



<https://ijpb.ui.ac.ir/?lang=en>

IRANIAN JOURNAL OF PLANT BIOLOGY

E-ISSN: 2322-2204

Vol. 14, Issue, No. 2, Summer 2022

Document Type: Research Paper

Received: 2022-09-20

Accepted: 2023-03-13

Improvement of Germination Indices, Growth, and Biochemical Characteristics of Indigo Seedlings under Salinity Stress due to Seed Priming with Pistachio Wood Vinegar

Somayeh Bahrasemani¹, Azam Seyedi^{2*} , Shahnaz Fathi³, Mehrangiz Jowkar¹

¹ Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran

² Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran

³ Department of Medicinal and Aromatic Plants, Shahid Bakeri High Education Center of Miandoab, Urmia University, Urmia, Iran

¹ Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran

Abstract

Seed priming is one of the ways to deal with stress conditions. The current research aims to improve the germination indices of indigo against oxidative stress caused by salinity through seed priming with pistachio wood vinegar in the form of a completely randomized basic design. Non-primed (control), hydro-primed, and primed seeds with concentrations of 300 and 200 times the dilution of pistachio wood vinegar were used in salinity conditions (0, 50, 100, and 150 mM NaCl). The results showed that salinity levels significantly decreased germination percentage, germination rate, germination rate coefficient, vigor index of seedling weight, fresh and dry weight of seedling, dry matter, radicle length, and anthocyanin content and increased the average germination time, the amount of total soluble sugars, reactive oxygen species, and malondialdehyde. Seed priming with pistachio wood vinegar significantly improved germination percentage, germination speed, and vigor index of seedling weight under saline conditions and reduced the average germination time. Seed priming with 300- and 200-times dilution of pistachio wood vinegar in normal conditions and 50 mM salinity improved the morphological characteristics of seedlings compared to unprimed seeds. In addition, seed priming with pistachio wood vinegar, 300 times dilution, under salinity conditions by 100 mM reduced the content of soluble sugars and malondialdehyde, improving the biochemical status of seedlings compared to oxidative stress. In general, it seems seed priming of indigo with pistachio wood vinegar diluted 300 times is more practical and economical as a modulating agent for the adverse effects caused by salt stress.

* Corresponding Author: a.seiedi@ujiroft.ac.ir



Introduction

Indigo is a medicinal and industrial plant that produces indigo dye from the active ingredient in its leaves for the textile and cosmetic industries. Salinity stress following drought stress is one of the most significant barriers to medicinal plant production in many regions, particularly dry regions. The most sensitive phase of a plant's life cycle to salinity stress is seed germination and seedling emergence. One technique for dealing with stressful situations is seed priming. Wood vinegar, also known as pyroligneous acid, is a reddish-brown liquid formed by the condensation of gas produced by the high-temperature anaerobic pyrolysis and carbonization of charcoal from agricultural and forestry waste. It can improve soil quality, increase plant growth, and ultimately crop production by containing 10% to 20% organic compounds and more than 200 different types of organic substances such as organic acids, ketones, aldehydes, alcohols, phenols and their derivatives, carbohydrate derivatives, and nitrogenous compounds. It has recently been discovered that, when used correctly, wood vinegar acts similarly to plant growth-regulating compounds and has a positive effect on seed germination. The current study aimed to improve indigo germination indices against oxidative stress caused by salinity by priming the seeds with pistachio wood vinegar.

Materials and Methods

This study was carried out as a factorial experiment with a completely randomized design. Non-primed (control), hydro-primed, and primed seeds with concentrations of 300 and 200 times the dilution of pistachio wood vinegar (PWV) were used in salinity conditions (0, 50, 100, and 150 mM NaCl) in this experiment, with three repetitions. The seed germination indices and morphological characteristics of the seedlings were evaluated at the end of the experiment. In order to understand how priming improves germination, an antioxidant mechanism and sugar metabolism were also studied.

Results and Discussion

In comparison to normal conditions, salinity levels of 50, 100, and 150 mM reduced root length by 52, 54, and 72%, shoot length by 25, 34, and 61%, and seedling length by 34, 41, and 65%, respectively. Seed priming with pistachio wood vinegar significantly improved germination percentage, germination speed, and vigor index of seedling weight under saline conditions and reduced the average germination time. Hydropriming and priming of seeds with PWV, diluted 300 and 200 times, increased root length by 25, 30, and 19%, respectively, in salinity conditions of 50 mM compared to unprimed seeds. Hydropriming increased the length of root, shoot, and seedling by 24, 18, and 16%, respectively, in 150 mM salinity conditions. Seedling fresh weight increased by 21% compared to control under 50 mM salinity, while it decreased by 36% under 150 mM salinity, compared to normal conditions. Furthermore, salinity levels of 50 and 100 mM increased seedling dry weight by 9 and 14%, respectively, compared to the control conditions. Under 50 mM salinity stress, Hydropriming of seeds increased seedling fresh weight by 11% compared to unprimed seeds (control).

Conclusion

Considering the results of the study, under 150 mM salinity stress hydropriming and priming of seeds with PWV, diluted 300 and 200 times, increased the seedlings' fresh weight by 67, 50, and 31%, respectively, compared to the control. Seed priming with 300- and 200-fold dilutions of pistachio wood vinegar in normal conditions and 50 mM salinity improved seedling morphology compared to unprimed seeds. Seed priming with pistachio wood vinegar, 300-fold diluted, under salinity conditions of 100 mM reduces the content of soluble sugars and malondialdehyde, improving seedling biochemical

status compared to oxidative stress. In general, seed priming indigo with 300-fold diluted pistachio wood vinegar appears to be more practical and cost-effective as a modulating agent for the negative effects of salt stress.

Keywords: Osmotic Modulation, Germination Percentage, Reactive Oxygen Species, Sodium Chloride, Malondialdehyde

بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی، ویژگی‌های رشدی و بیوشیمیایی گیاهچه نیل تحت تنش شوری از طریق پرایمینگ بذرها با سرکه چوب پسته

سمیه بحرآسمانی^۱، اعظم سیدی^{۱*}، شهناز فتحی^۲، مهرانگیز جوکار^۱
^۱ گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران
^۲ گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران
^۳ گروه گیاهان دارویی، مرکز آموزش عالی شهید باکری میاندوآب، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

چکیده

پرایمینگ بذر یکی از راه کارهای مقابله با شرایط تنش است. پژوهش حاضر، با هدف بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی نیل در برابر تنش اکسیداتیو ناشی از شوری از طریق پرایمینگ بذرها با سرکه چوب پسته در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی انجام شد. از بذرهای پرایم نشده (شاهد)، هیدروپرایمینگ و پرایم شده با غلظت‌های ۳۰۰ و ۲۰۰ برابر رقت سرکه چوب پسته در شرایط شوری صفر ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم استفاده شد. نتایج نشان داد با افزایش سطح شوری، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، ضریب سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنبه گیاهچه، وزن تر و خشک گیاهچه، درصد ماده خشک، طول ریشه‌چه و مقدار آنتوسیانین به طور معنی‌داری کاهش و متوسط زمان جوانه‌زنی، مقدار قندهای محلول کل، رادیکال‌های آزاد اکسیژن و مالون‌دی‌آلدئید به طور معنی‌داری افزایش یافت. پرایمینگ بذرها با سرکه چوب پسته تأثیر بهبود دهنده‌ای بر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، شاخص وزنی بنبه گیاهچه در شرایط شوری داشت و متوسط زمان جوانه‌زنی را به طور معنی‌داری کاهش داد. پرایمینگ بذرها با سرکه چوب پسته ۳۰۰ و ۲۰۰ برابر رقت در شرایط عادی و شوری ۵۰ میلی‌مولار تأثیر بهبود دهنده‌ای بر ویژگی‌های مورفولوژیک گیاهچه نسبت به بذرهای پرایم نشده داشتند. همچنین، پرایمینگ بذرها با سرکه چوب پسته ۳۰۰ برابر رقت در شرایط شوری تا ۱۰۰ میلی‌مولار به طور معنی‌داری تأثیر کاهش دهنده‌ای بر مقدار قندهای محلول و مالون‌دی‌آلدئید داشت و سبب بهبود وضعیت بیوشیمیایی گیاهچه‌ها در مقابل تنش اکسیداتیو شد. به‌طور کلی، به نظر می‌رسد سرکه چوب پسته ۳۰۰ برابر رقت به عنوان عامل تعدیل‌کننده تأثیرات منفی ناشی از تنش شوری در پرایمینگ بذر نیل کاربردی‌تر و اقتصادی‌تر است.

واژه‌های کلیدی: تعدیل‌کننده‌های اسمزی، درصد جوانه‌زنی، رادیکال‌های آزاد اکسیژن، کلرید سدیم، مالون‌دی‌آلدئید



مقدمه

مناطق خشکی را مختل می‌کند و استفاده از زمین برای اهداف کشاورزی را به شدت محدود می‌کند (Gopalakrishnan and Kumar, 2020). از نقطه نظر کشاورزی، سطوح شوری تقریباً ۲۰ درصد از سطح زیر کشت محصول و تقریباً ۳۳ درصد از زمین‌های زراعی آبی را به طور متفاوتی تحت تأثیر قرار می‌دهد و تا سال ۲۰۵۰، این رقم از ۵۰ درصد فراتر خواهد رفت (Machado and Serralheiro, 2017). برای رویارویی با تنش شوری، گیاهان مکانیسم‌های مختلفی را تکامل داده‌اند و پرورش دهندگان گیاهان از تکنیک‌های مختلفی مانند پرایمینگ بذر، تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه، کودهای آلی، و غربالگری واریته‌های مناسب استفاده کرده‌اند (Rhaman et al., 2021b; Abdel et al., 2021; Rasel et al., 2021). یکی از تأثیرات ثانویه غلظت بالای سدیم در اطراف ریشه، جلوگیری از جذب مواد غذایی مورد نیاز گیاه به‌ویژه پتاسیم و کلسیم است. تأثیرات مستقیم شوری در سطوح مختلف فعالیت آنزیمی و فرایندهای مختلف متابولیکی قابل ملاحظه است (Moradi and Abdelbagi, 2007). تنش شوری از تنش‌های مهم غیرزیستی است که فیزیولوژی گیاهان را تحت تأثیر قرار داده و رشد و عملکرد گیاهان زراعی را کاهش می‌دهد. شوری، تمام فرآیندهای اصلی مانند رشد، فتوسنتز، ساخت پروتئین، متابولیسم چربی‌ها و انرژی گیاه از مرحله جوانه‌زنی تا تولید دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Salek Mearaji et al., 2019, Zeinivand and Nasr Esfahani, 2021). تنش شوری پس از تنش خشکی از موانع اصلی در تولید گیاهان دارویی در بسیاری از مناطق به ویژه مناطق خشک است.

نیل گیاهی علفی، دوساله با نام علمی *Indigofera tinctoria* L. از تیره بقولات (*Fabaceae*) است. در سال‌های اخیر برای تولید رنگ طبیعی استفاده شده است (Ansouri et al., 2012). رنگ آبی یا نیلی پس از فرآوری ماده مؤثره‌ای که در برگ‌های گیاه نیل وجود دارد، تولید می‌شود. همچنین، در طب سنتی، از عصاره گیاه نیل برای درمان تنگی نفس، تقویت رشد مو و درمان سم زدایی خون نیز استفاده می‌شود (Rastegari et al., 2021).

جوانه‌زنی بذر، پدیده‌ای شامل تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در بذر است که باعث فعال شدن جنین می‌شود (Salek Mearaji et al., 2019). وجود نمک در محیط اطراف بذر، فرایند جوانه‌زنی را به تأخیر می‌اندازد و سرعت جوانه‌زنی در بذر را نیز کاهش می‌دهد و همچنین، باعث می‌شود که بذر به طور یکنواخت جوانه نزنند (Madadi et al., 2016). تأثیر منفی تنش شوری بر جوانه‌زنی بذر شامل کاهش پتانسیل اسمزی و افزایش تأثیرات سمی کلر و سدیم در بذر است (Pravar et al., 2015). شوری باعث کاهش پتانسیل آب خاک شده و برای بذرهای یک حالت سمیت یونی را به وجود آورده و حتی جذب برخی از عناصر را در بذر گیاه مختل کرده و در نتیجه باعث کاهش جوانه‌زنی بذر می‌شود (Jahanbakhsh et al. 2019; Fathi and Seyedi, 2021).

شوری خاک‌های زراعی در حال حاضر یک مشکل بزرگ در سراسر جهان است. بر اساس آمارهای اخیر، نمک تقریباً ۰/۸۰ میلیارد هکتار از

ماده آلی مختلف (Bilehal *et al.*, 2012) از جمله اسیدهای آلی، کتون‌ها، آلدئیدها، الکل‌ها، بنزن و مشتقات آن، ترکیبات هتروسیکلیک، فنل‌ها و مشتقات آنها، آلکیل فنیل اترها، مشتقات کربوهیدراتی و ترکیبات نیتروژن‌دار است (Qin *et al.*, 2010; Ma *et al.*, 2013). همچنین، سرکه چوب می‌تواند با تشکیل یک منبع کربنی در خاک باعث بهبود کیفیت خاک شده و سبب افزایش توسعه ریشه، برگ، ساقه، غده و میوه شود. در مطالعات دیگری نشان داده شده است که استفاده از سرکه چوب، باعث افزایش درصد جوانه‌زنی در بذر شده و همچنین، باعث افزایش رشد گیاهان و در نهایت باعث تولید بیشتر محصول نیز می‌شود (Abdolahipour and Haghghi, 2019; Ofoe, *et al.*, 2022). در سال‌های اخیر کشف شده که سرکه چوب مشابه ترکیبات تنظیم کننده رشد گیاه عمل می‌کند و با غلظت مناسب تأثیر خوبی بر جوانه‌زنی بذر دارد (Flematti *et al.*, 2004; Nelson *et al.*, 2012). سرکه چوب می‌تواند عملکرد دانه را افزایش داده و علف‌های هرز را کاهش دهد (Simma *et al.*, 2017). همچنین، شواهد نشان می‌دهد که اسید پیرولیگنوس حاوی یک ترکیب فعال بیولوژیک به نام بوتانولید است که به خانواده جدیدی از فیتوهورمون‌ها معروف به کارریکینولید یا کارریکین تعلق دارد (Dixon *et al.*, 2009; Chiwocha *et al.*, 2009). مکانیسم سیگنال‌دهی و نحوه عملکرد کارریکین‌ها مشابه با فیتوهورمون‌های شناخته شده است (Dixon *et al.*, 2009; Gomz-Roldan *et al.*, 2008). اسید پیرولیگنوس در غلظت مناسب می‌تواند بر رشد و

بیشترین حد حساسیت به شوری در چرخه زندگی گیاهان، به هنگام جوانه‌زنی و در ابتدای رشد بذر مشاهده شده است (Ganjali *et al.*, 2017).

پرایمینگ یک فناوری ساده است که بذر را تا جایی هیدراته می‌کند که فعالیت متابولیکی برای جوانه‌زنی آغاز شود، اما ظهور ریشه‌چه ایجاد نمی‌شود (Tania *et al.*, 2020, Rhaman *et al.*, 2020). پرایمینگ با ایجاد انواع تغییرات متابولیکی در بذر باعث تحریک جوانه زنی می‌شود و شادابی بذر را افزایش می‌دهد و در نتیجه سبز شدن سریع و همگن و همچنین، استقرار توده قوی را به همراه دارد (Zhu *et al.*, 2021). علاوه بر این، پرایمینگ بذر با تنظیم فعالیت آنزیم‌های پاداکسنده، تعادل یونی و ویژگی‌های فتوسنتزی، تنش‌های غیرزیستی را در گیاهان کاهش می‌دهد (Rhaman *et al.*, 2021a).

سرکه چوب که به اسید پیرولیگنوس (Pyrolygnous acid) نیز معروف است مایعی قهوه‌ای متمایل به قرمز است که از متراکم شدن گاز حاصل از سوخته شدن و کربنیزه شدن زغال چوب حاصل از ضایعات کشاورزی و جنگلداری تحت دمای بالا در شرایط بی‌هوازی به وجود می‌آید و به عنوان ماده‌ای کاملاً طبیعی و سازگار با محیط زیست جایگزینی مناسب برای استفاده از مواد شیمیایی در صنعت کشاورزی است (Zhai *et al.*, 2015; Grewal and Abbey Gunupuru, 2018). که برای باکتری‌ها و قارچ‌های بیماری‌زا (Tiilikala *et al.*, 2010) و کنترل حشرات (Wititsiri, 2011) به کار می‌رود. این ماده حاوی ۱۰ تا ۲۰ درصد ترکیبات آلی و بیش از ۲۰۰ نوع

هدف از این مطالعه، بررسی شاخص‌های جوانه‌زنی و ویژگی‌های فیزیولوژیک بذور نیل در شرایط تنش شوری، از طریق پرایمینگ بذرهای گیاه نیل با غلظت‌های مختلف سرکه چوب پسته است.

مواد و روش‌ها

این مطالعه به منظور بررسی تأثیر پرایمینگ بذور گیاه نیل با غلظت‌های مختلف سرکه چوب پسته بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و همچنین، شاخص‌های رشدی و بیوشیمیایی گیاهچه نیل در شرایط تنش شوری در بهار ۱۴۰۱ در آزمایشگاه گروه زراعت و باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه جیرفت انجام شد. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد که فاکتور اول، شامل شوری (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم)، فاکتور دوم، شامل پرایمینگ (بدون پرایمینگ (شاهد ۱)، پرایمینگ بذور با آب مقطر (شاهد ۲)، پرایمینگ بذور با غلظت‌های ۲۰۰ و ۳۰۰ برابر رقت محلول اصلی سرکه چوب پسته) بود. برای انجام تیمار شوری پیش‌آزمایشی در هفت غلظت شوری (۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) بر اساس تحقیقات پیشین (Taati *et al.*, 2013) انجام شد اما از آنجائیکه درصد جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ها در سطوح شوری ۲۰۰ میلی‌مولار به بالا بسیار کاهش یافت بنابراین، برای دستیابی به نمونه گیاهی کافی برای بررسی ویژگی‌های مورفولوژیک و بیوشیمیایی گیاهچه سطوح کمتر از ۲۰۰ میلی‌مولار (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) برای تیمار شوری استفاده شد. از آنجائیکه در مورد

بهره‌وری گیاه تأثیر مثبت بگذارد. علاوه بر این، کارریکین‌ها مقاوم در برابر حرارت و آبدوست بوده و ماندگاری طولانی دارند. مطالعات نشان داده است که کارریکین‌ها جوانه‌زنی بذر را تحریک می‌کنند (Chiwocha *et al.*, 2009; Gomez-Roldan *et al.*, 2008; Flematti *et al.*, 2009; Kulkarni *et al.*, 2010; Nelson, *et al.*, 2012)

بذرهای دوره‌های جوانه‌زنی اغلب الگوهای پیچیده‌ای را نشان می‌دهند (Bewley *et al.*, 2013) و اکثر آزمایش‌های جوانه‌زنی بذر در تفسیر و تجزیه و تحلیل نتایج مشکل دارند. جوانه‌زنی یک واکنش رشد کیفی بذر است که به موقع رخ می‌دهد، اما بذرهای در یک تیمار معین در بازه‌های زمانی مختلف پاسخ می‌دهند. این به وضعیتی منجر می‌شود که درصد جوانه‌زنی نهایی به تنهایی برای تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای مجموعه داده‌ها کافی نیست، مشکلی که تکنیک‌ها و روش‌های مختلف اندازه‌گیری جوانه‌زنی به‌عنوان راه حل برای آن پیشنهاد شده است (Kader, 2005; Ranal and Santana, 2006). زمان، سرعت، یکنواختی و همزمانی جنبه‌های مهمی هستند که می‌توانند اندازه‌گیری شوند و ما را از پویایی روند جوانه‌زنی آگاه کنند. از آنجائیکه این ویژگی‌ها با تولید محصول مرتبط هستند، نه تنها برای فیزیولوژیست‌ها، تکسین‌های بذر و بوم‌شناسان مهم است، بلکه برای کشاورزان نیز اهمیت دارد. جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه مرحله مهمی در زندگی اکثر گیاهان است و تحمل به شوری برای استقرار، جوانه‌زنی و رشد گیاهانی که در خاک‌های شور رشد می‌کنند بسیار مهم است.

طی دوره شمارش بذرها، پتری‌دیش‌ها از نظر رطوبت کنترل شده و پتری‌دیش‌هایی که رطوبت کمی داشتند با تیمار شوری مورد نظر به رطوبت مطلوب رسیدند. در پایان آزمایش ویژگی‌های مربوط به جوانه‌زنی بذور ارزیابی شد.

ویژگی‌های مربوط به جوانه‌زنی بذور

درصد جوانه‌زنی (Percent of Germination)

درصد جوانه‌زنی از رابطه (۱) محاسبه شد که در آن، PG درصد جوانه‌زنی و Ni تعداد بذر جوانه‌زده در روز آخر شمارش و N تعداد کل بذرها است (Salimi and Ghorbani, 2001).

$$PG = (Ni/N) \times 100 \quad (\text{رابطه ۱})$$

ضریب سرعت جوانه‌زنی (Coefficient of Velocity of Germination)

ضریب سرعت جوانه‌زنی نشان‌دهنده سرعت جوانه‌زنی است. ارزش آن زمانی افزایش می‌یابد که تعداد بذرهای جوانه‌زده افزایش و زمان لازم برای جوانه‌زنی کاهش یابد. ضریب سرعت جوانه‌زنی از رابطه (۲) محاسبه شد که در این رابطه $G_1 - G_n$ تعداد بذر جوانه‌زده از اول تا پایان آزمون است (Ranal and De Santana, 2006).

(رابطه ۲)

$$CVG = (G_1 + G_2 + \dots + G_n) / ((1 \times G_1) + (2 \times G_1) + (n \times G_n))$$

سرعت جوانه‌زنی روزانه (Daily Germination Speed)

سرعت جوانه‌زنی روزانه عکس متوسط جوانه‌زنی روزانه است و از رابطه (۳) محاسبه شد که در این رابطه DGS سرعت جوانه‌زنی روزانه و MDG متوسط جوانه‌زنی روزانه است (Maguire, 1962).

$$DGS = 1/MDG \quad (\text{رابطه ۳})$$

استفاده از سرکه چوب پسته تا کنون گزارشی نشده است برای تعیین غلظت از مقالات پیشین (Dissatian *et al.*, 2018) که غلظت ۳۰۰ برابر رقت سرکه چوب در پیش تیمار بذور برنج موجب بهبود شاخص‌های رشد و جوانه‌زنی شده بود، الگوبرداری شد.

به منظور انجام آزمایش، ابتدا بذرها به مدت ۱۰ ثانیه با الکل ۷۰ درصد و سپس با محلول هیپوکلریت سدیم به مدت پنج دقیقه ضدعفونی و سپس با آب مقطر چندین بار شست‌وشو داده شدند. پس از آن به مدت ۴ ساعت با سه برابر حجمی از محلول‌های مورد نظر (آب مقطر و غلظت‌های مشخص سرکه چوب پسته) در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد پرایمینگ شدند و پس از گذشت مدت زمان پرایمینگ محلول اضافی دور ریخته شد و پس از پنج بار شستشو با آب مقطر، بذرها با محلول قارچکش بنومیل (۳ گرم در لیتر) ضدعفونی و توده‌های بذر ۵۰ عددی به پتری‌دیش‌های حاوی کاغذ صافی (اتوکلاو شده به مدت دو ساعت در دمای ۱۲۰ درجه سانتیگراد و فشار یک بار) منتقل شدند و با دو میلی‌لیتر محلول کلرید سدیم با غلظت مشخص (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) تیمار و به دستگاه ژرمیناتور با دمای ۳۰ درجه سانتیگراد با دوره‌های ۱۶ ساعت تاریکی و ۸ ساعت روشنایی انتقال داده شدند. پس از گذشت ۲۴ ساعت شمارش بذرهای جوانه‌زده آغاز شد (بذوری که طول ریشه‌چه آن‌ها دو میلی‌متر یا بیشتر بود به عنوان بذر جوانه‌زده در استفاده شدند). شمارش بذرهای جوانه‌زده روزانه ادامه داشت تا زمانی که با گذشت سه روز از آخرین شمارش تغییری در تعداد بذر جوانه‌زده وجود نداشت آزمایش پایان یافت. در

داده شدند. پس از سرد شدن به مدت ۱۵ دقیقه در ۸۰۰۰ سانتی‌گراد و سپس به ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره، ۱۹۰۰ میکرولیتر اسید سولفوریک غلیظ اضافه و جذب نوری نمونه‌ها در طول موج ۳۱۵ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر (Perkin Elmer, USA) قرائت شد. درضمن از گلوکز برای رسم منحنی استاندارد استفاده شد و شاهد شامل ۱۰۰ میکرولیتر آب دوبار تقطیر، ۱۹۰۰ میکرولیتر اسید سولفوریک غلیظ بود. مقدار قند کل در هر نمونه بر حسب گرم بر وزن تر محاسبه و گزارش شد (Albalasmeh *et al.*, 2013).

ارزیابی آنتوسیانین برگ

به منظور تعیین مقدار آنتوسیانین، ۰/۰۲ گرم از بافت تازه در هاون چینی با دو میلی‌لیتر متانول اسیدی (متیل الکل و کلریدریک اسید خالص با نسبت حجمی ۱:۹۹) کاملاً سائیده و عصاره در میکروتیوب دو میلی‌لیتری ریخته و به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و دمای ۲۵ درجه سانتیگراد قرار داده شد. سپس عصاره را به مدت ۱۰ دقیقه در ۴۰۰۰ g سانتی‌گراد و جذب محلول روئی با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۵۰ نانومتر خوانده شد (Wanger, 1979). مقدار آنتوسیانین با استفاده از رابطه (۶) به دست آمد. که در این فرمول A: مقدار یا شدت جذب، ε: ضریب خاموشی معادل 33000 mMcm^{-1} ، b: عرض کوت یا سلول اندازه‌گیری برابر با یک سانتی‌متر و C: مقدار آنتوسیانین بر حسب مول بر گرم وزن تر گیاه است.

$$A = \epsilon bc \quad (\text{رابطه ۶})$$

متوسط جوانه‌زنی روزانه (Mean Daily Germination)
متوسط جوانه‌زنی روزانه که شاخصی از سرعت جوانه‌زنی روزانه است، از رابطه (۴) تعیین شد. که در این رابطه FGP درصد جوانه‌زنی نهایی و D تعداد روز تا رسیدن به حداکثر جوانه‌زنی نهایی (طول دوره اجرای آزمون) است (Huntr *et al.*, 1984).

$$\text{MDG} = \text{FGP}/D \quad (\text{رابطه ۴})$$

شاخص وزنی بنیه گیاهچه

شاخص وزنی بنیه گیاهچه با استفاده از داده‌های طول گیاهچه، وزن خشک گیاهچه و درصد جوانه‌زنی بذر، شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه از رابطه (۵) محاسبه شدند (Hampton and Tekrony, 1995).

$$\text{رابطه ۵}$$

وزن خشک گیاهچه × درصد جوانه‌زنی = شاخص وزنی بنیه گیاهچه

اندازه‌گیری رشد رویشی گیاهچه

پنج گیاهچه از هر پتری‌دیش به‌طور تصادفی انتخاب و میانگین طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و کل گیاهچه‌ها با استفاده از کولیس ورنیه دیجیتال اندازه‌گیری شد. برای ارزیابی وزن تر گیاهچه از هر پتری‌دیش ۲۰ گیاهچه با ترازوی دیجیتال (با دقت ۰/۰۰۱) وزن شد. وزن خشک آنها نیز پس از مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتیگراد اندازه‌گیری شد.

مقدار قند کل

به منظور ارزیابی مقدار قند کل، ابتدا ۰/۰۲ گرم نمونه بافت تر برگ وزن شد و هر نمونه با دو میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر در هاون چینی سائیده و به مدت ۲۰ دقیقه در بن‌ماری ۱۰۰ درجه سانتیگراد قرار

محلول مورد نظر در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر توسط اسپکتروفوتومتر خوانده شد ضریب خاموشی برای محاسبه غلظت MDA معادل $mMcm^{-1}$ ۰/۱۵۵^۱ بود و مقادیر بر حسب وزن تر محاسبه و ارائه شدند (Tirani and Haghjou, 2019)

آنالیز داده‌ها

به منظور تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن از نرم‌افزار SAS، برای تعیین همبستگی بین صفات از نرم‌افزار Minitab استفاده و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

بررسی شاخص‌های جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر ساده شوری و پرایمینگ بذرها و همچنین، تأثیر متقابل آنها تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های جوانه‌زنی مورد مطالعه داشت. سطوح شوری، پرایمینگ بذرها با سطوح مختلف سرکه چوب پسته و تأثیر متقابل آنها به طور معنی‌داری و در سطح یک درصد بر اساس آزمون دانکن درصد جوانه‌زنی، ضریب سرعت جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، متوسط زمان جوانه‌زنی را تحت تأثیر قرار دادند همچنین، سطوح شوری و تأثیر متقابل شوری و پرایمینگ بذرها شاخص وزنی بنیه بذر را به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۱).

سنجش مقدار رادیکال‌های آزاد اکسیژن (ROS)

به منظور اندازه‌گیری رادیکال‌های آزاد اکسیژن، ابتدا ۰/۰۲ گرم از بافت برگ را درون هاون چینی ریخته و بر روی یخ کاملاً ساییده و سپس دو میلی‌لیتر بافر فسفات سدیم ۵۰ میلی‌مولار با pH ۷/۴ اضافه شد و محلول همگن حاصل درون میکروتیوپ ریخته شد و سپس به مدت ۲۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰ g و در دمای چهار درجه سانتیگراد سانتریفیوژ شد. سپس به ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره حاصل، ۹۰۰ میکرولیتر معرف زایلنول اورنج اسیدی تازه اضافه و جذب نوری محلول حاصل در طول موج ۵۶۰ نانومتر خوانده شد. از غلظت‌های مختلف ۳۰ درصد H_2O_2 برای رسم منحنی استاندارد استفاده و نتایج حاصل بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر محاسبه شد (Tirani and Haghjou, 2019).

سنجش مالون‌دی‌آلدئید (MDA)

به منظور اندازه‌گیری MDA، ابتدا ۰/۰۲ گرم از بافت تازه برگ در هاون چینی روی یخ کاملاً ساییده و دو میلی‌لیتر بافر فسفات (۵۰ میلی‌مولار، pH برابر ۷/۸) به آن افزوده شد. پس از همگن شدن درون اپندروف ریخته و طی مدت زمان ۲۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰ g و در دمای ۴ درجه سانتیگراد سانتریفیوژ شد. ۵۰۰ میکرولیتر محلول TCA - TBA به ۵۰۰ میلی‌لیتر محلول رویی افزوده شد. مخلوط به دست آمده به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۹۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد. در نهایت شدت جذب

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر شوری، پرایمینگ بذر و تأثیر متقابل آنها بر شاخص‌های جوانه‌زنی گیاهچه نیل

Table 1- Variance analysis of the effect of salinity, seed priming and their interaction on germination indicators of indigo seedling

میانگین مربعات						
منابع تغییرات	درجه آزادی	درصد جوانه زنی	ضریب سرعت جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	متوسط زمان جوانه‌زنی	شاخص وزنی بینه گیاهچه
شوری	۳	۳۳۷/۳۱**	۰/۲۲**	۶۵۴/۰۶**	۱/۷۸**	۲/۵۹**
پرایمینگ	۳	۱۴۰/۲۲**	۰/۰۴**	۲۳۰/۲۸**	۰/۴۶**	۰/۴۴ ^{ns}
شوری*پرایمینگ	۹	۳۸/۴۰**	۰/۰۱**	۴۰/۱۱**	۰/۰۲**	۰/۳۸*
خطا	۳۰	۵/۷۴	۰/۰۰۳	۲/۹۸	۰/۰۲۵	۰/۱۷
ضریب تغییرات	-	۲/۹۱	۹/۶۱	۵/۹۰	۹/۱۰	۶/۴۲

** و * به ترتیب نشان دهنده اختلاف معنی‌دار تیمارها در سطح ۱ و ۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

** and * indicate a significant difference between the treatments at the 1 and 5% level, respectively, based on Duncan's multiple range test.

درصد جوانه‌زنی

تغییرات درصد جوانه‌زنی به عنوان یک شاخص مهم جوانه‌زنی در شرایط تنش پذیرفته شده است. سطوح شوری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار به ترتیب ۶، ۴، ۲۹ درصد جوانه‌زنی را نسبت به شرایط عادی کاهش دادند (جدول ۲). محققان پیشین نیز گزارش کردند که با افزایش سطح شوری درصد جوانه‌زنی بذر در کرفس کاهش یافت (Fathi and Seyedi, 2021). در شرایط شوری ۵۰، میلی مولار، پرایمینگ بذر با سرکه چوب ۲۰۰ برابر رقت ۵ درصد جوانه‌زنی را افزایش داد. پرایمینگ بذر با سرکه چوب ۳۰۰ و ۲۰۰ برابر رقت در شرایط شوری ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار تأثیرات بهبود دهنده‌ای بر درصد جوانه‌زنی داشتند. به طوریکه در شرایط شوری ۱۰۰ میلی مولار، به ترتیب ۷ و ۱۰ درصد و در شرایط شوری ۱۵۰ میلی مولار به ترتیب ۳۰ و ۳۱ درصد جوانه‌زنی را افزایش دادند. بنابراین، به نظر می‌رسد غلظت‌های مختلف سرکه چوب پسته با افزایش شوری تأثیرات بهبود دهنده‌ای بیشتری بر درصد جوانه‌زنی داشتند و تفاوت معنی‌داری بین غلظت‌های ۳۰۰ و ۲۰۰ برابر رقت

سرکه چوب بر درصد جوانه‌زنی مشاهده نشد (جدول ۲). نتایج تحقیقی (Dissatian *et al.*, 2018) نشان داد کاربرد سرکه چوب صنوبر تأثیر قابل توجهی در افزایش جوانه‌زنی بذر سه رقم برنج داشته است. مطالعات قبلی نشان داد که پرایمینگ بذر گوجه فرنگی با سرکه چوب (غلظت ۱:۱۰۰) موجب افزایش جوانه‌زنی شد. چندین مطالعه نتایج مشابهی را برای بذرهای گونه‌های مختلف زراعی تیمار شده با سرکه چوب نشان داده‌اند (Wang *et al.*, 2019; Grewal and Abbey Gunupuru, 2018). به نظر می‌رسد پرایمینگ بذر با سرکه چوب پسته در شرایط تنش شوری از طریق نرم کردن پوسته بذر سبب خروج سریع تر ریشه چه و افزایش درصد جوانه‌زنی شده است (Abdolahipour and Haghighi, 2019).

ضریب سرعت جوانه‌زنی

متناسب با افزایش سطح شوری ضریب سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت و پرایمینگ بذر با سرکه چوب پسته سبب افزایش ضریب سرعت جوانه‌زنی نسبت به بذرهای پرایم نشده شد. سطوح شوری ۵۰،

سرعت جوانه‌زنی با افزایش تنش شوری در سیاه دانه، سنبله، شاهدانه و کنگر فرنگی (جوادی و همکاران، ۱۳۹۳) گزارش شده است. نتایج تحقیقات اخیر نیز نشان داد که سرکه چوب یک عامل پرایمینگ قوی برای جوانه‌زنی سریع و یکنواخت سبز شدن بذر در برنج بوده است (Dissatian *et al.*, 2018). وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 2019) نیز بیان کردند ترکیب شیمیایی سرکه چوب پیچیده است و جدا از کاربنکین‌ها این ترکیب سرشار از ترکیبات آلی دیگر از جمله اسیدهای آلی و مشتقات الکل است که بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه تأثیر دارد.

۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به ترتیب ۴۳، ۳۹ و ۵۳ درصد ضریب سرعت جوانه زنی را نسبت به شرایط عادی کاهش دادند (جدول ۲). در شرایط عادی و تنش شوری ۵۰ میلی‌مولار پرایمینگ بذرها با آب مقطر، سرکه چوب پسته ۳۰۰ و ۲۰۰ برابر رقت ضریب سرعت جوانه زنی را نسبت به بذرهای پرایم نشده به‌طور غیر معنی‌داری افزایش داد. سرکه چوب پسته ۳۰۰ و ۲۰۰ برابر رقت در شرایط تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۷ و ۱۰ درصد و در شرایط تنش شوری ۱۵۰ به ترتیب ۳۰ و ۳۱ درصد ضریب سرعت جوانه زنی را نسبت به بذرهای پرایم نشده به‌طور معنی‌داری افزایش دادند. کاهش

جدول ۲- مقایسه میانگین برخی از شاخص‌های جوانه‌زنی گیاهچه نیل تحت پرایمینگ بذرها در شرایط تنش شوری

Table 2- Average comparison of some germination indices of indigo seedling under seed priming under salt stress conditions

شاخص وزنی بینه گیاهچه	متوسط زمان جوانه‌زنی (روز)	سرعت جوانه‌زنی	ضریب سرعت جوانه‌زنی	درصد جوانه‌زنی	تیمارها	
					پیش تیمار	کلید سدیم
۶/۵۱ bcd	۱/۲۴ g	۳۷/۶۱ ab	۰/۸۰ a	۸۵/۳۳ abc	بدون پیش تیمار	شاهد
۶/۵۳ abcd	۱/۳۸ fg	۳۵/۲۸ bcd	۰/۷۳ abc	۸۶/۰۰ abc	آب مقطر	
۶/۵۶ abcd	۱/۲۴ g	۳۸/۲۹ ab	۰/۸۱ a	۹۰/۰۰ a	سرکه چوب (۱:۳۰۰)	
۷/۳۸ a	۱/۲۰ g	۴۰/۱۸ a	۰/۸۳ a	۸۹/۳۳ ab	سرکه چوب (۱:۲۰۰)	
۶/۸۴ abc	۲/۰۵ bc	۲۱/۸۶ f	۰/۴۹ f	۸۲/۰۰ cde	بدون پیش تیمار	۵۰ mM
۶/۶۶ abcd	۱/۳۱ fg	۳۶/۵۰ bc	۰/۷۷ ab	۸۴/۶۷ bcd	آب مقطر	
۶/۶۷ abcd	۱/۵۵ ef	۳۲/۸۲ d	۰/۶۷ bcd	۸۱/۳۳ cde	سرکه چوب (۱:۳۰۰)	
۶/۷۷ abcd	۱/۳۲ fg	۳۸/۰۰ ab	۰/۷۶ ab	۸۶/۰۰ abc	سرکه چوب (۱:۲۰۰)	
۶/۹۹ abc	۲/۱۹ bc	۱۹/۴۳ fg	۰/۴۶ fg	۸۰/۰۰ de	بدون پیش تیمار	۱۰۰ mM
۷/۱۸ ab	۱/۷۲ de	۳۳/۶۸ cd	۰/۵۹ de	۸۲/۰۰ cde	آب مقطر	
۶/۹۲ abc	۱/۹۲ cd	۲۸/۳۶ e	۰/۵۳ ef	۸۵/۳۳ abc	سرکه چوب (۱:۳۰۰)	
۷/۰۰ abc	۱/۵۶ ef	۳۶/۶۹ bc	۰/۶۴ cd	۸۸/۰۰ ab	سرکه چوب (۱:۲۰۰)	
۴/۸۷ e	۲/۶۳ a	۱۲/۸۸ h	۰/۳۸ g	۶۰/۶۷ g	بدون پیش تیمار	۱۵۰ mM
۶/۱۷ cd	۱/۲۶ b	۱۸/۰۲ g	۰/۴۴ fg	۷۴/۶۷ f	آب مقطر	
۵/۹۸ d	۲/۱۵ bc	۱۸/۰۲ g	۰/۴۷ fg	۷۸/۶۷ ef	سرکه چوب (۱:۳۰۰)	
۵/۹۷ d	۲/۱۰ bc	۲۰/۲۷ fg	۰/۴۸ fg	۷۹/۳۳ e	سرکه چوب (۱:۲۰۰)	

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است.

Different letters in each column indicate no significant difference between treatments

سرعت جوانه‌زنی

سطوح شوری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به طور معنی‌داری و به ترتیب ۴۲، ۴۸ و ۶۶ درصد سرعت جوانه‌زنی را نسبت به شرایط عادی کاهش دادند (جدول ۲). پرایمینگ بذرها با آب مقطر، سرکه چوب پسته ۳۰۰ و ۲۰۰ برابر رقت در شرایط تنش شوری ۵۰ میلی‌مولار به ترتیب ۶۷، ۵۰ و ۷۴ درصد، در شرایط تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار ۷۳، ۴۶ و ۷۹ درصد و در شرایط تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار ۴۰، ۴۰ و ۵۷ درصد سرعت جوانه‌زنی را نسبت به بذره‌های پرایم نشده به‌طور معنی‌داری افزایش دادند (جدول ۲). سرکه چوب ممکن است جذب آب را تسهیل کند و فعالیت‌های متابولیکی را برای جوانه‌زنی زود هنگام بذر و ظهور ریشه‌چه افزایش دهد (Ofoe *et al.*, 2022).

متوسط زمان جوانه‌زنی

سطوح شوری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به طور معنی‌داری و به ترتیب ۶۵، ۷۷ و ۱۱۲ درصد متوسط زمان جوانه‌زنی را نسبت به شرایط عادی افزایش دادند (جدول ۲). پرایمینگ بذرها در شرایط تنش شوری ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار سبب بهبود متوسط زمان جوانه‌زنی شد. در شرایط تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار پرایمینگ بذرها با آب مقطر و سرکه چوب ۲۰۰ برابر رقت به طور معنی‌داری و به ترتیب متوسط زمان جوانه‌زنی را تا ۲۰ و ۲۹ درصد نسبت به بذره‌های پرایم نشده کاهش دادند (جدول ۲). پرایمینگ بذرها با آب مقطر، سرکه چوب پسته ۳۰۰ و ۲۰۰ برابر رقت در شرایط تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار به ترتیب تا ۱۴، ۱۸ و ۲۰ درصد، متوسط زمان جوانه‌زنی را نسبت به بذره‌های

پرایم نشده به‌طور معنی‌داری افزایش دادند. شوری از طریق کاهش جذب آب توسط بذرها سبب تنش خشکی خواهد شد و تحقیقات نشان داد در دانه‌های کلزا (Akbari and Abadi, 2007) و گندم (Aydin *et al.*, 2015) که تحت تنش خشکی بودند، زمان بیشتری برای جوانه‌زنی مورد نیاز بود.

شاخص وزنی بنیه گیاهچه

شاخص وزنی بنیه گیاهچه در شرایط تنش شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری با شرایط عادی نداشت اما در تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار ۲۵ درصد کاهش یافت. در شرایط عادی پرایمینگ بذرها با سرکه چوب ۲۰۰ برابر رقت به طور معنی‌داری و تا ۱۳ درصد شاخص وزنی بنیه گیاهچه را افزایش داد. در شرایط تنش شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار شاخص وزنی بنیه گیاهچه در بذره‌های پرایمینگ شده تفاوت معنی‌داری با بذره‌های پرایم نشده نداشت، اما در شرایط تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار پرایمینگ بذرها با سرکه چوب ۲۰۰ برابر رقت به طور معنی‌داری و تا ۲۳ درصد شاخص وزنی بنیه گیاهچه را نسبت به بذره‌های پرایم نشده افزایش داد (جدول ۲). نتایج تحقیقات نشان داد پرایمینگ بذره‌های برنج با سرکه چوب نه تنها بنیه بذر و سرعت سبز شدن را به‌طور قابل توجهی بهبود می‌بخشد بلکه پنجه‌زنی را در طول رشد اولیه گیاه افزایش داده، همچنین، بر ویژگی‌های رشد گیاه در مراحل پایانی رشد تأثیر داشته و در نتیجه سبب افزایش تعداد خوشه و عملکرد دانه برنج شده است (Zhang *et al.*, 2022). به نظر می‌رسد هورمون کارریکین موجود در سرکه چوب پسته از طریق افزایش طول ریشه‌چه

پرایمینگ بذرها با سطوح مختلف سرکه چوب پسته و تأثیر متقابل آنها به طور معنی داری و در سطح یک درصد بر اساس آزمون دانکن طول ریشه چه و گیاهچه و همچنین، وزن تر گیاهچه را تحت تأثیر قرار دادند. همچنین، سطوح شوری و تأثیر متقابل شوری و پرایمینگ بذرها به طور معنی دار و در سطح یک درصد بر اساس آزمون دانکن طول ساقه چه و وزن خشک گیاهچه را تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۳).

سبب بهبود جذب مواد غذایی از ریشه و افزایش شاخص وزنی بنیه گیاهچه شده است (Nelson, et al., 2012).

بررسی ویژگی‌های مورفولوژیک گیاهچه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر ساده شوری و پرایمینگ بذرها و همچنین، آثار متقابل آنها تأثیر معنی داری بر طول ریشه چه و گیاهچه و همچنین، وزن تر گیاهچه داشت. سطوح شوری،

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر شوری، پرایمینگ بذور و تأثیر متقابل آنها بر ویژگی‌های مورفولوژیک گیاهچه نیل

Table 3- Variance analysis of the effect of salinity, seed priming and their interaction on the morphological characteristics of indigo seedling

میانگین مربعات						
منابع تغییرات	درجه آزادی	طول ریشه چه	طول ساقه چه	طول گیاهچه	وزن تر گیاهچه	وزن خشک گیاهچه
شوری	۳	۵۱۰/۲۱**	۷۸۷/۸۹**	۲۵۲۷/۲۸**	۰/۰۵۶۰**	۰/۰۰۰۱**
پیش تیمار	۳	۱۱/۹۹**	۱/۳۷ ns	۱۶/۶۲**	۰/۰۰۸۳**	۰/۰۰۰۰۴ ns
شوری* تیمار	۹	۶/۴۶**	۸/۶۰**	۲۵/۱۶**	۰/۰۱۵۶**	۰/۰۰۰۰۴**
خطا	۳۰	۰/۴۲	۰/۷۵	۱/۰۴	۰/۰۲۵۰	۰/۰۰۰۰۲
ضریب تغییرات	-	۶/۸۷	۴/۴۸	۳/۵۵	۴/۳۶	۵/۷۱

ns و ** به ترتیب نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار و اختلاف معنی دار ($p \leq 0.01$) تیمارها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است. ns and ** respectively indicate no significant difference and significant difference ($p \leq 0.01$) of the treatments based on Duncan's multiple range tes

طول ریشه چه، ساقه چه و گیاهچه

متناسب با افزایش سطح شوری طول ریشه چه، ساقه چه و گیاهچه کاهش یافت. سطوح شوری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار به ترتیب ۵۲، ۵۴ و ۷۲ درصد طول ریشه چه، ۲۵، ۳۴ و ۶۱ درصد طول ساقه چه و ۳۴، ۴۱ و ۶۵ درصد طول گیاهچه را نسبت به شرایط عادی کاهش دادند (جدول ۴). در شرایط عادی بیشترین طول ریشه چه و ساقه چه به پرایمینگ بذرها با غلظت ۲۰۰ برابر رقت سرکه چوب تعلق داشت. در شرایط عادی پرایمینگ

بذرها با آب مقطر، سرکه چوب پسته ۳۰۰ و ۲۰۰ برابر رقت به ترتیب، ۴۵، ۱۱۰ و ۳۵ درصد طول ریشه چه، ۱۲، ۸ و ۱۵ درصد طول ساقه چه و ۲۴، ۱۹ و ۲۲ درصد طول گیاهچه را نسبت به بذرهای پرایم نشده افزایش داد. در شرایط شوری ۵۰ میلی مولار پرایمینگ بذرها با آب مقطر، سرکه چوب پسته ۳۰۰ و ۲۰۰ برابر رقت به ترتیب، ۲۵، ۳۰ و ۱۹ درصد طول ریشه چه را نسبت به بذرهای پرایم نشده افزایش داد اما تأثیر معنی داری بر طول ساقه چه نداشتند و طول گیاهچه نیز تنها توسط پرایمینگ

بذرها با سرکه چوب پسته ۳۰۰ برابر رقت به طور معنی دار و تا ۱۲ درصد نسبت به بذرهای پرایم نشده افزایش یافت. پرایمینگ های مختلف بذرها تأثیر مثبت معنی داری بر طول ریشه چه نسبت به بذرهای پرایم نشده در شرایط شوری ۱۰۰ میلی مولار نداشتند و طول ساقه چه و گیاهچه را به طور معنی داری کاهش دادند. در شرایط شوری ۱۵۰ میلی مولار نیز پرایمینگ بذرها با آب مقطر طول ریشه چه، ساقه چه و گیاهچه را به ترتیب تا ۱۸، ۲۴ و ۱۶ درصد نسبت به بذور پرایم نشده افزایش دادند اما پرایمینگ بذرها با سرکه چوب پسته ۳۰۰ برابر رقت تأثیر معنی دار مثبتی بر طول ریشه چه، ساقه چه و گیاهچه نسبت به بذور پرایم نشده نشان نداد و پرایمینگ بذرها با سرکه چوب پسته ۲۰۰ برابر رقت به طور معنی داری بر طول ساقه چه و گیاهچه را نسبت به بذور پرایم نشده کاهش داد. پس از تحمل سطح شوری، کاهش رشد ریشه چه و گیاهچه می تواند با سمیت NaCl و عدم تناسب در جذب عناصر غذایی توسط گیاهچه‌ها مرتبط باشد. گزارش شده است که شوری به طور قابل توجهی باعث کاهش جذب آب و عناصر غذایی، رشد ریشه چه و گیاهچه می شود (Cirka et al., 2021). کاهش طول ریشه چه، ساقه چه و گیاهچه با افزایش سطح شوری مطابق با نتایج محققان پیشین روی لوبیا (Tania et al., 2022) و کرفس (Fathi and Seyedi, 2021) است. همچنین، نتایج ما در استفاده از سرکه چوب پسته در شرایط عادی متناسب با نتایج محققان پیشین است که گزارش کردند پرایمینگ بذرها با سرکه چوب صنوبر سبب افزایش طول ریشه، ساقه و گیاه در برنج (Zhang et al., 2022) و همچنین، گوجه‌فرنگی و فلفل شیرین

شد. بنابراین، پرایمینگ بذرها با سرکه چوب پسته ۲۰۰ برابر رقت در شرایط عادی و ۳۰۰ برابر غلظت در شرایط شوری ۵۰ میلی مولار تأثیرات بهبود دهنده‌ای بر طول ریشه چه، ساقه چه و گیاهچه داشت.

وزن تر و خشک گیاهچه

وزن تر گیاهچه در سطح شوری ۵۰ میلی مولار ۲۱ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت در حالیکه در سطوح شوری ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار به ترتیب ۱/۵ و ۳۶ درصد کاهش یافت. همچنین، سطوح شوری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار به ترتیب ۹، ۱۴ و ۵ درصد وزن خشک گیاهچه را نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۴). پرایمینگ بذرها با آب مقطر، سرکه چوب پسته ۳۰۰ و ۲۰۰ برابر رقت در شرایط عادی و شوری ۱۰۰ میلی مولار تأثیر معنی داری بر وزن تر گیاهچه نداشت با این وجود در شرایط عادی به ترتیب، ۳، ۶ و ۶ درصد وزن تر گیاهچه را نسبت به بذرهای پرایم نشده افزایش دادند. پرایمینگ بذرها با آب مقطر ۱۱ درصد وزن تر گیاهچه را در شرایط شوری ۵۰ میلی مولار نسبت به بذرهای پرایم نشده افزایش داد و پرایمینگ بذرها با مقطر، سرکه چوب پسته ۳۰۰ و ۲۰۰ برابر رقت در شرایط تنش شوری ۱۵۰ میلی مولار تأثیر معنی داری بر وزن تر و خشک گیاهچه داشت و به ترتیب، ۶۷، ۵۰ و ۳۱ درصد وزن تر گیاهچه را نسبت به بذرهای پرایم نشده افزایش دادند. یکی از ویژگی های مطلوب برای ارزیابی تأثیر تنش شوری در گیاهچه‌های گیاهان، تعیین وزن تر و خشک گیاه است. روند عمومی که گیاهچه های در شرایط تنش با آن روبه رو هستند، کاهش وزن تر و خشک

(2019) دریافتند پرایمینگ بذرهای گوجه فرنگی و فلفل شیرین با سرکه چوب صنوبر سبب افزایش وزن زیست توده ریشه و اندام هوایی شد. افزایش رشد ریشه در تأثیر تیمار با سرکه چوب به افزایش جذب و انتقال عناصر معدنی در گیاه نسبت داده شده است (Wang *et al.*, 2019). کشف کارریکین‌ها در اسید پیرولیگنوس یا سرکه چوب انقلابی در استفاده از آن در تولید محصولات زراعی ایجاد کرده است زیرا فعالیت‌های سیگنال‌دهی و بیوفیزیولوژیک آن در گیاهان شبیه هورمون‌های گیاهی شناخته شده است (Dixon *et al.*, 2009; Chiwocha *et al.*, 2009; Flematti *et al.*, 2009; Ofoe *et al.*, 2022)

است. طبق نتایج این پژوهش وزن تر گیاهچه‌هایی که بذرهای آنها پرایم نشده بود در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار به طور معنی‌داری کاهش یافت در حالیکه در شوری ۵۰ میلی‌مولار نه تنها وزن تر این گیاهچه‌ها کاهش نیافت بلکه به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد که نشان دهنده متحمل بودن نسبی این گیاه به شوری است. در تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار وزن تر گیاهچه‌های پرایمینگ شده با همه تیمارها به طور بسیار معنی‌داری افزایش پیدا کرد. نتایج مشابه در آزمایشات سایر پژوهشگران نیز مشاهده شده است که شوری باعث کاهش وزن تر گیاهچه کرفس در مقایسه با شاهد شد (Fathi and Seyedi, 2021). محققان پیشین (Luo *et al.*,

جدول ۴- مقایسه میانگین ویژگی‌های مورفولوژیک گیاهچه نیل تحت پرایمینگ بذرها و شرایط تنش شوری

Table 4- Comparison of the average morphological characteristics of indigo seedling under the seed priming and salt stress conditions

وزن خشک گیاهچه (g)	وزن تر گیاهچه (g)	طول گیاهچه (cm)	طول ساقه‌چه (cm)	طول ریشه چه (cm)	تیمارها	
					پیش تیمار	کلرید سدیم
۰/۰۷۶ ^{bc}	۰/۶۶ ^{bcd}	۴۲ ^b	۲۷/۵۵ ^c	۱۴/۴۵ ^c	بدون پیش تیمار	شاهد
۰/۰۷۶ ^{bc}	۰/۶۸ ^{bcd}	۵۱/۸۸ ^a	۳۰/۸۸ ^{ab}	۲۱/۰۱ ^a	آب مقطر	
۰/۰۷۳ ^c	۰/۷۰ ^{bc}	۵۰/۰۶ ^a	۲۹/۶۸ ^b	۲۰/۳۹ ^{ab}	سرکه چوب (۱:۳۰۰)	
۰/۰۸۳ ^{ab}	۰/۶۹ ^{bc}	۵۱/۰۶ ^a	۳۱/۶۲ ^a	۱۹/۴۴ ^b	سرکه چوب (۱:۲۰۰)	
۰/۰۸۳ ^{ab}	۰/۸۰ ^a	۲۷/۶۴ ^a	۲۰/۶۵ ^{de}	۶/۶۵ ^{de}	بدون پیش تیمار	۵۰mM
۰/۰۷۹ ^{abc}	۰/۷۱ ^b	۲۹/۰۸ ^a	۲۰/۳۳ ^e	۸/۳۳ ^e	آب مقطر	
۰/۰۸۱ ^{abc}	۰/۷۹ ^a	۳۱/۰۶ ^a	۲۱/۹۴ ^d	۹/۹۴ ^d	سرکه چوب (۱:۳۰۰)	
۰/۰۷۷ ^{abc}	۰/۶۸ ^{bcd}	۲۸/۷۷ ^a	۲۰/۴۶ ^{de}	۸/۴۶ ^{de}	سرکه چوب (۱:۲۰۰)	
۰/۰۸۷ ^a	۰/۶۵ ^{cd}	۲۴/۹۰ ^a	۱۸/۲۸ ^f	۶/۶۲ ^e	بدون پیش تیمار	۱۰۰mM
۰/۰۸۸ ^a	۰/۶۳ ^d	۲۱/۳۲ ^a	۱۴/۵۶ ^{gh}	۶/۷۵ ^e	آب مقطر	
۰/۰۸۱ ^{abc}	۰/۶۴ ^d	۲۲/۱۲ ^a	۱۵/۸۹ ^g	۶/۲۳ ^{ef}	سرکه چوب (۱:۳۰۰)	
۰/۰۸۰ ^{abc}	۰/۶۷ ^{bcd}	۱۹/۷۳ ^a	۱۳/۵۴ ^{hi}	۶/۱۹ ^{ef}	سرکه چوب (۱:۲۰۰)	
۰/۰۸۰ ^{abc}	۰/۴۲ ^f	۱۴/۸۸ ^a	۱۰/۷۷ ^j	۴/۱۱ ^{gh}	بدون پیش تیمار	۱۵۰mM
۰/۰۸۳ ^{ab}	۰/۷۰ ^{cd}	۱۷/۶۲ ^a	۱۲/۵۴ ⁱ	۵/۰۸ ^{fg}	آب مقطر	
۰/۰۷۶ ^{bc}	۰/۶۳ ^d	۱۴/۴۸ ^a	۱۱/۰۴ ^j	۳/۴۳ ^h	سرکه چوب (۱:۳۰۰)	
۰/۰۷۵ ^{bc}	۰/۵۵ ^e	۱۳/۴۳ ^a	۹/۹۶ ^j	۳/۴۸ ^h	سرکه چوب (۱:۲۰۰)	

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است.

Different letters in each column indicate no significant difference between treatments.

بررسی ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاهچه

سطوح شوری، پرایمینگ بذرها و تأثیر متقابل آنها تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد بر مقدار قندهای محلول کل، آنتوسیانین و مالون‌دی‌آلدئید (MDA) داشتند. پرایمینگ بذرها تأثیر معنی‌داری بر رادیکال‌های آزاد اکسیژن (ROS) نداشت اما سطوح شوری و تأثیر متقابل سطوح شوری و پرایمینگ بذرها به ترتیب تأثیر معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد بر ROS داشتند (جدول ۵).

قندهای محلول کل و آنتوسیانین

سطوح شوری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به ترتیب مقدار قند محلول کل را ۴۵، ۶۴ و ۴۵ درصد نسبت به شرایط نرمال افزایش دادند. در شرایط

شوری ۵۰ میلی‌مولار پرایمینگ بذرها با آب مقطر، سرکه چوب پسته ۳۰۰ و ۲۰۰ برابر رقت به ترتیب مقدار قند محلول کل را ۹، ۳۱ و ۱۳ درصد نسبت به بذرها پرایم نشده کاهش دادند. در تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار پرایمینگ بذرها با آب مقطر مقدار آنتوسیانین، را نسبت به بذرها پرایم نشده تا ۴۲ درصد افزایش داد. پرایمینگ بذرها با سرکه چوب پسته ۳۰۰ و ۲۰۰ برابر رقت در شرایط شوری ۱۵۰ میلی‌مولار به ترتیب و به طور معنی‌داری مقادیر آنتوسیانین را ۲۵ و ۱۷ درصد افزایش نسبت به بذرها پرایم نشده کاهش دادند. بین مقدار قندهای محلول و آنتوسیانین رابطه منفی معنی‌داری (* 0.32) مشاهده شد (جدول ۶).

جدول ۵- تجزیه واریانس تأثیر شوری، پرایمینگ بذور و تأثیر متقابل آنها بر ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاهچه نیل

Table 5- Analysis of variance of the effect of salinity, seed priming and their interaction on the biochemical characteristics of indigo seedling.

میانگین مربعات					
منابع تغییرات	درجه آزادی	قند محلول کل	آنتوسیانین	رادیکال‌های آزاد اکسیژن	مالون دی‌آلدئید
شوری	۳	۰/۰۴۴**	۰/۰۲۷**	۳۷۲/۶۱*	۰/۳۹**
پیش تیمار	۳	۰/۰۰۷**	۰/۰۰۹۱**	۱۸۲/۰۰۵ ^{ns}	۰/۵۰**
شوری*تیمار	۹	۰/۰۰۸**	۰/۰۸۰**	۲۹۰/۸۷**	۰/۶۶**
خطا	۳۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۵	۹۷/۴۲	۰/۰۴
ضریب تغییرات	-	۱۰/۵۴	۱۵/۶۷	۶/۲۸	۱۴/۸۸

** و * به ترتیب نشان دهنده اختلاف معنی‌دار تیمارها در سطح ۱ و ۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

** and * indicate a significant difference between the treatments at the 1 and 5% level, respectively, based on Duncan's multiple range test.

جدول ۶- همبستگی بین صفات بیوشیمیایی گیاهچه نیل تحت پرایمینگ بذرها و شرایط تنش شوری

Table 7- Correlation between biochemical traits of indigo seedling under seed priming and salt stress conditions

مالون‌دی‌آلدئید	قندهای محلول	آنتوسیانین
		-۰/۳۲۰*
		-۰/۱۴۸ ^{ns}
۰/۴۳۸**	۰/۲۴۲ ^{ns}	-۰/۱۳۰ ^{ns}

^{ns}، ** و * به ترتیب نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار تیمارها در سطح ۱ و ۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

^{ns}, ** and * respectively indicate no significant difference and significant difference between treatments at 1 and 5% level based on Duncan's multi-range test.

در شرایط شوری ۱۰۰ میلی‌مولار پرایمینگ بذرها با آب مقطر و سرکه چوب پسته ۳۰۰ برابر رقت به ترتیب مقدار قند محلول کل را به طور معنی دار ۱۱ و ۲۸ درصد نسبت به بذرهای پرایم نشده کاهش دادند. در شرایط شوری ۱۵۰ میلی‌مولار، تفاوت معنی‌داری در مقدار قند محلول کل

گیاهچه‌های حاصل از بذرهای پرایم نشده و پرایم شده با سرکه چوب پسته ۳۰۰ و ۲۰۰ برابر رقت مشاهده نشد. در شرایط شوری ۱۵۰ میلی‌مولار پرایمینگ بذرها با آب مقطر مقدار قندهای محلول را نسبت به بذرهای پرایم نشده تا ۱۳ درصد افزایش داد (جدول ۷).

جدول ۷- مقایسه میانگین ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاهچه نیل تحت پرایمینگ بذرها و شرایط تنش شوری

Table 6- Comparison of the average biochemical characteristics of indigo seedling under seed priming and salt stress conditions

مالون‌دی‌آلدهید ($\mu\text{mol/g fw}$)	رادیکال‌های آزاد اکسیژن ($\mu\text{mol/g fw}$)	آنتوسیانین ($\mu\text{mol/g fw}$)	قند محلول کل (mg/g fw)	تیمارها	
				پیش تیمار	کلرید سدیم
۰/۳۱ ^k	۱۴۳/۱۰ ^g	۰/۱۹۳ ^a	۰/۲۲ ^g	بدون پیش تیمار	شاهد
۰/۳۱ ^{e-i}	۱۷۱/۸۶ ^{ab}	۰/۱۱۳ ^{fg}	۰/۳۸ ^{ab}	آب مقطر	
۰/۳۱ ^{h-k}	۱۴۵/۶۱ ^{fg}	۰/۱۴۰ ^{de}	۰/۴۰ ^a	سرکه چوب (۱:۳۰۰)	
۰/۳۱ ^{h-k}	۱۴۹/۶۱ ^{d-g}	۰/۱۷۳ ^{ab}	۰/۲۶ ^f	سرکه چوب (۱:۲۰۰)	۵۰mM
۲/۰۷ ^b	۱۶۵/۵۶ ^{a-e}	۰/۱۴۳ ^{fgh}	۰/۳۲ ^d	بدون پیش تیمار	
۱/۶۷ ^{cd}	۱۵۱/۰۶ ^{d-f}	۰/۱۴۰ ^d	۰/۲۹ ^{def}	آب مقطر	
۱/۶۳ ^{c-f}	۱۶۰/۴۹ ^{a-g}	۰/۱۶۷ ^{bc}	۰/۲۲ ^g	سرکه چوب (۱:۳۰۰)	۱۰۰mM
۱/۶۶ ^{cde}	۱۵۱/۶۶ ^{c-g}	۰/۰۸۰ ⁱ	۰/۲۸ ^f	سرکه چوب (۱:۲۰۰)	
۱/۳۰ ^{d-i}	۱۶۲/۱۰ ^{a-g}	۰/۰۹۳ ^{ghi}	۰/۳۶ ^{bc}	بدون پیش تیمار	
۱/۳۴ ^{d-i}	۱۴۸/۷۴ ^{d-g}	۰/۱۸۷ ^{ab}	۰/۳۲ ^d	آب مقطر	۱۵۰mM
۱/۰۹ ^{h-k}	۱۵۰/۲۹ ^{d-g}	۰/۰۸۳ ^{hi}	۰/۲۶ ^g	سرکه چوب (۱:۳۰۰)	
۱/۶۵ ^{c-f}	۱۴۸/۵۹ ^{d-g}	۰/۰۷۶ ⁱ	۰/۳۸ ^{ab}	سرکه چوب (۱:۲۰۰)	
۲/۰۰ ^{bc}	۱۶۵/۹۵ ^{a-e}	۰/۱۲۰ ^{fg}	۰/۳۲ ^{de}	بدون پیش تیمار	۱۵۰mM
۲/۶۵ ^a	۱۷۸/۶۹ ^a	۰/۱۷۰ ^{bc}	۰/۳۶ ^{bc}	آب مقطر	
۰/۸۶ ^{jk}	۱۵۳/۹۴ ^{b-g}	۰/۱۵۰ ^{cd}	۰/۳۴ ^{cd}	سرکه چوب (۱:۳۰۰)	
۱/۳۸ ^{d-h}	۱۶۰/۷۸ ^{a-g}	۰/۱۴۰ ^{de}	۰/۳۱ ^{de}	سرکه چوب (۱:۲۰۰)	

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است.

Different letters in each column indicate no significant difference between treatments.

Caparros and Teresa Lao, 2018). از بین ترکیبات آلی قندها بیش از ۵۰ درصد مجموع مواد متشکله اسمزی را تشکیل می‌دهند (Cram, 1976). تجمع قند در شرایط تنش شوری سازوکارهای سازگاری هستند که می‌توانند تحمل به نمک را در گیاهان بهبود بخشند (Karimian,

گیاهان تحت تنش شوری به دلیل تنظیم اسمزی، محافظت اسمزی و ذخیره کربن، قند را در بافت‌های خود جمع می‌کنند. متابولیت‌های مربوط به سازگاری مانند قندهای محلول در تأثیر تنش برای تنظیم اسمزی و جلوگیری از کاهش محتوی آب نسبی برگ می‌یابد (Garcia-

پرایمینگ بذرها با آب مقطر، سرکه چوب پسته ۳۰۰ و ۲۰۰ برابر رقت به ترتیب مقدار ROS را ۳، ۹ و ۹ درصد و مقدار MDA را ۱۹، ۲۱ و ۲۰ درصد نسبت نسبت به بذرهای پرایم نشده کاهش دادند. در شرایط شوری ۱۰۰ میلی‌مولار پیش تیمار بذرها با آب مقطر و سرکه چوب پسته ۲۰۰ و ۳۰۰ برابر رقت به ترتیب مقدار ROS را به طور غیرمعنی داری ۸، ۷ و ۸ درصد نسبت به بذرهای پیش تیمار نشده کاهش دادند. همچنین، در شرایط شوری ۱۰۰ میلی‌مولار پرایمینگ بذرها با آب مقطر، سرکه چوب پسته ۳۰۰ برابر رقت مقدار MDA را ۱۶ درصد نسبت به بذرهای پرایم نشده کاهش دادند. در شرایط شوری ۱۵۰ میلی‌مولار پرایمینگ بذرها با سرکه چوب پسته ۳۰۰ و ۲۰۰ برابر رقت تأثیر معنی‌داری بر مقدار ROS نداشتند و مقدار MDA را ۵۷ و ۳۲ درصد نسبت به بذرهای پرایمینگ نشده کاهش دادند. تنش از طریق تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) باعث ایجاد پراکسیداسیون غشاهای لیپیدی و افزایش مالون‌دی‌آلدئید (Ebrahimi *et al.*, 2010)، آسیب به مولکول‌های لیپید، پروتئین، اسیدهای نوکلئیک، آنزیم‌ها و DNA می‌شود (Sachdev *et al.*, 2021). پرایمینگ بذرهای برنج با سرکه چوب از طریق افزایش مقدار آنزیم گایاکول پراکسیداز (آنزیم از بین برنده H_2O_2) و سوپراکسید دیسموتاز (آنزیم حذف کننده رادیکال‌های آزاد اکسیژن) سطح پراکسید و در نتیجه از تنش اکسیداتیو را در گیاه کاهش داد (Dissatian *et al.*, 2018). همچنین، فل‌های موجود در سرکه چوب ممکن است نقش آنتی‌اکسیدانی داشته و با مهار گونه‌های اکسیژن

(and Samiei, 2021). در تأثیر تنش‌های شوری و خشکی، تخریب و هیدرولیز مولکول‌های درشت‌تر نظیر نشاسته و تبدیل آنها به ترکیبات قندی نظیر ساکاروز و سپس مولکول‌های کوچکتری مانند گلوکز و فروکتوز باعث منفی شدن پتانسیل آب در غشای سلول‌ها و تنظیم اسمزی می‌شود (Bartles and Sunkar, 2005). تنش شوری بر سنتز کربوهیدرات‌ها در فرآیند فتوسنتز و انتقال و استفاده از این ترکیبات در بافت‌های گیاهی تأثیر دارد و باعث افزایش سنتز این ترکیبات می‌شود تجمع قند در شرایط تنش شوری سازوکارهای سازگاری هستند که می‌توانند تحمل به نمک را در گیاهان بهبود بخشند (Karimian, and Samiei, 2021). برخی از محققان (Zhu *et al.*, 2022) نشان دادند که پس از کاربرد سرکه چوب در شرایط تنش سرمایی مقدار مواد تنظیم اسمزی از جمله قندهای محلول بهبود یافت که توانست سبب افزایش تحمل به سرما در کلزا شود. تحقیق حاضر، نشان می‌دهد به دلیل افزایش قندهای محلول کل با افزایش شوری احتمالاً نیل می‌تواند به عنوان یک گیاه متحمل به شوری استفاده شود.

رادیکال‌های آزاد اکسیژن (ROS) و مالون‌دی‌آلدئید (MDA)

رابطه مثبت معنی‌داری ($0/438^{**}$) بین مقدار ROS و MDA مشاهده شد (جدول ۶). سطوح شوری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار مقدار ROS را به ترتیب ۱۶، ۱۳ و ۱۶ درصد و مقدار MDA را ۱۹۲، ۸۳ و ۱۸۲ درصد نسبت به شرایط نرمال افزایش دادند (جدول ۷). در شرایط شوری ۵۰ میلی‌مولار

آزاد اکسیژن، مالون‌دی‌آلدئید افزایش و مقدار آنتوسیانین کاهش یافت. پرایمینگ بذرها با سرکه چوب پسته در شرایط شوری سبب افزایش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، شاخص وزنی بنیه گیاهچه شد و متوسط زمان جوانه‌زنی را کاهش داد. همچنین، پرایمینگ بذرها با سرکه چوب پسته ۳۰۰ و ۲۰۰ برابر رقت در شرایط عادی و شوری ۵۰ میلی‌مولار تأثیر بهبود دهنده‌ای بر ویژگی‌های مورفولوژیک گیاهچه نسبت به بذرهای پرایمینگ نشده داشتند. پرایمینگ بذرها با سرکه چوب پسته ۳۰۰ برابر رقت در شرایط شوری تا ۱۰۰ میلی‌مولار تأثیر کاهش دهنده‌ای بر مقدار قندهای محلول و مالون‌دی‌آلدئید گذاشت و با بهبود سیستم پاداکسنده سبب بهبود وضعیت بیوشیمیایی گیاهچه‌ها در مقابل تنش اکسیداتیو شد. با اینکه پرایمینگ بذرها با سرکه چوب پسته ۲۰۰ برابر رقت نیز در برخی موارد تأثیر بهبوددهندگی بهتری نسبت به سرکه چوب ۳۰۰ برابر رقت داشت اما از آنجائیکه در بیشتر موارد تفاوت معنی‌داری از نظر آماری با یکدیگر نداشتند، بنابراین، به نظر می‌رسد سرکه چوب پسته ۳۰۰ برابر رقت به عنوان عامل تعدیل‌کننده تأثیرات منفی ناشی از تنش شوری در پرایمینگ بذر نیل کاربردی‌تر و اقتصادی‌تر است.

سپاسگزاری

بدینوسیله نویسندگان از پشتیبانی‌های دانشگاه جیرفت در زمینه پیش‌برد این کار پژوهشی کمال قدردانی را دارند.

فعال، کاهش قدرت فعالیت و پراکسیداسیون چربی و سبب کاهش MDA شدند (Loo et al., 2007; Wei et al., 2010; Dissatian et al., 2018) از آنجایی که MDA محصول پراکسیداسیون لیپیدی است که در تأثیر تنش اکسیداتیو ایجاد می‌شود، تحقیقات پیشین نیز نشان دادند که تنش شوری (۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) مقدار MDA را پس از ۵ و ۱۰ روز تا ۳۵ و ۶۸ درصد در گندم افزایش داد (Zou et al., 2016). تولید و تجمع MDA در سلول‌های هدف اغلب به عنوان یک شاخص برای ارزیابی شرایط تنش اکسیداتیو برای موجودات استفاده می‌شود. تحت شرایط تنش، تجمع مداوم MDA به زوال سلولی و آسیب غشای سلولی منجر می‌شود. بنابراین، محتوای بالای MDA نشان دهنده آسیب سلولی بیشتر است که تهدیدی برای رشد گیاه محسوب می‌شود (Lu et al., 2019).

نتیجه‌گیری

امروزه استفاده از محصولات طبیعی مختلف مانند اسید پیرولیگنوس یا سرکه چوب برای تولید محصولات زراعی بدون به خطر انداختن محیط زیست و سیستم‌های اکولوژیک مورد توجه بسیاری از محققان و کشاورزان است. در این پژوهش با افزایش سطح شوری، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، ضریب سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه گیاهچه، وزن تر گیاهچه، درصد ماده خشک، طول ریشه‌چه کاهش و متوسط زمان جوانه‌زنی افزایش یافت. همچنین، با افزایش سطح شوری مقدار قندهای محلول کل، رادیکال‌های

References

- Abdel Latef, A. A. H., Tahjib-Ul-Arif, M., & Rhaman, M. S. (2021). Exogenous auxin-mediated salt stress alleviation in faba bean (*Vicia faba* L.). *Agronomy*, 11(3), 547-563.
- Abdolahipour, B., & Haghghi, M. (2019). The effect of pine wood vinegar on germination, growth and physiological characteristics, and uptake of elements in Basil. *Journal of Science and Technology Greenhouse Culture*, 10(2), 11-24 (in Persian).
- Akbari, G. A., & Abadi, M. R. L. H. (2007). Investigation of seed vigor and germination of canola cultivars under less irrigation in padding stage and after it. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10(17): 2880-2884.
- Albalasmeh, A. A., Berhe, A. A., & Ghezzehei, T. A. (2013). A new method for rapid determination of carbohydrate and total carbon concentrations using UV spectrophotometry. *Carbohydrate Polymers*, 97(2), 253-261.
- Ansouri, A., Shahqli, H., Asghari, H., & Azarnia, M. (2012). Studying the allelopathic effect of 7 plants on the germination and initial growth of the industrial-medicinal plant Wasmeh. *Plant Production Technology*, 12(1), 65-74 (in Persian).
- Bewley, J. D., Bradford, K., & Hilhorst, H. (2012). *Seeds: physiology of development, germination and dormancy*. Springer Science & Business Media.
- Bilehal, D., Li, L., & Kim, Y. H. (2012). Gas chromatography–mass spectrometry analysis and chemical composition of the bamboo-carbonized liquid. *Food Analytical Methods*, 5, 109-112.
- Chiwocha, S. D., Dixon, K. W., Flematti, G. R., Ghisalberti, E. L., Merritt, D. J., Nelson, D. C., ... & Stevens, J. C. (2009). Karrikins: a new family of plant growth regulators in smoke. *Plant Science*, 177(4), 252-256.
- Cirka, M., Kaya, A. R., & Eryigit, T. (2021). Influence of temperature and salinity stress on seed germination and seedling growth of soybean (*Glycine max* L.). *Legume Research*, 44(9), 1053-1059.
- Cram, W. J. (1976). Negative feedback regulation of transport in cells. The maintenance of turgor, volume and nutrient supply. *Transport in Plants II: Part A Cells*, 2, 284-316.
- Dissatian, A., Sanitchon, J., Pongdontri, P., Jongrunklang, N., & Jothityangkoon, D. (2018). Potential of wood vinegar for enhancing seed germination of three upland rice varieties by suppressing malondialdehyde production. *Journal of Agricultural Science*, 40(2), 371-380.
- Dixon, K. W., Merritt, D. J., Flematti, G. R., & Ghisalberti, E. L. (2009). Karrikinolide—a phytoactive compound derived from smoke with applications in horticulture, ecological restoration and agriculture. *Acta Horticulturae*, 813, 155-170.
- Ebrahimi, A., Naqvi, M. R., & Sabokdast, M. (2010). Comparison of different species of barely landraces in terms of chlorophyll, carotenoids, protein and enzyme. *Iranian Journal of Crop Science*, 41(1), 57-65.
- Fathi, Sh., & Seyedi, A. (2021). The effect of celery (*Apium graveolence*) seed osmo-priming on germination indices and physiological characteristics of seedlings under salinity stress. *Journal of Seed Research*, 11(1), 69-83 (in Persian).
- Flematti, G. R., Ghisalberti, E. L., Dixon, K. W., & Trengove, R. D. (2004). A compound from smoke that promotes seed germination. *Science*, 305, 977-977.

- Flematti, G. R., Ghisalberti, E. L., Dixon, K. W., & Trengove, R. D. (2009). Identification of alkyl substituted 2 H-furo [2, 3-c] pyran-2-ones as germination stimulants present in smoke. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(20), 9475-9480.
- Ganjali, A. R., Ajorlo M., & Khaksafidi, A. (2017). The effect of drought and salinity stress on seed germination of (*Alyssum homalocarpum*). *Journal of Crop Breeding*, 21, 133-146 (in Persian).
- García-Caparrós, P., & Lao, M. T. (2018). The effects of salt stress on ornamental plants and integrative cultivation practices. *Scientia Horticulturae*, 240, 430-439.
- Gomez-Roldan, V., Fermas, S., Brewer, P. B., Puech-Pagès, V., Dun, E. A., Pillot, J. P., ... & Rochange, S. F. (2008). Strigolactone inhibition of shoot branching. *Nature*, 455, 189-194.
- Gopalakrishnan, T., & Kumar, L. (2020). Modeling and mapping of soil salinity and its impact on Paddy Lands in Jaffna Peninsula, Sri Lanka. *Sustainability*, 12(20), 8317-8329.
- Grewal, A., Abbey, L., & Gunupuru, L. R. (2018). Production, prospects and potential application of pyroligneous acid in agriculture. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 135, 152-159.
- Hampton, J. G., & Tekrony, D. M. (1995). *Handbook of vigor test methods*. Zurich: The International Seed Testing Association.
- Hunter, E. A., Glasbey, C. A., & Naylor, R. E. L. (1984). The analysis of data from germination tests. *The Journal of Agricultural Science*, 102(1), 207-213.
- Jahanbakhsh, S., Parmon, Gh., Azad, H., & Ghatei, A. (2019). Modeling hydrotime and threshold tolerance to salinity and drought on germination different species Basil (*Ocimum basilicum*). *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 7(2), 119-142 (in Persian).
- Kader, M. A. (2005). A comparison of seed germination calculation formulae and the associated interpretation of resulting data. *Journal and Proceeding of the Royal Society of New South Wales*, 138, 65-75.
- Karimian, Z., & Samiei, L. (2021). Mitigation of salt stress by mycorrhizal inoculation on *Nitraria schoberi* as a native landscape plant in the arid regions. *Desert*, 26(1), 16-27.
- Kulkarni, M. G., Ascough, G. D., Verschaeve, L., Baeten, K., Arruda, M. P., & Van Staden, J. (2010). Effect of smoke-water and a smoke-isolated butenolide on the growth and genotoxicity of commercial onion. *Scientia Horticulturae*, 124(4), 434-439.
- Loo, A. Y., Jain, K., & Darah, I. (2007). Antioxidant and radical scavenging activities of the pyroligneous acid from a mangrove plant, *Rhizophora apiculata*. *Food Chemistry*, 104(1), 300-307.
- Luo, X., Wang, Z., Meki, K., Wang, X., Liu, B., Zheng, H., ... & Li, F. (2019). Effect of co-application of wood vinegar and biochar on seed germination and seedling growth. *Journal of Soils and Sediments*, 19, 3934-3944.
- Ma, C., Song, K., Yu, J., Yang, L., Zhao, C., Wang, W., ... & Zu, Y. (2013). Pyrolysis process and antioxidant activity of pyroligneous acid from *Rosmarinus officinalis* leaves. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 104, 38-47.
- Machado, R. M. A., & Serralheiro, R. P. (2017). Soil salinity: effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil

- salinization. *Horticulturae*, 3(30), 3390-3404.
- Madadi, M., Khomari, S., Javadi A., & Sofalian, A. (2016). The effect of priming with calcium nitrate and nano zinc oxide on seed germination and seedling growth of *Nigella sativa* under salt stress. *Plant Process and Function*, 15(5), 169-179 (in Persian).
- Maguire, J. D. (1962). Speed of germination, aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2, 176-177.
- Moradi, F., & Ismail, A. M. (2007). Responses of photosynthesis, chlorophyll fluorescence and ROS-scavenging systems to salt stress during seedling and reproductive stages in rice. *Annals of Botany*, 99(6), 1161-1173.
- Nelson, D. C., Flematti, G. R., Ghisalberti, E. L., Dixon, K. W., & Smith, S. M. (2012). Regulation of seed germination and seedling growth by chemical signals from burning vegetation. *Annual Review of Plant Biology*, 63, 107-130.
- Ofoe, R., Qin, D., Gunupuru, L. R., Thomas, R. H., & Abbey, L. (2022). Effect of pyroligneous acid on the productivity and nutritional quality of greenhouse tomato. *Plants*, 11(13), 1650-1665.
- Pravar, A., Omidi, H., Isanezhad, N. S., & Amirzadeh, M. (2015). The effect of hydropriming in reducing the effects of salinity stress on germination and proline content of the seeds of 2 medicinal species of *Echinacea purpurea* and *Cichorium intybus*. *Journal of Seed Research*, 5(4), 34-44 (in Persian).
- Wei, Q., Ma, X., Zhao, Z., Zhang, S., & Liu, S. (2010). Antioxidant activities and chemical profiles of pyroligneous acids from walnut shell. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 88(2), 149-154.
- Rhaman, M. S., Imran, S., Rauf, F., Khatun, M., Baskin, C. C., Murata, Y., & Hasanuzzaman, M. (2021). Seed priming with phytohormones: An effective approach for the mitigation of abiotic stress. *Plants* 10, 5772-5787.
- Rhaman, M. S., Rauf, F., Tania, S. S., Karim, M. M., Sagar, A., Robin, A. H. K., & Murata, Y. (2021). Seed priming and exogenous application of salicylic acid enhance growth and productivity of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) by regulating photosynthetic attributes. *Journal of Experimental Agriculture International*, 9, 759-769.
- Rhaman, M. S., Rauf, F., Tania, S. S., & Khatun, M. (2020). Seed priming methods: Application in field crops and future perspectives. *Asian Journal of Research in Crop Science*, 5(2), 8-19.
- Ranal, M. A., & Santana, D. G. D. (2006). How and why to measure the germination process?. *Brazilian Journal of Botany*, 29, 1-11.
- Rasel, M., Tahjib-Ul-Arif, M., Hossain, M. A., Hassan, L., Farzana, S., & Brestic, M. (2021). Screening of salt-tolerant rice landraces by seedling stage phenotyping and dissecting biochemical determinants of tolerance mechanism. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40, 1853-1868.
- Rastegari, F., Tohidinejad, E., & Mohammadi-nejad, G. (2021). Evaluating the yield of dry leaf and seed and leaf and seed water use efficiency of four indigo (*Indigofera tinctorial* L.) ecotypes under water deficit conditions. *Journal of Agroecology*, 12(4), 651-662 (in Persian).
- Sachdev, S., Ansari, S. A., Ansari, M. I., Fujita, M., & Hasanuzzaman, M. (2021). Abiotic stress and reactive oxygen species: Generation, signaling, and defense mechanisms. *Antioxidants*, 10(2), 277-300.
- Salek Mearaji, H., Tavakoli, A., Ghanimati

- S., & Kathyro, P. (2019). The effect of salinity stress on traits related to *Chenopodium quinoa* germination. *Crop Ecology Quarterly*, 15(3), 59-69 (in Persian).
- Salimi, H., & Ghorbanli, M. (2001). A study on seed germination of *Avena ludoviciana* and the effective factors in seed dormancy breaking. *Rostaniha*, 2(1), 41-56.
- Simma, B., Polthanee, A., Goggi, A. S., Siri, B., Promkhambut, A., & Caragea, P. C. (2017). Wood vinegar seed priming improves yield and suppresses weeds in dryland direct-seeding rice under rainfed production. *Agronomy for Sustainable Development*, 37, 1-9.
- Taati, F., Talebi, H. Ebadi, M., Khoshnoudi Yazdi, A., & Dadkhah, A. (2013). The effect of drought and salinity stress on the germination characteristics of the medicinal plant indigo (*Indigofera tinctoria*). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 7(1), 112-119 (in Persian).
- Tania, S. S., Rhaman, M. S., & Hossain, M. M. (2020). Hydro-priming and halo-priming improve seed germination, yield and yield contributing characters of okra (*Abelmoschus esculentus* L.). *Tropical Plant Research*, 7(1), 86-93.
- Tiilikkala, K., Fagernas, L., & Tiilikkala, J. (2010). History and use of wood pyrolysis liquids as biocide and plant protection product. *The Open Agriculture Journal*, 4, 111-118.
- Tirani, M., & Haghjou, M. (2019). Reactive oxygen species (ROS), total antioxidant capacity (AOC) and malondialdehyde (MDA) make a triangle in evaluation of zinc stress extension. *Journal of Animal and Plant Science*, 29, 1100-1111.
- Wang, Y., Qiu, L., Song, Q., Wang, S., Wang, Y., & Ge, Y. (2019). Root proteomics reveals the effects of wood vinegar on wheat growth and subsequent tolerance to drought stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(4), 943-966.
- Wagner, G. J. (1979). Content and vacuole/extravacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanin in protoplasts. *Plant Physiology*, 64(1), 88-93.
- Wei, Q., Ma, X., Zhao, Z., Zhang, S., & Liu, S. (2010). Antioxidant activities and chemical profiles of pyroligneous acids from walnut shell. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 88(2), 149-154.
- Wititsiri, S. (2011). Production of wood vinegars from coconut shells and additional materials for control of termite workers, *Odontotermes* sp. and striped mealy bugs, *Ferrisia virgata*. *Songklanakarin Journal of Science & Technology*, 33(3), 349-354.
- Zeinivand, M., & Nasr Esfahani, M. (2021). The effect of priming with sodium hydrosulfide and salicylic acid on early stages of growth of alfalfa (*Medicago sativa* L.) under salt stress. *Iranian Journal of Plant Biology*, 13(3), 43-64 (in Persian).
- Zhai, M., Shi, G., Wang, Y., Mao, G., Wang, D., & Wang, Z. (2015). Chemical compositions and biological activities of pyroligneous acids from walnut shell. *BioResources*, 10(1), 1715-1729.
- Zhang, K., Khan, Z., Liu, J., Luo, T., Zhu, K., Hu, L., ... & Luo, L. (2022). Germination and Growth Performance of Water-Saving and Drought-Resistant Rice Enhanced by Seed Treatment with Wood Vinegar and Biochar under Dry Direct-Seeded System. *Agronomy*, 12(5), 1223-1242.
- Zhu, Z. H., Sami, A., Xu, Q. Q., Wu, L. L., Zheng, W. Y., Chen, Z. P., ... & Zhou, K. J. (2021). Effects of seed priming treatments on the germination and development of two rapeseed (*Brassica*

napus L.) varieties under the co-influence of low temperature and drought. *Plos One*, 16(9), 236-260.

Zhu, K., Liu, J., Luo, T., Zhang, K., Khan, Z., Zhou, Y., ... & Hu, L. (2022). Wood

vinegar impact on the growth and low-temperature tolerance of rapeseed seedlings. *Agronomy*, 12(10), 2453-2467.