

Research Paper

The Role of Potassium Phosphite in Enhancing the Activity of Defense Enzymes in Rice Infected by Sheath Blight

Milad Habibi Daronkolaei¹, Mohammad Ali Tajick Ghanbary² , Valiollah Babaeizad³, Heshmatollah Rahimian⁴ and Ali Dehestani⁵

- 1- Researcher, Department of Plant Protection, Faculty of crop Sciences, Sari University of Agriculture and Natural Resources, Sari, Iran
- 2- Associate Professor, Department of Plant Protection, Faculty of crop Sciences, Sari University of Agriculture and Natural Resources, Sari, Iran, (Corresponding author: m.tajick@sanru.ac.ir)
- 3- Associate Professor, Department of Plant Protection, Faculty of crop Sciences, Sari University of Agriculture and Natural Resources, Sari, Iran
- 4- Professor, Department of Plant Protection, Faculty of crop Sciences, Sari University of Agriculture and Natural Resources, Sari, Iran
- 5- Associate Professor, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

Received: 13 May, 2024

Accepted: 12 August, 2024

Extended Abstract

Background: Rice (*Oryza sativa* L.) serves as the primary food source for over half of the world's population. The disease caused by *Rhizoctonia solani* has significantly impeded rice production, resulting in substantial economic losses and posing a threat to food security. Currently, the most suitable method to control this disease is the use of commercial fungicides. However, the use of fungicides results in increased costs and harm to the environment and human health. Therefore, the utilization of biocompatible chemical compounds is regarded as an innovative and effective strategy for integrated product management and combating various stressors. One such compound is potassium phosphite, which works to reduce disease by directly affecting the pathogen and indirectly stimulating the host's defense responses.

Methods: The seeds of local Tarom and Khazar cultivars were prepared and disinfected to produce identical, pathogen-free seedlings. Subsequently, the seeds were germinated and transferred to plastic pots filled with sterile soil. Finally, the pots were moved to the growth chamber. Some of the seedlings were treated with potassium phosphite while others served as the positive control. All the plants were then infected with *R. solani*. Leaf tissues from the treated and control seedlings were sampled at 0, 24, 48, 72, and 96 hours after infection. The leaf extract was then obtained to measure enzyme activity, including catalase (CAT), polyphenol oxidase (PPO), and superoxide dismutase (SOD). Disease severity and enzyme activity were studied in a factorial design using a completely randomized design with two cultivars, Tarom (resistant) and Khazar (susceptible), and two treatments of potassium phosphite and *R. solani*, each with three replications.

Results: The results of the analysis of variance showed that the effects of the treatments were significant in all sources of changes in the severity of the disease and the activity of PPO and SOD enzymes. However, the effects of the treatments were not significant in the treatment number for the CAT enzyme activity but were significant in other sources. The severity of the disease was more pronounced in the control plants than in the plants treated with potassium phosphite, and in the sensitive variety (Khazar) than in the resistant variety (Tarom). Additionally, in both the control and treated plants, the disease progressed more by the 10th day after infection than on the 21st day. Enzyme activity was significant in both the resistant (Tarom) and sensitive (Khazar) varieties, as well as between the two potassium phosphite treatments in the presence of the pathogen. The highest level of enzyme activity was associated with the Tarom variety and potassium phosphite treatment in the presence of the pathogen while the lowest level was linked to the Khazar variety and *R. solani* treatment. The CAT enzyme activity increased in both treatments and cultivars at 24 h after infection, and then gradually decreased at 48 and 72 h. At

96 hours, however, it reached the highest level of activity compared to the initial time. The PPO enzyme activity increased in all time periods while the activity of SOD increased gradually, reaching its peak at 72 h, which then decreased at 96 h.

Conclusion: CAT catalyzes the conversion of hydrogen peroxide into water and oxygen, protecting the plant against oxidative damage caused by pathogens. In diseased plants, the presence of potassium phosphite led to an increase in enzyme activity compared to infected control plants. This suggests that potassium phosphite enhances enzyme activity in plants to combat pathogens. PPOs catalyze the oxidation of phenol to quinone, creating unfavorable conditions for pathogen development. It induces resistance in potassium phosphite treatment, leading to increased quinone production and creating a toxic environment for the pathogen. The spread of the disease decreased compared to the treatment of *R. solani*. SOD plays a crucial role in plant physiology by serving as signals in transmission pathways and as a defense against cell damage caused by excessive oxygen production. In plants treated with potassium phosphite, the enzyme exhibited maximum activity at 72 h. In the control plants, this peak occurred at 96 h after contamination. This suggests that potassium phosphite has reduced oxidative stress, thereby impeding the progression of the disease and its associated symptoms. In this study, the activities of CAT, PPO, and SOD enzymes were lower in the sensitive variety (Khazor) than in the resistant variety (Tarom). This suggests that the level of reactive oxygen species was higher in the Khazor variety, leading to an increase in the spread and symptoms of the disease. *R. solani* induces cell death in plants by secreting enzymes and toxins. Potassium phosphite inhibits cell death by enhancing the activity of antioxidant enzymes, such as CAT, PPO, and SOD, thereby impeding the progression of the fungus. Therefore, potassium phosphite can be used as a biocompatible chemical compound instead of fungicides in the integrated management of the disease.

Keywords: Antioxidant Enzymes, Fungicides, Induced Resistance, Reactive oxygen species, *R. solani*

How to Cite This Article: Habibi Daronkolaei, M., Tajick Ghanbary, M. A., Babaeizad, V., Rahimian, H., & Dehestani, A. (2024). The Role of Potassium Phosphite in Enhancing the Activity of Defense Enzymes in Rice Infected by Sheath Blight. *J Crop Breed*, 16(4), 89-98. DOI: [10.61186/jcb.16.4.89](https://doi.org/10.61186/jcb.16.4.89)



مقاله پژوهشی

نقش فسفیت پتاسیم در فعالیت آنزیم‌های دفاعی برنج مبتلا به سوختگی غلاف

میلاذ حبیبی درونکلایی^۱، محمدعلی تاجیک قنبری^۲، ولی‌اله بابایی‌زاد^۳، حشمت‌اله رحیمیان^۴ و علی دهستانی^۵

- ۱- پژوهشگر، گروه گیاهپزشکی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
 ۲- دانشیار، گروه گیاهپزشکی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران (m.tajick@sanru.ac.ir)
 ۳- دانشیار، گروه گیاهپزشکی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
 ۴- استاد، گروه گیاهپزشکی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
 ۵- دانشیار، پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری تبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۵/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۲/۲۴

صفحه: ۸۹ تا ۹۸

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: برنج (*Oryza sativa* L.) منبع غذایی بیش از نیمی از جمعیت جهان را فراهم می‌کند. بیماری ناشی از *Rhizoctonia solani* تولید برنج را به شدت محدود کرده و منجر به زیان اقتصادی شدید شده و امنیت غذایی را تهدید کرده است. در حال حاضر استفاده از قارچ‌کش‌های تجاری مناسب‌ترین روش برای کنترل این بیماری است اما استفاده از قارچ‌کش‌ها باعث افزایش هزینه و آسیب‌های زیست محیطی و بهداشتی می‌شود. بر این اساس استفاده از ترکیبات شیمیایی زیست‌سازگار یک استراتژی نوآورانه، در مدیریت یکپارچه محصول و در برابر طیف وسیعی از تنش‌ها مؤثر است. از جمله این مواد شیمیایی زیست‌سازگار، می‌توان به فسفیت‌ها اشاره کرد که از طریق اثر مستقیم بر پاتوژن و غیرمستقیم با تحریک پاسخ‌های دفاعی میزبان موجب کاهش بیماری می‌شود.

مواد و روش‌ها: بذور رقم‌های طارم محلی و خزر تهیه و به‌منظور تولید گیاهچه‌های همسان و عاری از پاتوژن ضد عفونی گردیدند سپس بذور را جوانه‌دار کرده و به گلدان‌های پلاستیکی حاوی خاک استریل منتقل و گلدان‌ها به اتاقک رشد انتقال یافتند. تعدادی از گیاهچه‌ها با فسفیت پتاسیم تیمار و تعدادی به‌عنوان کنترل مثبت در نظر گرفته شدند. سپس تمام بوته‌ها با *R. solani* آلوده گردیدند. نمونه‌برداری از بافت برگ گیاهچه‌های تیمار شده و شاهد به‌ترتیب در بازه‌های زمانی ۰، ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت بعد از آلودگی انجام گرفت و نمونه‌برداری در بازه زمانی ساعت ۱۲-۱۰ روز انجام گرفت. سپس عصاره برگ استخراج و برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیمی (کاتالاز، پلی‌فنول اکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز) استفاده شد. شدت بیماری و فعالیت آنزیمی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در دو رقم طارم (مقاوم) و خزر (حساس) و دو تیمار فسفیت پتاسیم و *R. solani* با سه تکرار انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات تیمارها در تمامی منابع تغییرات در میزان شدت بیماری و فعالیت آنزیم‌های PPO و SOD معنی‌دار بوده ولی در میزان فعالیت آنزیم CAT اثرات تیمارها در تیمار-رقم غیر معنی‌دار ولی در منابع دیگر معنی‌دار بود. میزان شدت بیماری در گیاهان شاهد (تحت تنش بیمارگر) نسبت به گیاهان تیمار شده با فسفیت پتاسیم و در رقم حساس (خزر) نسبت به رقم مقاوم (طارم) بیشتر و معنی‌دار بود و همچنین در گیاهان شاهد و تیمار شده پیشرفت بیماری ۲۱ روز بعد از آلودگی نسبت به روز یازدهم بیشتر بود. فعالیت آنزیم‌ها در رقم مقاوم (طارم) و حساس (خزر) و بین دو تیمار فسفیت پتاسیم در حضور بیمارگر معنی‌دار بود. بیشترین میزان فعالیت آنزیم‌ها مربوط به رقم طارم محلی و تیمار فسفیت پتاسیم در حضور بیمارگر و کمترین آن مربوط به رقم خزر و تیمار *R. solani* بوده است. فعالیت آنزیم کاتالاز در هر دو تیمار و رقم در ۲۴ ساعت بعد از آلودگی افزایش داشته سپس در ساعت ۴۸ و ۷۲ به‌تدریج کم شده ولی در ساعت ۹۶ بیشترین میزان فعالیت را نسبت به زمان صفر داشته است. فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز در تمام بازه‌های زمانی روند افزایشی داشته است و فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز به‌تدریج اضافه شده و در ساعت ۷۲ به بیشترین میزان خود رسید و پس از آن در ساعت ۹۶ کاهش یافت.

نتیجه‌گیری: کاتالاز، تبدیل هیدروژن پراکسید به آب و اکسیژن را کاتالیز می‌کند، بنابراین گیاه را در برابر آسیب‌های اکسیداتیو بیمارگرها محافظت می‌نماید. در گیاهان بیمار در حضور فسفیت پتاسیم فعالیت آنزیم به نسبت به گیاهان شاهد آلوده افزایش پیدا کرد که می‌توان نتیجه گرفت فسفیت پتاسیم باعث فعالیت بیشتر آنزیم در گیاهان در برابر پاتوژن می‌شود. پلی‌فنل اکسیدازها اکسیداسیون فنل را به کینون کاتالیز می‌کند و شرایط را برای توسعه پاتوژن نامساعد می‌کند و در تیمار فسفیت پتاسیم با القای مقاومت باعث تولید بیشتر کینون‌ها شده و محیط را برای پاتوژن سمی کرده در نتیجه میزان گسترش بیماری نسبت به تیمار *R. solani* کمتر شده است. سوپر اکسید دیسموتاز عملکرد مهمی به‌عنوان سیگنال‌هایی در مسیرهای انتقال بوده و به‌عنوان محرک آسیب سلولی در هنگام تولید بیش از حد اکسیژن نقش مهمی در فیزیولوژی گیاه دارد. در گیاهان تیمار شده با فسفیت پتاسیم حداکثر فعالیت آنزیم در ساعت ۷۲ ولی در گیاهان شاهد ۹۶ ساعت بعد از آلودگی بود که می‌توان نتیجه گرفت فسفیت پتاسیم باعث کاهش تنش اکسیداتیو شده و از پیشرفت بیماری و علائم جلوگیری کرده است. در این پژوهش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پلی‌فنول اکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز در رقم حساس (خزر) نسبت به رقم (مقاوم) پایین‌تر بوده که نشان دهنده این است در رقم خزر سطح گونه‌های اکسیژن فعال بیشتر بوده در نتیجه گسترش و علائم بیماری بیشتر است. *R. solani* با تولید آنزیم و توکسین باعث مرگ سلولی در گیاه می‌شود ولی فسفیت پتاسیم با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز، پلی‌فنول اکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز از مرگ سلولی جلوگیری می‌کند در نتیجه مانع پیش‌روی قارچ می‌شود. بنابراین می‌توان از فسفیت پتاسیم به‌عنوان ترکیب شیمیایی زیست‌سازگار به‌جای قارچ‌کش‌ها در مدیریت یکپارچه بیماری استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، قارچ‌کش‌ها، گونه‌های فعال اکسیژن، مقاومت القایی، *R. solani*

مقدمه

می‌کند (Pan et al., 1999; Zou et al., 2000; Mohammadi & Atashpanjeh, 2022). هیف‌های این قارچ نزدیک سطح میزبان رشد کرده و این هیف‌ها با تشکیل آپرسوریوم باعث ایجاد بالشتک‌ها شده و عفونت ایجاد می‌کند (Marshall & Rush, 1980). در حال حاضر استفاده از قارچ‌کش‌های تجاری مناسب‌ترین روش برای کنترل این بیماری است (Kawasaki et al., 1999) اما استفاده از

برنج (*Oryza sativa* L.) منبع غذایی بیش از نیمی از جمعیت جهان را فراهم می‌کند. بیماری ناشی از *Rhizoctonia solani* تولید برنج را به شدت محدود کرده و منجر به زیان اقتصادی شدید شده و امنیت غذایی را تهدید کرده است (Sayari et al., 2014). *R. solani* یک قارچ نکروتروف، خاک‌زاد و دامنه میزبانی وسیعی دارد و بیشتر حبوبات را آلوده

برگ‌های سیب‌زمینی را قبل از تلقیح *P. infentanse* با فسفیت پتاسیم تیمار دادند، نتایج نشان داد فسفیت پتاسیم باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های SOD، CAT، POD و APx در مقایسه با گروه شاهد شده است (Mohammadi et al., 2019). هدف پژوهش حاضر بررسی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاه برنج تیمار شده با فسفیت پتاسیم و برنج شاهد (تحت تنش بیمارگر) پس از آلودگی با قارچ *R. solani* است.

مواد و روش‌ها تیمار آزمایشی

مطالعه حاضر براساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار و ۳ فاکتور که فاکتور اول شامل فسفیت پتاسیم و *R. solani*، فاکتور دوم شامل رقم طارم (مقاوم) و خزر (حساس) و فاکتور سوم زمان‌های نمونه‌برداری شامل ۰، ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت پس از تلقیح بیمارگر بود، انجام شد. میزان پیشرفت بیماری با استفاده از نرم‌افزار Image J سنجش و نتایج مقایسه میانگین آنزیم‌ها و پیشرفت بیماری براساس آزمون LSD در سطح ۰/۰۱ درصد توسط نرم‌افزار آماری SAS 9.1 انجام گرفت. نمودارهای میزان فعالیت آنزیم‌ها و پیشرفت بیماری با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم گردید.

کشت گیاهچه‌های همسان

بذور رقم‌های طارم محلی و خزر از پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان تهیه شد. به‌منظور تولید گیاهچه‌های همسان و کاملاً عاری از هرگونه پاتوژن بذور پس از ضدعفونی ۱ دقیقه‌ای در الکل ۷۰ درصد با آب مقطر شستشو، سپس ۳۰ دقیقه در هیپوکلریت سدیم تجاری ۱ درصد تیمار و سه‌بار با آب مقطر شستشو داده شدند. سپس بذور روی کاغذ فیلتر مرطوب در شرایط تاریکی در دمای آزمایشگاه گذاشته و جوانه‌دار کرده، گیاهچه‌های سپس بذور جوانه‌دار شده طارم محلی و خزر هر کدام به ۱۰ گلدان‌های پلاستیکی (دارای ابعاد ۱۳۰×۱۳۵×۱۳۵) که با خاک شالیزار استریل شده پر بود، منتقل و گلدان‌ها به اتاقک رشد (با تناوب نوری ۱۶ ساعت نور با دمای ۲۲ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۶۵ درصد و ۸ ساعت تاریکی با دمای ۱۸ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۷۰ درصد) انتقال یافتند.

تیمار گیاهچه‌ها با فسفیت پتاسیم (Kphi)

۰/۵۵ گرم اسید فسفرو (H_3PO_3) و ۰/۵ گرم هیدروکسید پتاسیم (KOH) در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب حل و سپس با استفاده از محلول KOH، pH محلول روی ۶/۵ تنظیم گردید. سپس ۱۰ میلی‌لیتر فسفیت پتاسیم رقیق شده ۱ گرم در یک لیتر آب بر روی ۵ گلدان که شامل ۵۰ بوته برای هر رقم بود، اسپری انجام گرفت. اسپری یک‌بار و ۴۸ ساعت قبل از تلقیح قارچ *R. solani* صورت گرفت (Mohammadi et al., 2019).

تلقیح عامل بیماری به گیاه

برای تلقیح قرص آگار به قطر ۰/۵ سانتی‌متر از محیط کشت تازه *R. solani* به‌وسیله چوب‌پنبه سوراخ‌کن از پایین در زیر غلاف دوم برگ ۴۰ بوته طارم محلی و ۴۰ بوته خزر گذاشته شد و با پلاستیک پوشانده شد. پس از ظهور علائم بیماری

قارچ‌کش‌ها باعث افزایش هزینه و آسیب‌های زیست‌محیطی و بهداشتی می‌شود (Ahn et al., 2007). بر این اساس استفاده از ترکیبات شیمیایی زیست‌سازگار که مقاومت در برابر بیماری گیاه را از طریق مکانیسم مقاومت القایی^۱ افزایش می‌دهند، یک استراتژی نوآورانه، در مدیریت یکپارچه محصول (Altamiranda et al., 2008; Andreu et al., 2010) و در برابر طیف وسیعی از تنش‌ها مؤثر است (Bari & Jones, 2009; Lim et al., 2013). از جمله مواد شیمیایی زیست‌سازگار که باعث ایجاد مقاومت می‌شوند، می‌توان به فسفیت‌ها اشاره کرد که به‌صورت برگ‌ری روی محصولات باغی مختلف استفاده می‌شوند (Cohen et al., 1990; Beckers & Conrath, 2007). فسفیت‌ها نمک‌هایی هستند که از اسید فسفرو یا اسید فسفونیک (H_3PO_3) ترکیب شده با عناصری مانند کلسیم، پتاسیم، منگنز، منیزیم یا روی به‌دست می‌آیند. از ویژگی‌های مفید این ترکیبات، دوز کمتر مصرف نسبت به قارچ‌کش‌های سنتی، خطر کمتر برای سلامتی انسان یا محیط‌زیست و از نظر اقتصادی هم مقرون به‌صرفه هستند (Conrath et al., 2006; Cooke et al., 2011). بررسی‌ها نشان داده که فسفیت پتاسیم باعث پاسخ شدید و سریع پاسخ‌های دفاعی در برابر طیف وسیعی از تنش‌ها در گیاه می‌شود (Hamiduzzaman et al., 2005).

فسفیت‌ها از طریق اثر مستقیم بر پاتوژن و غیرمستقیم با تحریک پاسخ‌های دفاعی میزبان موجب کاهش بیماری می‌شود (Deliopoulos et al., 2010). اثرات مستقیم شامل مهار رشد میسلیوم و کاهش یا تغییر متابولیسم پاتوژن و غیرمستقیم شامل تحریک دفاع گیاه با مکانیسم‌هایی مانند افزایش تولید فیتوالکسین‌ها و گونه‌های فعال اکسیژن^۱، القای پروتئین‌های مقاومت^۲ و تقویت دیواره سلولی است (Pilbeam et al., 2011; Eshraghi et al., 2011).

آنزیم‌های کاتالاز (Catalase (CAT)، آسکوربات پراکسیداز (Ascorbate peroxidase (APx)، پلی‌فنول اکسیداز (Polyphenol oxidase (PPO)، سوپراکسید دیسموتاز (Superoxide oxidase (SOD) و گلووتاتیون پراکسیداز (Glutathione peroxidase (GSH) و مولکول‌های مختلف از جمله گلووتاتیون، پرولین، آسکوربات و کاروتنوئید (Carotenoid (Car) نقش مهمی در حفظ تعادل بین تولید و خاموش کردن ROS در سلول‌های گیاهی دارند (Lee et al., 2015; Debnath et al., 2018). این آنزیم‌ها تحمل گیاه به پاتوژن را افزایش می‌دهد (Lobato et al., 2011). در آزمایشی KPhi را روی غده‌های سیب‌زمینی و برگ تیمار کردند سپس غده‌های به‌دست آمده از این گیاهان مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نشان داده شد KPhi باعث ایجاد پاسخ‌های دفاعی در غده می‌شود و این واکنش با تغییرات ساختاری و بیوشیمیایی مرتبط است (Olivieri et al., 2012). در مطالعه‌ای تاثیر فسفیت پتاسیم بر گیاهان خیار تلقیح شده با *Pythium ultimum* var. *ultimum* ارزیابی شد. نتایج نشان داد، غلظت پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز در گیاهان تیمار شده با فسفیت پتاسیم در مقایسه با گیاهان شاهد افزایش می‌یابد (Mofidnakhai et al., 2016). در پژوهشی

محلول را به آرامی invert کرده و تغییرات جذب آن‌ها در طول موج ۲۴۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفوتومتر مدل CamSpec Ltd. - M501 Single Beam Scanning UV/VIS Spectrophotometer خوانده شد (Aebi, 1984).

اندازه‌گیری آنزیم پلی‌فنول اکسیداز (PPO)

۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی با ۲ میلی‌لیتر از بافر فسفات (۵۰ میلی‌مولار) و ۵۰۰ میکرولیتر کاتکول (۰/۰۵ مولار) مخلوط و تغییرات جذب آن‌ها در طول موج ۴۲۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفوتومتر قرائت شد (Liu et al., 2005).

سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD)

برای هر خوانش SOD، ۱۰۰۰ میکرولیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار که دارای EDTA ۱/۵ میلی‌مولار، متیونین ۱۰ میلی‌مولار و نیتروبلو تترازولیوم کلراید ۷۵ میکرومولار بود را با ۱۰۰ میکرولیتر ریپوفلاوین ۱ میکرومولار و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره برگ‌ری را در cuvette ریخته سپس چندبار cuvette را invert و پس از آن به مدت ۱۰ دقیقه، در زیر یک لامپ فلورسنت ۱۵ وات به فاصله ۳۵ سانتی‌متر قرار داده سپس لامپ خاموش و تغییرات جذب مخلوط واکنش توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۵۶۰ نانومتر خوانده شد (Beyer & Fridovich, 1987).

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس در جدول ۱ نشان داد که اثرات تیمارها در تمامی منابع تغییرات در میزان شدت بیماری معنی‌دار بود. معنی‌دار بودن اثرات متقابل به این معنی است که در پژوهش حاضر تیمارها به صورت مستقل از هم عمل نمی‌کنند.

چسب برداشته شد (Park et al., 2008). گروهی از بوته‌ها هیچ‌گونه تلقیح پاتوژن صورت نگرفت که به عنوان تیمار شاهد استفاده گردید.

نمونه‌برداری

نمونه‌برداری از دو برگ انتهایی گیاهچه‌های تیمار شده و شاهد به ترتیب در بازه‌های زمانی ۰، ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت بعد از تیمار به وسیله قیچی انجام گرفت و نمونه‌برداری در بازه زمانی ساعت ۱۰-۱۲ روز انجام گرفت. نمونه‌های برگ‌ری پس از انتقال به لوله‌های فالتون به سرعت در نیتروژن مایع فرو برده و سپس به فریزر با دمای ۸۰- درجه سلسیوس منتقل شدند.

ارزیابی شدت بیماری

بعد از تلقیح، به مدت ۲۴ روز باز دیده‌های مرتب انجام و علائم در روزهای یازدهم و بیست و یکم بررسی و عکس‌برداری شد. شدت بیماری براساس میزان نکروز شدن بافت بود که به وسیله نرم‌افزار ImageJ اندازه‌گیری شد.

مطالعه فعالیت آنزیمی

استخراج عصاره برگ

ابتدا نمونه‌ها در ازن مایع پودر، سپس ۰/۱ گرم بافت پودر شده با ۱/۸ میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH ۶/۸) با استفاده از دستگاه ورتکس به خوبی مخلوط گردید. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سلسیوس با دور rpm ۱۲۰۰۰ سانتریفوژ و فاز بالایی به عنوان عصاره جدا و به ویال جدیدی انتقال سپس برای نگهداری به فریزر با دمای ۸۰- درجه سلسیوس منتقل شدند.

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT)

به ۲۵ میکرولیتر عصاره برگ‌ری، ۳ میلی‌لیتر بافر فسفات (۵۰ میلی‌مولار) حاوی H₂O₂ (۵ میلی‌مولار) اضافه سپس چندبار

جدول ۱- تجزیه واریانس شدت بیماری گیاه برنج در پاسخ به قارچ *R. solani*

Table 1. Analysis of variance of severity of disease rice seedlings in response to *R. solani*

میانگین مربعات Mean Square	درجه آزادی DF	منابع تغییرات Sources of changes
6.1529**	1	تیمار Treatment
105.1858**	1	زمان Time
5.1580**	1	رقم Cultivar
2.8607**	1	تیمار×زمان Timar×Time
0.0469**	1	تیمار×رقم Timar×Cultivar
0.6834**	1	زمان×رقم Time×Cultivar
0.0878**	1	تیمار×زمان×رقم Timar×Time×Cultivar
0.0034	16	خطای آزمایش Experimental error
1.7253		ضریب تغییرات CV

ns عدم معنی‌داری و ** معنی‌داری در سطح یک درصد

ns: not significant and **: = P < 0.01

و ۴). در گیاهان شاهد و تیمار شده پیشرفت بیماری ۲۱ روز بعد از آلودگی نسبت به روز یازدهم بیشتر و معنی‌دار بود (جدول ۲).

میزان شدت بیماری در گیاهان شاهد نسبت به گیاهان تیمار شده با فسفیت پتاسیم و در رقم حساس (خزر) نسبت به رقم مقاوم (طارم) شدت بیماری بیشتر و معنی‌دار بود (جدول ۳)

جدول ۲- مقایسه میانگین شدت بیماری در زمان‌های مختلف پس از آلودگی با *R. solani* بر اساس LSD

Table 2. The comparison of the average rate severity of disease in the different sampling times after pollution by *R. solani* based on LSD values

شدت بیماری severity of disease	زمان Time	تیمار Treatment
1.15 ^g	11	طارم- شاهد (بیمار)
5.57 ^b	21	Tarom- Infected control
1.74 ^e	11	خزر- شاهد (بیمار)
7.07 ^a	21	Khazar- Infected control
0.79 ^h	11	طارم- فسفیت پتاسیم
4.07 ^d	21	Tarom- KPhi
1.45 ^f	11	خزر- فسفیت پتاسیم
5.16 ^c	21	Khazar- KPhi

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند

The meanings of the same letters in each column not have a significant different

جدول ۳- مقایسه میانگین بین تیمارها در شدت بیماری بر اساس LSD

Table 3. Average comparison between treatments severity of disease based on LSD values

شدت بیماری severity of disease	تیمار Treatment
3.88 ^a	ریزوکتونیا <i>R. solani</i>
2.87 ^b	فسفیت پتاسیم KPhi

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند

The meanings of the same letters in each column not have a significant difference

جدول ۴- مقایسه میانگین بین رقم‌ها در شدت بیماری بر اساس LSD

Table 4. Average comparison between cultivar severity of disease based on LSD values

شدت بیماری severity of disease	رقم Cultivar
3.85 ^a	خزر Khazar
2.90 ^b	طارم Tarom

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند

The meanings of the same letters in each column not have a significant difference



شکل ۱- مقایسه شدت بیماری سوختگی غلاف در گیاهان شاهد و تیمار شده با فسفیت پتاسیم

Figure 1. The severity of sheath blight disease in control and treatment by Phosphite potassium plant compared

آلودگی فعالیت کاتالاز در گیاهان شاهد و تیمار شده با فسفیت پتاسیم افزایش و در ادامه فعالیت این آنزیم کاهش یافت که می‌توان به فعالیت دفاعی گیاه مرتبط دانست تا غلظت‌های اضافی H_2O_2 را تحمل کند (Farahani et al., 2016) و دوباره در ساعت ۹۶ فعالیت آنزیم افزایش یافت که احتمالاً مربوط به توکسین‌ها و آنزیم‌های قارچ بوده که به‌عنوان الیستور عمل نموده و عاملی برای تحریک شدن آنزیم کاتالاز شده است

نتایج تغییرات آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در ارقام برنج

کاتالاز (CAT) یک آنزیم تترامریک حاوی آهن است که تبدیل H_2O_2 به H_2O و O_2 را کاتالیز می‌کند بنابراین گیاه را در برابر پراکسیداسیون غشا و آسیب‌های اکسیداتیو در هنگام حمله بیمارگرها محافظت کرده و در درک سیگنال نیز نقش دارد (Mittler, 2002; Nie et al., 2015; Liu et al., 2015). CAT به‌طور عمده در پراکسی زوم‌های برگ، لپه، ریشه و غیره وجود دارد (Su et al., 2014). ۲۴ ساعت بعد از

پتاسیم (به‌سبب تولید بیشتر کینون فضا برای پاتوژن نامساعدتر است) کمتر شده که رئیسی و همکاران (Reisi et al., 2022) نیز به‌همین نتیجه دست یافته بودند.

در یک بررسی ۲۰ رقم گوجه‌فرنگی را به باکتری *Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria* مشخص شد در ارقام مقاوم میزان فعالیت آنزیم PPO و برخی آنزیم‌های دیگر بالاتر است (Kavitha & Umesha, 2008). در این پژوهش نیز فعالیت این آنزیم در رقم مقاوم (طارم) نسبت به رقم حساس (خزر) بیشتر بوده است (جدول ۷).

سوپراکسید دیسموتاز (SOD) از خانواده متالوآنزیم است که با تغییر شکل رادیکال‌های سوپراکسید، آن‌را به اکسیژن مولکولی (O_2) و پراکسید هیدروژن (H_2O_2) کاتالیز می‌کنند. SOD عملکرد مهمی به‌عنوان سیگنال داشته و نقش مهمی در فیزیولوژی گیاه دارد (del Río et al., 2018). در نهال‌های آفتابگردان میزان SOD بعد از تنش زیستی (*Plasmopara halstedii*) و غیرزیستی (دمای بالا و پایین و زخم مکانیکی) به‌میزان قابل‌توجهی افزایش یافت (Fernández-Ocaña et al., 2011). در بررسی موندال و همکاران فعالیت SOD و کیتیناز در گیاه برنج پس از تلقیح *R. solani*، افزایش پیدا کرد (Mondal et al., 2012). بالا بودن فعالیت این آنزیم هم در گیاهان شاهد و هم در گیاهان تیمار شده با فسفیت پتاسیم نشان دهنده این است که آنزیم SOD در تعامل *R. solani* با برنج آنزیم مهمی است. در گیاهان تیمار شده با فسفیت پتاسیم حداکثر فعالیت آنزیم در ساعت ۷۲ ولی در گیاهان شاهد ۹۶ ساعت بعد از آلودگی بود (شکل ۲) که می‌توان نتیجه گرفت فسفیت پتاسیم باعث کاهش تنش اکسیداتیو شده و از پیشرفت بیماری و علائم جلوگیری کرده است که با یافته‌های محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2019) همخوانی دارد. درخشان و همکاران (Derakhshan et al., 2021) نشان دادند آنزیم SOD در ارقام مقام بیشتر بیان می‌شوند. در این پژوهش نیز فعالیت آنزیم SOD در رقم مقاوم طارم محلی نسبت به خزر به‌طور معنی‌داری بیشتر بود (جدول ۷).

(شکل ۲). در گیاهان تلقیح شده با قارچ فعالیت کاتالاز در رقم مقاوم (طارم) به‌میزان قابل‌توجهی بیشتر از رقم حساس (خزر) است (جدول ۷) که می‌توان نتیجه گرفت فعالیت پایین این آنزیم در رقم حساس از عدم کارایی این آنزیم مقاومتی در کاهش سطح ROS در طول مراحل آلودگی با بیمارگر دانست که موجب گسترش بیمارگر در گیاه شده است که با نتایج سو و همکاران مطابقت دارد (Su et al., 2014). همچنین در گیاهان بیمار در حضور فسفیت پتاسیم فعالیت آنزیم به‌نسبت معنی‌داری نسبت به گیاهان شاهد آلوده افزایش پیدا کرد (جدول ۶) که نشان دهنده این است که فسفیت پتاسیم باعث فعالیت بیشتر آنزیم در گیاهان در برابر پاتوژن می‌گردد که با نتایج رئیسی و همکاران مطابقت دارد (Reisi et al., 2022).

پلی‌فنل اکسیدازها (PPOs) گروهی از آنزیم‌های حاوی مس هستند که اکسیداسیون فنل را به کینون کاتالیز می‌کند (Oliveira et al., 2011). کینون مولکول‌های بسیار واکنش‌پذیری هستند که می‌توانند تحت واکنش‌های ثانویه غیرآنزیمی در تشکیل ملانین نقش داشته باشد (Friedman, 1996). همچنین پلی‌فنول اکسیداز از سدهای اولیه دفاعی می‌باشد که باعث تسریع اکسیداسیون فنل‌ها به رادیکال‌های آزاد شده و با مولکول‌های بیولوژیکی واکنش داده و شرایط را برای توسعه پاتوژن نامساعد می‌کند (Jockusch, 1966). نتایج تحقیقی نشان داد فعالیت‌های PPO (phenyle alanin amonylyase) PAL و پراکسیداز به‌طور قابل‌توجهی در غده‌های زخمی و تلقیح شده با باکتری‌های *P. carotovorum*, *Pectobacterium atrosepticum* subsp. *Brasiliensis* & *Dickeya* spp. (Ngadze et al., 2012). در این تحقیق فعالیت PPO به‌تدریج در گیاهان تیمار شده با Kphi و شاهد به‌تدریج افزایش پیدا کرده و در ساعت ۹۶ پس از آلودگی به بیشترین مقدار خود رسید. در تمامی زمان‌ها مقدار فعالیت این آنزیم در برنج‌های تیمار شده با Kphi نسبت به برنج‌های شاهد بیشتر بوده است (شکل ۲)، در نتیجه میزان گسترش بیماری در حضور فسفیت

جدول ۵- تجزیه واریانس فعالیت‌های آنزیمی دفاعی گیاه برنج در پاسخ به قارچ *R. solani*

Table 5. Analysis of variance for activity of defense enzymes of rice seedlings in response to <i>R. solani</i>			درجه آزادی DF	منابع تغییرات Sources of changes
سوپر اکسید دیسموتاز SOD	پلی فنول اکسیداز PPO	کاتالاز CAT		
398.9197**	4.5375**	5.8593**	1	تیمار Treatment
191.2079**	2.4957**	0.6097**	4	زمان Time
68.4160**	2.6460**	2.3641**	1	رقم Cultivar
33.8764**	0.9398**	0.0343**	4	تیمار×زمان Timar×Time
0.0183*	0.2232**	0.0020**	1	تیمار×رقم Timar×Cultivar
5.5033**	0.0870**	0.1586**	4	زمان×رقم Time×Cultivar
11.1394**	0.0483**	0.0856**	4	تیمار×زمان×رقم Timar×Time×Cultivar
0.0048	0.0008	0.0006	40	خطای آزمایش Experimental error
0.7272	2.5990	1.9329		ضریب تغییرات CV

ns: not significant, *: $p < 0.05$ and **: $p < 0.01$

** معنی‌داری در سطح پنج درصد، * معنی‌داری در سطح یک درصد

جدول ۶- مقایسه میانگین بین تیمارها در آنزیم‌های SOD و PPO .CAT

Table 6. Average comparison between treatments CAT, PPO and SOD enzymes

تیماز Treatment	کاتالاز CAT	پلی فنل اکسیداز PPO	سوپر اکسید دیسموتاز SOD
فسفیت پتاسیم Kphi	1.67 ^a	1.39 ^a	11.36 ^a
ریزوکونیا <i>R. solani</i>	1.05 ^b	0.84 ^b	6.21 ^b

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند

The meanings of the same letters in each column not have a significant difference

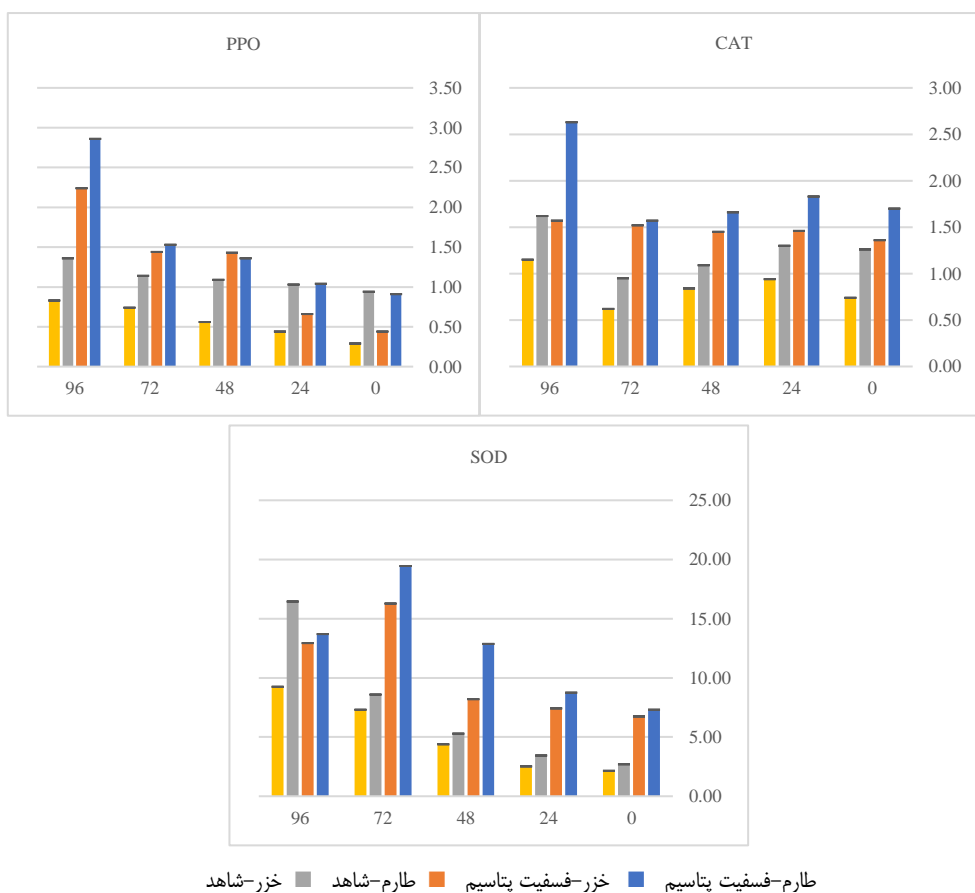
جدول ۷- مقایسه میانگین بین رقم‌ها در آنزیم‌های SOD و PPO .CAT

Table 7. Average comparison between cultivar CAT, PPO and SOD enzymes

رقم Cultivar	کاتالاز CAT	پلی فنل اکسیداز PPO	سوپر اکسید دیسموتاز SOD
طارم Tarom	1.56 ^a	1.33 ^a	9.85 ^a
خزر Khazar	1.16 ^b	0.91 ^b	7.72 ^b

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند

The meanings of the same letters in each column not have a significant difference



شکل ۲- ارزیابی میزان تغییرات آنزیم کاتالاز، پلی فنول اکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز در دو رقم طارم محلی و خزر
Figure 2. Evaluation of the rate of catalase, polyphenol oxidase and superoxide dismutase enzyme changes in two rice cultivars, Tarom and Khazar

جولوگیری می‌کند در نتیجه مانع پیشروی قارچ می‌شود. بنابراین می‌توان از فسفیت پتاسیم به‌عنوان ترکیب شیمیایی زیست‌سازگار به‌جای قارچ‌کش‌ها در مدیریت یکپارچه بیماری استفاده کرد.

نتیجه‌گیری کلی

R. solani با تولید آنزیم و توکسین باعث ضعف سیستم دفاعی در گیاه می‌شود ولی فسفیت پتاسیم با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی CAT، PPO و SOD از مرگ سلولی

References

- Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. *Methods in Enzymology*, 105, 121-6. doi: 10.1016/s0076-6879(84)05016-3.
- Ahn, I. P., Kim, S., Lee, Y. H., & Suh, S. C. (2007). Vitamin B1-induced priming is dependent on hydrogen peroxide and the *NPR1* gene in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 143(2), 838-848.
- Altamiranda, E. A. G., Andreu, A. B., Daleo, G. R., & Olivieri, F. P. (2008). Effect of β -aminobutyric acid (BABA) on protection against *Phytophthora infestans* throughout the potato crop cycle. *Australasian Plant Pathology*, 37, 421-427.
- Andreu, A. B., Caldiz, D. O., & Forbes, G. A. (2010). Phenotypic expression of resistance to *Phytophthora infestans* in processing potatoes in Argentina. *American Journal of Potato Research*, 87, 177-187.
- Bari, R., & Jones, J. D. (2009). Role of plant hormones in plant defence responses. *Plant Molecular Biology*, 69, 473-488.
- Beckers, G. J., & Conrath, U. (2007). Priming for stress resistance: from the lab to the field. *Current Opinion in Plant Biology*, 10(4), 425-431.
- Beyer Jr, W. F., & Fridovich, I. (1987). Assaying for superoxide dismutase activity: some large consequences of minor changes in conditions. *Analytical Biochemistry*, 161(2), 559-566.
- Cohen, Y., Eyal, H., & Hanania, J. (1990). Ultrastructure, autofluorescence, callose deposition and lignification in susceptible and resistant muskmelon leaves infected with the powdery mildew fungus *Sphaerotheca fuliginea*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 36(3), 191-204.
- Conrath, U., Beckers, G. J., Flors, V., García-Agustín, P., Jakab, G., Mauch, F., ... & Mauch-Mani, B. (2006). Priming: getting ready for battle. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 19(10), 1062-1071.
- Cooke, L. R., Schepers, H. T. A. M., Hermansen, A., Bain, R. A., Bradshaw, N. J., Ritchie, F., ... & Nielsen, B. J. (2011). Epidemiology and integrated control of potato late blight in Europe. *Potato Research*, 54, 183-222.
- Debnath, B., Irshad, M., Mitra, S., Li, M., Rizwan, H. M., Liu, S., ... & Qiu, D. (2018). Acid rain deposition modulates photosynthesis, enzymatic and non-enzymatic antioxidant activities in tomato. *International Journal of Environmental Research*, 12, 203-214.
- Deliopoulos, T., Kettlewell, P. S., & Hare, M. C. (2010). Fungal disease suppression by inorganic salts: a review. *Crop Protection*, 29(10), 1059-1075.
- Derakhshan, A., Babaeizad, V., Panjehkeh, N., & Taheri, A. (2020). Study of biochemical and molecular changes of Iranian rice cultivars in interaction with bacterial pathogen *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* causes leaf blight disease. *Journal of Crop Breeding*, 12(36), 77-89. [In Persian]
- Eshraghi, L. E., Anderson, J., Aryamanesh, N., Shearer, B., McComb, J., Hardy, G. S., & O'Brien, P. A. (2011). Phosphite primed defence responses and enhanced expression of defence genes in *Arabidopsis thaliana* infected with *Phytophthora cinnamomi*. *Plant Pathology*, 60(6), 1086-1095.
- Farahani, A. S., Taghavi, S. M., Afsharifar, A., & Niazi, A. (2016). Changes in expression of pathogenesis-related gene 1, pathogenesis-related gene 2, phenylalanine ammonia-lyase and catalase in tomato in response to *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*. *Journal of Plant Pathology*, 525-530.
- Fernández-Ocaña, A., Chaki, M., Luque, F., Gómez-Rodríguez, M. V., Carreras, A., Valderrama, R., ... & Barroso, J. B. (2011). Functional analysis of superoxide dismutases (SODs) in sunflower under biotic and abiotic stress conditions. Identification of two new genes of mitochondrial Mn-SOD. *Journal of Plant Pathology*, 168(11), 1303-1308.
- Friedman, M. (1996). Food browning and its prevention: an overview. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(3), 631-653.
- Hamiduzzaman, M. M., Jakab, G., Barnavon, L., Neuhaus, J. M., & Mauch-Mani, B. (2005). β -Aminobutyric acid-induced resistance against downy mildew in grapevine acts through the potentiation of callose formation and jasmonic acid signaling. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 18(8), 819-829.
- Jockusch, H. (1966). The role of host genes, temperature and polyphenoloxidase in the necrotization of TMV infected tobacco tissue. *Journal of Phytopathology*, 55(2), 185-192.
- Kavitha, R., & Umesha, S. (2008). Regulation of defense-related enzymes associated with bacterial spot resistance in tomato. *Phytoparasitica*, 36, 144-159.
- Kawasaki, T., Henmi, K., Ono, E., Hatakeyama, S., Iwano, M., Satoh, H., & Shimamoto, K. (1999). The small GTP-binding protein Rac is a regulator of cell death in plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(19), 10922-10926.
- Lee, J., Bricker, T. M., Lefevre, M., Pinson, S. R., & Oard, J. H. (2006). Proteomic and genetic approaches to identifying defence-related proteins in rice challenged with the fungal pathogen *Rhizoctonia solani*. *Molecular Plant Pathology*, 7(5), 405-416.
- Lee, S., Lee, H. J., Jung, J. H., & Park, C. M. (2015). The *Arabidopsis thaliana* RNA-binding protein FCA regulates thermotolerance by modulating the detoxification of reactive oxygen species. *New Phytologist*, 205(2), 555-569.
- Lim, S., Borza, T., Peters, R. D., Coffin, R. H., Al-Mughrabi, K. I., Pinto, D. M., & Wang-Pruski, G. (2013). Proteomics analysis suggests broad functional changes in potato leaves triggered by phosphites and a complex indirect mode of action against *Phytophthora infestans*. *Journal of Proteomics*, 93, 207-223.

- Liu, H., Jiang, W., Bi, Y., & Luo, Y. (2005). Postharvest BTH treatment induces resistance of peach (*Prunus persica* L. cv. Jiubao) fruit to infection by *Penicillium expansum* and enhances activity of fruit defense mechanisms. *Postharvest Biology and Technology*, 35(3), 263-269.
- Liu, Y., Yao, Y., Hu, X., Xing, S., & Xu, L. (2015). Cloning and allelic variation of two novel catalase genes (SoCAT-1 and SsCAT-1) in *Saccharum officinarum* L. and *Saccharum spontaneum* L. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 29(3), 431-440.
- Lobato, M. C., Machinandiarena, M. F., Tambascio, C., Dosio, G. A., Caldiz, D. O., Daleo, G. R., ... & Olivieri, F. P. (2011). Effect of foliar applications of phosphite on post-harvest potato tubers. *European Journal of Plant Pathology*, 130, 155-163.
- Machinandiarena, M. F., Lobato, M. C., Feldman, M. L., Daleo, G. R., & Andreu, A. B. (2012). Potassium phosphite primes defense responses in potato against *Phytophthora infestans*. *Journal of Plant Physiology*, 169(14), 1417-1424.
- Marshall, D. S., & Rush, M. C. (1980). Infection cushion formation on rice sheaths by *Rhizoctonia solani*. *Phytopathology*, 70(10), 947-950.
- Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, 7(9), 405-410.
- Mofidnakhai, M., Abdossi, V., Dehestani, A., Pirdashti, H., & Babaeizad, V. (2016). Potassium phosphite affects growth, antioxidant enzymes activity and alleviates disease damage in cucumber plants inoculated with *Pythium ultimum*. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 49(9-10), 207-221.
- Mohammadi, M. A., Zhang, Z., Xi, Y., Han, H., Lan, F., Zhang, B., & Wang-Pruski, G. (2019). Effects of Potassium Phosphite on biochemical contents and enzymatic activities of Chinese potatoes inoculated by *Phytophthora infestans*. *Applied Ecology & Environmental Research*, 17(2).
- Mohammadi, S., & Atashpanjeh, M. (2022). Evaluating the Reaction of Different Species of Beans to *Macrophomina phaseolina*, *Rhizoctonia solani* and *Fusarium solani* In Vitro. *Journal of Iranian Plant Protection Research*, 36(2), 141-151. [In Persian]
- Mondal, A., Dutta, S., Nandi, S., Das, S., & Chaudhuri, S. (2012). Changes in defence-related enzymes in rice responding to challenges by *Rhizoctonia solani*. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 45(15), 1840-1851.
- Ngadze, E., Icishahayo, D., Coutinho, T. A., & Van der Waals, J. E. (2012). Role of polyphenol oxidase, peroxidase, phenylalanine ammonia lyase, chlorogenic acid, and total soluble phenols in resistance of potatoes to soft rot. *Plant Disease*, 96(2), 186-192.
- Nie, Q., Gao, G. L., Fan, Q. J., Qiao, G., Wen, X. P., Liu, T., ... & Cai, Y. Q. (2015). Isolation and characterization of a catalase gene "HuCAT3" from pitaya (*Hylocereus undatus*) and its expression under abiotic stress. *Gene*, 563(1), 63-71.
- Oliveira, C. M., Ferreira, A. C. S., De Freitas, V., & Silva, A. M. (2011). Oxidation mechanisms occurring in wines. *Food Research International*, 44(5), 1115-1126.
- Olivieri, F. P., Feldman, M. L., Machinandiarena, M. F., Lobato, M. C., Caldiz, D. O., Daleo, G. R., & Andreu, A. B. (2012). Phosphite applications induce molecular modifications in potato tuber periderm and cortex that enhance resistance to pathogens. *Crop Protection*, 32, 1-6.
- Pan, X. B., Rush, M. C., Sha, X. Y., Xie, Q. J., Linscombe, S. D., Stetina, S. R., & Oard, J. H. (1999). Major gene, nonallelic sheath blight resistance from the rice cultivars Jasmine 85 and Teqing. *Crop Science*, 39(2), 338-346.
- Park, D. S., Saylor, R. J., Hong, Y. G., Nam, M. H., & Yang, Y. (2008). A method for inoculation and evaluation of rice sheath blight disease. *Plant Disease*, 92(1), 25-29.
- Pilbeam, R. A., Howard, K., Shearer, B. L., & Hardy, G. E. S. J. (2011). Phosphite stimulated histological responses of Eucalyptus marginata to infection by *Phytophthora cinnamomi*. *Trees*, 25, 1121-1131.
- Reisi Dehkorddi, S., Radman, N., Taheri, A. H., & Sabbagh, S. K. (2022). The Effect of Sodium Silicate in Inducing Systemic Resistance in Cucumber *Fusarium* Stem and Root Rot. *Journal of Iranian Plant Protection Research*, 36(2), 169-182.
- del Río, L. A., Corpas, F. J., López-Huertas, E., & Palma, J. M. (2018). Plant superoxide dismutases: Function under abiotic stress conditions. *Antioxidants and Antioxidant Enzymes in Higher Plants*, 1-26.
- Sayari, M., Babaeizad, V., Ghanbari, M. A. T., & Rahimian, H. (2014). Expression of the pathogenesis related proteins, NH-1, PAL, and lipoxygenase in the Iranian Tarom and Khazar rice cultivars, in reaction to *Rhizoctonia solani*—the causal agent of rice sheath blight. *Journal of Plant Protection Research*, 54(1).
- Su, Y., Guo, J., Ling, H., Chen, S., Wang, S., Xu, L., ... & Que, Y. (2014). Isolation of a novel peroxisomal catalase gene from sugarcane, which is responsive to biotic and abiotic stresses. *PLoS One*, 9(1), e84426.
- Zou, J. H., Pan, X. B., Chen, Z. X., Xu, J. Y., Lu, J. F., Zhai, W. X., & Zhu, L. H. (2000). Mapping quantitative trait loci controlling sheath blight resistance in two rice cultivars (*Oryza sativa* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 101, 569-573.