Iranian Journal of Seed Research

Homepage: https://yujs.yu.ac.ir/jisr

ISSN: 2383-1480 (On-Line); 2383-1251 (Print)

Yasouj University

Priming and Coating Seeds with Humic Acid as an Effective Strategy in the Integrated Management of Salt-Affected Soils

Atefeh Rashidifard [1]✉, and **Meisam Rezaei** [2]

1. Corresponding author, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Ilam, Iran. Email: rashidifardatefeh@gmail.com
2. Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran. Email: meisam.rezaei1@gmail.com

Article Info

Article type:
Review Article

Article history:
Received 13 October 2025
Received in revised form 15 February 2026
Accepted 16 February 2026
Available online 20 March 2026

Keywords:
Germination
Humic acid
Salinity stress
Seed priming

ABSTRACT

Objective: Salinity is a major abiotic stress reducing crop yield and quality worldwide. This review systematically evaluates the effectiveness of seed priming and coating with humic acid (HA) as a strategy to improve germination, seedling establishment, and plant growth under salt stress.

Method: A comprehensive literature search was conducted in major scientific databases (Web of Science, Scopus, Google Scholar) using relevant keywords. Studies investigating physiological, biochemical, and molecular mechanisms of HA-mediated salt tolerance through seed priming and coating were reviewed.

Results: Seed priming and coating with humic acid significantly improved germination percentage and rate, increased root and shoot growth, and enhanced chlorophyll content and photosynthetic efficiency under salinity. HA reduced Na^+ accumulation, improved K^+/Na^+ ratio, and increased activity of antioxidant enzymes (SOD, CAT, POX). It also promoted ATP production and facilitated uptake of essential nutrients (K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}).

Conclusions: Seed priming and coating with humic acid is an effective, low-cost, and environmentally friendly approach to enhance salt tolerance in crops. It accelerates seedling establishment, stimulates root growth, and reduces oxidative stress by boosting antioxidant enzyme activity. Future research should focus on synergistic effects with other biostimulants across different crops and salinity levels.

Cite this article: Rashidifard, A., & Rezaei, M. (2026). Priming and coating seeds with humic acid as an effective strategy in the integrated management of salt-affected soils. *Iranian Journal of Seed Research*, *12*(2), 1-30. http://doi.org/10.66224/yujs.12.2.1

© The Author(s).

Publisher: Yasouj University.

DOI: 10.66224/yujs.12.2.1

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.66224/yujs.12.2.1]

Highlights

- Priming and coating seeds with humic acid boosts plant tolerance to salinity stress.
- Humic acid improves soil health and nutrient efficiency sustainably.
- Priming and coating seeds with humic acid is a cost-effective method for boosting crop growth and yield in salt-affected soils.

Introduction

Soil salinity is one of the most critical abiotic stresses worldwide, negatively affecting seed germination, seedling establishment, and crop productivity by causing ionic imbalance, osmotic stress, and oxidative damage (Munns & Tester, 2008; Parihar et al., 2015). Approximately 20% of cultivated lands and 33% of irrigated agricultural lands are affected by salinity, and early seedling stages are particularly sensitive due to reduced chlorophyll synthesis, limited photosynthesis, and impaired root and shoot growth (FAO, 2024; Hasanuzzaman et al., 2018). Traditional reclamation methods such as soil leaching and desalination are expensive and water-intensive, necessitating sustainable, low-cost, and eco-friendly alternatives (Johnson & Puthur, 2021; Biswas et al., 2023).

Seed priming and coating with stress-alleviating substances have emerged as effective strategies to enhance plant salt tolerance by activating physiological, biochemical, and molecular defense mechanisms (Paparella et al., 2015; Ibrahim, 2016). Humic acid (HA), a natural organic compound derived from decomposition of plant and animal residues, improves soil fertility, nutrient uptake, and root growth while exhibiting hormone-like activity (de Melo et al., 2016; Yang et al., 2021). HA priming increases antioxidant enzyme activity (SOD, CAT, POX), maintains ionic homeostasis by improving K^+/Na^+ ratio, reduces Na^+ and Cl^- accumulation, enhances ATP production, and promotes chlorophyll content and photosynthetic efficiency under salinity stress (Trevisan et al., 2010; Rashidifard et al., 2020; Abbas et al., 2022). This review evaluates the efficiency, sustainability, and applicability of HA-based seed priming and coating as a promising approach for sustainable agriculture in salt-affected soils.

Method

This review was conducted as a systematic and narrative synthesis of scientific literature on seed priming and coating with HA for salinity stress alleviation. A comprehensive literature search was performed using major electronic databases including Web of Science, Scopus, Google Scholar, PubMed, and the Iranian Scientific Information Database (SID) without date restriction up to February 2026. The search strategy employed keywords and their combinations such as "seed priming", "seed coating", "humic acid", "salinity stress", "salt tolerance", "germination", "antioxidant enzymes", and "ionic homeostasis" in both English and Persian. Only original research articles, peer-reviewed reviews, and conference papers investigating the effects of HA applied exclusively via seed priming or seed coating on plants under salt stress were included. Studies that applied HA only as soil amendment or

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.66224/yujs.12.2.1]

foliar spray, non-peer-reviewed reports, and articles not written in English or Persian were excluded. After title, abstract, and full-text screening, a total of 78 relevant studies were included. Data were extracted on plant species, salinity level, HA concentration and application method, priming/coating duration, and measured parameters including germination, growth, antioxidant enzyme activity, ion content, photosynthesis, and molecular responses. The findings were qualitatively synthesized to highlight the physiological, biochemical, and molecular mechanisms through which HA priming and coating mitigate salt stress.

Results

The reviewed studies consistently demonstrated that seed priming and coating HA significantly improved germination parameters and early seedling growth under salinity stress. HA treatment increased germination percentage (20–50%), germination rate, and uniformity compared to unprimed controls across various crops including maize, wheat, barley, rice, and bean. Root length and shoot length were enhanced by 25–60% and 15–40%, respectively, due to improved membrane permeability and mobilization of seed reserves (Rashidifard et al., 2021; Abbas et al., 2022; Rady, 2012). Furthermore, HA priming substantially boosted the activity of antioxidant enzymes, including superoxide dismutase (SOD, 25–45% increase), catalase (CAT, 30–50% increase), and peroxidase (POX, 20–40% increase), which reduced reactive oxygen species (ROS) accumulation and lipid peroxidation (MDA content decreased by 25–45%). These biochemical changes led to lower electrolyte leakage and oxidative damage in HA-primed seedlings under salt stress (Rashidifard et al., 2020; Jarošová et al., 2016).

HA priming also improved ionic homeostasis by reducing Na^+ accumulation in shoots and roots (up to 38% reduction) while increasing K^+, Ca^{2+}, and Mg^{2+} uptake, thereby significantly enhancing the K^+/Na^+ ratio (30–70% increase) (Abbas et al., 2022; Azad et al., 2017). Chlorophyll content (15–35% increase), net photosynthetic rate, stomatal conductance, and water use efficiency were all improved by HA treatment under salinity (Chen et al., 2022; Sheteiwy et al., 2017). At the molecular level, HA priming upregulated genes involved in DNA repair, antioxidant enzyme synthesis (SOD, CAT, APX), ion transporters (SOS1, HKT1, HAK5), and polyamine biosynthesis (SAMD, SPDS, SPMS), establishing a "stress memory" that enhances tolerance to subsequent salt exposure (Biswas et al., 2023; Kubala et al., 2015). Additionally, HA increased ATP production by stimulating mitochondrial activity and plasma membrane H^+-ATPase, while promoting accumulation of compatible solutes such as proline, glycine betaine, and soluble sugars for osmotic adjustment (Paul et al., 2021; Tabassum et al., 2018).

Conclusions

Seed priming and coating with HA is an effective, low-cost, and eco-friendly strategy to improve plant salt tolerance. HA enhances germination, seedling establishment, and root growth by boosting antioxidant enzyme activity (SOD, CAT, POX), increasing ATP

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.66224/yujs.12.2.1]

production, maintaining ionic homeostasis (higher K^+/Na^+ ratio), and improving photosynthesis and chlorophyll content. These mechanisms reduce oxidative stress and support better plant performance under salinity. However, field-scale validation and optimization of HA concentration, priming duration, and crop-specific responses remain needed. Future research should integrate HA with other biostimulants (e.g., microbes, seaweed extracts, silicon) and conduct long-term field trials to develop comprehensive management strategies for salt-affected soils.

Author Contributions

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge the Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Ilam, and the Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran, for providing administrative support and research facilities. The authors also thank the Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO) for technical assistance during this work.

Ethical Considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, and plagiarism, and any form of misconduct.

Funding

This research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors. The publication costs were covered by the Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Iran.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.66224/yujs.12.2.1]

پژوهش‌های بذر ایران

Homepage: https://yujs.yu.ac.ir/jisr

ISSN: 2383-1480 (On-Line); 2383-1251 (Print)

پرایمینگ و پوشش‌دهی بذر با اسید هیومیک به عنوان راهکار موثر در مدیریت تلفیقی خاک‌های متأثر از نمک

عاطفه رشیدی فرد [۱]✉، و میثم رضائی [۲]

۱. نویسنده مسئول، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران. رایانامه: rashidifardatefeh@gmail.com

۲. موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: meisam.rezaei1@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله مروری

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۷/۲۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۱/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۲۷
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۲/۲۹

کلیدواژه‌ها:
اسید هیومیک
پرایمینگ بذر
تنش شوری
جوانه‌زنی

چکیده

هدف: شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی کاهش‌دهنده عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی در جهان است. هدف این مرور، ارزیابی سیستماتیک تأثیر پرایمینگ و پوشش‌دهی بذر با اسید هیومیک بر بهبود جوانه‌زنی، استقرار گیاهچه و رشد گیاه در شرایط تنش شوری می‌باشد.

روش پژوهش: جستجوی جامع در پایگاه‌های داده معتبر علمی (Web of Science, Scopus, Google Scholar) با استفاده از کلیدواژه‌های مرتبط انجام شد. مطالعاتی که به بررسی سازوکارهای فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی افزایش تحمل به شوری ناشی از پرایمینگ و پوشش‌دهی بذر با اسید هیومیک پرداخته بودند، مورد مرور قرار گرفتند.

یافته‌ها: پرایمینگ و پوشش‌دهی بذر با اسید هیومیک به طور معنی‌داری درصد و سرعت جوانه‌زنی، رشد ریشه و ساقه، محتوای کلروفیل و کارایی فتوسنتز را در شرایط شوری افزایش داده است. اسید هیومیک تجمع سدیم را کاهش، نسبت پتاسیم به سدیم را بهبود و فعالیت آنزیم‌های پاداکسیدانی (POX ،CAT ،SOD) را افزایش داد. همچنین تولید ATP و جذب عناصر غذایی ضروری (پتاسیم، کلسیم، منیزیم) را تسهیل کرد.

نتیجه‌گیری: پرایمینگ و پوشش‌دهی بذر با اسید هیومیک روشی مؤثر، کم‌هزینه و سازگار با محیط زیست برای افزایش تحمل به شوری در گیاهان زراعی است. این روش با تسریع استقرار گیاهچه، تحریک رشد ریشه و کاهش تنش اکسیداتیو از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های پاداکسیدانی عمل می‌کند. تحقیقات آینده باید بر اثرات هم‌افزایی با سایر محرک‌های زیستی در محصولات مختلف و سطوح گوناگون شوری متمرکز شود.

جنبه‌های نوآوری:

- پرایمینگ و پوشش‌دهی بذر با اسید هیومیک، تحمل گیاه را در برابر تنش شوری افزایش می‌دهد.
- اسید هیومیک به‌طور پایدار سلامت خاک و کارایی عناصر غذایی را بهبود می‌بخشد.
- پرایمینگ و پوشش‌دهی بذر با اسید هیومیک روشی مقرون‌به‌صرفه برای افزایش رشد و عملکرد محصول در خاک‌های متأثر از نمک است.

استناد: رشیدی فرد، عاطفه؛ و رضائی، میثم (۱۴۰۴). پرایمینگ و پوشش‌دهی بذر با اسید هیومیک به عنوان راهکار موثر در مدیریت تلفیقی خاک‌های متأثر از نمک. *پژوهش‌های بذر ایران*، ۱۲(۲)، ۳۰-۱. http://doi.org/10.66224/yujs.12.2.1

ناشر: دانشگاه یاسوج.

© نویسندگان.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.66224/yujs.12.2.1]

مقدمه

در میان چندین تنش غیرزیستی، تنش شوری از نگران‌کننده‌ترین موارد است که متابولیسم، رشد و تولید گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (گوپالاکریشان و کومار[۱]، ۲۰۲۰). در خاک‌های شور به دلیل افزایش غلظت املاح و نمک‌ها در خاک، فرآیند اسمز قطع می‌شود و سلول گیاهی قادر به جذب آب و مواد غذایی از محیط اطراف نیست. این امر باعث اثراتی شبیه خشکی می‌شود که موجب رشد کندتر، ضعیف‌تر و ریزش زود هنگام برگ‌ها و در نهایت کاهش عملکرد گیاه می‌شود (فائو[۲]، ۲۰۲۴). تقریباً ۶۰ درصد از زمین‌های کشاورزی دچار شوری و قلیائیت هستند. از طرفی دیگر بیش از یک میلیون و ۶۰۰ هزار هکتار از زمین‌های زراعی هر ساله به دلیل افزایش شوری خاک رو به نابودی می‌روند، که این مسئله تهدیدی جدی برای تولید محصولات کشاورزی در جهان به شمار می‌رود (ژیا[۳] و همکاران، ۲۰۱۹؛ لیو و وانگ[۴]، ۲۰۲۱). سازمان ملل پیش‌بینی کرده است که جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به ۹/۹ میلیارد نفر خواهد رسید (اداره مرجع جمعیت[۵]،۲۰۲۰) و پیش‌بینی‌های سازمان خوار و بار کشاورزی حاکی از افزایش ۱۴۰ درصدی در تولید غلات و ۷۰ درصدی از افزایش‌های آتی در محصولات کشاورزی همچنان از گسترش اراضی حاصل خواهد شد (گرگوری[۶] و همکاران، ۲۰۰۲). بنابراین توسعه و استفاده مؤثر از زمین‌های شور دارای اهمیت زیادی برای پاسخگویی به نیازهای روزافزون غذایی و علوفه‌ای جمعیت انسانی و دام‌های در حال گسترش دارد (لنگ[۷] و همکاران، ۲۰۲۰؛ گاناپاتی[۸] و همکاران، ۲۰۲۲).

با افزایش جمعیت جهان، تحقیقات بر آن است تا راهبردهایی برای تقویت تاب آوری گیاهان در برابر تنش‌ها پیاده‌سازی کنند، سازوکارهای پیچیده سازگاری را برای افزایش عملکرد محصول بهبود داده و واکنش‌های گیاهان به تنش را در مقابله با چالش‌های اقلیمی آینده هماهنگ سازند. استفاده از رویکردها، اصول و روش‌های سیستماتیک در سامانه مدیریتی یکپارچه/تلفیقی برای فراهم نمودن توسعه متوازن و پایدار کشاورزی در خاک‌های متأثر از نمک و برای کاربری مؤثر و منطقی اراضی بسیار مهم است. مفهوم نوین مدیریت یکپارچه منابع آب، خاک و گیاه شامل مدیریت آب برای توسعه اقتصادی- اجتماعی و حفاظت از بوم‌نظام است. مدیریت اراضی، خاک و منابع آب و گیاه و بوم‌نظام‌ها باید تلفیق شوند تا به معیشت مردم و توسعه پایدار سود رساند. کاربرد موفقیت آمیز چنین رویکردی در خاک متأثر از نمک ممکن است از طریق مدیریت حرفه‌ای، برنامه‌ریزی مبتنی بر علم، پیش‌بینی روند فرآیندهای خاک و حمایت از تعاملات چند جانبه متقابل ذینفعان حاصل شود. در حقیقت از اولین قدم‌ها برای مدیریت پایدار سامانه کشاورزی در خاک‌های متأثر از نمک انتخاب گیاه مناسب، مدیریت گیاه و پیش‌تیمار بذرها می‌باشد.

دستیابی به کشاورزی پایدار بدون اعمال روش‌های مدیریتی خاک، آب و گیاه امکان پذیر نیست. اصلاح خاک‌های شور مبتنی بر آبشویی نمک‌های محلول و تراکم یافته در منطقه توسعه ریشه است. اجرای این روش مستلزم صرف وقت و هزینه زیاد است. از طرف دیگر به دلیل کمبود آب، استفاده از حجم زیادی آب برای آبشویی خاک منطقی نیست. روش دیگر نمک‌زدایی آب با استفاده از دستگاه‌های آب شیرین‌کن است. مهمترین محدودیت استفاده از سامانه‌های نمک‌زدایی هزینه بالا است (ماشال[۹] و همکاران، ۲۰۱۳). در محصولات کشاورزی در شرایط شور، ریزمغذی‌ها ممکن است به صورت تیمار خاکی، محلول‌پاشی و غنی‌سازی بذر با مواد آلی مانند اسید هیومیک و یا مواد شیمیایی مانند روی انجام شوند. اگرچه هریک از روش‌های فوق می‌توانند ریزمغذی‌های مورد نیاز گیاه را تأمین کنند، اما محلول‌پاشی و غنی‌سازی بذر در بهبود عملکرد موثرتر است. با این حال، هزینه بالای محلول پاشی، به ویژه برای کشاورزان فقیر، توسعه این روش را محدود کرده است (جانسون[۱۰] و همکاران، ۲۰۰۵).

[1] Gopalakrishnan and Kumar
[2] FAO
[3] Xia
[4] Liu and Wang
[5] PRB
[6] Gregory
[7] Leng
[8] Ganapati
[9] Mashal
[10] Johnson

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]
[DOI: 10.66224/yujs.12.2.1]

استفاده از روش‌های اصلاح نژاد سنتی و توسعه گیاهان زراعی دستکاری شده ژنتیکی برای تولید گیاهان مقاوم در برابر تنش همراه با روش‌های کشاورزی مدرن، که شامل استفاده از مواد شیمیایی کشاورزی مصنوعی، ارقام هیبریدی و کشت تک محصولی هستند، اتخاذ شده‌اند. با این حال، این روش‌ها با افزایش از دست رفتن مواد آلی، تخریب خاک و ایجاد آسیب‌های زیست محیطی همراه است. این روش‌ها همچنین نیازمند منابع انسانی گسترده بوده و از نظر ایمنی زیستی و مسائل اخلاقی نیز محدودیت‌هایی دارند. توسعه پایدار محصولات کشاورزی از طریق تنظیم متابولیسم بذر ممکن است با استفاده از روش‌های نوین زیستی برای تیمار بذر، جایگزین بهتری برای تیمارهای شیمیایی به شمار می‌روند. مجموعه‌ای از راهکارها برای تیمار بذر محصولات کشاورزی، از جمله پیش‌تیمار و پوشش‌دهی بذر وجود دارد. فرآیند انتخاب بهترین روش تیمار بذر برای افزایش عملکرد محصولات، نیازمند درک الزامات خاص گونه‌های مختلف گیاهی و در نظر گرفتن شرایطی است که این روش‌ها باید در آن‌ها اعمال شوند. جوانه زدن و استقرار مناسب گیاهچه اصولاً به‌عنوان یک عامل تعیین کننده در میزان عملکرد گیاهان زراعی به حساب می‌آید. ایجاد پوششی مناسب اطراف بذر آن را از تنش‌هایی که احتمال وقوع آن‌ها در محیط زیاد است، محافظت می‌کند. پیش‌تیمار و پوشش بذر از روش‌های اقتصادی برای بهبود کارکرد بذر است (گوپالسامی[1] و همکاران، ۲۰۲۵).

پرایمینگ یا پیش تیمار بذر شامل رطوبت دهی برنامه ریزی شده و کنترل شده بذرها با عوامل القایی (طبیعی یا سنتزی یا ترکیبی از هر دو) در مراحل اولیه رشد است که موجب القای سطوح خفیف تنش می‌شود و پتانسیل تحمل تنش در گیاهان را افزایش می‌دهد (پاراللا[2] و همکاران، ۲۰۱۵). پرایمینگ باعث ایجاد حافظه کوتاه مدت یا بلند مدت تنش می‌شود که توانایی گیاهان برای سازگاری در مواجهه با تنش‌های بعدی را افزایش می‌دهد (تاکور[3] و همکاران، ۲۰۲۰). قرارگیری بذرها در معرض تنش خفیف باعث القای حافظه اپی ژنتیکی در بذر می‌شود که گیاهان را در برابر تنش‌های آینده مقاوم می‌کند (مارکوس[4] و همکاران، ۲۰۱۸). این روش سازگار با محیط زیست همچنین باعث فعال سازی مولکول‌های سیگنال دهنده‌ای می‌شود که تحمل شوری ذاتی گیاهان را بهبود داده و به بازیابی آن‌ها از آسیب‌های ناشی از شوری کمک می‌کنند (بایسواز[5] و همکاران، ۲۰۲۰؛ گو[6] و و همکاران، ۲۰۲۲). پرایمینگ بذر با مواد شیمیایی کاهش دهنده تنش یکی از راهبردهای مؤثر برای فعال‌سازی سازوکارهای تحمل شوری در گیاهان پرایم شده به شمار می‌رود (الوزی[7] و همکاران، ۲۰۱۳؛ ابراهیم[8]، ۲۰۱۶؛ جانسون و پوتور[9]، ۲۰۲۱).

اسید هیومیک یکی از اجزای ساختاری و اصلی مواد هیومیکی است که در منابع مختلفی نظیر خاک، هوموس، پیت، لیگنیت اکسید شده و زغال سنگ وجود دارد (الفلاح[10] و همکاران، ۲۰۱۸). اسید هیومیک می‌تواند تاثیرات بیوشیمیایی مختلفی نظیر افزایش نفوذپذیری غشا، افزایش فتوسنتز و تنفس و جذب عناصر غذایی و افزایش سنتز پروتئین و فعالیت‌های شبه هورمونی روی گیاهان داشته باشد (مروزسک[11] و همکاران، ۲۰۱۷). این اسید یکی از مهمترین اجزای تحریک کننده رشد و کودهای زیستی است که دارای اثرات مثبت بر ویژگی‌های زیستی بذر، تحریک ریشه و افزایش دسترسی به عناصر غذایی است (گورسوی[12]، ۲۰۲۳). مطالعات متعددی نشان داده‌اند که کاربرد اسید هیومیک در مرحله پرایمینگ می‌تواند با بهبود تعادل یونی، کاهش سمیت یون سدیم و افزایش فعالیت آنزیم‌های پاداکسیدانی، اثرات منفی شوری را تا حد زیادی کاهش دهد (ترویسان[13] و همکاران، ۲۰۱۰).

[1] Gopalsamy
[2] Paparella
[3] Thakur
[4] Marcos
[5] Biswas
[6] Guo
[7] Ellouzi
[8] Ibrahim
[9] Johnson & Puthur
[10] El Fallah
[11] Morozesk
[12] Gursoy
[13] Trevisan

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]
[DOI: 10.66224/yujs.12.2.1]

پوشش‌دهی بذر یکی دیگر از روش‌های نوین زیستی برای تیمار بذر محسوب می‌شود. در این روش مقدار دقیقی از مواد فعال به همراه یک ماده مایع بطور مستقیم روی سطح بذر اعمال می‌شود بدون اینکه شکل بذر یا اندازه آن تغییر کند. هدف از فناوری پوشش‌دهی بذر این است که اطمینان حاصل شود هر بذر در حین فرآیند پوشش‌دهی به صورت دقیق و یکنواخت با مواد مورد نیاز آغشته می‌شود و مواد به صورت یکنواخت در هر دسته بذر اعمال می‌گردد. این روش اثرات منفی بر محیط زیست را کاهش داده و به طور همزمان اثر بخشی تیمار بذر را بهبود می‌بخشد. افزون بر این، پوشش‌دهی بذر از شیوه‌های کشاورزی سازگار با محیط زیست پشتیبانی می‌کند که در راستای اهداف کلان کشاورزی پایدار است. راه‌های مختلفی وجود دارد که پوشش‌دهی بذر می‌تواند به پایداری کمک کند. افزون بر اثرات مثبت زیست محیطی، پوشش‌دهی بذر موجب بهبود عملکرد و کیفیت بذر نیز می‌شود. این روش مشکلاتی نظیر تجمع و تولید گرد و غبار را کاهش داده و یکنواختی را با سنگین‌تر کردن بذرهای سبک و یکنواخت سازی بذرهای نامنظم بهبود می‌بخشد. افزون بر این، افزودن مواد شیمیایی مفید به پوشش بذر، تضمین می‌کند که مقدار مناسبی برای گونه‌های خاص زراعی اعمال شده و احتمال رشد ناخواسته علف‌های هرز اطراف بذر کاهش یابد (سیکاهو[1] و همکاران، ۲۰۱۵). هدف از این مطالعه، تحلیل جامع پژوهش‌های علمی در زمینه تأثیر پرایمینگ، پوشش‌دهی بذر با اسید هیومیک بر افزایش مقاومت گیاهان به تنش شوری، با تمرکز بر سازوکارهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی و ارائه چشم‌اندازهایی برای توسعه استفاده علمی از این روش در کشاورزی پایدار است.

تأثیر تنش شوری بر گیاهان

در سراسر جهان، تنش های غیرزنده یکی از مهمترین عوامل منفی بر کیفیت محصولات کشاورزی هستند (چانتینی[2] و همکاران، ۲۰۲۲؛ مندی[3] و همکاران، ۲۰۲۳). ۲۰۲۳). عوامل تنش‌زایی که بیشترین تأثیر را بر توسعه گیاهان دارند شامل سرما، خشکی و تنش‌های ناشی از نمک می‌باشند (گورسوی، ۲۰۲۳). شوری انواع مختلفی از تنش‌ها مانند تنش یونی، اسمزی و اکسیداتیو را ایجاد می‌کند. تنش یونی به دلیل تجمع یون‌های سدیم (Na^+) و کلرید (Cl^-) در بافت‌های گیاهی به وجود می‌آید. در حالیکه تنش اسمزی به دلیل کاهش توانایی گیاه در جذب آب پدید می‌آید (پریهار[4] و همکاران، ۲۰۱۵). تنش اکسیداتیو توسط گونه‌های فعال اکسیژن (ROS[5]) ایجاد می‌شود. تولید گونه‌های فعال اکسیژن در سلول‌های گیاهی ناشی از افزایش غلظت سدیم در شرایط شور منجر به آسیب به غشاهای لیپیدی، مهار آنزیم (بوسادیا[6] و همکاران، ۲۰۲۳)، کاهش هدایت روزنه‌ای، اختلال در سامانه‌های فتوسنتزی و آنزیم‌های فتوسنتزی است (حسن الزمان[7] و همکاران، ۲۰۱۸). در مجموع این تنش‌های ناشی از شوری موجب اختلال در فرآیند متابولیک، تخریب اندامک‌های سلولی و مرگ سلول می‌شوند. در نتیجه عملکرد گیاه کاهش می‌یابد (کانوجی و دیجول[8]، ۲۰۱۸). حساسیت گیاه به شوری در مراحل مختلف رشدی متفاوت است. شوری می‌تواند روی درصد و سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی تأثیر بگذارد و منجر به رشد ناپایدار گیاه و در نتیجه کاهش عملکرد و کیفیت شود (لو[9] و همکاران، ۲۰۲۱). شوری علاوه بر اثراتی که بر مراحل اولیه نمو گیاه دارد، سنتز کلروفیل را کاهش داده و فرآیند فتوسنتزی را محدود می‌کند که بطور مستقیم بر تولید گیاه تأثیر می‌گذارد (سوربینهو[10] و همکاران، ۲۰۲۳؛ حسین[11] و همکاران، ۲۰۲۱). علاوه بر این، شوری نیز برخی از صفات مانند طول ریشه و ساقه را کاهش می‌دهد (حق[12] و همکاران، ۲۰۱۴).

[1] Sikhao
[2] Chanthini
[3] Mndi

[4] Parihar
[5] Reaction Oxygen Species
[6] Boussadia
[7] Hasanuzzaman
[8] Kanojia and Dijkwel
[9] Luo
[10] Sobrinho
[11] Hussain
[12] Haq

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]
[DOI: 10.66224/yujs.12.2.1]

پرایمینگ و پوشش‌دهی بذر و تاثیر آن‌ها بر تنش‌های غیرزیستی

تنش‌های غیرزیستی مانند گرما، خشکی و شوری اکنون به عنوان محدودیت‌های اصلی در تولید محصولات کشاورزی شناخته می‌شوند که می‌توانند منجر به کاهش شدید عملکرد محصولات شوند (لورتی[1] و همکاران، ۲۰۱۶؛ درینگ[2] و همکاران، ۲۰۱۴).

بنابراین راهبردهای سازگاری برای افزایش تحمل به این تنش‌ها موردنیاز است، به ویژه آنهایی که در مراحل رشدی و تولیدمثلی رخ می‌دهند، تا عملکرد محصولات زراعی در شرایط اقلیمی متغییر آینده حفظ شود (آنتونیو[3] (آنتونیو[3] و همکاران، ۲۰۱۶). توسعه پایدار محصولات زراعی از طریق تعدیل متابولیسم بذر ممکن است با استفاده از روشی بنام پرایمینگ بذر تحقق یابد (توماس و پوتور[4]، ۲۰۱۹).

پرایمینگ شامل آبگیری کنترل شده بذرها پیش از جوانه‌زنی با عوامل تحریکی (طبیعی یا مصنوعی یا ترکیبی از هر دو) در مراحل ابتدایی رشد است که موجب ایجاد سطحی ملایم از تنش و افزایش تحمل تنش در گیاهان می‌شود (پاراللا و همکاران، ۲۰۱۵). قرار گرفتن بذرها در معرض تنش‌های ملایم نوعی حافظه اپی‌ژنتیکی در آنها ایجاد کرده و توان گیاه را برای تحمل تنش‌های آینده افزایش می‌دهد (مارکوس و همکاران، ۲۰۱۸). این روش سازگار با محیط زیست با فعالسازی مولکول‌های سیگنال دهنده، ظرفیت تحمل ذاتی گیاه به شوری را افزایش داده و در بازیابی گیاه از آسیب‌های ناشی از شوری کمک می‌کند (بیسواس و همکاران، ۲۰۲۰؛ گو و همکاران، ۲۰۲۲). روش‌های مختلفی در پرایمینگ بذر استفاده می‌شود، مانند هیدروپرایمینگ، اسموپرایمینگ، پرایمینگ شیمیایی، پرایمینگ هورمونی و بیوپرایمینگ (ذوالفقار[5]، ۲۰۲۱).

پرایمینگ بذر یک فرآیند سه مرحله‌ای است که با خیساندن بذر در ماده‌ای پرایمینگ منتخب برای مدت زمانی مشخص (که به طور استاندارد از طریق آزمون و خطا تعیین می‌شود) آغاز می‌شود. مرحله دوم که با نام فعالسازی شناخته می‌شود، با فعالسازی مجموعه‌ای از واکنش‌های متابولیکی در سطح سلولی مانند سنتز پروتئین، فعال شدن آنزیم‌ها و سامانه‌های پاداکسیدانی، تشکیل میتوکندری جدید و ترمیم DNA همراه است. در مرحله سوم یا مرحله آبگیری مجدد، پرایمینگ منجر به تقسیم سلولی، سنتز اسیدهای نوکلئیک و ATP برای افزایش انرژی سلولی می‌شود (دویکا[6] و همکاران، ۲۰۲۱). ۲۰۲۱). اگرچه گزارش شده است که نهال‌های حاصل از بذرهای پرایم شده تغییراتی در میزان آب، تنظیم چرخه سلولی، مدیریت تنش اکسیداتو و انتقال منابع غذایی از خود نشان می‌دهند، اما کارایی پرایمینگ بذر بطور عمده به نوع گیاه و روش پرایمینگ وابسته است (جانسون و پوتور، ۲۰۲۱؛ راج و راج[7]، ۲۰۱۹). گزارش‌ها نشان داده است که پرایمینگ باعث بهبود جوانه‌زنی بذرهای ذرت (ساعدموچشی[8] و همکاران، ۲۰۱۴)، برنج (علی[9] و همکاران، ۲۰۲۱) و کتان (ناریجو[10] و همکاران، ۲۰۲۳) در شرایط تنش‌های محیطی گردید. ضیایی[11] و همکاران (۲۰۲۵) و بایسواز و همکاران (۲۰۲۳) گزارش دادند که افزایش سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی و سبزشدن در تنش‌های مختلف محیطی از قبیل خشکی و شوری با استفاده از تیمار پرایمینگ در گیاهان مختلف وجود دارد.

در خاک‌های شور، پوشش‌دهی بذر به‌طور قابل ملاحظه‌ای موجب افزایش بنیه بذر، بهبود ویژگی‌های بذر می‌شود. این روش به بذرها کمک می‌کند تا یک ریز محیطی در خاک ایجاد کنند و جوانه‌زنی و رشد گیاه را تقویت نمایند (شای[12] و همکاران، ۲۰۲۴). مزیت این رهیافت این است که می‌توان فرمولاسیون را چندین بار در خلال اسپری کردن و خشک کردن تغییر داد به طوری که روی بذرها یک پوشش نازک چند لایه شکل بگیرد. اغلب هدف از پوشش‌دهی بذر استفاده از موادی از قبیل

[1] Loreti
[2] Deryng
[3] Antoniou
[4] Thomas and Puthur
[5] Zulfiqar

[6] Devika
[7] Raj and Raj
[8] Saed Moocheshi
[9] Ali
[10] Narejo
[11] Ziaei
[12] Shi

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]
[DOI: 10.66224/yujs.12.2.1]

قارچکش‌ها، حشره‌کش‌ها، مواد ایمن ساز، عناصر کم مصرف و ترکیبات دیگری است که به شکل مستقیم در ارتباط با بذر قرار می‌گیرد (شکل ۱). در این روش‌ها بذرهایی تولید می‌شوند که از تنش‌های محیطی خاص در محیط خاص ممانعت شود (صادقی[1] و همکاران، ۲۰۱۵). گانگ[2] و همکاران (۲۰۲۵) نشان دادند، پوشش‌دهی بذر به‌طور معنی‌داری تحمل گیاه گندم به تنش شوری را بهبود بخشیده است. نتایج پژوهش نعمت الهی[3] و همکاران همکاران (۲۰۲۴)، نشان دادند که پوشش‌های مختلف بذر چغندر قند در مهار تنش شوری و خشکی و بهبود شاخص جوانه‌زنی، استقرار و رشد گیاهچه موثر بوده است. همچین این مطالعه نشان داد که فناوری پوشش‌دهی بذر می‌تواند در دستیابی به پایداری در تولید محصولات کشاورزی بسیار موثر باشد. منابع موجود (زمین، آب، کود و غیره) و جنبه‌های اجتماعی-اقتصادی آن‌ها کشاورزان را به اتخاذ راهبردهای جایگزین با هدف افزایش کارایی استفاده از نهاده‌ها و بهبود کیفیت محصول واداشته است. لذا معمولا یکی از دو روش یا هردو را در رویکردهای کشت و کار بر می‌گزینند. هر یک از روش‌ها مزایا و تفاوتهایی با یکدیگر دارند که در بخش بعدی به آنها اشاره می‌گردد جدول ۱ و ۲).

مقایسه پیش تیمار بذر و پوشش‌دهی بذر

پیش تیمار و پوشش‌دهی بذر، هر دو از روش‌های بهبود عملکرد بذر در شرایط تنش‌های محیطی می باشند، اما در اهداف و رویکرد خود متفاوتند (جدول ۱ و ۲). پیش تیمار بذر به رطوبت کنترل شده بذرها پیش از کاشت اشاره دارد، بطوریکه بذرها فرآیند جوانه‌زنی را آغاز می‌کنند اما پیش از آن که جوانه‌زنی به مرحله رشد ریشه‌چه برسد، دوباره خشک می‌شود (بردفورد[4]، ۱۹۸۶). در واقع پیش تیمار بذر با هدف بهبود سرعت جوانه‌زنی و یکنواختی انجام می‌شود. در حالیکه پوشش‌دهی بذر شامل اعمال لایه‌ای از مواد روی سطح بذر با هدف محافظت و جابجایی است (جیشا[5] و همکاران، ۲۰۱۳).

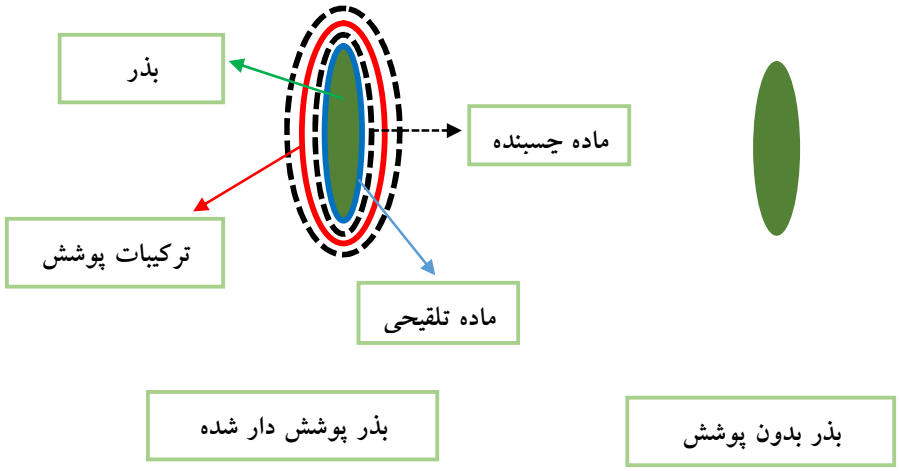
سعادت[6] و همکاران (۲۰۱۵) اظهار داشتند پوشش دهی بذر به دلیل وجود مواد پوشش دهنده باعث تأخیر در آغاز زمان سبز شدن بذرهای پوشش‌دار در مقایسه با بذرهای بدون پوشش شده است. همچنین نظری[7] (۲۰۱۸) بیان کردند که درصد سبز شدن در تیمارهای پرایمینگ بالاتر از پوشش‌دهی بذر بوده است. بکارگیری روش‌های ذکر شده پیش‌تیمار و پوشش‌دهی بذر تغییرات فیزیولوژی، بیوشیمیایی و مولکولی متفاوت بذر را به دنبال دارد که مشخص می‌سازد در تاب آوری و سازگاری تنش‌های محیطی کدام روش برای کاربرد مناسب‌تر است.

تغییرات در پارامترهای فیزیولوژیکی و بیوشیمایی ناشی از پرایمینگ بذر

گیاهان در مراحل جوانه‌زنی، استقرار گیاهچه و مراحل اولیه رشد، نسبت به تنش شوری حساس هستند که منجر به اختلال در رشد گیاهچه و آغاز فصل رشد محصول می‌شود (آدیکاری[8] و همکاران، ۲۰۲۲). شوری محیط باعث کاهش جوانه‌زنی بذر و مرگ گیاهچه پیش از ظهور می‌شود و در نهایت منجر به کاهش عملکرد محصول می‌گردد. برای بهبود تحمل بذر به شوری، روش‌های مانند تیمار اولیه بذر (پرایمینگ بذر) مورد استفاده قرار می‌گیرد. این فرآیند موجب تنظیم برخی مسیرهای ژنتیکی شده و ظرفیت بقای بذر را افزایش می‌دهد و در نهایت به استقرار بهتر محصول منجر می‌شود (فورتی[9] و همکاران، ۲۰۲۱). گیاهان توانایی شناختی برای حفظ حافظه‌ای دارند که فرصت‌های جدیدی برای تطابق با تنش‌های کوتاه مدت و بلندمدت فراهم می‌کند. این حافظه تنش باعث بهبود راهبردهای تطبیقی در گیاهان پرایم شده می‌شود (لیو و همکاران، ۲۰۱۹).

[1] Sadeghi
[2] Gong
[3] Neamatollahi
[4] Bradford
[5] Jisha
[6] Saadat
[7] Nazari
[8] Adhikari
[9] Forti

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]
[DOI: 10.66224/yujs.12.2.1]



شکل ۱. شماتیکی از پوشش دهی بذر (چپ) و بدون پوشش (راست) (برگرفته از مقاله پروار[1] و همکاران، ۲۰۲۳).

Fig. 1. Schematic of coated seeds (left) and uncoated seeds (right). (Paravar et al., 2023)

جدول ۱. مزایا و معایب پیش‌تیمار بذر (وینایاک و پاتاک[2]، ۲۰۲۳).

Table 1. Advantages and disadvantages of seed priming (Vinayak and Pathak, 2023).

مزایا Advantages	معایب Disadvantages
• کاهش زمان لازم برای سبز شدن گیاهچه • بهبود جوانه زنی و نمو گیاه در شرایط تنش • تعادل بین گونه‌های فعال اکسیژن و هورمون‌های رشد گیاه • کاهش نیاز به کودهای شیمیایی از طریق افزایش تحمل به تنش‌های زنده و غیرزنده	• کاهش تحمل بذر به خشکی به علت تیمار طولانی‌مدت بذر در طول پرایمینگ • کاهش طول عمر بذرهای پرایم شده نسبت به بذرهای پرایم نشده (در برخی گیاهان) • اثرات مضر پرایمینگ بذر با روش‌های پیشرفته مانند نانو ذرات بر سلامت گیاه، انسان و محیط زیست • کاهش مقاومت و ایجاد آلودگی باکتریایی و قارچی در برخی روش‌های پرایمینگ

جدول ۲. مزایا و معایب پوشش‌دهی بذر (زعیم[3] و همکاران، ۲۰۲۳)

Table 2. Advantages and disadvantages of seed coating (Zaim et al., 2023).

مزایا Advantages	معایب Disadvantages
• محافظت از بذر در برابر عوامل بیماری‌زا • رشد یکنواخت و استقرار و نمو گیاه • محافظت از بذر در برابر تنش های غیرزیستی • برتری نسبت به کاربردهای خاکی و محلول پاشی در مهار آفات و بیماری‌ها	• آسیب‌های فیزیکی، فیزیولوژیکی و کاهش کیفیت بذر در طول فرآیندهای مکانیکی • عدم یکنواختی پوشش‌دهی بذر در اثر ناپایداری نرخ اسپری • زوال بذر به دلیل فرمولاسیون نامناسب پوشش • احتمال انسداد منافذ بذر و کاهش تبادل گاز در بذرها به دلیل گرفتگی منافذ

[1] Parvar
[2] Vinayak and Pathak
[3] Zaim

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]
[DOI: 10.66224/yujs.12.2.1]

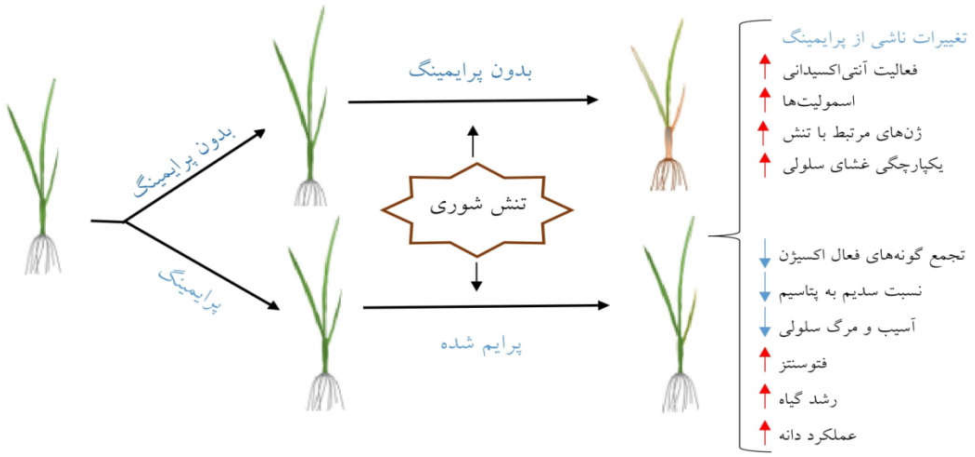
میزان سازگاری با مشکلات محیطی در گیاهان زراعی پرایم شده متنوع است و به گونه گیاه، شدت تنش و مدت زمان مواجه بستگی دارد. در حین پرایمینگ، گیاه توانایی شناسایی و مقاومت در برابر تنش‌های آتی را به دست می‌آورد (گامیر[1] و همکاران، ۲۰۱۴). قرارگیری بذرها در معرض شوری پیش از جوانه‌زنی می‌تواند حافظه تنش را فعال کرده و مقاومت به تنش را تقویت کند، زیرا بیشتر سیگنال‌ها در این مرحله به صورت یکپارچه شکل می‌گیرند. حافظه تنشی که در مراحل رشد رویشی ایجاد می‌شود، به گیاه کمک می‌کند تا در آینده پتانسیل عملکرد خود را با افزایش بیان پروتئین‌های خاص مقاومتی بهبود دهد که در طول تنش به جوانه‌زنی کمک می‌کنند. پرایمینگ باعث جابجایی ذخایر غذایی در بذر به نفع رشد جنین می‌شود، که ناشی از افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده است. انواع تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در داخل گیاهان زراعی به مقابله با تنش شوری کمک می‌کنند. شوری باعث تجمع گونه‌های فعال اکسیژن و آسیب به ماکرومولکول‌ها و غشای سلولی می‌شود که فعالیت آنزیم‌های پاداکسیدانی را کاهش می‌دهد (بیسواس و همکاران، ۲۰۲۰؛ چاترجی[2] و همکاران، ۲۰۱۸). همچنین پرایمینگ تجمع محلول‌های سازگار در گیاهان اولیه، حفاظت از آنزیم‌های پاداکسیدانی و ماکرومولکول‌ها را در شرایط شوری فراهم می‌کند. پرایمینگ بذر، سامانه پاداکسیدانی را تقویت می‌کند تا فشار اکسیداتیو ناشی از شوری را کاهش دهد. قرار گرفتن طولانی مدت در معرض شوری بر فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و افزایش مقدار تعریق تأثیر می‌گذارد (فاروق[3] و همکاران، ۲۰۱۵). بهینه‌سازی محتوای کلروفیل بهبود یافته و به کاهش تنش محیطی کمک می‌کند. بهبودی و بازسازی کارایی فتوسنتزی به دلیل کاهش جذب سدیم و کلر ایجاد می‌شود که منجر به بهبود سریع رشد گیاه تحت شرایط تنش شوری می‌گردد (بیسواس و همکاران، ۲۰۲۱). بنابراین پرایمینگ بذر باعث بهبود ویژگی جوانه‌زنی، عملکرد رشد از طریق بهبود سازوکار دفاعی گیاه و کمک به سازگاری با شرایط تنش محیطی می‌شود (شکل ۲).

تغییرات در پارامترهای مولکولی ناشی از پرایمینگ بذر

پاسخ‌های مولکولی پرایمینگ بذر برای دستیابی به تحمل شوری شامل حفظ تعادل یونی، تکرار و ترمیم زودهنگام DNA، پایدارسازی RNA، افزایش سنتز پروتئین جدید و جلوگیری از نشت الکترولیت هستند (پاپارلا[4] و همکاران، ۲۰۱۵). پرایمینگ باعث بهبود و ترمیم DNA می‌شود که جوانه‌زنی را تسهیل می‌کند. همچنین پرایمینگ DNA های آسیب‌دیده را ترمیم کرده و باعث پیشرفت چرخه سلولی برای جوانه‌زنی می‌شود که تحمل به شوری را فعال می‌کند (بالستارازی[5] و همکاران، ۲۰۱۱؛ فورتی و همکاران، ۲۰۲۰). از طرف دیگر باعث می‌شود ژن‌های مرتبط با جوانه‌زنی بیشتر بیان گردند که موجب بهبود سبز شدن بذر در طول جوانه‌زنی می‌گردد (پاپارلا و همکاران، ۲۰۱۵). کوبالا[6] و همکاران (۲۰۱۵) گزارش دادند که پرایمینگ باعث القای بیان ۹۵۲ ژن و ۷۵ پروتئین در گیاه کلزا می‌شود که برای جوانه‌زنی بذر و شروع فعالیت رونویسی برای همانندسازی، ترمیم و تنظیم چرخه DNA ضروری هستند. بنابراین ترمیم DNA القا شده توسط پرایمینگ رویدادی حیاتی است که بطور موثری به رشد بدون مانع گیاهان زراعی در مراحل ابتدایی رشد کمک می‌کند. کاهش نشت غشایی به دلیل کاهش آسیب‌های DNA، در بذرهای پرایم شده به واسطه تولید مواد محلول سازگار نظیر قندها، اسیدآمینه، پرولین و گلیسین بتائین حاصل می‌شود که به حفظ پتانسیل اسمزی در گیاهان پرایم شده تحت تنش شوری کمک می‌کنند (تبسم[7] و همکاران، ۲۰۱۸؛ پائول[8] و همکاران، ۲۰۲۱). برنامه‌ریزی مجدد ژن‌های پاد اکسیدانی در حفاظت از گیاهچه‌های پرایم شده در برابر آسیب‌های ناشی از شوری به اثبات رسیده است که منجر به رشد و

[1] Gamir
[2] Chatterjee
[3] Farooq
[4] Paparella
[5] Balestrazzi
[6] Kubala
[7] Tabassum
[8] Paul

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]
[DOI: 10.66224/yujs.12.2.1]



شکل ۲. تصویر شماتیک از تغییرات نسبی القا شده توسط پرایمینگ در ویژگی‌های فیزیولوژیکی، سلولی و صفات رشدی در گیاه برنج تحت تنش شوری. فلش‌های رو به بالا (قرمز) و رو به پایین (آبی) به ترتیب نشان دهنده افزایش و کاهش نسبت به کنترل بدون پرایمینگ هستند (برگرفته از مقاله چانگجی و همکاران، ۲۰۲۳).

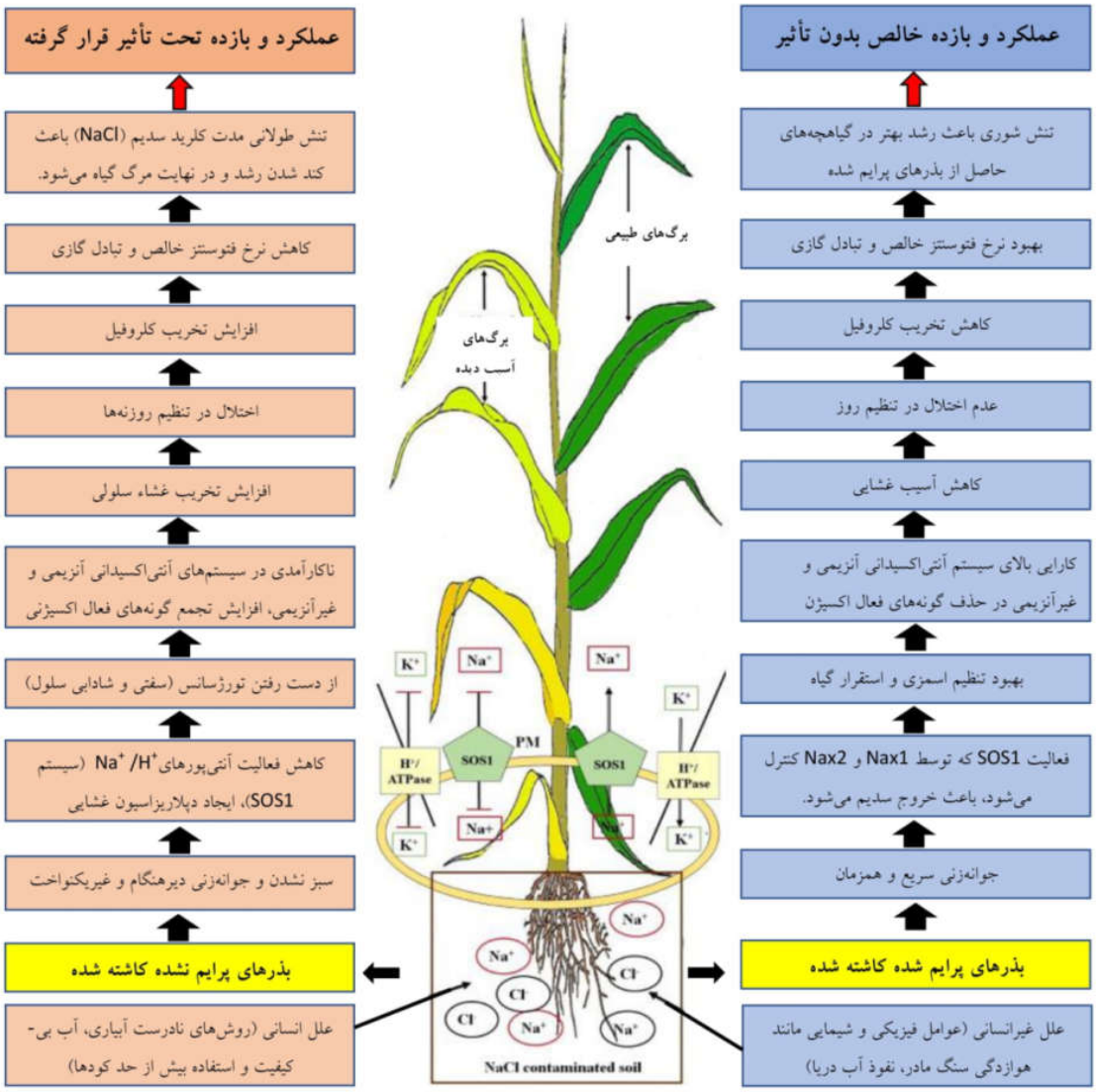
Fig. 2. Schematic illustration of priming-induced relative changes in physiological and cellular characteristics and growth traits in rice plants under saline stress. Up (red)- and down (blue)- priming arrows indicate up- and down- changes relative to the unprimed control, respectively (Changjie et al., 2023).

توسعه گیاه می‌گردد (شکل ۳) (توماس و پاتور، ۲۰۱۹).

سوزا[1] و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که سطح رونویسی ژن‌های GST و TXN در بذرهای تحت پرایمینگ اسمزی که با افزایش بیان ژن APX همراه بود، موجب بهبود جوانه‌زنی بذر و افزایش تحمل به شوری شدند. ژن‌های مربوط به فتوسنتز و پارامترهای تبادل گاز برای بهبود رشد و نمو گیاهان بیان ژن می‌شوند. آزمایش‌های بلندمدت نشان داد که تنش شوری باعث کاهش مقدار کلروفیل و فتوسنتز شده است. اما افزایش فعالیت آنزیم‌های متابولیک مانند (SPMS ،SAMD[2], SPDS[3][4]) در گیاهان نشان دهنده دهنده توانایی قابل توجهی در تنظیم فرآیند فتوسنتز و متابولیسم کلروفیل است (پائول و رویچوهوری[5]، ۲۰۱۷). گزارش شده است که پرایمینگ باعث تولید فیتوهورمون‌هایی مانند جیبرلین و اکسین می‌شود که بطور موثری باعث تخریب پیش‌ساز بیوسنتز اتیلن و ACC (۱- آمینوسیکلو پروپان-۱- کربوکسیلیک اسید) می‌شوند (الخوی و آلموتایری[6]، ۲۰۱۸). تغییرات ذکر شده بخش‌های قبل با کاربرد مواد آلی، میکروارگانیسم‌ها، محرک‌های رشد متفاوت است که می‌توانند سازگاری و پایداری گیاهان را افزایش دهند. تفاوت در واکنش گیاهان به مواد کاربردی گوناگون می‌تواند ناشی از تنوع در سازوکارهای مولکولی باشد که توسط هر یک از این آن‌ها القا می‌شود. این فرآیندها شامل تغییراتی در بیان ژن‌های مرتبط با متابولیسم ثانویه، سامانه‌های دفاعی و مسیرهای پیام‌رسانی هورمونی است. این یافته‌ها از منظر کشاورزی پایدار حائز اهمیت فراوان است، چراکه نشان می‌دهد استفاده از اسید هیومیک، کود ورمی‌کمپوست و میکرو ارگانیسم‌های مفید به‌عنوان نهاده‌هایی طبیعی و سازگار با محیط‌زیست، ضمن بهبود کیفیت محصول، می‌تواند وابستگی به کودهای شیمیایی را کاهش داده و به حفظ تعادل بوم‌نظام‌های زراعی یاری رساند. در میان این مواد اسید هیومیک با دسترسی بهتر و ارزانتر مورد توجه بیشتری قرار گرفته است (میترا[7] و همکاران، ۲۰۲۱؛ کاکرابورتی[8] و همکاران، ۲۰۲۲).

[1] Souza
[2] S-adenosylmethionine Decarboxylase
[3] Spermidine Synthase
[4] Spermine Synthase
[5] Paul & Roychoudhury
[6] Elkholy and Almutairi
[7] Mitra
[8] Chakraborti

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]
[DOI: 10.66224/yujs.12.2.1]



شکل ۳. اثر تنش شوری بر روی گیاهان زراعی و کاهش خسارت آن با استفاده از پرایمینگ بذر.

NaCl- کلرید سدیم؛ ROS- گونه‌های فعال اکسیژن؛ PM- غشای پلاسما؛ Na^+- یون سدیم؛ K^+- یون پتاسیم؛ Cl^- یون کلرید؛ SOS1- حساس به پوشش نمک (آنتی‌پورتر Na^+/H^+)؛ H^+/ATPase ناقل پتاسیم +K؛ ژن‌های Na^{x1} و Na^{x2}- برای دفع Na^+؛ HAK5- ناقل جذب K^+ با میل ترکیبی بالا؛ KUP7- ناقل ۷ جذب پتاسیم؛ AKT1- ناقل K^+ آرابیدوپسیس ۱؛ HKT1- ناقل ۱ K^+ با میل ترکیبی بالا (برگرفته از مقاله بایسواز و همکاران، ۲۰۲۳).

Fig. 3. Schematic representation illustrating the impacts of salt stress in crop plants and its possible alleviating by seed priming.

NaCl-sodium chloride; ROS- reactive oxygen species; PM- plasma membrane; Na^+- sodium ion; K^+- potassium ion; Cl^- -chloride ion; SOS1- salt overlay sensitive (Na^+/H^+antiporter); H^+/ATPase-transporter of K^+; Na^{x1} and Na^{x2}- genes for Na^+ exclusion; HAK5- high affinity K^+ uptake transporter; KUP7- potassium uptake transporter 7; AKT1- Arabidopsis K^+ transporter 1; HKT1-high affinity K^+ transporter 1 (Biswas et al., 2023).

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]
[DOI: 10.66224/yujs.12.2.1]

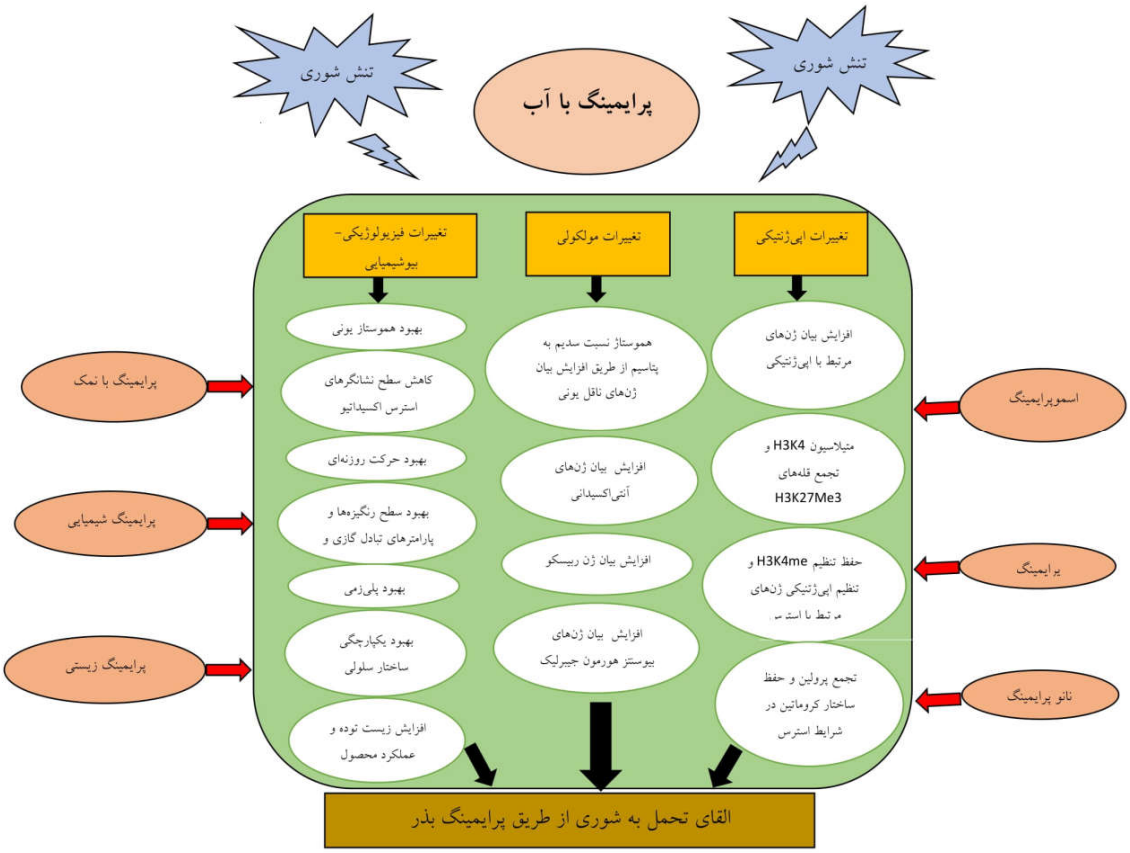
اسید هیومیک و کاربرد آن در کشاورزی

استفاده مداوم از کودهای شیمیایی، عملکرد گیاهان زراعی را به علت افت خصوصیات مطلوب فیزیکی و شیمیایی خاک و عدم وجود ریزمغذی‌ها در کودهای ماکرو کاهش می‌دهد (آددیران[1] و همکاران، ۲۰۲۵). همچنین در ایران بیش از ۵۰ درصد خاک‌ها دچار کمبود یک یا چند عنصر غذایی هستند که عامل اصلی آن کمبود مواد آلی خاک می‌باشد (بلالی[2] و همکاران، ۲۰۱۴). از طرفی کاربرد بیش از حد کودهای شیمیایی در کشاورزی باعث ایجاد مشکلات زیست محیطی از جمله تخریب فیزیکی خاک و عدم توازن عناصر غذایی شده است از این رو مصرف انواع کودهای آلی روبه افزایش است. مواد آلی به خصوص ترکیبات هیومیکی و شبه هیومیکی برای بهبود کیفیت و کمیت محصولات کشاورزی بطور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌اند، زیرا این ترکیبات علاوه بر بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، دارای ترکیبات شبه‌هورمونی هستند که اثرات مفیدی بر افزایش تولید و بهبود محصولات کشاورزی دارند. مواد هیومیکی (HS[3]) و شبه هیومیکی (HULIS[4]) بعنوان ترکیبات افزایش دهنده رشد پایدار گیاهان به شمار می‌روند؛ زیرا کاربرد این ترکیبات، بدون اینکه خطری برای محیط خاک داشته باشند، برای رشد و توسعه گیاهان مفید می‌باشد. مواد هیومیکی بطور عمده از محیط‌های طبیعی (خاک و رسوبات) منشأ می‌گیرند در حالیکه ترکیبات شبه هیومیکی معمولاً از زیست توده کمپوست شده یا بقایای گیاهان استخراج می‌شوند (ساوی[5] و همکاران، ۲۰۱۶).

ترکیبات هیومیکی شامل اسید هیومیک، فولویک اسید، هومین و اسید هماتوملانیک ترکیباتی هستند که در محیط‌های خاک، آب و رسوبات تشکیل می‌شوند. اسید هیومیک جز شاخه اصلی مواد هیومیکی و از فعال‌ترین اجزای مواد آلی خاک محسوب می‌شود. اسید هیومیک با اکثر کودهای شیمیایی سازگار بوده و در آب به خوبی حل شده و می‌توان آن را از طریق محلول‌پاشی، مصرف خاکی، سامانه‌های آبیاری تحت فشار و تیمارهای بذری (پرایمینگ و پوشش‌دهی) استفاده کرد. مخلوط کردن اسید هیومیک با خاک باعث تحریک رشد و گسترش ریشه می‌شود که در نهایت این افزایش در رشد ریشه به جذب مواد غذایی از خاک کمک می‌کند. از مزایای مهم اسید هیومیک می‌توان به کلات‌کنندگی عناصر غذایی مختلف مانند سدیم، پتاسیم، منیزیم، روی، کلسیم، آهن، مس و سایر عناصر در جهت غلبه بر کمبود عناصر غذایی اشاره کرد که سبب افزایش طول و وزن ریشه و آغاز رشد ریشه‌های جانبی می‌شوند. نتایج مطالعات مختلف نشان داده‌اند که کاربرد ترکیبات هیومیکی و شبه هیومیکی بصورت پرایمینگ بذر، باعث افزایش رشد گیاه، جوانه‌زنی و ظهور ریشه‌چه می‌شوند (حاتمی[6] و همکاران، ۲۰۱۸؛ شتیوی[7] و همکاران، ۲۰۱۶). یکی از مهمترین تأثیرات مواد هیومیکی در گیاهان افزایش تنفس و سرعت فعالیت‌های آنزیمی در بذر می‌باشد که باعث افزایش تولید انرژی (ATP) و تغییر مستقیم متابولیسم گیاهی می‌شود که این امر باعث افزایش قابل توجه رشد و توسعه گیاه می‌شود. به همین دلیل می‌توان از این ترکیبات به عنوان یکی از روش‌های پرایمینگ بذر نیز استفاده نمود. افزایش متابولیسم و ATP می‌تواند به فعال‌سازی آنزیم ATPase در غشای پلاسمایی نسبت داده شود که این امر باعث تأمین انرژی بیشتر برای رشد گیاه و نیز افزایش پلاستیسیته دیواره سلولی بذر و ریشه‌چه و در نتیجه انتقال راحت‌تر عناصر غذایی به ریشه‌چه و سرانجام رشد و تقسیم سلولی می‌شود (شکل ۴) (رودا[8] و همکاران، ۲۰۰۶).

[1] Adediran
[2] Belali
[3] Humic Substances
[4] Humic-Like Substances
[5] Savy
[6] Hatami
[7] Sheteiwy
[8] Rodda

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]
[DOI: 10.66224/yujs.12.2.1]



شکل ۴. مدل شماتیکی از سازوکارهای بهبود تحمل به شوری ناشی از اسید هیومیک و حفظ رشد فعال در رقم برنج Giza 177. فلش‌های قرمز و سبز نشان دهنده اثرات القایی هستند. در حالیکه فلش‌های انتهایی پهن اثرات بازدارنده شوری و اسید هیومیک را نشان می‌دهند. (برگرفته از مقاله بایسواز و همکاران، ۲۰۲۳)

Fig. 4. An overview of the impact of different types of seed priming on physio-biochemical, molecular and epigenetic changes in plants exposed to salt stress (Biswas et al., 2023).

اثرات پرایمینگ و پوشش‌دهی بذر با اسید هیومیک

اسید هیومیک یکی از عوامل پرایمینگ (آماده سازی) نویدبخش است و توانایی آن در بهبود رشد گیاه و افزایش تحمل به تنش‌های غیرزیستی در بسیاری از محصولات آزمایش شده است (شتیوی و همکاران، ۲۰۱۷؛ آیدین[1] و همکاران، ۲۰۱۲؛ کیمرین[2] و همکاران، ۲۰۱۰). اسید هیومیک یکی از اجزای مواد هیومیکی است که از تجزیه بقایای زیستی در خاک به دست می‌آید. این ماده در pH بالا محلول است و به طور مثبت بر نگهداری و ذخیره کاتیون‌های خاک اثر می‌گذارد، زیرا بار منفی دارد که موجب می‌شود این کاتیون‌ها برای گیاهان در دسترس باشند و از شسته شدن آن‌ها از خاک جلوگیری شود. همچنین دارای فعالیت شبه‌هورمونی است (یانگ[3] و همکاران، ۲۰۲۱؛ دی میلو[4] و همکاران، ۲۰۱۶). علاوه بر این، از طریق فعال‌سازی چندین فرآیند متابولیکی مانند فتوسنتز، جذب مواد غذایی معدنی و همچنین از طریق افزایش درصد جوانه‌زنی، وزن خشک اندام هوایی و ریشه تأثیر قابل توجهی در افزایش مقاومت گیاهان به تنش شوری دارد (رشیدی فرد[5]، ۲۰۲۰).

[1] Aydin
[2] Çimrin
[3] Yang
[4] De Melo
[5] Rashidifard

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]
[DOI: 10.66224/yujs.12.2.1]

۱. بهبود جوانه‌زنی و رشد اولیه

تنش شوری بطور قابل توجهی باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های اکسیداتیو می‌شود. افزایش فعالیت آنزیم‌های اکسیداتیو معمولاً با تولید گونه‌های واکنش پذیر اکسیژن در گیاهان در معرض تنش شوری در ارتباط است (مونز و تستر[1]، ۲۰۰۸؛ رحمان[2] و همکاران، ۲۰۱۶؛ سینگ[3] و همکاران، ۲۰۱۸).

اساساً شوری اثرات زیان باری روی رشد و نمو گیاه دارد، زیرا متابولیسم و مصرف آب را مختل کرده و باعث کاهش فتوسنتز، اختلال در فعالیت‌های آنزیمی و کاهش رشد گیاه می‌شود. کاهش فتوسنتز نیز بر رشد و نمو گیاه اثر گذاشته و منجر به کاهش زیست توده و عملکرد گیاه می‌شود (رشیدی فرد و همکاران، ۲۰۲۰). گزارش شده است که اسید هیومیک باعث تغییرات بیوشیمیایی در غشاها و اجزای سیتوپلاسمی می‌شود که از رشد گیاه و تحمل به شوری حمایت می‌کند. علاوه برا این، اسید هیومیک رشد گیاهان را با افزایش تقسیم سلولی افزایش می‌دهد که این موضوع با القای فعالیت آنزیم‌های پاداکسیدانی و بیان ATPase همراه بوده است (موروزسک و همکاران، ۲۰۱۷). از طرف دیگر اسید هیومیک با ایفای نقش روی نفوذپذیری غشا به عنوان ناقل پروتئین، فعال کردن تنفس، چرخه کربن، فتوسنتز و تولید آمینواسید باعث افزایش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود (موسکولو[4] و همکاران، ۲۰۱۳). کاهش جوانه‌زنی در شرایط شوری به دلیل کاهش میزان و سرعت جذب آب و همچنین تأثیر نامطلوب پتانسیل اسمزی بسیار پائین حاصل از نمک و سمیت یون‌ها بر فرآیندهای هیدرولیز آنزیمی مواد ذخیره‌ای بذرها و در نتیجه مختل شدن ساخت بافت‌های جدید با استفاده از مواد هیدرولیز شده نسبت داد (رحمان[5] و همکاران، ۱۹۹۷). از طرفی با کاهش جذب آب توسط بذر فعالیت‌های متابولیکی جوانه‌زنی در داخل بذر به آرامی انجام خواهند شد و در نتیجه مدت زمان لازم برای خروج ریشه‌چه از بذر افزایش یافته و سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (دی و کار[6]، ۱۹۹۴). در بررسی تأثیر اسید هیومیک به عنوان پیش تیمار بر تحریک جوانه‌زنی گیاهان مختلف بطور دقیق مشخص نیست ولی در برخی منابع بر دو اثر مستقیم (افزایش فعالیت آنزیمی و نفوذپذیری غشا) و غیر مستقیم (جذب بهتر عناصر غذایی و بهبود خصوصیات خاک) اسید هیومیک بر جوانه‌زنی و رشد گیاه اشاره شده است (سیدجمالی[7] و همکاران، ۲۰۱۵).

اونی[8] و همکاران (۲۰۱۴) اثر اسید هیومیک بر تنش شوری را به دو بخش مستقیم و غیرمستقیم تقسیم نمودند. اسید هیومیک بطور غیرمستقیم منجر به بهبود شرایط فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک می‌شود. اثر مستقیم پیش‌تیمار اسید هیومیک به سبب تغییرات متابولیکی، بیوشیمایی و افزایش فعالیت کربوهیدارت‌ها و پروتئین‌ها باعث افزایش جوانه‌زنی بذر می‌شود (اصغری پور و رفیعی[9]، ۲۰۱۱). در آزمایشی کاربرد اسید هیومیک به‌صورت پوشش‌دهی بذر باعث افزایش دسترسی به فسفر، پتاسیم، آهن و منیزیم در خاک شد و فعالیت آنزیم روبیسکو و غلظت قندهای محلول در ذرت افزایش یافت (چن و همکاران[10]،۲۰۲۲). بنابراین، اسید هیومیک علاوه بر تاثیر مستقیم روی بذر، با اثراتی که در خاک دارد، به‌طور غیرمستقیم در جوانه‌زنی و سبز شدن بذرها موثر است (رسولی و همکاران[11]، ۲۰۲۲). رادی[12] (۲۰۱۲) نشان داد که پوشش‌دهی بذر با اسید هیومیک تاثیر مثبتی روی گیاهچه لوبیا تحت تنش شوری داشته است. در واقع اسید هیومیک شامل اکسین هستند، یا می‌توانند مانند اکسین عمل کنند و متابولیسم گیاه را به شیوه‌ای مثبت تحت تاثیر قرار دهد.

۲. تعادل یونی و کاهش جذب سدیم

ورود سدیم (Na^+) ناشی از شوری به عنوان دلیل اصلی کاهش سطح پتاسیم (K^+) و نسبت پتاسیم به

[1] Munns and Tester
[2] Rahman
[3] Singh
[4] Muscolo
[5] Rehman

[6] De and Kar
[7] Seid Jamali
[8] Ouni
[9] Asgharipour and Rafiei
[10] Chen
[11] Rasouli
[12] Rady

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]
[DOI: 10.66224/yujs.12.2.1]

سدیم در شاخه‌ها و ریشه‌های گیاهان در نظر گرفته شده است (رحمان و همکاران، ۲۰۱۶). همراه با کاهش سطح پتاسیم، تجمع سدیم جذب عناصر پرمصرفی مانند کلسیم و منیزیم را مختل کرده و در نتیجه باعث عدم تعادل یونی و کندی رشد گیاه می‌شود (آکتر و او[1]، ۲۰۱۸). پرایمینگ پرایمینگ بذر با اسید هیومیک باعث کاهش مقدار سدیم در شاخه‌ها و ریشه‌ها می‌شود و در نتیجه نسبت پتاسیم به سدیم افزایش می‌یابد. در واقع اسید هیومیک با تجزیه کلرید سدیم به یون‌های کلرید و سدیم و جذب آن‌ها به این ترتیب نفوذ نمک به ریشه و اندام‌های دیگر گیاه را محدود می‌کند (آزاد[2] و همکاران، ۲۰۱۷). کاهش یون‌های یون‌های سدیم ناشی از اسید هیومیک در شاخه‌ها و ریشه در گندم (عباس[3] و همکاران، ۲۰۲۲) و گیاه جو (جاروسوا[4] و همکاران، ۲۰۱۶) نیز گزارش شده است.

۳. تحریک سامانه پاد اکسیدانی

زمانی که گیاهان تحت تنش‌های محیطی مختلف از جمله شوری قرار می‌گیرند، میزان گونه‌های فعال اکسیژن در گیاهان افزایش پیدا می‌کند. این گونه‌های فعال اکسیژن بسیاری از عملکردهای گیاهی را مهار کرده و از جهات مختلفی باعث خسارت زیادی به گیاه می‌شوند. برای مهار گونه‌های فعال اکسیژن، گیاهان به سامانه‌های دفاعی پاد اکسیدانی مثل سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و گایاکول پراکسیداز مجهز می‌شوند. سوپراکسید دیسموتاز (SOD[5]) به منزله اولین خط دفاعی علیه گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) می‌باشد که سوپراکسید (O^{2-}) را به H_2O_2 و O_2 کاتالیز می‌کند و کاتالاز، پراکسید هیدوژن (H_2O_2) را به دو مولکول آب و یک مولکول اکسیژن تبدیل می‌کند و در نتیجه باعث تنظیم سطح H_2O_2 در سلول گیاه می‌شوند. اسید هیومیک تحمل گیاه به شوری را از طریق فعالیت‌های مختلف بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی مانند آنزیم‌های پاداکسیدانی نظیر SOD افزایش می‌دهد. آنزیم SOD نقش مهمی در تبدیل رادیکال‌های سوپراکسید به H_2O_2 ایفا می‌کند. گزارش شده است که کاربرد اسید هیومیک در ذرت تحت شرایط تنش شوری باعث افزایش آنزیم SOD می‌شود (رشیدی فرد و همکاران، ۲۰۲۱).

۴. بهبود رشد ریشه و جذب مواد غذایی

اسید هیومیک در شرایط شوری بطور معنی‌داری اثرات مخرب شوری را تعدیل می‌کند. سازوکار عمل اسید هیومیک بر افزایش طول ریشه کاملاً مشخص نیست. اما در برخی منابع به اثر مستقیم تولید هورمون‌های گیاهی بخصوص اسید جیبرلیک توسط اسید هیومیک اشاره شده است (قربانی[6] و همکاران، ۲۰۱۳). به نظر می‌رسد اسید هیومیک به دلیل خاصیت شبه‌هورمونی، بر حفظ و نفوذپذیری غشا و افزایش رشد ریشه و ساقه موثر است (خان[7] و همکاران، ۲۰۱۳). از طرفی دیگر افزایش تولید اسید نوکلئیک و اسیدآمینه، تکثیر سلولی در گیاهچه را افزایش می‌دهد. در نتیجه با گسترش سامانه ریشه، شرایط بهینه برای افزایش جذب آب توسط گیاه را فراهم می‌کند (دورسون[8] و همکاران، ۲۰۰۲).

نتیجه‌گیری

یکی از گام‌های ابتدایی در مدیریت خاک، آب و گیاه در شرایط شور پیش تیمار و پوشش‌دهی بذر می‌باشد. پرایمینگ و پوشش‌دهی بذر از طریق تغییرات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی، جوانه‌زنی بذر و ظهور گیاهچه را تحت شرایط تنش‌زا مهار می‌کند. پرایمینگ و پوشش‌دهی بذر، با ایجاد پیش‌سازگاری بذرها به مقادیر ملایم عوامل القا کننده انتخاب شده، به بهبود سریعتر گیاهان در برابر تنش شوری کمک می‌کند. پیش تیمار بذر با مقادیر کم تنش‌های غیرزیستی، متابولیسم نشاسته را افزایش می‌دهد، انتقال بهتر مواد غذایی، افزایش سنتز RNA و DNA، افزایش نرخ تنفس، سنتز و تجمع بیشتر متابولیت‌ها، حفظ پایداری غشا، افزایش سطوح و فعالیت آنزیم‌های پاداکسیدانی و تنظیم ژن‌های پاسخ دهنده به نمک را تسهیل می‌کند. پیش‌تیمار و

[1] Akter and Oue
[2] Azad
[3] Abbas
[4] Jarošová
[5] Superoxide Dismutase
[6] Ghorbani
[7] Khan
[8] Dursun

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]
[DOI: 10.66224/yujs.12.2.1]

پوشش‌دهی بذر با اسید هیومیک اثرات مخرب ناشی از شوری را کاهش داده و رشد آن را بهبود می‌بخشد. رشد بهبود یافته به واسطه اسید هیومیک با کاهش سمیت یون سدیم در اندام‌های هوایی و ریشه‌ها، افزایش فعالیت آنزیم‌های پاداکسیدانی شامل SOD، CAT و POX و استفاده فعال از منابع موجود بین رشد و سنتز مواد محلول سازگار و پاد اکسیدان‌ها همراه بوده است. بنابراین، پیش‌تیمار و پوشش‌دهی بذر با اسید هیومیک یک راهبرد مفید برای افزایش تحمل گیاهان به شوری به شمار می‌رود. تقویت مقاومت به تنش در گیاهان از طریق روش پرایمینگ و پوشش‌دهی بذر، روشی مقرون به صرفه و سازگار با محیط زیست برای کاهش اثرات منفی شوری و بهبود استقرار و عملکرد گیاهان محسوب می‌شود.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

مشارکت نویسندگان

تمامی نویسندگان به طور یکسان در ایده‌پردازی مقاله و نگارش پیش‌نویس اولیه و ویرایش‌های بعدی مشارکت داشته‌اند. همه نویسندگان نسخه نهایی را مطالعه و تأیید کرده‌اند.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

این مقاله هیچ حامی مالی خاصی از نهادهای عمومی، تجاری یا غیرانتفاعی نداشته است.

سپاسگزاری

نویسندگان از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام و موسسه تحقیقات خاک و آب کرج به دلیل فراهم کردن امکانات تحقیقاتی و پشتیبانی اداری تشکر و قدردانی می‌نمایند.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.66224/yujs.12.2.1]

References منابع

Abbas, G., Rehman, S., Siddiqui, M. H, Ali, H. M., Farooq., M. A., & Chen, Y. (2022). Potassium and humic acid synergistically increase salt tolerance and nutrient uptake in contrasting wheat genotypes through ionic homeostasis and activation of antioxidant enzymes. *Plants*, *11*, 263. https://doi.org/10.3390/plants11030263

Adediran, J. A., Taiwo, L. B., Akande, M.O., Sobulo, R. A., & Idowu, O. J. (2005). Applicatio of organic and inorganic fertilizer for sustainable maize and cowpea yields in Nigeria. *Journal of plant nutrition*, *27*, 1163-1181. https://doi.org/10.1081/PLN-120038542

Adhikari, B., Olorunwa, O. J., & Barickman, T.C. (2022). Seed priming enhances seed germination and morphological traits of *Lactuca sativa* L. under salt stress. *Seeds*, *1*(2), 74–86. https://doi.org/10.3390/seeds1020007

Akter, M., & Oue, H. (2018). Effect of saline irrigation on accumulation of Na^{+}, K^{+}, Ca^{2+}, and Mg^{2+} ions in rice plants. *Agriculture*, *8*,164. https://doi.org/10.3390/agriculture8100164

Ali, L.G., Nulit, R., Ibrahim, M. H., Yien, C.Y.S. (2021). Efficacy of KNO_3, SiO_2 and SA priming for improving emergence, seedling growth and antioxidant enzymes of rice (*Oryza sativa*) under drought. *Science Reports*, *11*, 3864. https://doi.org/10.108/s41598-021-83434-3.

Antoniou, C., Savvides, A., Christou, A., & Fotopoulos, V. (2016). Unravelling chemical priming machinery in plants: The role of reactive oxygen-nitrogen-sulfur species in abiotic stress tolerance enhancement. *Current Opinion in Biotechnology*, *33*, 101–107. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2016.06.020

Asgharipour, M., & Rafiei, M. (2011). The effect of different concentrations of humic acid on seed germination behavior and vigor of barley. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, *5*(12), 610-613.

Aydin, A., Kant, C., & Turan, M. (2012). Humic acid application Alleviate salinity stress of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants decreasing membrane leakage. *African Journal of Agricultural Research, 7*, 1073–1086. https://doi.org/10.5897/ajar10.274

Azad, H., Fazeli-Nasab, B., & Sobhanizade, A. (2017). A study into the effect of jasmonic and humic acids on some germination characteristics of rosselle (*Hibiscus sabdariffa*) seed under salinity stress. *Iranian Journal of Seed Research*, *4*(1), 1-18. [In Persian]. https://doi.org/10.29252/yujs.4.1.1

Balestrazzi, A., Confalonieri, M., Macovei, A., & Carbonera, D. (2011). Seed imbibition in Medicago truncatula Gaertn: expression profiles of DNA repair genes in relation to PEG-mediated stress. *Journal of Plant Physiology*, *168*, 706–713. https://doi.org/10.1016/j. jplph.2010.10.00

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.66224/yujs.12.2.1]

Belali, M. R., Rezaei, H., & Moshiri, F. (2014). The status of the country's soil and imcreasing their services for agricultural production. *Soil and water research Institute, Karaj, Iran*, 17-48p. [In Persian].

Biswas, S., Biswas, A.K., & De, B. (2020). Influence of sodium chloride on growth and metabolic reprogramming in nonprimed and haloprimed seedlings of blackgram (*Vigna mungo* L.). *Protoplasma*, *257*, 1559–1583. https://doi.org/10.1007/s00709-020-01532

Biswas, S., Chatterjee, P., Biswas, S., Mazumdar, A., & Biswas, A.K. (2021). Salt induced inhibition in photosynthetic parameters and polyamine accumulation in two legume cultivars and its amelioration by pretreatment of seeds with NaCl. *Legume Research*, *44*, 295–301. https://doi.org/10.18805/LR-4106

Biswas, S., Seal, P., Majumder, B., Biswas, A. K. (2023). Efficacy of seed priming strategies for enhancing salinity tolerance in plants: An overview of the progress and achievements. *Plant Stress*, *9*, 100186. https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100186.

Boussadia, O., Zgallai, H., Mzid, N., Zaabar, R., Braham, M., Doupis, G., & Koubouris, G. (2023). Physiological responses of two olive cultivars to salt stress. *Plants*, *12*, 1926. https://doi.org/10.3390/plants12101926

Bradford, K. J. (1986). Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. *HortScience*, *21*(5), 1112.

Chakraborti, S., Bera, K., Sadhukhan, S., Dutta, P. (2022). Bio-priming of seeds: Plant stress management and its underlying cellular, biochemical and molecular mechanisms. *Plant Stress*, *3*, 100052. https://doi.org/10.1016/j.stress.2021.100052

Changjie, J., Zhengwei, L., Xianzhi, X. (2023). Priming for saline-alkaline tolerance in rice: current knowledge and future challenges**.** *Rice Science*, *30*(5), 417−425. http://dx.doi.org/10.1016/j.rsci.2023.05.003.

Chanthini, K. M. P., Senthil-Nathan, S., Pavithra, G. S., Malarvizhi, P., Murugan, P., Deva-Andrews, A., Janaki, M., Sivanesh, H., Ramasubramanian, R., & Stanley-Raja, V. (2022). Aqueous seaweed extract alleviates salinity-induced toxicities in rice plants (*Oryza sativa* L.) by modulating their physiology and biochemistry. *Agriculture*, *12*, 2049. https://doi.org/10.3390/agriculture12122049

Chatterjee, P., Biswas, S., & Biswas, A. K. (2018). Sodium chloride primed seeds modulate glutathione metabolism in legume cultivars. *American Journal of Plant Physiology*, *13*, 8–22. https://doi.org/10.3923/ajpp.2018.8.22.

Chen, Q., Qu, Z., Ma, G., Wang, W., Dai, J., Zhang, M., Wei, Z., & Liu, Z. (2022). Humic acid modulates growth, photosynthesis, hormone and osmolytes system of maize under drought conditions. *Agricultural Water Management*, *263*, 107447. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107447

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.66224/yujs.12.2.1]

Çimrin, K. M., Türkmen, Ö., Turan, M., & Tuncer, B. (2010). Phosphorus and humic acid application alleviate salinity stress of pepper seedling. *African Journal of Biotechnology*, *9* (36), 5845–5851.

De Melo, B. A. G., Motta, F. L., & Santana, M. H. A. (2016). Humic acids: Structural properties and multiple functionalities for novel technological developments. *Materials Science and Engineering*, *62*, 967–974. https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.12.001

De, R., & Kar, R. K. (1994). Seed germination & seedling growth of mung bean (*Vigna radiata*) under water stress induced by PEG-6000. *Seed Science & Technology*, *23*, 301-308.

Deryng, D., Conway, D., Ramankutty, N., Price, J., & Warren, R. (2014). Global crop yield response to extreme heat stress under multiple climate change futures. *Environmental Research Letters*, 9, 034011. https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/3/034011

Devika, O. S., Singh, S., Sarkar, D., Barnwal, P., Suman, J., & Rakshit, A. (2021). Seed priming: a potential supplement in integrated resource management under fragile intensive ecosystems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *5*, 654001. https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.654001

Dursun, A., Güvenç, I., & Turan, M. (2002). Effects of different levels of humic acid on seedling growth and macro and micronutrient contents of tomato and eggplant. *Acta Agrobotanic*, *55*(2), 81-88. https://doi.org/10.5586/aa.2002.046

El Fallah, R., Rouillon, R., & Vouvé, F. (2018). Spectral characterization of the fluorescent components present in humic substances, fulvic acid and humic acid mixed with pure benzo(a)pyrene solution. *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc*, *199*, 71-79. https://doi.org/10.1016/j.saa.2018.03.030

Elkholy, S. F., & Almutairi, Z. M. (2018). Effect of priming with gibberellin on germination and expression of GA biosynthesis gene of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedlings under salt stress. *International Journal of Bio-Technology and Research*, *8*(3), 11-22.

Ellouzi, H., Hamed, B. K., Asensi-Fabado, M.A., Müller, M., Abdelly, C., & Munné-Bosch, S. (2013). Drought and cadmium may be as effective as salinity in conferring subsequent salt stress tolerance in Cakile maritima. *Planta*, *237*, 1311–1323. https://doi.org/10.1007/s00425-013-1847-7

FAO (2024). Global status of salt-affected soils - Main report. Rome. https://doi.org/10.4060/cd3044en

Farooq, M., Hussain, M., Wakeel, A., & Siddique, K. H. M. (2015). Salt stress in maize: effects, resistance mechanisms, and management: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, *35*, 461–481. https://doi.org/10.1007/s13593-015-0287-0

Forti, C., Ottobrino, V., Doria, E., Bassolino, L., Toppino, L., Rotino, G.L., Pagano, A., Macovei, A., & Balestrazzi, A. (2021). Hydropriming applied on fast germinating (*Solanum villosum*) Miller seeds: impact on pre-germinative metabolism. *Frontiers in Plant Science*, *12*, 639336 https://doi.org/10.3389/fpls.2021.639336

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.66224/yujs.12.2.1]

Forti, C., Shankar, A., Singh, A., Balestrazzi, A., Prasad, V., & Macovei, A. (2020). Hydropriming and biopriming improve Medicago truncatula seed germination and upregulate DNA repair and antioxidant genes. *Genes (Basel)*, *11*, 242. https://doi.org/10.3390/genes11030242

Gamir, J., S´anchez-Bel, P., & Flors, V. (2014). Molecular and physiological stages of priming: how plants prepare for environmental challenges. *Plant Cell Rep*orts, *33*, 1935–1949. https://doi.org/10.1007/s00299-014-1665

Ganapati, R. K., Naveed, S. A., Zafar, S., Wang, W. S., & Xu, J. L. (2022). Saline-alkali tolerance in rice: Physiological response, molecular mechanism, and QTL identification and application to breeding. *Rice Science*, *29*(5), 412–434. https://doi.org/10.1016/j.rsci.2022.05.002

Ghorbani, S., Khaaje Hoseini, M., & Eishi Rezaei, E. (2013). Effect of pretreatment of humic acid on germination and early seedling growth of maize (*Zea mays* L.). *Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding*, *9*(3), 37-43. [In Persian].

Gong, M., Zheng, M., Li, X., Li, Y., Qiao, Zh., Ren, Y., LV, G. A. (2025). Microbial microencapsulation design of seed coating technology to boost wheat seed performance in saline soil. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, *12*, 97. https://doi.org/10.1186/s40538-025-00818-7

Gopalakrishnan, T., & Kumar, L. (2020). Modeling and mapping of soil salinity and its impact on paddy lands in *Jaffna peninsula*. Sri Lanka. *Sustain*, *12*, 8317. https://doi.org/10.3390/su12208317

Gopalsamy, A., Tamilmani, E., Shanmugam, K., Navamaniraj, N., Vidhya Duraira, K., Mylsamy, P., Jaganathavarma, A., & Ranganathan, U. (2025). Seeds of Excellence: Review on impact of seed quality enhancement on babygreens biomass production. *Journal of Agriculture and Food Research*, *19*, 101597. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101597

Gregory, P. J., Ingram, J. S. I., Andersson, R., Betts, R. A., Brovkin, V., Chase, T. N., Grace, P. R., Gray, A. J., Hamilton, N., Hardy, T. B., Howden, S. M., Jenkins, A., Meybeck, M., Olsson, M., OrtizMonasterio, I., Palm, C. A., Payn, T. W., Rummukainen, M., Schulze, R. E., Thiem, M., Valentin, C., & Wilkinson, M. J. (2002). Environmental consequences of alternative practices for intensifying crop production. *Agriculture Ecosystem Environment*, *88*(3), 279–290. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00263-8

Guo, X., Zhi, W., Feng, Y., Zhou, G., & Zhu, G. (2022). Seed priming improved salt-stressed sorghum growth by enhancing antioxidative defence. *PLoS One*, *17*(2), e0263036. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263036

Gursoy, M. (2023). An overview of the effects of salt stress on plant development. *9th Internatıonal Zeugma Conference on Scientıfic Research,* February, 19–21, / Gaziantep, Türkiye 508–513.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.66224/yujs.12.2.1]

Haq, T. U., Akhtar, J., Ali, A., Maqbool, M. M., & Ibrahim, M. (2014). Evaluating the response of some canola (*Brassica napus* L.) cultivars to salinity stress at seedling stage. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, *51*(3), 571–579.

Hasanuzzaman, M., Oku, H., Nahar, K., Bhuyan, M.H.M.B., Al Mahmud, J., Baluska, F., & Fujita, M. (2018). Nitric oxide-induced salt stress tolerance in plants: ROS metabolism, signaling, and molecular interactions. *Plant Biotechnology Reports*, *12*, 77–92. https://doi.org/10.1007/s11816-018-0480-0

Hatami, E., Shokoihian, A. A., Ghanbari, A. R., & Naseri, L. A. (2018). Alleviating salt stress in almond rootstocks using humic acid. *Scientia Horticulture*, *237*, 296-302. https://doi.org/10.29252/yujs.4.1.1.

Hussain, S., Ali, B., Ren, X., Chen, X., Li, Q., & Ahmad, N. (2021). Recent progress in understanding salinity tolerance in plants: story of Na+/K+ balance and beyond. *Plant Physiology and Biochemistry*, *160*, 239–256. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.01.029

Ibrahim, E.A. (2016). Seed priming to alleviate salinity stress in germinating seeds. *Journal of Plant Physiology*, *192*, 38–46. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.12.011

Jarošová, M., Klejdus, B., Kováˇcik, J., Babula, P., & Hedbavny, J. (2016). Humic acid protects barley against salinity. *Acta Physiologiae Plantarum, 38*,161. https://doi.org/10.1007/s11738-016-2181-z

Jisha, K. C., Vijayakumari, K., & Puthur, J.T. (2013). Seed priming for abiotic stress tolerance: an overview. *Acta Physiologiae Plantarum*, *35*, 1381–1396. https://doi.org/10.1007/s11738-012-1186-5

Johnson, R., & Puthur, J.T. (2021). Seed priming as a costeffective technique for developing plants with cross tolerance to salinity stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, *162*, 247–257. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.02.034

Johnson, S.E., Lauren, J.G., Welch, R.M., & Duxbury, J. M. A. (2005). Comparison of the effects of Micronutrient seed priming and soil fertilization on the mineral nutrition of chickpea (*Cicer arietinum*), lentil (*Lens culinaris*), rice (*Oryza sativa*) and wheat (*Triticum aestivum*) in Nepal. *Experimental Agriculture*, *41*, 427–448. https://doi.org/10.1017/S0014479705002851

Kanojia A, & Dijkwel, P. P. (2018). Abiotic stress responses are governed by reactive oxygen species and age. *Annu Plant Reports*, *1*, 295–326. https://doi.org/10.1002/9781119312994.apr0611

Khan, A., Khan, M., Hussain, F., Akhtar, M., Gurmani, A., & Khan, S. (2013). Effect of humic acid on the growth, yield, nutrient composition, photosynthetic pigment and total sugar contents of peas (*Pisum sativum* L.). *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, *35,* 206-211.

Kubala, S., Wojtyla, Ł., Quinet, M., Lechowska, K., Lutts, S., & Garnczarska, M. (2015). Enhanced expression of the proline synthesis gene P5CSA in relation to seed osmopriming improvement of

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.66224/yujs.12.2.1]

Brassica napus germination under salinity stress. *Plant Science*, *183*, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.04.009

Leng, C. X., Zheng, F. Y., Zhao, B. P., Li, H. Y., & Wang, Y. J. (2020). Advances on alkaline tolerance of rice. *Bull Biotechnolgy*, *36*(11), 103–111. [In Chinese] https://doi.org/10.13560/j.cnki.biotech.bull.1985.2020-0263

Liu, J., Li, L., Yuan, F., Chen, M. (2019). Exogenous salicylic acid improves the germination of *Limonium bicolor* seeds under salt stress. *Plant Signaling Behavior*, *14*(10), 1644595 https://doi.org/10.1080/15592324.2019.1644595

Liu, L. L., & Wang, B. S. (2021). Protection of halophytes and their uses for cultivation of saline-alkali soil in China. *Biology*, *10*(5), 353. https://doi.org/10.3390/biology10050353

Loreti, E., van Veen, H., & Perata, P. (2016). Plant responses to flooding stress. *Current Opinion in Biotechnology*, *33*, 64–71. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2016.06.005

Luo, X., Dai, Y., Zheng, C., Yang, Y., Chen, W., Wang, Q., Chandrasekaran, U., Du, J., Liu, W., & Shu, K. (2021). The ABI4-RbohD/VTC2 regulatory module promotes reactive oxygen species (ROS) accumulation to decrease seed germination under salinity stress. *New Phytologist Foundation*, *229*, 950–962. https://doi.org/10.1111/nph.16921

Marcos, F. C., Silveira, N. M., Marchiori, P. E., Machado, E. C., Souza, G. M., Landell, M. G., & Ribeiro, R.V. (2018). Drought tolerance of sugarcane propagules is improved when origin material faces water deficit. *PLoS One*, *13*(12), e0206716. https://doi.org/10.1371/journal.pone.020671

Mashal, M., Deneshvar, M., Emami, S., & Varavipour, M. (2013). Evaluation of theoretical models of salt leaching (case study: labar lands-saveh plain). *Water and Irrigation Management*, 13-121p. [In Persian].

Mitra, D., Mondal, R., Khoshru, B., Shadangi, S., Mohapatra, P. K. D., Panneerselvam, P. (2021). Rhizobacteria mediated seed bio-priming triggers the resistance and plant growth for sustainable crop production. *Current Research in Microbial Sciences*, *13*(2), 100071. https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2021.100071

Mndi, O., Sogoni, A., Jimoh, M. O., Wilmot, C. M., Rautenbach, F., & Laubscher, C. P. (2023). Interactive effects of salinity stress and irrigation intervals on plant growth, nutritional value, and phytochemical content in *Mesembryanthemum crystallinum* L. *Agriculture*, *13*, 1026. https://doi.org/10.3390/agriculture13051026

Morozesk, M., Bonomo, M. M., Souza, I. D., Rocha, L. D., Duarte, I. D., Martins, I.O., Dobbss L. B., Carneiro, M. T. W. D., Fernandes, M. N., & Matsumoto, S. T. (2017). Effects of humic acids from landfill leachate on plants: *An integrated approach using chemical, biochemical and*

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.66224/yujs.12.2.1]

cytogenetic analysis. Chemosphere, *184*, 309–317. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.06.007

Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, *59*, 651–681. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911

Muscolo, A., Sidari, M., & Nardi, S. (2013). Humic substance: Relationship between structure and activity. Deeper information suggests univocal findings. *Journal of Geochemical Exploration*, *129*, 57-63. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2012.10.012

Narejo, G. A., Mirbahar, A. A., Yasin, S., Sirohi, M. H., Saeed, R. (2023). Effect of hydro and KNO3 priming on seed germination of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) under gnotobiotic conditions. *Journal of Plant Growth Regulation*, *42*(3), 1592–1603. https://doi.org/10.1007/s00344-022-10644-y

Nazari, S. (2018). Evaluation of seed priming potential for offsetting the effects of delayed sowing date of some winter rapeseed cultivars in Karaj. Ph.D. *Thesis in Agronomy Science.* [In Persian]

Neamatollahi, E., Mohammadi, M., & Tavakkol Afshari, R. (2024).Assessing of sugar beet Seed adaptation under salt and drought stress conditions with coating technology based on Fuzzy inference system. *Heliyon*, *10*, 1-23. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38618.

Ouni,Y., Ghnaya, T., Montemurro, F., Abdelly, Ch., & Lakhdar, A. (2014). The role of humic substances in mitigating the harmful effects of soil salinity and improve plant productivity. *International Journal of Plant Production*, *8*(3), 353-374.

Paparella, S., Araújo, S. S., Rossi, G., Wijayasinghe, M., Carbonera, D., & Balestrazzi, A. (2015). Seed priming: state of the art and new perspectives. *Plant Cell Reports*, *34*, 1281–1293. https://doi.org/10.1007/s00299-015-1784-y

Paravar, A., Piri, R., Balouchi, H., Ma, Y. (2023). Microbial seed coating: An attractive tool for sustainable agriculture. *Biotechnology Reports*, *37*, e00781. https://doi.org/10.1016/j.btre.2023.e00781

Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V. P., & Prasad, S. M. (2015). Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: A review. En*vironmenta Science Pollution Research international*, *22*, 4056–4075. https://doi.org/10.1007/s11356-014-3739-1

Paul, A., Biswas, S., Banerjee, R., Mukherjee, A., & Biswas, A.K. (2021). Halopriming imparts salt tolerance by reducing oxidative, osmotic stress and DNA damage in five different legume cultivars. *Legume Research*, https://doi.org/10.18805/LR-4723

Paul, S., & Roychoudhury, A. (2017). Effect of seed priming with spermine/spermidine on transcriptional regulation of stress-responsive genes in salt-stressed seedlings of an aromatic rice cultivar. *Plant Gene*, *11*, 133–142. https://doi.org/10.1016/j.plgene.2017.05.007

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.66224/yujs.12.2.1]

PRB (Population Reference Bureau). (2020). The 2020 World population data sheet. [2023-01-01]. https://interactives.prb.org/2021-wpds/

Rady, M. (2012). Effects of seed pre-treatment with a calcium paste on the growth, phytohormone content, and enzyme activities in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings grown under high NaCl stress. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, *87*(3), 217-222. https://doi.org/10.1080/14620316.2012.11512855.

Rahman, A., Nahar, K., Hasanuzzaman, M., & Fujita, M. (2016). Calcium supplementation improves Na+/K+ ratio, antioxidant defense and glyoxalase systems in salt-stressed rice seedlings. *Front Plant Science*, *7*, 609. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00609

Raj, A. B., & Raj, S. K. (2019). Seed priming: an approach towards agricultural sustainability. *Journal of Applied and Natural Science*, *11*, 227–234. https://doi.org/10.31018/jans.v11i1.2010

Rashidifard, A. (2020). Effect of Seed Priming and Soil Application of Humic Acid and Zinc on Growth and Biochemical Indices of Maize Seedlings under Soil Salinity and Cadmium Contamination. Ph.D dissertation, Faculty of Agriculture, University of Shahid Chamran Ahvaz , Iran. [In Persian]

Rashidifard, A., Chorom, M., Norozimasir, M., & Roshanfekr, H. (2020). The effect of humic acid and zinc application on some vegetative traits and anti-oxidant enzymes of corn seedling under salinity stress. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *51*(9), 2393-2403. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/ijswr.2020.303784.668638

Rashidifard, A., Chorom, M., Norozimasir, M., & Roshanfekr, H. (2021). The effect of seed priming with humic acid and zinc on some morphophysiological traits of maize (*Zea mays* L.) seedling under saline stress. *Enviromental Stresses in Crop Sciences*, *14*(4), 1115-1125. [In Persian]. https://doi.org/10.22077/escs.2020.3412.1856

Rasouli, F., Nasiri, Y., Asadi, M., Hassanpouraghdam, M. B., Golestaneh, S., & Pirsarandip, Y. (2022). Fertilizer type and humic acid improve the growth responses, nutrient uptake, and essential oil content on *Coriandrum sativum* L. *Scientific Reports*, *12*(1), 7437. https://doi.org/10.1038/s41598-022-11555-4

Rehman, S., Harris, P. J. C. Bourne, W. F., & Wikin, J. (1997). The effect of sodium chloride on germination & the potassium & calcium contents of Acacia seeds. *Seed Science & Technology*. *25*, 45-57.

Rodda, M. R. C., Canellas, L. P., Façanha, A.R., Zandonadi, D. B., Guerra, J. G. M., Almeida, D. L., & Santos, G. A., (2006). Estímulo no crescimento e na hidrólise de ATP em raízes de alface tratadas com humatos de vermicomposto I. Efeito de doses de humatos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, *30*, 649-656. https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000400005

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.66224/yujs.12.2.1]

Saadat, F., Ehteshami, S.M.R., Asghari, J., & Rabiee, M. (2015). Effect of seed coating with growth promoting bacteria and micronutrients on quantitative and qualitative yield of forage corn (*Zea mays L. SC. 640*). *Iranian Journal of Filed Crop Science*, *46*(3), 485-496. [In Persian] https://doi.org/10.22059/ijfcs.2015.55852

Sadeghi, R., Soltani, A., Sharzei, A. (2015). Seed health. University of Tehran Publication. [In Persian].

Saed-Moocheshi, A., Shekoofa, A., Sadeghi, H., Pessarakli, M. (2014). Drought and salt stress mitigation by seed priming with KNO_3 and urea in various maize hybrids: an experimental approach based on enhancing antioxidant responses. *Plant Nutrition*, 37(5), 674–689. https://doi.org/10.1080/01904167.2013.837585.

Savy, D., Cozzolino, V., Nebbioso, A., Drosos, M., Nuzzo, A., & Mazzei, P. (2016). Humic-like bioactivity on emergence and early growth of maize (*Zea mays* L.) of water-soluble lignins isolated from biomass for energy. *Plant and Soil*, *402*, 221–223. https://doi.org/10.1007/s11104-015-2780-2

SeidJamali, Z., Astaraei, A. R., & Emami, H. (2015). Effects of humic acid, compost and phosphorus on growth characteristics of basil herb and concentration of microelements in plant and soil. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, *6*(22), 187-205. http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.ejgcst.6.2.187

Sheteiwy, M. S., Dong, Q., An, J., Song, W., Guan, Y., He, F., Huang, Y., & Hu, J. (2017). Regulation of ZnO nanoparticles-induced physiological and molecular changes by seed priming with humic acid in *Oryza sativa* seedlings. *Plant Growth Regul*ation, *83*, 27–41. https://doi.org/10.1007/s10725-017-0281-4

Sheteiwy, M. S., Fu, Y., Hu, Q., Nawaz, A., Guan, Y., Li, Z., Huang, Y., & Hu, J. (2016). Seed priming with polyethylene glycol induces antioxidative defense and metabolic regulation of rice under nano-ZnO stress. *Environmental Science and Pollution Research*, *23*, 19989–20002. https://doi.org/10.1007/s11356-016-7170-7

Shi, C., Zhang, L., Yuan, S., Zhang, N., Cheng, M., Wen, J. (2024). Coating seeds with purified-hydrocolloids extracted from conventional activated sludge affects the growth physiology of wheat under gradient salt stress. *Journal of Enviremental Chememistery Engineering*, *12*(5), 113758. https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.113758.

Sikhao, P., Taylor, A. G., Marino, E.T., Catranis, C. M., & Siri, B. (2015). Development of seed agglomeration technology using lettuce and tomato as model vegetable crop seeds. *Scientia Horticulturae*, *184*, 85–92. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.12.028

Singh, V., Singh, A. P., Bhadoria, J., Giri, J., Singh, J., Vineeth, T. V., & Sharma, P. C. (2018). Differential expression of salt-responsive genes to salinity stress in salt-tolerant and salt-sensitive

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.66224/yujs.12.2.1]

rice (*Oryza sativa* L.) at seedling stage. *Protoplasma, 255*, 1667–1681. https://doi.org/10.1007/s00709-018-1257-6

Sobrinho, T. G., da Silva, A. A. R., de Lima, G. S., de Lima, V. L.A., Borges, V. E., Nunes, K. G., Soares, L. A., Saboya, L. M. F., Gheyi, H. R., & Gomes, J. P. (2023). Foliar applications of salicylic acid on boosting salt stress tolerance in sour passion fruit in two cropping cycles. *Plants*, *12*(10), 1-32. https://doi.org/10.3390/plants12102023

Souza, M. O., Pelacani, C. R., Willems, L.A., Castro, R. D., Hilhorst, H. W., & Ligterink, W. (2016). Effect of osmopriming on germination and initial growth of *Physalis angulata* L. under salt stress and on expression of associated genes. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, *88*, 503–516. https://doi.org/10.1590/0001-3765201620150043.

Tabassum, T., Farooq, M., Ahmad, R., Zohaib, A., Wahid, A., & Shahid, M. (2018). Terminal drought and seed priming improves drought tolerance in wheat. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, *24*, 845–856. https://doi.org/10.1007/s12298-018-0547-y

Thakur, A., Sharma, K. D., Siddique, K. H. M., & Nayyar, H. (2020). Cold priming the chickpea seeds imparts reproductive cold tolerance by reprogramming the turnover of carbohydrates, osmo-protectants and redox components in leaves. *Scientia Horticulturae*, *261*, 108929 https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108929

Thomas, D.T., & Puthur, J.T. (2019). Amplification of abiotic stress tolerance potential in rice seedlings with a low dose of UV-B seed priming. *Functional Plant Biology*, *46*, 455–466. https://doi.org/10.1071/FP18258

Trevisan, S., Francioso, O., Quaggiotti, S., & Nardi, S. (2010). Humic substances biological activity at the plant-soil interface: from environmental aspects to molecular factors. *Plant Signal Behavior*, *5*, 635–643. https://doi.org/10.4161/psb.5.6.11211

Vinayak, B., & Pathak, S. (2023). Seed priming methods- applications and future perspectives published. *Just Agriculture*, *12*, 2582-8223. https://www.researchgate.net/publication/373216019.

Xia, J. B., Ren, J. Y., Zhang, S. Y., Wang, Y. H.,& Fang, Y. (2019). Forest and grass composite patterns improve the soil quality in the coastal saline-alkali land of the Yellow River Delta, China. *Geoderma*, *349*, 25–35.

Yang, F., Tang, C., & Antonietti, M. (2021). Natural and artificial humic substances to manage minerals, ions, water, and soil microorganisms. *Chemical Society Reviews*, *50*, 6221–6239. https://doi.org/10.1039/D0CS01363C

Zaim, N., Tan, H., Rahman, A., Bakar, N., Osman, M.,Thakur,V., & Radacsi , N. (2023). Recent advances in seed coating treatment using Nanoparticles and nanofibers for enhanced seed germination and protection. *Journal of Plant Growth Regulation*, *42*, 7374-7402. https://doi.org/10.1007/s00344-023-11038-4

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.66224/yujs.12.2.1]

Ziaei, S. M., Moradi, R., Sahabi, H., Zaferanieh, M., Jafari, M. (2025) Effects of seed priming on growth, nutrient uptake, and biochemical responses of *Astragalus fasciculifolius* Boiss under drought stress. *Annals of Agricultural Sciences*, *70*, 100397. https://doi.org/10.1016/j.aoas.2025.100397.

Zulfiqar, F. (2021). Effect of seed priming on horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, *286*, 110197. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110197

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.66224/yujs.12.2.1]