

Impact of Hydropriming and Seed Coating with Humic Acid and Biostimulants on Germination and Establishment of Sweet Corn cv. 'Amyla'

Hamid Zulqadri¹, Salim Farzaneh² , Mohammad Ahmadi^{3✉} , and Rauf SeyedSharifi⁴ 

1. Expert, Seed and Seedling Research, Registration and Certification Institute, Moghan, Iran. Email: hamid.zolghadri@gmail.com
2. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: s.farzaneh@uma.ac.ir
3. Corresponding author, Ph.D. of Weed Science, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: ahmadi.agro@gmail.com
4. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: raouf-sharifi@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article Article history: Received 23 March 2025 Received in revised form 8 July 2025 Accepted 15 July 2025 Available online 22 September 2025 Keywords: Germination rate Emergence rate Hydroprime Humic acid	Objective: This study aimed to investigate the effects of hydroprime and seed coating with humic acid, and biological compounds on the germination and emergence of the sweet corn cultivar 'Amyla'. Method: The experiment was conducted using a randomized complete block design with three replications under laboratory and greenhouse conditions, and four replications under field conditions in 2018. The study was carried out at Mohaghegh Ardabili University and the experimental fields of the National Agro-Industrial Company of Moghan. The fourteen treatments consisted of seed coating with different amounts of amino acid fertilizer (2, 4, and 6 g kg⁻¹ of seed), seaweed extract (3, 6, and 9 g kg⁻¹ of seed), humic acid (3, 6, and 9 g kg⁻¹ of seed), hydroprime + humic acid, hydroprime + seaweed extract, hydroprime + amino acid, hydroprime alone, and an uncoated control. A 3% carboxymethylcellulose solution was used as an adhesive for the seed coating. Results: Seed coating with humic acid and hydroprime significantly improved the germination and emergence percentages of the 'Amyla' sweet corn seeds under laboratory, greenhouse, and field conditions. The best results were obtained with the hydroprime and humic acid (6 g kg⁻¹) treatments, which showed the highest germination percentage (98.66%) and emergence percentage (93.33%). The germination and emergence rates also increased significantly in these treatments. Contrary to expectations, seaweed extract negatively affected the germination and emergence of the sweet corn seeds. These results indicate that using seaweed extract as a seed coating may not be suitable for all corn cultivars. The 3% carboxymethylcellulose adhesive used for coating had no adverse effect on seed germination and emergence; in some cases, it even slightly improved the results. Conclusions: This research clearly demonstrates that coating 'Amyla' sweet corn seeds with humic acid (6 g kg⁻¹) and hydroprime is not only a practical solution for improving germination and seedling establishment but also, as a sustainable technology, can help address challenges in modern agriculture.

Cite this article: Zulqadri, H., Farzaneh, S., Ahmadi, M., & SeyedSharifi, R. (2025). Impact of hydropriming and seed coating with humic acid and biostimulants on germination and establishment of sweet corn cv. 'Amyla'. *Iranian Journal of Seed Research*, 12 (1), 37-53. <http://doi.org/10.66224/yujs.12.1.37>



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/10.66224/yujs.12.1.37>

Publisher: Yasouj University.

Highlights

- The effects of hydropriming and seed coating with humic acid, amino acid fertilizer, and seaweed extract on germination and emergence of 'Amyla' sweet corn cultivar were evaluated.
- The combination of hydropriming and humic acid coating (6 g kg^{-1}) was an optimal strategy for enhancing germination and seedling establishment of 'Amyla' sweet corn cultivar.

Introduction

Corn (*Zea mays* L.) is the world's leading cereal crop, cultivated on approximately 187 million hectares globally. Sweet corn, a variant of common corn, derives its characteristic sweetness from genetic mutations that alter the kernel's sugar composition (Ordas et al., 2008). A promising approach to enhance seed performance is seed coating, which involves applying compounds that regulate and improve germination, emergence, and subsequent plant growth (Copeland and McDonald, 2012). As a fresh food, sweet corn is a staple in human diets worldwide, and its consumption continues to rise due to its palatability and high vitamin content. Another key technique for improving seed vigor is seed priming, a pre-sowing treatment that physiologically and biochemically prepares seeds for germination by exposing them to controlled environmental conditions (Farooq et al., 2019). This process induces numerous biological and physiological changes in the primed seed, which manifest in the resulting plant as improved germination rates, enhanced early seedling establishment, more efficient use of environmental resources, earlier maturity, and increased crop yield and quality.

Method

This study investigated the effects of seed coating with nutrient and biostimulant compounds—including amino acids, seaweed extract, humic acid, and hydroprime—on the germination and emergence of the sweet corn variety 'Amyla'. The research was conducted in 2018 under laboratory, greenhouse, and field conditions at Mohaghegh Ardabili University and the farm of Pars National Agro-Industry and Animal Husbandry Company. The seeds used were hybrid from the 2017 season and had been stored at 5-10°C with 25% relative humidity.

The experiment employed a randomized complete block design with three replications in the laboratory and greenhouse, and four replications in the field. The seeds and the amino acid fertilizer (featuring a balanced formulation of essential amino acids) were procured from the Karaj Seed and Seedling Registration and Certification Research Institute. The treatments consisted of seed coating with varying concentrations of amino acids fertilizer (2, 4, 6 g kg^{-1} seed), seaweed extract (3, 6, 9 g kg^{-1} seed), and humic acid (3, 6, 9 g kg^{-1} seed), in addition to hydroprime and an uncoated control.

In the spring of 2018, field preparations were carried out, including plowing, application of soil test-based fertilizers, disc harrowing, and plot layout. Each plot comprised four 5-meter-long rows. Planting was conducted on June 19th with a row spacing of 75 cm and an intra-row plant spacing of 15 cm, resulting in a theoretical plant density of approximately 88,888 plants per hectare. Blocks were spaced 1.5 m apart, and plots were separated by a single unplanted row. Irrigation was supplied using a drip tape system.

Results

Contrary to expectations, the application of seaweed extract adversely affected the germination and emergence of sweet corn seeds. In contrast, seed coating with humic acid and hydroprime significantly enhanced these parameters in the 'Amyla' cultivar across laboratory, greenhouse, and field conditions. The most pronounced effects were observed with the hydroprime and humic acid (6 g kg^{-1}) treatments, which yielded the highest germination (98.66%) and emergence (93.33%) percentages. Furthermore, these treatments significantly increased the rate of germination and emergence. These findings suggest that seaweed extract may not be a universally suitable seed coating for all corn cultivars. The 3% carboxymethylcellulose adhesive used as a binder had no deleterious effects on seed performance and, in some instances, even resulted in a marginal improvement.

Conclusions

This study clearly demonstrates that coating seeds of the sweet corn cultivar 'Amyla' with humic acid (6 g kg^{-1}) and hydroprime not only serves as a practical solution for enhancing germination and seedling establishment but also represents a sustainable technology with the potential to mitigate key challenges in modern agriculture. Contrary to expectations, seaweed extract, despite its established reputation as a biostimulant, significantly inhibited germination and emergence. This adverse effect is likely attributable to the presence of specific inhibitory compounds, such as phenolics, or an inherent incompatibility with the genetic profile of the 'Amyla' cultivar. These findings underscore the critical importance of cultivar-specific studies for optimizing agricultural inputs, as plant responses to biostimulants are often highly genotype-dependent.

From a mechanistic standpoint, the efficacy of humic acid can be attributed to its role in accelerating seed metabolic activity, potentially by enhancing the activity of germination-related enzymes, facilitating nutrient mobilization, and stimulating the synthesis of growth hormones like auxins. Hydropriming, conversely, is posited to break physiological dormancy by establishing a controlled hydration environment, thereby increasing the seed's resilience to environmental stresses during critical early growth stages. In contrast, the negative results associated with seaweed extract may be linked to the presence of phytotoxic phenolic compounds or an imbalance in mineral salt concentrations, which can exert allelopathic effects on certain plant species.

From a practical perspective, the application of humic acid and hydropriming as seed coatings offers farmers a cost-effective strategy to improve field emergence uniformity and

bolster crop tolerance to abiotic stresses such as drought and salinity. For future research, it is recommended to investigate the synergistic effects of combining humic acid and hydropriming with other advanced seed pretreatment technologies, such as nano-priming.

In conclusion, this study constitutes a significant step toward precision agriculture and input optimization. It provides compelling evidence that simple, yet scientifically-informed, technologies can effectively bridge the gap between sustainable agricultural production and the escalating demands of global food security.

Author Contributions

Preparation and preparation of samples, H.Z.; conducting experiments and collecting data, H.Z.; performing calculations, statistical analysis of data, H.Z.; analyzing and interpreting information and results, H.Z.; preparing a draft of the article, H.Z.; research design, S.F. M.A. and R.S.; supervising the research stages, S.F. M.A. and R.S.; reviewing and controlling the results, S.F. M.A. and R.S.; revising, S.F. and M.A.; reviewing, and finalizing the article, S.F. and M.A. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

We would like to express our gratitude to the officials of the Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, for their financial support/moral support/cooperation in carrying out this research.

Ethical Considerations

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

Funding

This article was conducted with the financial support of the Vice Chancellor for Research of the University of Mohaghegh Ardabili.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

اثر هیدروپرایم و پوشش‌دهی بذر با اسیدهیومیک و تحریک‌کننده‌های زیستی بر جوانه‌زنی و استقرار ذرت شیرین رقم آمیلا

حمید ذوالقدری^۱، سلیم فرزانه^۲، محمد احمدی^۳، و رؤف سیدشریفی^۴

۱. کارشناس موسسه تحقیقات، ثبت و گواهی بذر و نهال، مغان، ایران. رایانامه: hamid.zolghadri@gmail.com

۲. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: s.farzaneh@uma.ac.ir

۳. نویسنده مسئول، دکتری علوم غلف‌های‌هرز، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: ahmadi.agro@gmail.com

۴. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: raouf-sharifi@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

هدف: این تحقیق به منظور بررسی اثر هیدروپرایم و پوشش بذر با اسیدهیومیک و ترکیبات زیستی روی جوانه‌زنی و سبزشدن ذرت شیرین رقم آمیلا انجام شد.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

روش پژوهش: آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط آزمایشگاهی و گلخانه‌ای و چهار تکرار در شرایط مزرعه در سال ۱۳۹۷ در دانشگاه محقق اردبیلی و اراضی شرکت ملی کشت و صنعت مغان انجام شد. ۱۴ تیمار شامل پوشش بذر با مقادیر مختلف کود اسید آمینه (۲، ۴ و ۶ گرم در هر کیلوگرم بذر)، عصاره جلبک دریایی (۳، ۶ و ۹ گرم در هر کیلوگرم بذر)، اسید هیومیک (۳، ۶ و ۹ گرم در هر کیلوگرم بذر)، هیدروپرایم + اسیدهیومیک، هیدروپرایم + عصاره جلبک دریایی، هیدروپرایم + اسیدآمینه، هیدروپرایم و شاهد (بدون پوشش) وجود داشت. برای تیمار پوشش‌دار کردن بذر از چسب کربوکسی‌متیل سلولز (۳ درصد) استفاده گردید.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۰۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۴/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۲۹

یافته‌ها: پوشش‌دهی بذر با اسیدهیومیک و هیدروپرایم به طور معنی‌داری درصد جوانه‌زنی و سبزشدن بذر ذرت شیرین رقم آمیلا را در شرایط آزمایشگاه، گلخانه و مزرعه بهبود بخشید. بهترین نتایج در تیمارهای هیدروپرایم و اسیدهیومیک (۶ گرم در هر کیلوگرم بذر) مشاهده شد که بالاترین درصد جوانه‌زنی (۹۸/۶۶ درصد) و سبزشدن (۹۳/۳۳ درصد) را داشتند. سرعت جوانه‌زنی و سبزشدن نیز در این تیمارها به طور قابل توجهی افزایش یافت. برخلاف انتظار، عصاره جلبک دریایی تأثیر منفی بر جوانه‌زنی و سبزشدن بذر ذرت شیرین داشت. این نتایج نشان می‌دهد که استفاده از عصاره جلبک دریایی به عنوان پوشش بذر ممکن است برای همه ارقام ذرت مناسب نباشد. چسب کربوکسی‌متیل سلولز (۳ درصد) مورد استفاده در پوشش بذر هیچ تأثیر منفی بر جوانه‌زنی و سبزشدن بذر نداشت و حتی در برخی موارد بهبود جزئی در نتایج مشاهده شد.

کلیدواژه‌ها:

اسید هیومیک

سرعت جوانه‌زنی

سرعت سبزشدن

هیدروپرایم

نتیجه‌گیری: این پژوهش به‌وضوح نشان می‌دهد که پوشش‌دهی بذر ذرت شیرین رقم آمیلا با اسیدهیومیک (۶ گرم در کیلوگرم بذر) و هیدروپرایم نه تنها یک راهکار عملی برای بهبود جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه است، بلکه به عنوان یک فناوری پایدار می‌تواند چالش‌های پیش‌روی کشاورزی مدرن را کاهش دهد.

جنبه‌های نوآوری:

- اثرات هیدروپرایم و پوشش‌دهی بذر با ترکیبات اسید هیومیک، کود اسید آمینه و عصاره جلبک دریایی بر جوانه‌زنی و سبزشدن ذرت شیرین رقم 'آمیلا' مورد ارزیابی قرار گرفت.
- ترکیب هیدروپرایم و پوشش‌دهی با اسید هیومیک (۶ گرم بر کیلوگرم بذر)، راهبردی بهینه برای ارتقای جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه در ذرت شیرین رقم 'آمیلا' تعیین گردید.

استناد: ذوالقدری، حمید؛ فرزانه، سلیم؛ احمدی، محمد و سیدشریفی، رؤف (۱۴۰۴). اثر هیدروپرایم و پوشش‌دهی بذر با اسیدهیومیک و تحریک‌کننده‌های زیستی بر جوانه‌زنی و استقرار ذرت شیرین رقم آمیلا. *پژوهش‌های بذر ایران*، ۱۲(۱)، ۵۳-۳۷. <http://doi.org/10.66224/yujs.12.1.37>



مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.) از نظر تولید اولین غله در جهان است و در دنیا بیش از ۱۸۷ میلیون هکتار اراضی، کشت می‌شود و حدود ۱۱۳۵ میلیون تن تولید سالانه آن می‌باشد (فائو^۱، ۲۰۲۰). ذرت شیرین یک گیاه تغییر یافته ژنتیکی از ذرت معمولی است که با انجام جهش ژنتیکی در ذرت معمولی حاصل شده است. این تغییرات ژنتیکی باعث تجمع قندها و پلی‌ساکاریدهای محلول در آندوسپرم دانه می‌شود. ذرت شیرین به‌عنوان غذای تازه انسان مورد مصرف قرار می‌گیرد و از سبزی‌ها به شمار می‌آید، که در حال حاضر یکی از پرمصرف‌ترین سبزی‌ها در نقاط مختلف جهان است که به علت خوشمزگی و غنی بودن از ویتامین‌ها مصرف آن روبه افزایش است (اورداس^۲ و همکاران، ۲۰۰۸). پیش تیمار بذر روشی است که به‌واسطه‌ی آن بذرهای پیش از قرار گرفتن در بستر خود و مواجهه با شرایط اکولوژیکی محیط به لحاظ فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی آمادگی جوانه‌زنی را به دست می‌آورند. این امر می‌تواند، سبب بروز تظاهرات زیستی و فیزیولوژیکی متعددی در بذر پرایم و گیاه حاصل از آن گردد؛ به‌طوری‌که این موارد را می‌توان در چگونگی جوانه‌زنی، استقرار اولیه نبات، بهره‌برداری از نهاده‌های محیطی، زودرسی، افزایش کمی و کیفی محصول مشاهده کرد (فاروق^۳ و همکاران، ۲۰۱۹). یکی از روش‌های بهبود و افزایش کارایی بذر، پوشش‌دار کردن (پلتینگ) آن با ترکیبات شیمیایی است که می‌تواند باعث تنظیم و بهبود جوانه‌زنی شود (کوپلند و مکدونالد^۴، ۲۰۱۲).

پوشش‌دار کردن بذر یکی از روش‌های تقویت بذر است، که با اهداف مختلفی از جمله افزایش سرعت و میزان جوانه‌زنی، جلوگیری از خسارت آفات و بیماری‌ها، آسان‌سازی عملیات بذرکاری، توزیع یکنواخت بذر (به‌ویژه در بذرپاشی هوایی)، حفظ رطوبت در پیرامون بذر با استفاده از مواد جاذب رطوبت، افزایش عملکرد، ایجاد تأخیر در جوانه‌زنی، جلوگیری از خورده شدن بذر توسط جانوران، افزایش سرعت و توان استقرار گیاه انجام می‌گیرد

(پدروینی^۵ و همکاران، ۲۰۱۷). مزایای استفاده از عناصر غذایی در بذرهای پوشش‌دار شده عبارت‌اند از ایجاد یک محیط تغذیه‌ای که در اطراف گیاهچه مستقر شده است. چراکه افزایش قدرت بذر از طریق کود، منجر به افزایش نمو زودتر و توسعه بیشتر گیاه می‌گردد. افزایش قدرت بذر برای توسعه اولیه و نمو گیاهچه حائز اهمیت است (فاروق و همکاران، ۲۰۰۹).

در آزمایشی روی ذرت شیرین با افزایش میزان کاربرد عصاره جلبک دریایی، عملکرد بلال با و بدون پوشینه افزایش پیدا کرد (ونکاتا^۶ و همکاران، ۲۰۲۲). جلبک‌های دریایی به‌عنوان کودهای زیستی در کشاورزی پایدار برای افزایش بهره‌وری کشاورزی استفاده می‌شوند (همودا^۷ و همکاران، ۲۰۲۲). همچنین در آزمایشی تأثیر کاربرد اسیدهیومیک را روی گیاهان مورد بررسی قرار داده‌اند و مشخص شده است، که مواد هیومیکی در افزایش جوانه‌زنی و سبز شدن بذر گونه‌های مختلف گیاهان مؤثر است (ترکمن^۸ و همکاران، ۲۰۰۴). اسیدهیومیک یک ترکیب هورمون مانند با منشأ زیستی است که بیشتر از مواد زائد آلی به دست می‌آید و می‌تواند به بهبود وضعیت تغذیه گیاه و بهبود عملکرد محصول کمک کند (دوجاردین^۹، ۲۰۱۵). این ترکیب می‌تواند با افزایش سرعت تنفس و تقسیم سلولی فرایند سبز شدن و رشد گیاهچه را افزایش دهد (اونی^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۴). تحقیق حاضر با هدف بررسی پوشش‌دار کردن بذر با محرک‌های رشد بر مولفه‌های جوانه‌زنی و سبز شدن ذرت شیرین رقم آمیلا انجام شد. مطالعه حاضر، خلا پژوهشی موجود در زمینه بهینه‌سازی روش‌های جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه در شرایط مختلف کشت را برطرف می‌کند و همچنین با مقایسه جامع تأثیر اسیدهیومیک، هیدروپرایم و عصاره جلبک دریایی در شرایط آزمایشگاهی، گلخانه‌ای و مزرعه‌ای، داده‌های ارزشمندی برای انتخاب بهترین روش پوشش‌دهی بذر ارائه می‌دهد. نتایج این تحقیق نه تنها راهکارهای عملی برای افزایش کارایی بذر در

⁵ Pedrini⁶ Venkata⁷ Hamouda⁸ Turkmen⁹ Du Jardin¹⁰ Ouni¹ FAO² Ordas³ Farooq⁴ Copeland and McDonald

کشاورزی پایدار فراهم می‌کند، بلکه نشان می‌دهد که پاسخ بذرها به محرک‌های رشد می‌تواند وابسته به ژنوتیپ باشد که این یافته برای برنامه‌ریزی‌های به‌نژادی و مدیریت زراعی حائز اهمیت است.

مواد و روش‌ها

مشخصات محل اجرای آزمایش: این تحقیق برای

بررسی پوشش‌دار کردن بذر با ترکیبات حاوی عناصر غذایی و محرک‌های رشد اسیدآمین، عصاره جلبک دریایی، اسیدهیومیک و هیدروپرایم بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی در شرایط آزمایشگاه و مؤلفه‌های سبز شدن در شرایط گلخانه و مزرعه در رقم آمیلا ذرت شیرین در سال ۱۳۹۷ در آزمایشگاه و گلخانه دانشگاه محقق اردبیلی و زمین زراعی شرکت ملی کشت و صنعت و دامپروری پارس انجام شد. بذرها هیبرید و مربوط به سال ۱۳۹۶ بودند و در محیطی با دمای ۵-۱۰ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۲۵ درصد نگهداری شدند. آزمایش به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در شرایط آزمایشگاه و گلخانه با سه تکرار و در شرایط مزرعه با چهار تکرار به اجرا درآمد.

تیمارها و اجرای طرح آزمایشی: بذرها و کود

اسیدآمین (دارای فرمولاسیون متعادلی از اسیدهای آمینه ضروری گیاه) از مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال کرج تهیه شد. تیمارها شامل پوشش‌دار کردن بذر با مقادیر مختلف فرآورده‌های اسیدآمین (۶،۴،۲) گرم در کیلوگرم بذر، عصاره جلبک دریایی (۹،۶،۳) گرم در کیلوگرم بذر و اسیدهیومیک (۹،۶،۳) گرم در کیلوگرم بذر، هیدروپرایم و به همراه یک تیمار شاهد (فاقد پوشش‌دهی) بودند. مشخصات تیمارهای مورد استفاده در جدول ۱ آمده است.

برای تیمار پوشش‌دار کردن بذر، از ماده کربوکسی‌متیل سلولز (۳ درصد) و چسباننده استفاده گردید (هالمر^۱، ۲۰۰۵). پوشش بذر با استفاده از یک دستگاه دست‌ساز انجام گرفت. در این دستگاه پوشش مناسب بذر با حرکات دورانی دستگاه انجام گرفت. با پوشش بذر تغییر محسوسی در شکل بذر ایجاد نشده بود

ولی وزن بذر کمتر از ۱۰ درصد افزایش یافت. برای تیمار هیدروپرایم بذرها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس خیسانده و در این مدت هوادهی شدند.

بررسی‌های آزمایشگاهی: در داخل هر پتری با قطر

۲۵ سانتی‌متر، تعداد ۵۰ بذر کشت شد و نمونه‌ها در داخل ژرمیناتور در دمای 25 ± 1 درجه سلسیوس قرار داده شد. در طول آزمایش رطوبت نسبی در محدوده ۷۰ الی ۸۵ درصد حفظ شد. اثر تیمارهای مختلف بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی برای تعیین درصد و سرعت جوانه‌زنی و زمان تا ۱۰ و ۹۰ درصد جوانه‌زنی بذرها مورد آزمایش قرار گرفت. شمارش بذرها جوانه‌زده ۳ بار در روز انجام شد. هنگام شمارش، بذرهایی جوانه‌زده تلقی شدند که طول ریشه‌چه آن‌ها ۲ میلی‌متر یا بیشتر بود (ایستا^۲، ۲۰۲۳). شمارش تا هنگامی ادامه یافت که افزایشی در تعداد بذرها جوانه‌زده به مدت سه روز متوالی، مشاهده نشد و تعداد بذرها جوانه‌زده در هر نمونه ثابت ماند.

بررسی‌های گلخانه‌ای: برای اجرای این آزمایش از

هر تیمار، نمونه تصادفی ۱۰۰ عددی برداشته و در جعبه‌هایی به ابعاد ۶۰×۴۰، ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر و عمق ۴ سانتی‌متر در داخل خاک در ۳ تکرار کاشته شد. آبیاری به صورت دستی و ۳ بار در هفته انجام شد. دمای گلخانه کنترل‌شده و در حدود ۲۵ الی ۳۰ درجه سلسیوس بود. ویژگی‌های خاک مورد استفاده در جدول ۲ آمده است.

عملیات زراعی: جهت اجرای این آزمایش، در بهار

سال ۱۳۹۷ عملیات زراعی شامل عملیات شخم‌زنی، پخش کود موردنیاز بر اساس آزمون خاک، دیسک، فارو کشی و کرت بندی انجام گرفت. هر کرت شامل ۴ خط کشت به طول پنج‌متر بود. فاصله خطوط کاشت ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی خط حدود ۱۵ سانتی‌متر شد؛ بنابراین تراکم مزرعه در حدود ۸۸۸۸۸ بوته در هکتار بود. فاصله بین بلوک‌ها ۱/۵ متر، فاصله بین کرت‌های فرعی یک خط نکاشت بود. عملیات کاشت در ۱۹ خردادماه انجام گرفت. آبیاری به روش قطره‌ای با استفاده از نوار تیپ انجام شد. عملیات داشت شامل تنک در مرحله ۴-۶ برگ، مه‌بار علف‌های هرز و آفات و بیماری‌ها به‌صورت مکانیکی و شیمیایی (توفوردی به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار و

² ISTA

¹ Halmer

جدول ۱- فهرست تیمارهای پوشش‌دار کردن بذر با محرک‌های مختلف رشد.

Table 1- List of seed coating treatments with various biostimulants.

ردیف Row	تیمارها Treatments	توضیح Explanation
1	اسیدآمین (۱) Amino acid (1)	۲ گرم اسیدآمین در هر کیلوگرم بذر ذرت 2 g of amino acid per kg of corn seeds
2	اسیدآمین (۲) Amino acid (2)	۴ گرم اسیدآمین در هر کیلوگرم بذر ذرت 4 g of amino acid per kg of corn seeds
3	اسیدآمین (۳) Amino acid (3)	۶ گرم اسیدآمین در هر کیلوگرم بذر ذرت 6 g of amino acid per kg of corn seeds
4	عصاره جلبک دریایی (۱) Seaweed extract (1)	۳ گرم عصاره جلبک دریایی در هر کیلوگرم بذر ذرت 3 g of seaweed extract per kg of corn seeds
5	عصاره جلبک دریایی (۲) Seaweed extract (3)	۶ گرم عصاره جلبک دریایی در هر کیلوگرم بذر ذرت 6 g of seaweed extract per kg of corn seeds
6	عصاره جلبک دریایی (۳) Seaweed extract (3)	۹ گرم عصاره جلبک دریایی در هر کیلوگرم بذر ذرت 6 g of seaweed extract per kg of corn seeds
7	اسیدهیومیک (۱) Humic acid (1)	۳ گرم اسیدهیومیک در هر کیلوگرم بذر ذرت 3 g of humic acid per kg of corn seeds
8	اسیدهیومیک (۲) Humic acid (2)	۶ گرم اسیدهیومیک در هر کیلوگرم بذر ذرت 6 g of humic acid per kg of corn seed
9	اسیدهیومیک (۳) Humic acid (3)	۹ گرم اسیدهیومیک در هر کیلوگرم بذر ذرت 9 g of humic acid per kg of corn seeds
10	هیدروپرایم + اسیدهیومیک (۲) Hydroprim + Humic acid (2)	هیدروپرایم + ۶ گرم اسیدهیومیک در هر کیلوگرم بذر Hydroprime + 6 g of humic acid per kg of seed
11	هیدروپرایم + عصاره جلبک دریایی (۲) Hydroprime + seaweed extract (2)	هیدروپرایم + ۶ گرم عصاره جلبک دریایی در هر کیلوگرم بذر Hydroprime + 6 g of seaweed extract per kg of seed
12	هیدروپرایم + اسیدآمین (۲) Hydroprim + Amino acid (2)	هیدروپرایم + ۶ گرم اسیدآمین در هر کیلوگرم بذر Hydroprime + 6 g of amino acid per kg of seed
13	هیدروپرایم Hydroprime	هیدروپرایمینگ Hydropriming
14	شاهد Control	بذر بدون مصرف چسب و محرک‌های مختلف رشد Seeds without the use of glue and various growth stimulants

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی منتخب خاک مورد استفاده در آزمایش گلخانه‌ای.

Table 2- Selected physico-chemical properties of the soil used in the greenhouse experiment.

بافت خاک Soil texture	درصد شن Sand%	درصد سیلت Silt%	درصد رس Clay%	درصد کربنات کلسیم Calcium carbonate%	ماده آلی (درصد) Organic matter%	درصد نیتروژن Nitrogen%	فسفر Phosphorus (ppm)	پتاسیم Potassium (ppm)
شنی رسی لومی Sandy clay loam	24.5	45	30.5	9.75	0.95	0.12	23.6	400

جدول ۳- ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی منتخب خاک مورد استفاده در آزمایش مزرعه‌ای.

Table 3- Selected physico-chemical properties of the soil used in the field experiment.

بافت خاک Soil texture	درصد شن Sand%	درصد سیلت Silt%	درصد رس Clay%	درصد کربنات کلسیم Calcium carbonate%	ماده آلی (درصد) Organic matter%	درصد نیتروژن Nitrogen%	فسفر Phosphorus (ppm)	پتاسیم Potassium (ppm)
شنی رسی لومی Sandy clay loam	24.5	45	30.5	9.75	0.95	0.12	23.6	400

نتایج و بحث

مؤلفه‌های جوانه‌زنی در شرایط آزمایشگاه: نتایج

مقایسه میانگین درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، زمان تا ۱۰ و ۹۰ درصد جوانه‌زنی در جدول ۴ نشان‌گر این است که میانگین درصد جوانه‌زنی در تیمار شاهد ۹۵ درصد است و درصد جوانه‌زنی تیمار پوشش‌دار کردن بذر با غلظت‌های مختلف اسیدهیومیک و هیدروپرایم نسبت به تیمار شاهد بیشتر بود. پوشش‌دار کردن بذر با اسیدهیومیک به مقدار ۶ گرم در هر کیلوگرم بذر با ۹۸/۶۶ درصد جوانه‌زنی و هیدروپرایم بذر با ۹۸/۶۶ درصد جوانه‌زنی و پوشش‌دار کردن بذر با اسیدهیومیک به مقدار ۹ گرم در هر کیلوگرم بذر با ۹۷ درصد جوانه‌زنی و پوشش‌دار کردن بذر با اسیدهیومیک به مقدار ۳ گرم در هر کیلوگرم بذر با ۹۵/۳۳ درصد جوانه‌زنی نسبت به دیگر تیمارها برتری داشتند. تیمارهای پوشش‌دار کردن بذر با عصاره جلبک دریایی نسبت به دیگر تیمارها از کم‌ترین درصد جوانه‌زنی برخوردار بودند. با وجود اینکه جلبک دریایی در بیشتر بذرهای سبب تحریک جوانه‌زنی می‌شود در آزمایش حاضر روی بذر رقم آمیلا نتایج متفاوتی مشاهده شد.

تیمارهای هیدروپرایم، اسیدهیومیک (۶ گرم در هر کیلوگرم بذر)، اسیدهیومیک (۹ گرم در هر کیلوگرم بذر) به ترتیب با ۰/۰۲۲۳ و ۰/۰۲۱۷ و ۰/۰۲۰۷ درصد جوانه‌زنی در ساعت از بالاترین سرعت جوانه‌زنی برخوردار بودند و سرعت جوانه‌زنی در تیمارهای عصاره جلبک دریایی (۶ گرم در هر کیلوگرم بذر) و عصاره جلبک دریایی (۹ گرم در هر کیلوگرم بذر) به ترتیب با ۰/۰۱۹۱ و ۰/۰۱۹۲ نه‌تنها نسبت به بقیه تیمارهای پوشش‌دار

نیکوسولفورون به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار) انجام شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول ۳ آمده است. تیمار هیدروپرایم + اسیدآمین (۲) در شرایط مزرعه از بین رفت به همین دلیل نتایج آن گزارش نشد. در طول اجرای آزمایش تعداد بذرهای سبز شده در شرایط گلخانه و مزرعه (جهت ارزیابی مؤلفه‌های سبز شدن)، یکبار در روز یادداشت شدند. برای محاسبه درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرهای از برنامه Germin نسخه 2.9.4 استفاده شد. در این برنامه D10، D50 و D90 نشان‌دهنده مدت‌زمان‌هایی است که طول می‌کشد تا ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد جوانه‌زنی حاصل شود. این برنامه درصد و سرعت جوانه‌زنی را برای هر تکرار و تیمار بذری از طریق درون‌یابی منحنی افزایش جوانه‌زنی در مقابل زمان محاسبه می‌کند. سرعت ۵۰ درصد جوانه‌زنی از طریق رابطه ۱ محاسبه شد (سلطانی^۱ و همکاران، ۲۰۱۳).

رابطه ۱:

$$R50=1/D50 \text{ (سرعت ۵۰ درصد جوانه‌زنی)}$$

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های حاصل از این تحقیق به کمک نرم‌افزار SAS ver 9.1 تجزیه واریانس و سپس میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح ۵ درصد مقایسه شدند و رسم اشکال توسط نرم‌افزار Excel نسخه 2016 انجام گرفت.

¹ Soltani

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر پوشش‌های مختلف بذر بر درصد و سرعت جوانه‌زنی، زمان تا ۱۰ و ۹۰ درصد جوانه‌زنی بذر ذرت رقم آمیلا در شرایط آزمایشگاه.

Table 4- Mean comparison of the effect of different seed coatings on germination percentage, germination rate, and time to 10% and 90% germination of corn seeds cv. Amyla under laboratory conditions.

تیمارها Treatments	زمان تا ۹۰٪ جوانه‌زنی (ساعت) Time to 90% germination (hours)	زمان تا ۱۰٪ جوانه‌زنی (ساعت) Time to 10% germination (hours)	سرعت جوانه‌زنی (بر) (ساعت) Germination rate (hours ⁻¹)	درصد جوانه‌زنی Germination percentage
اسیدآمینه (۱) Amino acid (1)	55.47 ^{cd}	38.65 ^{a-d}	0.0195 ^{cd}	92.66 ^{a-d}
اسیدآمینه (۲) Amino acid (2)	55.37 ^{cd}	37.73 ^{a-d}	0.0198 ^{cd}	92.66 ^{a-d}
اسیدآمینه (۳) Amino acid (3)	56.57 ^{bcd}	40.58 ^{abc}	0.0206 ^{b-d}	92.33 ^{bcd}
عصاره جلبک دریایی (۱) Seaweed extract (1)	58.46 ^{a-d}	34.35 ^{bcd}	0.0194 ^{cd}	89.33 ^{cd}
عصاره جلبک دریایی (۲) Seaweed extract (2)	61.69 ^{ab}	36.22 ^{a-d}	0.0191 ^d	89.66 ^{cd}
عصاره جلبک دریایی (۳) Seaweed extract (3)	55.59 ^{cd}	42.71 ^a	0.0192 ^d	89.00 ^d
اسیدهیومیک (۱) Humic acid (1)	55.29 ^{cd}	35.34 ^{a-d}	0.0194 ^{cd}	95.33 ^{abc}
اسیدهیومیک (۲) Humic acid (2)	53.99 ^d	31.47 ^{de}	0.0217 ^{ab}	98.66 ^a
اسیدهیومیک (۳) (3) Humic acid	54.80 ^d	30.79 ^{de}	0.0207 ^{bc}	97.00 ^{ab}
هیدروپرایم + اسیدهیومیک (۲) Hydroprim + Humic acid (2)	61.45 ^{ab}	40.00 ^{abc}	0.0193 ^{cd}	94.00 ^{a-d}
هیدروپرایم + عصاره جلبک دریایی (۲) Hydroprime + Seaweed extract (2)	64.00 ^a	37.20 ^{a-d}	0.0193 ^{cd}	92.66 ^{a-d}
هیدروپرایم + اسیدآمینه (۲) Hydroprim + Amino acid (2)	60.53 ^{abc}	41.95 ^{ab}	0.0192 ^{cd}	94.33 ^{a-d}
هیدروپرایم Hydroprime	54.53 ^d	25.80 ^e	0.0223 ^a	98.66 ^a
شاهد Control	57.21 ^{bcd}	33.54 ^{cde}	0.0194 ^{cd}	95.00 ^{a-d}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری باهم در سطح ۵ درصد با آزمون LSD ندارند.

Means followed by the same letter within each column are not significantly different at the 5% level according to the LSD test.

کیلوگرم بذر) و هیدرو پرایم + اسید هیومیک (۶ گرم در هر کیلوگرم بذر) به ترتیب با ۴۲/۷۱ و ۴۱/۹۵ و ۴۰/۵۸ و ۴۰/۰۲ ساعت نسبت به دیگر تیمارها بیشتر بود و شروع جوانه‌زنی این تیمارها به طور معناداری نسبت به تیمار شاهد تأخیر در جوانه‌زنی داشت. در گزارشی محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی باعث افزایش ۱۸/۹ درصدی تعداد بلال در بوته گردید و کاربرد اسیدهیومیک باعث افزایش ۱۲/۹ درصدی تعداد بلال در بوته شد (امیری^۱ و همکاران، ۲۰۲۲). نکته جالب توجه، عملکرد برتر هیدروپرایم در

کردن بذر بلکه نسبت به شاهد هم کمتر بود. نتایج حاکی از آن است که زمان لازم برای رسیدن به ۱۰ درصد جوانه‌زنی در تیمارهای هیدروپرایم و اسیدهیومیک (۹ گرم در هر کیلوگرم بذر) و اسیدهیومیک (۶ گرم در هر کیلوگرم بذر) به ترتیب با ۲۵/۸۰ و ۳۰/۷۹ و ۳۱/۴۷ ساعت نسبت به سایر تیمارها کمتر بود. بنابراین این تیمارها نسبت به دیگر تیمارها زودتر شروع به جوانه‌زنی کرده‌اند و این در حالی است که زمان لازم جهت رسیدن به ۱۰ درصد جوانه‌زنی در تیمارهای عصاره جلبک دریایی (۹ گرم در هر کیلوگرم بذر) و هیدروپرایم + اسیدآمینه (۴ گرم در هر کیلوگرم بذر) و اسیدآمینه (۶ گرم در هر

¹ Amiri

تسریع جوانه‌زنی است که می‌تواند ناشی از سازوکار دوگانه آن (هم تأمین رطوبت یکنواخت و هم آزادسازی تدریجی مواد محرک رشد) باشد. این یافته‌ها اهمیت انتخاب روش‌های بهینه پوشش‌دهی بذر را بر اساس ویژگی‌های فیزیولوژیک هر رقم برجسته می‌کند. همچنین، تأخیر در جوانه‌زنی تحت تأثیر برخی تیمارهای ترکیبی (مانند هیدروپرایم + اسیدآمین) ممکن است به دلیل اثرات آنتاگونیستی یا غلظت‌های غیربهینه این ترکیبات باشد که نیاز به مطالعات دقیق‌تر در سطح مولکولی دارد.

مؤلفه‌های سبز شدن در شرایط گلخانه: نتایج

مقایسه میانگین درصد سبز شدن، سرعت سبز شدن، زمان تا ۱۰ و ۹۰ درصد سبز شدن در جدول ۵ نشانگر این است که میانگین درصد سبز شدن در تیمار شاهد ۷۶/۶۶ درصد بود و درصد سبز شدن تیمار پوشش‌دار کردن بذر با غلظت‌های مختلف اسیدهیومیک و هیدروپرایم نسبت به تیمار شاهد بیشتر بود. در پژوهش کاربرد هورمون‌ها و اسیدهیومیک تأثیر مثبتی بر افزایش عملکرد و صفات مورفولوژیک گیاه ذرت داشت. عملکرد دانه از طریق بهبود رشد گیاه افزایش یافت (حاجتی^۱ و همکاران^{۲۰۲۴}). تیمارهای پوشش‌دار کردن بذر با عصاره جلبک دریایی (۹ گرم در هر کیلوگرم بذر) و هیدروپرایم + اسیدهیومیک (۶ گرم در هر کیلوگرم بذر) به ترتیب با ۵۵ و ۴۵ درصد نسبت به دیگر تیمارها از کم‌ترین درصد سبز شدن بر برخوردار بودند. تیمارهای هیدروپرایم، اسیدهیومیک (۶ گرم در هر کیلوگرم بذر) به ترتیب با ۰/۲۳۲ و ۰/۱۸۵ درصد سبز شدن در روز از بالاترین سرعت سبز شدن برخوردار بودند. سرعت سبز شدن در تیمارهای عصاره جلبک دریایی (۹ گرم در هر کیلوگرم بذر) و هیدروپرایم + اسیدهیومیک (۶ گرم در هر کیلوگرم بذر) به ترتیب با ۰/۱۲۷ و ۰/۱۳۹ نسبت به دیگر تیمارهای پوشش‌دار کردن بذر کمتر بود.

طبق اطلاعات موجود در جدول ۵ زمان لازم جهت رسیدن به ۱۰ درصد سبز شدن در تیمارهای هیدروپرایم + اسیدآمین (۴ گرم در هر کیلوگرم بذر) و هیدروپرایم به ترتیب با ۱/۸۵ و ۲/۷۱ روز نسبت به سایر تیمارها کمتر

بود. بنابراین این تیمارها نسبت به دیگر تیمارها زودتر شروع به سبز شدن کرده‌اند. و این در حالی است که زمان لازم جهت رسیدن به ۱۰ درصد سبز شدن در تیمارهای عصاره جلبک دریایی (۶ گرم در هر کیلوگرم بذر) و عصاره جلبک دریایی (۳ گرم در هر کیلوگرم بذر) و عصاره جلبک دریایی (۹ گرم در هر کیلوگرم بذر) و اسیدآمین (۲ گرم در هر کیلوگرم بذر) و اسیدآمین (۴ گرم در هر کیلوگرم بذر) و اسیدآمین (۶ گرم در هر کیلوگرم بذر) به ترتیب با ۵/۹۹ و ۵/۸۸ و ۵/۷۹ و ۵/۷۸ و ۵/۷۷ و ۵/۷۶ روز نسبت به دیگر تیمارها حتی نسبت به شاهد دیرتر اتفاق افتاده است. بنابراین می‌توان گفت لزوماً استفاده از اسیدآمین و جلبک دریایی به‌عنوان پوشش بذر در همه فرآیندهای رشدی و همه گیاهان مثبت نیست و ممکن است آثار منفی در برخی فرآیندهای نمو در ارقام به خصوصی مثل آمیلا مشاهده شود. با آگاهی از چنین آزمایش‌هایی می‌توان در کاهش هزینه‌های تولید و افزایش بهره‌وری کشاورزی گام برداشت. در آزمایشی کاربرد اسیدهیومیک در چهار و هشت برگی گیاه لوبیا میزان عملکرد دانه، اجزای عملکرد، میزان فتوسنتز جاری و میزان انتقال مجدد مواد فتوسنتزی را افزایش داد (ظاهری^۲ و همکاران، ۲۰۲۳). به‌طور کلی، اسیدهیومیک و هیدروپرایم به‌عنوان گزینه‌های امیدوارکننده برای بهبود جوانه‌زنی رقم آمیلا ذرت پیشنهاد می‌شوند. با این حال، برای تعیین سازوکار دقیق تأثیر جلبک دریایی بر این رقم، پژوهش‌های تکمیلی شامل بررسی ترکیبات فعال عصاره، غلظت‌های مختلف، و تعامل آن با سایر محرک‌های رشد ضروری است.

² Zaheri

¹ Hajati

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر پوشش‌های مختلف بذر بر درصد و سرعت سبز شدن، زمان تا ۱۰ و ۹۰ درصد سبز شدن بذر ذرت رقم آمیلا در شرایط گلخانه.

Table 5- Mean comparison of the effect of different seed coatings on emergence percentage, emergence rate, and time to 10% and 90% emergence of corn seed cv. 'Amyla' under greenhouse conditions.

تیمارها Treatments	درصد سبز شدن Emergence percentage	سرعت سبز شدن (بر روز) Emergence rate (day ⁻¹)	زمان تا ۱۰ درصد سبز شدن (روز) Time to 10% emergence (day)	زمان تا ۹۰ درصد سبز شدن (روز) Time to 90% emergence (day)
اسیدآمینه (۱) Amino acid (1)	75.00 ^{bed}	0.149 ^{bed}	5.78 ^a	8.080 ^{bed}
اسیدآمینه (۲) Amino acid (2)	86.66 ^{abc}	0.149 ^{bed}	5.77 ^a	8.006 ^{bed}
اسیدآمینه (۳) Amino acid (3)	61.66 ^{de}	0.158 ^{bed}	5.76 ^a	7.566 ^{cde}
عصاره جلبک دریایی (۱) Seaweed extract (1)	66.66 ^{de}	0.148 ^{bed}	5.88 ^a	8.983 ^{abc}
عصاره جلبک دریایی (۲) Seaweed extract (2)	71.66 ^{cd}	0.146 ^{bed}	5.99 ^a	8.086 ^{bed}
عصاره جلبک دریایی (۳) Seaweed extract (3)	55.00 ^{ef}	0.127 ^d	5.79 ^a	10.026 ^a
اسیدهیومیک (۱) Humic acid (1)	90.00 ^{ab}	0.159 ^{bed}	5.75 ^{ab}	7.650 ^{cde}
اسیدهیومیک (۲) Humic acid (2)	93.33 ^a	0.185 ^b	4.46 ^{bc}	6.623 ^{de}
اسیدهیومیک (۳) Humic acid (3)	88.33 ^{ab}	0.166 ^{bed}	5.47 ^{abc}	6.916 ^{de}
هیدروپرایم + اسیدهیومیک (۲) Hydroprim + Humic acid (2)	45.00 ^f	0.139 ^{cd}	5.42 ^{abc}	8.550 ^{abc}
هیدروپرایم + عصاره جلبک دریایی (۲) Hydroprime + Seaweed extract (2)	68.33 ^{de}	0.167 ^{bed}	4.38 ^c	7.616 ^{cde}
هیدروپرایم + اسیدآمینه (۲) Hydroprim + Amino acid (2)	69.90 ^{de}	0.176 ^{bc}	1.85 ^d	7.483 ^{cde}
هیدروپرایم Hydroprime	93.00 ^a	0.232 ^a	2.71 ^d	6.190 ^e
شاهد Control	76.66 ^{bed}	0.149 ^{bed}	4.91 ^{abc}	9.526 ^{ab}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری باهم در سطح ۵ درصد با آزمون LSD ندارند.

Means followed by the same letter within each column are not significantly different at the 5% level according to the LSD test.

مؤلفه‌های سبز شدن در شرایط مزرعه: نتایج

مقایسه میانگین درصد سبز شدن، سرعت سبز شدن، زمان تا ۱۰ و ۹۰ درصد سبز شدن در جدول ۶ در شرایط مزرعه نشانگر این است که میانگین درصد سبز شدن در تیمار شاهد ۸۵/۱۵۰ درصد است و درصد سبز شدن تیمار پوشش‌دار کردن بذر با غلظت‌های مختلف اسیدهیومیک و هیدروپرایم نسبت به تیمار شاهد بیشتر بود. پوشش‌دار کردن بذر با اسیدهیومیک (۶ گرم در هر کیلوگرم بذر) با ۸۷/۹۷۳ درصد سبز شدن و اسیدهیومیک (۹ گرم در هر کیلوگرم بذر) با ۸۷/۴۰۸ درصد سبز شدن و هیدروپرایم

بذر با ۸۷/۵۳۰ درصد سبز شدن نسبت به دیگر تیمارها برتری داشتند؛ این در حالی است که کم‌ترین درصد سبز شدن مربوط به تیمار عصاره جلبک دریایی (۶ گرم در هر کیلوگرم بذر) با ۵۳/۷۶۰ درصد بود. با توجه به حساس بودن مرحله‌ی سبز شدن و استقرار گیاه و آثار منفی عصاره جلبک دریایی در این مرحله روی رقم آمیلا ذرت انتظار می‌رود، این پوشش باعث کاهش عملکرد نهایی شود.

تیمار هیدروپرایم با ۰/۳۳۴ درصد سبز شدن در روز از بالاترین سرعت سبز شدن برخوردار بود، این در حالی

نسبت به سایر تیمارها کمتر بود. بنابراین این تیمارها نسبت به دیگر تیمارها زودتر شروع به سبز شدن کرده‌اند و زمان لازم جهت رسیدن به ۱۰ درصد سبز شدن در تیمار هیدروپرایم + عصاره جلبک دریایی (۶ گرم در هر کیلوگرم بذر) با ۵/۲۹۲۵ روز نسبت به دیگر تیمارها بیشتر بود و شروع سبز شدن این تیمار نسبت به دیگر تیمارها دیرتر اتفاق افتاد.

است که سرعت سبز شدن برای تیمار شاهد ۰/۲۷۰۶ درصد سبز شدن در روز بود. تیمار هیدروپرایم + عصاره جلبک دریایی (۶ گرم در هر کیلوگرم بذر) با ۰/۱۵۶۰ درصد سبز شدن در روز نسبت به سایر تیمارها کمتر بود. همچنین زمان لازم برای رسیدن به ۱۰ درصد سبز شدن در شرایط مزرعه در تیمارهای هیدروپرایم، اسیدهیومیک (۳ گرم در هر کیلوگرم بذر) و اسیدهیومیک (۶ گرم در هر کیلوگرم بذر) به ترتیب با ۰/۶۰۰ ، ۱/۰۵۷ و ۱/۳۲۰ روز

جدول ۶- نتایج مقایسه میانگین اثر عوامل به کار رفته در پوشش بذر بر درصد سبز شدن، سرعت سبز شدن، زمان تا ۱۰ و ۹۰ درصد سبز شدن بذر رقم آمیلا ذرت در شرایط مزرعه.

Table 6- Mean comparison of the effect of different seed coatings on emergence percentage, emergence rate, and time to 10% and 90% emergence of corn seed cv. 'Amila' under field conditions.

تیمارها Treatments	درصد سبز شدن Emergence percentage	سرعت سبز شدن (روز) Emergence rate (day)	زمان تا ۱۰ درصد سبز شدن (روز) Time to 10% emergence (day)	زمان تا ۹۰ درصد سبز شدن (روز) Time to 90% emergence (day)
اسیدآمین (۱) Amino acid (1)	83.45 ^{ab}	0.215 ^c	1.045 ^{bc}	6.392 ^{efg}
اسیدآمین (۲) Amino acid (2)	77.63 ^b	0.199 ^{cd}	1.370 ^{bc}	7.030 ^{b-e}
اسیدآمین (۳) Amino acid (3)	77.44 ^b	0.205 ^c	1.192 ^{bc}	6.645 ^{c-g}
عصاره جلبک دریایی (۱) Seaweed extract (1)	68.42 ^c	0.184 ^{cd}	2.217 ^{bc}	7.185 ^{bcd}
عصاره جلبک دریایی (۲) Seaweed extract (2)	53.76 ^d	0.186 ^{cd}	2.332 ^b	7.142 ^{bcd}
عصاره جلبک دریایی (۳) Seaweed extract (3)	53.95 ^d	0.198 ^{cd}	2.335 ^b	7.282 ^{bc}
اسیدهیومیک (۱) Humic acid (1)	82.89 ^{ab}	0.191 ^{cd}	2.225 ^{bc}	6.775 ^{c-f}
اسیدهیومیک (۲) Humic acid (2)	87.97 ^a	0.199 ^{cd}	1.0032 ^{bc}	6.267 ^{fg}
اسیدهیومیک (۳) Humic acid (3)	87.408 ^a	0.210 ^c	1.0575 ^{bc}	6.525 ^{d-g}
هیدروپرایم + اسیدهیومیک (۲) Hydroprim + Humic acid (2)	69.175 ^c	0.202 ^c	1.6525 ^{bc}	7.477 ^b
هیدروپرایم + عصاره جلبک دریایی (۲) Hydroprime + Seaweed extract (2)	68.423 ^c	0.156 ^d	5.2925 ^a	8.565 ^a
هیدروپرایم + اسیدآمین (۲) Hydroprim + Amino acid (2)	-	-	-	-
هیدروپرایم Hydroprime	87.530 ^a	0.334 ^a	0.6000 ^c	5.455 ^h
شاهد Control	85.150 ^a	0.270 ^b	1.7850 ^{bc}	6.025 ^{gh}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری باهم در سطح ۵ درصد با آزمون LSD ندارند.

Means followed by the same letter within each column are not significantly different at the 5% level according to the LSD test.

سبز شدن در شرایط مزرعه مربوط به تیمار هیدروپرایم بود. این در حالی است کم‌ترین سرعت جوانه‌زنی و سرعت سبز شدن در هر سه شرایط آزمایشگاه، گلخانه و مزرعه مربوط به سطوح مختلف عصاره جلبک دریایی بود. این نتایج بیانگر این است که چسب مورد استفاده در آزمایش در شرایط مختلف آزمایشگاهی، گلخانه‌ای و مزرعه‌ای تأثیر منفی بر سرعت جوانه‌زنی و سرعت سبز شدن این تیمارها نداشته است (جدول ۴-۶).

نتیجه‌گیری

این پژوهش به‌وضوح نشان می‌دهد که پوشش‌دهی بذر ذرت شیرین رقم آمیلا با اسیدهیومیک (۶ گرم در کیلوگرم بذر) و هیدروپرایم نه تنها یک راهکار عملی برای بهبود جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه است، بلکه به عنوان یک فناوری پایدار می‌تواند چالش‌های پیش‌روی کشاورزی مدرن را کاهش دهد. برخلاف انتظار، عصاره جلبک دریایی با وجود شهرت به عنوان محرک رشد، در این مطالعه تأثیرات منفی قابل توجهی بر جوانه‌زنی و سبز شدن نشان داد که احتمالاً ناشی از ترکیبات بازدارنده یا عدم سازگاری با ویژگی‌های ژنتیکی رقم آمیلا است. این یافته‌ها بر اهمیت مطالعات رقم در بهینه‌سازی روش‌های کشاورزی تأکید می‌کند، چرا که پاسخ گیاهان به محرک‌ها می‌تواند به شدت وابسته به ژنوتیپ باشد. از منظر سازوکاری، اسیدهیومیک احتمالاً با تقویت فعالیت آنزیم‌های مرتبط با جوانه‌زنی، بهبود جذب عناصر غذایی، و تحریک سنتز هورمون‌های رشد مانند اکسین، نقش کلیدی در تسریع متابولیسم بذر ایفا می‌کند. از سوی دیگر نیز احتمالاً هیدروپرایم با ایجاد یک محیط هیدراتاسیون کنترل‌شده، شکست خواب فیزیولوژیک بذر را تسهیل کرده و مقاومت به تنش‌های محیطی در مراحل اولیه رشد را افزایش می‌دهد. در مقابل، نتایج منفی عصاره جلبک دریایی ممکن است مرتبط با وجود ترکیبات فنلی یا نمک‌های معدنی با غلظت نامتعادل باشد که برای برخی گیاهان خاصیت دگرآسیبی دارند. کشاورزان می‌توانند با هزینه به نسبت پایین از پوشش‌های اسیدهیومیک و هیدروپرایم برای افزایش یکنواختی سبز شدن مزرعه و کاهش خطرات ناشی از تنش‌های محیطی (مانند خشکی یا شوری)

در آزمایشی کاربرد اسیدهیومیک باعث افزایش دسترسی به فسفر، پتاسیم، آهن و منیزیم در خاک شد و فعالیت روبیسکو و غلظت قندهای محلول ذرت افزایش یافت (چن^۱ و همکاران، ۲۰۲۲). بنابراین، اسیدهیومیک علاوه بر تأثیر مستقیم روی بذر، با اثراتی که در خاک دارد، به‌طور غیرمستقیم نیز در جوانه‌زنی و سبز شدن بذرها مؤثر است. در آزمایش دیگری محلول پاشی اسیدهیومیک به‌طور معنی‌داری بر محتوای عناصر ماکرو و میکرو در گیاه گشنیز در مقایسه با شاهد اثر گذاشت (رسولی^۲ و همکاران، ۲۰۲۲). این یافته‌ها بر اهمیت انتخاب تیمارهای متناسب با ژنوتیپ و شرایط محیطی تأکید می‌کنند. برای مثال، اسیدهیومیک با بهبود جذب عناصر، نه تنها جوانه‌زنی بلکه رشد بعدی گیاهچه را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد، درحالی که هیدروپرایم بیشتر بر مدیریت تنش‌های فیزیکی در مرحله سبز شدن متمرکز است.

با توجه به جدول ۴-۶ تیمارهای هیدروپرایم و اسیدهیومیک (۶ گرم در هر کیلوگرم بذر) بهترین درصد جوانه‌زنی در شرایط آزمایشگاه و درصد سبز شدن در شرایط گلخانه و مزرعه را دارا بودند. کم‌ترین درصد جوانه‌زنی در شرایط آزمایشگاه مربوط به تیمار عصاره جلبک دریایی (۹ گرم در هر کیلوگرم بذر) و کم‌ترین درصد سبز شدن در شرایط گلخانه مربوط به تیمارهای هیدروپرایم + اسیدهیومیک (۶ گرم در هر کیلوگرم بذر) و عصاره جلبک دریایی (۹ گرم در هر کیلوگرم بذر) مشاهده شد و در شرایط مزرعه کم‌ترین درصد سبز شدن مربوط به تیمارهای عصاره جلبک دریایی (۶ گرم در هر کیلوگرم بذر) و عصاره جلبک دریایی (۹ گرم در هر کیلوگرم بذر) بود. نتایج این بررسی‌ها نشانگر این است که چسب مورد استفاده در این آزمایش در هیچ یک از شرایط آزمایشگاه، گلخانه و مزرعه تأثیر منفی بر روی درصد جوانه‌زنی و درصد سبز شدن این تیمارها نداشته است.

هیدروپرایم و اسیدهیومیک (۶ گرم در هر کیلوگرم بذر) از بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی در شرایط آزمایشگاه و از بیش‌ترین سرعت سبز شدن در شرایط گلخانه نسبت به سایر تیمارها برخوردار بودند و همچنین بیش‌ترین سرعت

¹ Chen

² Rasouli

دقیق و بهینه‌سازی نهاده‌ها است و اثبات می‌کند که فناوری‌های ساده ولی مبتنی بر دانش می‌توانند شکاف بین تولید پایدار و نیازهای رو به رشد غذایی جهان را پر کنند.

استفاده کنند. مطالعه اثر ترکیبی اسیدهیومیک و هیدروپرایم با سایر روش‌های پیش‌تیمار بذر (مانند پرایمینگ نانویی) برای تحقیقات آینده پیشنهاد می‌شود. در پایان، این پژوهش گامی مهم در راستای کشاورزی

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

حمید ذوالقدری: تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها، انجام آزمایش و گردآوری داده‌ها، انجام محاسبات، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیش‌نویس مقاله
سلیم فرزانه: استاد راهنمای پایان‌نامه، طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله

محمد احمدی: مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله
رئوف سیدشریفی: استاد مشاور پایان‌نامه، مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله
همه نویسندگان به طور مساوی در مفهوم‌سازی مقاله و نگارش پیش‌نویس‌های اولیه و بعدی آن مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

مقاله حاضر با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی انجام شد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از مسئولین دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی به خاطر حمایت مالی، حمایت معنوی و همکاری در اجرای پژوهش حاضر تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

منابع

- Amiri, M., Abdali-Mashhadhi, A., Bakshandeh A., Danesh-Shahraki, A., & Gharineh, M. H. (2022). The effect of density, humic acid and seaweed extract on the quantitative and qualitative yield of baby corn. *Crop Physiology Journal*, 14(53), 121–135. [In Persian]
- 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>
- Copeland, L. O., & McDonald, M. F. (2012). *Principles of seed science and technology*. Springer Science & Business Media.
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). *Statistical databases*.
- Farooq, M., Basra, S. M. A., Wahid, A., Khaliq, A., & Kobayashi, N. (2009). Rice seed invigoration. In E. Lichtfouse (Ed.), *Sustainable Agriculture Reviews* (pp. 137–175). Springer. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2666-8_12
- Farooq, M., Usman, M., Nadeem, F., Rehman, H., Wahid, A., Basra, S. M. A., & Siddique, K. H. M. (2019). Seed priming in field crops: Potential benefits, adoption challenges, and future prospects. *Agronomy*, 9(5), 246. <https://doi.org/10.3390/agronomy9050246>
- Hajati, S., Saki Nezhad, T., Ordokhani, K., Sharaf Zadeh, S., & Zare, M. (2024). Evaluation of different compounds of naphthalene acetic/indole acetic acid and humic acid on corn yield. *Crop Physiology Journal*, 15(60), 57–71. [In Persian]
- Halmer, P. (2005). Ornamental bedding plant industry and plug production. In M. B. McDonald & F. Y. Kwong (Eds.), *Flower Seeds: Biology and Technology* (pp. 231–242). CABI Publishing.
- Hamouda, M. M., Saad Allah, K. M., & Gad, D. (2022). Potential of seaweed extract on growth, physiological, cytological, and biochemical parameters of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(1), 1818–1831. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00776-1>
- International Seed Testing Association. (2023). *International rules for seed testing*. Bassersdorf, Switzerland.
- Ordas, B., Revilla, P., Ordas, A., & Malvar, R. A. (2008). Hybrids sugary × sugary enhancer of sweet corn: A valuable option for cool environments. *Scientia Horticulturae*, 118(2), 111–114. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.05.031>
- Ouni, Y., Ghnaya, T., Montemurro, F., Abdelly, C., & Lakhdar, A. (2014). The role of humic substances in mitigating the harmful effects of soil salinity and improving plant productivity. *International Journal of Plant Production*, 8(3), 353–374. <https://doi.org/10.22069/ijpp.2014.1614>

- Pedrini, S., Merritt, D. J., Stevens, J., & Dixon, K. (2017). Seed coating: Science or marketing spin? *Trends in Plant Science*, 22(2), 106–116. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.11.002>
- 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, 7437. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11512-1>
- Soltani, A., Maddah, V., & Sinclair, T. R. (2013). SSM-Wheat: a simulation model for wheat development, growth and yield. *International Journal of Plant Production*, 7(4), 711-740. <https://doi.org/10.22069/ijpp.2013.1266>
- Turkmen, O., Dursun, A., Turan, M., & Erdinç, Ç. (2004). Calcium and humic acid affect seed germination, growth, and nutrient content of tomato (*Lycopersicum esculentum* L.) seedlings under saline soil conditions. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 54(3), 168–174. <https://doi.org/10.1080/09064710310022033>
- Venkata Siva Rama Krishna, I., Mehera, B., & Mayur, A. (2022). Effect of spacing and seaweed (*Kappaphycus alvarezii*) extract on yield and economics of sweet corn (*Zea mays* L.). *The Pharma Innovation Journal*, 11(3), 20–22.
- Zaheri, A., Abdali Mashhadi, A., Kochzadeh A., Lotfi Jalal-Abadi A., & Siyahpoosh A. (2023). Effect of application time of polyphosphate slow release fertilizer and humic acid on some agronomic characteristics of corn (Hybrid AS 71). *Crop Physiology Journal*, 14(56), 25–41. [In Persian]