee, A. and T, Bangyeekhun. 2008.
- 11) Berger, L.R.R., Stamford, N.P., Willadino, L.G., Laranjeira, D., de Lima, M.A.B., Malheiros, S.M.M., de Oliveira, W.J. and T.C.M, Stamford. 2016. Cowpea resistance induced against *Fusarium oxysporum* f. sp. *Tracheiphilum* by crustaceous chitosan and by biomass and chitosan obtained from *Cunninghamella elegans*. *Biology Control*, 92: 45-54.
- 12) Boonlertnirun, S., Suvannasara, R., Promsomboon, P. and K, Boonlertnirun. 2012. Chitosan in combination with chemical fertilizer on agronomic traits and some physiological responses relating to yield potential of rice (*Oryza sativa* L.). *Research Journal of Biological Sciences*, 7(2): 64-68.
- 13) Cheng, X., Zhou, U. and X, Cui. 2006. Improvement of phenylethanoid glycosides biosynthesis in *Cistanchedeserticolacell* suspension cultures by chitosan elicitor. *Journal of Biotechnology*, 121: 253-260.
- 14) Dzung, N.A., Khanh, V.T.P. and T.T, Dzung. 2011. Research on impact of chitosan oligomers on bio-physical characteristics, growth, development and drought resistance of coffee. *Carbohydrate Polymers*, 84: 751-755.
- 15) Emami Bistgani, Z., Siadat, S.A., Bakhshandeh, A., Ghasemi Pirbalouti, A. and M, Hashemi. 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.
- 16) Esmaeilzadeh Bahabadi, S., Sharifi, M., Safaie, N. and M, Behmanesh. 2012. Enhancement of lignin and phenylpropanoid compounds production by chitosan in *Linum album* cell culture. *Journal of Plant Biology*, 11: 13-26.
- 17) Gallegos-Morales, G., Sánchez-Yáñez, J.M. and F.D, Hernández-Castillo,. 2022. Chitosan in the protection of agricultural crops against phytopathogens agents. *Horticulture International Journal*, 6(4):168-175. DOI: 10.15406/hij.2022.06.00261
- 18) González, L.M., Guerrero, Y.R., Rodríguez, A.F. and M.N, Vázquez. 2015. Effect of seed treatment with chitosan on the growth of rice (*Oryza sativa* L.) seedlings cv.

- G. and A, Juárez-Maldonado. 2025. Chitosan application improves the growth and physiological parameters of tomato crops. *Horticulturae*, 11, 878.
- 37) Rojas-Pirela, M., Carillo, P., La'rez-Vela'squez, C. and G, Romanazzi. 2024. Effects of chitosan on plant growth under stress conditions: similarities with plant growth promoting bacteria. *Frontire in Plant Science*, 15:1423949. doi: 10.3389/fpls.2024.1423949.
- 38) Román-Doval, R., Torres-Arellanes, S.P., Tenorio-Barajas, A.Y., Gómez-Sánchez, A. and A.A, Valencia-Lazcano. 2023. Chitosan: Properties and its application in agriculture in context of molecular weight. *Polymers*, 15(13): 2867. doi: 10.3390/polym15132867.
- 39) Saavedra, G.M., Figueroa, N.E., Poblete, L.A., Cherian, S. and C.R, Figueroa. 2016. Effects of preharvest applications of methyl jasmonate and chitosan on postharvest decay, quality and chemical attributes of *Fragaria chiloensis* fruit. *Food Chemistry*, 190: 448-453.
- 40) Salachna, P. and A, Zawadzińska. 2014. Effect of chitosan on plant growth, flowering and corms yield of potted freesia. *Journal of Ecological Engineering*, 15(3): 97-102.
- 41) Sheikha, S.A. and F.M, Al-Malki. 2011. Growth and chlorophyll responses of bean plants to chitosan applications. *European Journal of Scientific Research*, 50(1): 124-134.
- 42) Sreethu, M.J. and V, Venugopal. 2025. Chitosan nanoparticles as biocompatible tool in agriculture. *International Journal of Environment and Climate Change*, 15(2):123-137.
- 43) Uthairatanakij, A., Teixeira da Silva, J.A. and K, Obsuwan. 2007. Chitosan for improving orchid production and quality. *Orchid Science and Biotechnology*, 1(1): 1-5.
- 44) Van, S.N., Minh, H.D. and D.N, Anh. 2013. Study on chitosan nanoparticles on biophysical characteristics and growth of Robusta coffee in green house. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 2(4): 289-294.
- 45) Wang, X., He, M., Wang, X., Liu, S., Luo, L., Zeng, Q., Wu, Y., Zeng, Y., Yang, Z. and G, Sheng G. 2024. Emerging nanochitosan for sustainable agriculture. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(22): 12261. <https://doi.org/10.3390/ijms252212261>.
- Effect of chitosan on floral production, gene expression and anatomical changes in the Dendrobium orchid. *Science Horticulture*, 116: 65-72.
- 28) Lei, C., Ma, D., Pu, G., Qiu, X., Du, Z., Wang, H., Li, G., Ye, H. and B, Liu. 2011. Foliar application of chitosan activates artemisinin biosynthesis in *Artemisia annua* L. *Industrial Crops and Products*, 33: 176-182.
- 29) Liu, H., Tian, W.X., Li, B., Wu, G.X., Ibrahim, M., Tao, Z.Y., Wang, Y.L., Xie, G.L., Li, H.Y. and G.C, Sun. 2012. Antifungal effect and mechanism of chitosan against the rice sheath blight pathogen, *Rhizoctonia solani*. *Biotechnology Letter*, 34: 2291-2298.
- 30) Ma, L., Li, Y., Yu, C., Wang, Y., Li, X., Li, N., Chen, Q.Y. and N, Bu. 2012. Alleviation of exogenous oligochitosan on wheat seedlings growth under salt stress. *Protoplasma*, 249(2): 393- 398.
- 31) Mahdavi, B., Modarres Sanavy, S.A.M., Aghaalikhani, M., Sharifi, M. and A, Dolatabadian. 2011. Chitosan improves osmotic potential tolerance in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) seedlings. *Journal of Crop Improvement*, 25(6): 728-741.
- 32) 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.
- 33) Mihiretu, H.C., Du Toit, E., Steyn, J.M., Laurie, S.M. and S, Robbert. 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.
- 34) Mondal, M.M.A., Malek, M.A., Puteh, A.B. and M.R, Ismail. 2013. Foliar application of chitosan on growth and yield attributes of mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). *Bangladesh Journal of Botany*, 42(1): 179-183.
- 35) Putra, P.S.U., Adhika, D.R., Asri, L.A.T.W. and S, Suprijadi. 2025. Performance enhancement of chitosan for food packaging: impact of additives and nanotechnology. *Journal of Renewable Materials*, 13(6): 1043-1070.
- 36) Reyes-Pérez, J.J., Llerena-Ramos, L.T., Tezara, W., Reynel, V., Hernández-Montiel, L

- 46) Ye, Y.P. and Y.Q. Lou. 2009. Effect of chitosan with different concentration on drought resistance of sugarcane under drought stress. *In Henan Agricultural Sciences*, 11: 47-50.
- 47) Yokamo, S., Wang, B., Ishfaq, M., Huan, W., Irfan, M., Wang, Y., Nkoh, J., Lu, D., Chen, X. and H, Wang. 2025. Comprehensive assessment of the agronomic, environmental and economic benefits of localized fertilizer placement in China's intensive cereal production systems. *Agricultural Systems*, 228: 104372. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2025.104372>.
- 48) Zeng, D. and X, Luo. 2012. Physiological effects of chitosan coating on wheat growth and activities of protective enzyme with drought tolerance. *Open Journal of Soil Science*, 2: 282-288.