2025, 14 (3), 61-72 https://doi.org/10.22092/ijsst.2024.365810.1528

Seed Science Society of Iran

Seed and Plant Certification and Registration Institute

Iranian Journal of
Seed Science and Technology

ISSN: 2588-4638

Research Article

Evaluation of the Effect of Seed Coating on Some Traits Related to the Germination of Lettuce Seeds (*Lactuca sativa*) under Drought Stress Conditions

Zahra Yaghobian[1], Seyyed Hossein Nemati[2*], Ehsan Nematollahi[3]

1. Master's student, Department of Horticulture and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Horticulture and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
3. Postdoctoral Researcher, Razavi Seeds and Seedlings Institute, Mashhad, Iran.

Article Information

Received: 23 Jul. 2024
Revised: 26 Sept. 2024
Accepted: 27 Sept. 2024

Keywords:
Gibberellin, kaolin,
Humic acid,
Seed coating

Corresponding Author:
nemati@um.ac.ir

Abstract

To investigate the effect of seed coating on characteristics related to germination of lettuce seeds under drought stress conditions, a factorial experiment was conducted a completely randomized design with 4 replications during 2022. The experimental treatments include seed coating(C1:uncoated seeds (control), C2:seed coating with kaolin+gibberellin,C3:seed coating with kaolin+humic acid+gibberellin, C4:seed coating with gibberellin+micro elements+kaolin, C5:seed coating with gibberellin+ macro elements + kaolin, C6:seed coating with humic acid+micro+macro elements+ kaolin, C7:seed coating with gibberellin + humic acid+ micro + macro elements + kaolin and it was evaluated under three levels of drought stress(no stress(control),-0.4 MPa,- 0.8 MPa). In the stress condition of -0.8 MPa, only two treatments C2 (16%) and C3 (8%) had germination. In the stress of 0.4 MPa, treatments C1, C2, C3, respectively, in the characteristics of germination percentage (88.50, 61.75 and 27.50), germination speed (6.46, 3.91 and 2.25) and root index The seeds (130/28, 93/32 and 44/02) had significant differences with each other and also with non-stressed conditions (control); So that C1 seed (control) had 72.5% and C3 seed had 11.5% reduction in germination compared to non-stressed conditions. C3 coating improved the average germination time compared to C1 coating (3.07). The results of the experiment showed that drought stress is a limiting factor in the germination of lettuce seeds by limiting water absorption, and some treatments such as gibberellin+ kaolin coating and gibberellin+ kaolin+ humic acid improve the characteristics related to lettuce seed germination.

How to cite this paper: Yaghobian, Z., Nemati, S.H., & Nematollahi, E. (2025). Evaluation of the effect of seed coating on some traits related to the germination of lettuce seeds (*Lactuca sativa*) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *14*(3), 61-72. https://doi.org/10.22092/ijsst.2024.365810.1528

© Authors, Published by Iranian Journal of Seed Science and Technology. This is an open-access article distributed under the CC BY (license https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Due to the increase in population, the cultivation of vegetables, which are rich in vitamins and minerals, has expanded, with lettuce being the most consumed vegetable in the world. Lettuce has the scientific name (*Lactuca sativa.L*). Lettuce seeds have low nutrient reserves and small size, which causes uneven germination and slow seedling growth. Part of the seed structure provides the nutrients needed by the embryo, but in many seeds this amount of nutrients is not enough to meet the embryo's needs, and using nutrients from outside the seed improves and strengthens the seed's strength in the early stages of germination. Today, various methods have been evaluated to improve seed quality in order to increase the germination percentage and better seedling establishment under environmental stress conditions, especially drought and salinity stress. Pre-sowing treatments and various types of seed coatings are among the seed strengthening methods used worldwide. Coating methods are often implemented quickly, and there are few details of their progress in the scientific literature. Considering this and the value of the subject, the present study was conducted to investigate and determine the most appropriate coating for lettuce seeds to cope with drought stress conditions

Materials and Methods

In order to evaluate some traits related to the germination of lettuce seeds of the Setareh variety, a study was conducted in the laboratory of the Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad in 1401 as a two-factor factorial based on a completely randomized design with four replications. In this study, the first factor was seed coating at seven levels including: C1) uncoated seeds (control), C2) seed coating with gibberellin-kaolin, C3) seed coating with gibberellin-humic acid-kaolin, C4) seed coating with gibberellin-micronutrients-kaolin, C5) seed coating with gibberellin-macronutrients-kaolin, C6) seed coating with humic acid-micronutrients-kaolin, C7) seed coating with gibberellin-humic acid-micronutrients-kaolin, and the second factor was germination at three levels of drought stress (zero (no stress), -0.4, -0.8 MPa) using polyethylene glycol.

Results and Discussion

The results obtained from the analysis of variance of the data showed that the interaction effect of seed coating and drought stress had a significant effect on the traits of germination percentage, germination rate, germination uniformity, average germination time, average shoot length, average root length, and seed vigor index at the 1% probability level.

Overall, drought stress reduced the germination percentage in the coated treatments. Drought stress limits water absorption by seeds, movement and transport of seed reserves, and on the other hand, it directly affects the organic structure and synthesis of embryo proteins, which causes disruption in seed germination. Lettuce is one of the crops sensitive to drought stress, which in the present study also showed a decrease in germination indices under drought stress conditions. Also, in this experiment, the application of gibberellin-kaolin-humic acid (C3) and gibberellin-kaolin (C2) coatings under drought stress conditions improved germination. Scientists stated that the use of nutrients in the seed coating composition increases the initial growth of the seedling, but there is a limit to the amount used, and it is necessary to use an appropriate amount that does not harm germination. In the above experiment, the use of some coatings (C4, C5, C6, C7) also reduced germination indices. The reduction in germination speed in the treatments also affected the germination uniformity indices and the average germination duration; and resulted in a decrease in uniformity and an increase in the average germination duration. If water absorption by the seed is irregular or slow, the metabolic reactions of germination within the seed are disrupted, ultimately increasing the time for radicle emergence from the seed and decreasing the germination speed. The results of the present study also confirm this effect by comparing the data, increasing the concentration of drought stress caused a decrease in seedling length compared to non-stressed conditions.) The decrease in seed water absorption due to increased stress causes a decrease in hormone secretion and enzyme activity, and the growth of the seedling (length of the stem and root) is impaired. One of the effective factors in reducing the length of the stem under stress conditions is the reduction or lack of transfer of nutrients from the cotyledons to the embryo, which is also consistent with the results of the above experiment.

In the results of this experiment, C2 and C3 seed coatings showed better results under drought stress conditions, which may be due to the presence of gibberellin and humic acid compounds in the seed coating. Seed coating treatments that used micronutrients and macronutrients in their compositions had a low seed vigor index compared to the control, which may be that the amount of materials used in seed coating caused damage to the seed tissue and reduced shoot and root growth, which resulted in a decrease in the seed vigor index.

Conclusion

In general, the results of the effect of seed coating and drought stress showed that the response of seed coatings to stress levels on germination criteria was different; thus, increasing the stress level greatly reduced germination indices in all traits; so that at a stress level of -0.8 MPa, only the seed treatment coated with gibberellin kaolin and the seed coated with gibberellin kaolin humic acid germination was observed, and germination was stopped in other treatments. At a stress level of -0.4 MPa, the treatments of seed coated with gibberellin kaolin and seed coated with gibberellin kaolin humic acid showed the best performance in the traits of germination percentage, germination rate, and seed vigor index, and the gibberellin kaolin humic acid coating led to an improvement in the trait of average germination duration compared to uncoated seeds (control). Overall, seed coating will help preserve the environment and improve germination indicators due to the low use of chemicals

دوره ۱۴، شماره ۳، صفحات ۷۲-۶۱
https://doi.org/10.22092/ijsst.2024.365810.1528

نشریه علوم و فناوری بذر ایران

ISSN: 2588-4638

مقاله پژوهشی

بررسی اثرات پوشش بذر بر برخی صفات مرتبط با جوانه‌زنی بذر کاهو (*Lactuca sativa*) در شرایط تنش خشکی

زهرا یعقوبیان[۱]، سید حسین نعمتی[۲*]، احسان نعمت‌الهی[۳]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۲. استادیار، گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۳. پژوهشگر پسادکتری،موسسه بذر و نهال رضوی، مشهد، ایران.

چکیده

به منظور بررسی اثر پوشش بذر بر ویژگی‌های وابسته به جوانه‌زنی بذرهای کاهو در شرایط تنش خشکی، پژوهشی به شکل فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۴ تکرار در سال ۱۴۰۱ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل پوشش‌های بذر [C1:بدون پوشش (شاهد)، C2:پوشش بذر با جیبرلین+کائولن، C3:پوشش بذر با جیبرلین+هیومیک‌اسید+کائولن، C4:پوشش بذر با جیبرلین+عناصرریز مغذی+کائولن، C5:پوشش بذر با جیبرلین+عناصردرشت مغذی+کائولن، C6:پوشش بذر با هیومیک‌اسید+ عناصردرشت مغذی+عناصر ریز مغذی+کائولن و C7:پو شش بذر با جیبرلین+ هیومیک‌ا سید+ عنا صردر شت مغذی+ ریز مغذی+کائولن]،تحت شرایط تنش خ شکی [بدون تنش (شاهد)، ۰/۴- ، ۰/۸- مگاپا سکال] مورد ارزیابی قرار گرفت. در شرایط تنش ۰/۸- مگاپاسکال فقط تیمارهای C2 (۱۶ درصد) و C3 (۸ درصد) جوانه‌زنی داشتند. در تنش ۰/۴- مگاپاسکال تیمارهای C1, C2, C3 به ترتیب در صفات درصد جوانه‌زنی (۸۸/۵۰، ۶۱/۷۵ و ۲۷/۵۰) سرعت جوانه‌زنی (۶/۴۶، ۳/۹۱ و ۲/۲۵) و شاخص بنیه بذر (۱۳۰/۲۸، ۹۳/۳۲ و ۴۴/۰۲) تفاوت معنی‌داری با یکدیگر و همچنین با شرایط بدون تنش (شاهد) دا شتند؛ به طوری که بذر C1 (شاهد) در شرایط تنش خشکی ۷۲/۵ در صد و بذر C3، ۱۱/۵ درصد کاهش جوانه‌زنی را نسبت به شرایط بدون تنش داشت. پوشش C3 سبب بهبود صفت میانگین مدت زمان جوانه‌زنی نسبت به پوشش C1 (۳/۰۷) شد. نتایج آزمایش نشان داد که تنش خشکی با ایجاد محدودیت در جذب آب یک عامل محدودکننده در جوانه‌زنی بذر کاهو ا ست و انجام برخی تیمارها مانند پو شش جیبرلین+کائولن و جیبرلین+کائولن+ هیومیک‌اسید سبب بهبود صفات مرتبط با جوانه‌زنی بذر کاهو می‌شود.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۰۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۰۶

واژه‌های کلیدی:
پوشش‌دار کردن بذر،
جیبرلین،
کائولن
هیومیک‌اسید

نویسنده مسئول:
nemati@um.ac.ir

نحوه استناد به این مقاله:
Yaghobian, Z., Nemati, S.H., & Nematollahi, E. (2025). Evaluation of the effect of seed coating on some traits related to the germination of lettuce seeds (*Lactuca sativa*) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *14*(3), 61-72. https://doi.org/10.22092/ijsst.2024.365810.1528

مقدمه

با توجه به افزایش جمعیت، کشت سبزی‌ها که سرشار از ویتامین‌ها و مواد معدنی می‌باشند، گسترش پیدا کرده‌است که در این بین کاهو بیشترین مقدار مصرف را در جهان دارد. کاهو (*Lactuca sativa*.L)، سبزی برگی یکساله، دولپه، خودگشن، دیپلوئید (2n=2x=18)، محصول فصل خنک، از تیره چتریان (Asteraceae) است (Viacava et al., 2018). بذرهای کاهو ذخیره مواد غذایی کم و اندازه کوچک دارد، که باعث جوانه‌زنی غیر یکنواخت و کندی رشد گیاهچه شده است (Zuffo et al., 2017). جوانه‌زنی بذر و استقرار گیاهچه جزء آسیب پذیرترین و حساس‌ترین مراحل چرخه زندگی گیاه است (Mosavi Nik et al., 2015).

عناصر غذایی، جهت رشد و نمو گیاه در اکثر واکنش‌های پایه در فرایندهای سلولی یافت می‌شوند و در واکنش‌های ساختاری وکاتالیزوری مشارکت دارند (Hall & Villiams, 2003). قسمتی از ساختار بذر، عناصر غذایی مورد نیاز جنین را فراهم می‌کند ولی در بسیاری از بذرها این میزان از عناصر نیاز جنین را تامین نکرده و استفاده از مواد غذایی از خارج بذر موجب بهبود و تقویت قدرت بذر در مراحل اولیه جوانه‌زنی می‌شود (Moemeni, 2017). آزمایشی در مورد پوشش‌دهی بذر پیاز با مواد ضدعفونی، جیبرلین و قارچ تریکودرما بر مولفه‌های جوانه‌زنی نشان داد که ترکیب GA3 به تنهایی و یا همراه مواد ضدعفونی کننده شیمیایی و قارچ تریکودرما در پوشش‌دهی بذر، باعث بهبود صفات درصد و سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر و طول گیاهچه می‌شود (Abdolmaleki et al., 2020). تحمل گیاهان در برابر تنش‌های محیطی با کاربرد خارجی مواد ارتقا دهنده رشد مانند آمینو اسید، پرولین، قندهای محلول، هیومیک‌اسید و پتاسیم بهبود می‌یابد (Farooq et al, 2009). اسید هیومیک باعث افزایش جذب عناصر پرمصرف و کم مصرف در گیاه می شود و توانایی نگهداری آب و مواد غذایی را در گیاه افزایش داده و سبب بهبود سلامت گیاه، تحمل آن در مقابل آفات و بیماری‌ها و تنش‌های محیطی می‌شود (Tang et al., 2020).

تنش رطوبتی از مهم‌ترین عوامل محیطی محدودکننده در مراحل اولیه رشد گیاه است کمبود آب با تأثیر بر هدایت هیدرولیکی بافت‌ها و خواص اسمزی بر رشد گیاه اثر می‌گذارد (Massacci et al., 2008). در گزارش مانیو و همکاران Manu et al. (2019) تنش خشکی سبب کاهش شاخص‌های درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه، وزن تر و خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه ذرت شد. ماکندی و همکاران (Makoondi et al., 2010) سطوح خشکی صفر، ۵-، ۱۰-، ۱۵- بار تنش خشکی ناشی از ماده مانیتول را در بذرهای کاهو مورد ارزیابی قرار دادند و کاهش درصد جوانه‌زنی، میانگین زمان جوانه‌زنی، بنیه بذر را گزارش کردند. بررسی واکنش ارقام گیاهی در شرایط القای تنش در محیط دارای پلی‌اتیلن‌گلایکول و سایر تعدیل‌کننده‌های اسمزی می‌تواند در بهبود تحمل به خشکی در مرحله جوانه‌زنی موثر باشد (Abdullahil Baque et al., 2018).

امروزه شیوه‌های مختلفی در راستای بهبود کیفیت بذر به منظور افزایش درصد جوانه‌زنی و استقرار بهتر گیاهچه تحت شرایط تنش‌های محیطی خصوصا تنش خشکی و شوری، مورد ارزیابی قرار گرفته است. تیمارهای پیش از کاشت و انواع پوشش‌دهی بذر از جمله شیوه‌های تقویت کننده بذر در سراسر جهان محسوب می‌شوند. پوشش‌دارکردن بذر یکی از مهم‌ترین روش‌های اقتصادی برای بهبود عملکرد بذر است که ترکیباتی نظیر مواد بی‌اثر، عناصر در شت مغذی و ریز مغذی، حشره‌کش، قارچکش و مواد سوپر جاذب، ریزجانداران، مواد تنظیم‌کننده رشد گیاه و چند ماده شیمیایی دیگر به همراه یک ماده چسباننده به اطراف بذر افزوده می‌شود (Farooq et al., 2012; Liu, 2007).

روش‌های لایه‌دهی(لایه نازک)[1]، حجیم کردن بذر[2] و پوشش‌دهی[3] در بسیاری از موارد به شکل سریع اجرا می شوند و جزییات اندکی از پیشرفت‌های آنها در متون علمی وجود دارد. با توجه به این مطلب و ارزش موضوع، تحقیق حاضر جهت بررسی و تعیین مناسب‌ترین پوشش برای بذرهای کاهو برای مقابله با

[1] Film coating
[2] Seed pelleting
[3] Seed coating

شرایط تنش خشکی پایه‌ریزی گردید.

مواد و روش‌ها

به جهت ارزیابی برخی صفات در رابطه با جوانه‌زنی بذرهای کاهو رقم ستاره[1]، پژوهشی در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۴۰۱ به صورت فاکتوریل دو عاملی بر مبنای طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. در این پژوهش عامل اول پوشش‌دهی بذر در هفت سطح شامل :C1) بذر بدون پوشش (شاهد)، C2) پوشش بذر با جیبرلین +کائولن، C3) پوشش بذر با جیبرلین + هیومیک‌اسید + کائولن، C4) پوشش بذر با جیبرلین + عناصر ریز مغذی + کائولن، C5) پوشش بذر با جیبرلین + عناصر درشت مغذی + کائولن، C6) پوشش بذر با هیومیک‌اسید + عناصر ریز مغذی + عناصر درشت مغذی + کائولن، C7) پوشش بذر با جیبرلین + هیومیک‌اسید + عناصر ریز مغذی + عناصر درشت مغذی + کائولن بود و عامل دوم جوانه‌زنی در سه سطح از تنش خشکی (صفر (بدون تنش)، ۰/۴- ، ۰/۸- مگاپاسگال) با استفاده از پلی‌اتیلن گلایکول در نظر گرفته شد. بذرهای مورد استفاده از شرکت بذر و نهال رضوی تهیه و پوشش‌دار شد و برای انجام مراحل بعدی آزمایش‌ها به آزمایشگاه فیزیولوژی دانشگاه فردوسی انتقال داده شد (مقادیر مورد استفاده در پوشش بذر طبق جدول (۱) آمده است).

جدول ۱- مقدار مواد مصرفی در پوشش‌دارکردن بذر در ازای هر کیلوگرم بذر کاهو

Table 1-the amount of material used in coating seeds per kilogram of lettuce seeds

نوع بذر Seed type		مواد Materials	غلظت Density
کاهو lettuce	عناصر درشت مغذی macronutrients	نیتروژن (نیترات آمونیوم) Ammonium nitrate	25 gr
		پتاسیم (سولفات پتاسیم) Potassium sulfate	20 gr
	عناصر ریز مغذی micronutrients	آهن (سولفات آهن) Iron sulfate	9 gr
		مس (سولفات مس) Copper sulfate	9 gr
		روی (سولفات روی) Zinc sulfate	9 gr
		منگنز (سولفات منگنز) Manganese sulfate	16 gr
		مولیبدن (سولفید مولیبدن) Molybdenum sulfide	4 gr
	محرک‌های رشدی Growth stimulants	جیبرلین (میلی گرم) Gibberellin	1.2 mgr
		هیومیک اسید (گرم) Humic acid	12 gr
		کائولن (گرم) Kaolin	20 gr

تیمارهای خشکی برای ایجاد پتانسیل‌های ۰/۴- و ۰/۸- مگاپاسگال در دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد با محلول پلی‌اتیلن گلایکول (PEG-6000) و با روش میشل و کافمن (Michel & Kaufman, 1973) آماده شد. در هر واحد آزمایشی تعداد ۲۵ عدد بذر با فاصله مشخص روی کاغذ صافی چیده شد. جهت القای تنش خشکی، محلول‌های تهیه شده داخل پتری‌ها

[1] *Lactuca sativa v.star*

توزیع شد و برای بررسی پارامترهای جوانه‌زنی، پتری‌ها در ژرمیناتور با دمای ۲۲ درجه سانتیگراد قرار گرفتند (Zuffo et al., 2017). در طی اندازه‌گیری درصد جوانه‌زنی بذرها، برای اندازه‌گیری سرعت جوانه‌زنی شمارش بذرها به صورت روزانه (اولین شمارش، روز اول و آخرین شمارش، روز هفتم) انجام گرفت. خروج ریشه‌چه به طول ۲ میلی‌متر شاخص جوانه‌زنی در نظر گرفته شد (ISTA) . در پایان آزمایش صفاتی از جمله درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، یکنواختی جوانه‌زنی، میانگین مدت زمان جوانه‌زنی و شاخص طولی بنیه بذر با استفاده از روابط زیر محاسبه شد:

درصد جوانه‌زنی از طریق رابطه (۱) محاسبه شد (Fang et al., 2006).

$$PG=\frac{ni}{N}\times 100 \qquad (۱)$$

PG درصد جوانه‌زنی کل؛ n_i تعداد بذرهای جوانه‌زده تا آخرین روز شمارش؛ N تعداد کل بذرها

محاسبه سرعت جوانه‌زنی بذرها با استفاده از رابطه (۲) انجام گردید (Abdolmalek et al., 2021).

$$GR=\sum\frac{n}{d} \qquad (۲)$$

GR سرعت جوانه‌زنی؛ n تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز dام؛ d روزهای سپری شده از گذاشتن بذرها در پتری

(۳)

محاسبه یکنواختی جوانه‌زنی با برنامه GS-2011 برای تیمارهای آزمایش انجام شد (Kamkar, 2011). در برنامه GS-2011 برای محاسبه سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی، اول منحنی جوانه‌زنی تجمعی هر تکرار در برابر زمان (بر حسب ساعت) رسم، و با استفاده از روش درون‌یابی خطی مدت زمان از کاشت تا هنگامی که ۱۰ درصد و ۹۰ درصد جوانه‌زنی رخ دهد، محاسبه می‌شود. این زمان به ترتیب به صورت D10 تا D90 نمایش داده می شود. منظور از یکنواختی جوانه‌زنی اختلاف زمان رسیدن از ۱۰ درصد جوانه‌زنی به ۹۰ درصد جوانه‌زنی (D90-D10) است. تفاضل به دست آمده هر مقدار کمتر باشد، یکنواختی بیشتر است (Kamkar, 2011; Soltani et al, 2001).

متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی (MGT) شناسه‌ای از سرعت و شتاب جوانه‌زنی است (Gharehbaghli, 2024).

$$MGT=\frac{\sum(nd)}{N} \qquad (۴)$$

MGT میانگین مدت زمان جوانه‌زنی؛ n تعداد بذرهای جوانه‌زده در طی روز؛ d تعداد روز؛ N تعداد کل بذرهای جوانه‌زده

شاخص طولی بنیه بذر (شاخص ویگور) بر اساس رابطه (۵) به دست آمد (Abdolmalek et al., 2021).

(۵) = شاخص طولی بنیه بذر (شاخص ویگور)

درصدجوانه‌زنی × (میانگین طول ریشه‌چه + میانگین طول ساقه‌چه)

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (JMP 9.0.0) و مقایسه صفات، براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح خطای ۵ درصد انجام شد. رسم نمودارها با نرم افزار Excel 2013 انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲)، نشان داد اثر متقابل پوشش بذر و تنش خشکی بر صفات درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، یکنواختی جوانه‌زنی، میانگین مدت زمان جوانه‌زنی، میانگین طول ساقه‌چه، میانگین طول ریشه‌چه و شاخص بنیه بذر در سطح احتمال ۱٪ اثر معنی داری داشت.

درصد جوانه‌زنی

بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها بالاترین درصد جوانه‌زنی بذر با پوشش‌های مختلف در شرایط بدون تنش دیده شد. بیش‌ترین میزان جوانه‌زنی (۱۰۰ درصد) در تیمارهای بذر بدون پوشش (C1)، بذر پوشش‌دار با جیبرلین + کائولن (C2)، بذر پوشش‌دار با جیبرلین + کائولن + هیومیک‌اسید (C3) بود. کم‌ترین میزان جوانه‌زنی در سطح تنش ۰/۸- مگاپا سکال بود که در این تیمار اکثر بذرهای پوشش‌دار شده جوانه‌زنی نداشتند. تیمار بذر پوشش‌دار با جیبرلین + کائولن + هیومیک‌اسید (C3)

[1] International Seed Testing Association (ISTA)

کمترین کاهش (۱۱/۵در صد) را در تنش سطح ۰/۴- مگاپاسکال نسبت به تنش صفر داشت که در مقایسه با تیمار بذر بدون پوشش (C1) که ۷۲/۵ در صد کاهش یافته بود، عملکرد بهتری نشان داد. همچنین در سطح تنش ۰/۸- مگاپاسکال تنها دو تیمار بذر پوشش دار با جیبرلین + کائولن (C2) و بذر پوشش‌دار با جیبرلین + کائولن + هیومیک‌اسید (C3) جوانه‌زنی داشتند که از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نداشتند. در مجموع تنش خشکی سبب کاهش درصد جوانه‌زنی در تیمارهای پوشش‌دهی گردید. تنش خشکی جذب آب توسط بذر ، حرکت و انتقال اندوخته بذر را محدود می سازد و از طرف دیگر مستقیم بر ساختمان آلی و سنتز پروتئین‌های جنین اثر می‌گذارد که این عوامل باعث اختلال در جوانه‌زنی بذر می‌شود (Dadd & Donovan., 1999).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات پوشش بذر و تنش خشکی بر برخی از شاخص‌های جوانه‌زنی بذر کاهو

Table 2- Analysis of variances of the effects of seed coating & drought stress on some indices of lettuce seed germination

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	یکنواختی جوانه‌زنی Germination uniformity	میانگین مدت زمان جوانه‌زنی Mean germination time	میانگین طول ساقه‌چه Plumule length	میانگین طول ریشه‌چه Radicle length	شاخص بنیه بذر Length seed vigour index
پوشش بذر Seed Coating(A)	6	3008.35**	74.92**	6.74**	30.76**	4.35**	3.23**	128342.90**
تنش خشکی Drought stress(B)	2	59371.82**	1057.69**	28.33**	63.48**	33.98**	11.80**	914161.70**
A×B	12	1260.82**	30.44**	10.20**	22.11**	1.81**	1.46**	78202.80**
خطا Error	63	23.12	0.39	0.08	0.02	0.01	0.01	382.00
ضریب تغییرات CV%		11.63	14.75	16.08	4.33	11.71	15.44	15.70

** Significant at the level 1%

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

کاهو از جمله محصولات حساس به تنش خشکی است (Porcel et al., 2004) که در پژوهش حاضر نیز کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی در شرایط تنش خشکی این مسئله را نشان داد، همچین در این آزمایش کاربرد پوشش جیبرلین + کائولن + هیومیک‌اسید (C3) و پوشش جیبرلین + کائولن (C2) در شرایط تنش خشکی باعث بهبود جوانه‌زنی شد. پژوهش‌ها نشان داده بعضی ترکیبات محرک رشد مانند هورمون‌ها و عناصر ریز مغذی بر قدرت جوانه‌زنی، سبز شدن، استقرار گیاهچه و روند رشد گیاهچه تاثیر گذار است و موجب کاهش اثرات منفی انواع تنش‌های زنده و غیر زنده و افزایش جذب آب و عناصر غذایی می‌شوند (Jalalian & Tavakolafshar, 2005) که احتمال دارد علت تفاوت معنی‌دار پوشش‌های C2 ,C3 بر صفات مورد مطالعه، تاثیر اسید هیومیک بر بهبود قابلیت دسترسی به مواد مغذی موثر در فعالیت‌های زیستی گیاه باشد، همچنین ممکن است کاربرد جیبرلین در پوشش بذر باعث افزایش و تحریک جوانه‌زنی شده است. پدرینی و همکاران (Pedrini et al., 2017) بیان داشتند استفاده از عناصر مغذی در ترکیب پوشش بذر باعث افزایش رشد اولیه گیاهچه می شود، اما در میزان به کاربرده شده

محدودیت وجود دارد، و لازم است از مقدار مناسب که صدمه ای به جوانه‌زنی وارد نکند، استفاده شود. در آزمایش فوق نیز کاربرد بعضی پوشش ها (C4,C5,C6,C7) سبب کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی شد. هیومیک‌اسید مانند یک جاذب رطوبت عمل کرده و مقاومت گیاه را در برابر تنش ها افزایش می‌دهد؛ که در نتایج این آزمایش نیز مشاهده می‌شود، تیمار C3 در شرایط تنش خشکی کمترین کاهش جوانه‌زنی را نسبت به شرایط بدون تنش نشان داد (جدول ۳). هورمون جیبرلین موجب فعال‌سازی آنزیم‌های آلفا آمیلاز و بتا آمیلاز می‌شود که این دو آنزیم برای جوانه‌زنی با ارزش هستند (Shinde, 2018).

سرعت جوانه‌زنی

با بررسی مقایسه میانگین داده‌ها کمترین مقدار سرعت جوانه‌زنی در سطح تنش ۰/۸- مگاپاسکال بود که در این سطح از تنش اکثر تیمارهای پوشش‌دهی جوانه‌زنی نداشتند؛ بیشترین مقدار آن (۱۹/۵۷ عدد در روز) در شرایط بدون تنش (سطح صفر) در تیمار بذر پوشش‌دار با جیبرلین + کائولن + هیومیک‌اسید (C3) بود. سرعت جوانه‌زنی با افزایش تنش خشکی کاهش یافت اما پوشش جیبرلین + کائولن + هیومیک اسید (C3) با کمترین کاهش(۶/۴۶) در تنش ۰/۴-، عملکرد مناسب‌تری را نسبت به باقی تیمارها نشان داد و تفاوت معنی‌داری با بذر بدون پوشش (C1) که مقدار ۲/۲۵ بود، داشت (جدول ۳). تنش خشکی در سطوح ۰/۴- و ۰/۸- مگاپاسکال سبب کاهش سرعت جوانه‌زنی شد (جدول ۳). کاهش سرعت جوانه‌زنی در تیمار ها، بر شاخص‌های یکنواختی جوانه‌زنی و میانگین مدت زمان جوانه‌زنی نیز تاثیر گذاشت؛ و کاهش یکنواختی و افزایش میانگین مدت زمان جوانه‌زنی را به دنبال داشت. اگر جذب آب توسط بذر دچار بی‌نظمی و یا به کندی صورت گیرد، واکنش‌های متابولیکی جوانه‌زنی درون بذر دچار اختلال شده در نهایت زمان خروج ریشه‌چه از بذر افزایش و سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (Limede et al., 2018). Behboud & et al. (2021) بیان داشتند افزایش غلظت تنش خشکی باعث تاخیر در جوانه‌زنی شده و این امر باعث کاهش معنی‌دار سرعت جوانه‌زنی شده است؛ که نتایج مطالعه حاضر نیز این تاثیر گذاری را تایید می‌کند. بررسی بذرهای چغندر پوشش‌دار شده با هورمون جیبرلین نشان داد که کاربرد این هورمون سرعت جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه را نسبت به بذر شاهد بهبود می‌بخشد (Mahdavi, 2011). همانطور که نتایج این آزمایش نشان داد کاربرد جیبرلین و هیومیک‌اسید در پوشش بذر باعث بهبود برخی شاخص‌های جوانه‌زنی در شرایط تنش خشکی شد. در بعضی از تیمارها سرعت جوانه‌زنی نسبت به شاهد کمتر شد که می‌توان اینطور گفت: ممکن است بذرهای پوشش‌دار شده به علت اشباع آب بیشتر از نیاز ، دچار کمبود اکسیژن شده‌اند که این امر باعث تاخیر در واکنش های متابولیکی و صدمه به بافت‌ها می‌شود و این عوامل می‌تواند باعث تاخیر در جوانه‌زنی و سرعت کم بذرها باشد (Gorim & Asch, 2015).

یکنواختی جوانه‌زنی

بیشترین یکنواختی (۰/۸۳) مربوط به تیمار بذر پوشش‌دار شده با جیبرلین + کائولن (C2) بود که تفاوت معنی داری با تیمار بذر بدون پوشش (C1) (۱/۴۳) نداشت وکمترین یکنواختی (۴/۳۸) در تیمار بذر پوشش‌دار با هیومیک‌اسید + عناصر درشت مغذی + عناصر ریز مغذی + کائولن (C6) در شرایط بدون تنش بود. افزایش تنش خشکی یکنواختی جوانه‌زنی را در تیمارها کاهش داد (جدول ۳).

میانگین مدت زمان جوانه‌زنی

اثر متقابل تیمارهای پوشش‌دهی و تنش خشکی مشخص کرد که اعمال تنش خشکی باعث افزایش میانگین مدت زمان جوانه‌زنی در همه تیمارها شد؛ که کمترین اختلاف بذر پوشش‌دار با جیبرلین + کائولن + هیومیک‌اسید (C3) بود. با توجه به جدول (۳) بیشترین مدت زمان (۴/۵۳ روز) مربوط به تیمار بذر پوشش دار با جیبرلین + هیومیک‌اسید + عناصر ریز مغذی + عناصر درشت مغذی + کائولن (C7) و کمترین میانگین مدت زمان جوانه‌زنی (۱/۵۹ روز) در شرایط بدون تنش مربوط به تیمار بذر پوشش‌دار با جیبرلین + کائولن + هیومیک‌اسید (C3) شد که اختلاف معنی داری با شاهد (۱/۷۲) نداشت (جدول ۳). در پژوهشی اعمال تنش خشکی بر روی بذر کاهو و افزایش آن از صفر به ۱۵- بار باعث کاهش درصد جوانه‌زنی و بنیه بذر و افزایش متوسط زمان جوانه‌زنی شد (Makoondi, 2010).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر تیمارهای پوشش‌دهی و تنش خشکی بر برخی صفات جوانه زنی بذر کاهو

Table 3-Means Comparison of effect of coating treatments & drought stress on some traits of lettuce seed germination

تیمارهای آزمایشی experimental treatments		شاخص‌های جوانه‌زنی germination index						
تنش خشکی Drought stress	پوشش بذر Seed Coating	درصد جوانه‌زنی (٪) Germination percentage (%)	سرعت جوانه زنی (۱/روز) Germination rate (1/day)	یکنواختی جوانه زنی (روز) Germination uniformity (Day)	میانگین مدت زمان جوانه‌زنی (روز) Mean germination time (Day)	میانگین طول ساقچه(سانتیمتر) Plumule Length (Cm)	میانگین طول ریشچه (سانتیمتر) Radicle Length (Cm)	شاخص طولی بنیه بذر Length seed vigour index
0(control)	C1	100.00 a	16.27 b	1.43 fg	1.72 hi	3.14 b	2.62 a	576.10 b
	C2	100.00 a	12.22 c	0.83 g	2.11 h	3.21 b	2.25 b	546.41 b
	C3	100.00 a	19.57 a	2.32 de	1.59 i	4.03 a	2.77 a	679.80 a
	C4	98.00 a	7.63 e	2.45 de	3.45 fg	1.07 de	0.21 ef	126.88 de
	C5	98.00 a	8.79 d	2.04 ef	3.21 g	1.84 c	0.71 c	249.55 c
	C6	72.00 cd	4.91 g	4.38 ab	4.30 de	0.85 de	0.22 e	77.64 ef
	C7	80.00 bc	4.85 gh	3.63 bc	4.53 d	0.63 ef	0.20 ef	66.46 fg
-0/4 (MPa)	C1	27.50 e	2.25 i	3.07 cd	3.07 e	0.68 ef	0.57 c	44.02 fgh
	C2	61.75 d	3.91 h	4.23 b	3.88 ef	0.81 de	0.53 c	93.32 def
	C3	88.50 ab	6.46 f	4.82 a	3.56 fg	0.92 de	0.48 cd	130.28 d
	C4	18.00 ef	0.80 j	2.270e	5.38 c	0.33 fg	0.20 ef	15.60 gh
	C5	0.00 g	0.00 k	0.00 h	0.00 j	0.00 g	0.00 f	0.00 h
	C6	0.00 g	0.00 k	0.00 h	0.00 j	0.00 g	0.00 f	0.00 h
	C7	0.00 g	0.00 k	0.00 h	0.00 j	0.00 g	0.00 f	0.00 h
-0/8 (MPa)	C1	0.00 g	0.00 k	0.00 h	0.00 j	0.00 g	0.00 f	0.00 h
	C2	16.00 ef	0.74 j	2.29 e	5.50 bc	0.20 g	0.30 de	4.44 h
	C3	8.00 fg	0.16 j	1.50 fg	6.00 ab	0.20 g	0.27 de	2.08 h
	C4	0.00 g	0.00 k	0.00 h	0.00 j	0.00 g	0.00 f	0.00 h
	C5	0.00 g	0.00 k	0.00 h	0.00 j	0.00 g	0.00 f	0.00 h
	C6	0.00 g	0.00 k	0.00 h	0.00 j	0.00 g	0.00 f	0.00 h
	C7	0.00 g	0.00 k	0.00 h	0.00 j	0.00 g	0.00 f	0.00 h

-C1: بذر بدون پو شش (شاهد) C2: بذر پو شش‌دار با جیبرلین + کائولن C3: بذر پو شش‌دار با جیبرلین + کائولن + هیومیک‌ا سید C4: بذر پو شش‌دار با جیبرلین + کائولن + عناصر ریز مغذی C5: بذر پو شش‌دار با جیبرلین + کائولن + عناصر درشت مغذی C6: بذر پو شش‌دار با هیومیک‌اسید + عناصر درشت مغذی + عناصر ریز مغذی + کائولن C7: بذر پوشش‌دار با جیبرلین + هیومیک‌اسید + عناصر درشت مغذی + عناصر ریز مغذی + کائولن

-تیمارهایی که حداقل در یک حرف مشترک می‌باشند براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

میانگین طول ساقه‌چه و ریشه‌چه

پوشش های مختلف بذر به تنش خشکی واکنش‌های متفاوتی را نشان‌دادند. به صورتی که سطوح مختلف تنش اثر معنی‌داری بر میانگین طول ساقه‌چه گذاشت و موجب کاهش طول ساقه‌چه نسبت به شرایط بدون تنش شد. بر اساس نتایج، بیشترین میانگین طول ساقچه‌چه (۴/۰۳ سانتی‌متر) و ریشه‌چه (۲/۷۷ سانتی‌متر) در وضعیت بدون تنش منوط به تیمار پوشش با جیبرلین + کائولن + هیومیک‌اسید (C3) بود که طول ساقچه تفاوت معنی‌داری با شاهد(بذر بدون پو شش) دا شت. با مقایسه داده‌ها افزایش غلظت تنش خشکی سبب کاهش طول گیاهچه نسبت به شرایط بدون تنش شد (جدول۳).کاهش جذب آب بذر به سبب افزایش تنش باعث کاهش ترشح هورمون‌ها و فعالیت آنزیم‌ها شده و رشد گیاهچه (طول ساقه‌چه و ریشه‌چه) دچار اختلال می شود، یکی از عوامل موثر برکاهش طول ساقه‌چه در شرایط تنش، کاهش یا عدم انتقال مواد غذایی از لپه‌ها به جنین ذکر شده است (Wang et al., 2015). نتایج مطالعه‌ای درمورد سطوح مختلف تنش خشکی متاثر از پلی اتیلن گلایکول بر روی بذر کاهو نشان داد که کاربرد سطوح ۰، ۳-، ۶-، ۹- بار با کاهش پتانسیل اسمزی درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه و شاخص بنیه بذر را کاهش داد؛ که با نتایج آزمایش فوق نیز مطابقت دارد(Ajam et al., 2011).

شاخص بنیه بذر

بر اساس نتایج جدول (۳) بیشترین مقدار شاخص بنیه بذر(۶۷۹/۸۰) در شرایط بدون تنش در تیمار بذر پوشش‌دار با جیبرلین + کائولن + هیومیک‌اسید (C3) حاصل شد که با تیمار شاهد (۵۷۶/۱۰) تفاوت معنی‌داری داشت. تیمار بذر پوشش‌دار با جیبرلین + کائولن + هیومیک‌اسید (C3) بیشترین شاخص بنیه بذر را در شرایط تنش نشان داد؛ همچنین تیمار بذر پوشش‌دار با جیبرلین + کائولن (C2) که در شرایط بدون تنش مقدار آن با شاهد (بذر بدون پوشش) تفاوت معنی‌داری نداشت در سطح ۰/۴- و ۰/۸- مگاپاسکال مقدار بیشتری را نمایان کرد. تنش خشکی اثر منفی بر میزان شاخص بنیه بذر اعمال نمود (جدول ۳).

با توجه به اینکه تنش خشکی بر روی جذب آب توسط بذر موثر بوده و سبب محدود شدن آن می‌شود؛ و از سوی دیگر جذب آب به صورت مستقیم بر تقسیم سلولی اثر می‌گذارد و باعث افزایش و توسعه سیستم ریشه و ساقه‌چه و ریشه‌چه می شود که تنش خشکی می‌تواند اثر سوء بر این صفات داشته باشد (Abd Allah et al., 2010). تنظیم کننده‌ها رشد گیاهی نقش عمده‌ای در تسهیم و انتقال آسیمیلات در ساختار گیاهی و در نتیجه افزایش رشد گیاه دارند (Reuter et al., 1998)؛ در نتایج این آزمایش نیز پوشش‌های بذر C2, C3 در شرایط تنش خشکی نتایج بهتری را نشان دادند که ممکن است به علت وجود ترکیبات جیبرلین و هیومیک‌اسید در پوشش بذر باشد. تیمارهای پوشش بذر که در ترکیبات آن‌ها عناصر ریز مغذی و درشت مغذی به کاربرده شده بود، شاخص بنیه بذر کمی را نسبت به شاهد داشتند، که ممکن است مقدار مواد استفاده شده در پوشش‌دار کردن بذر باعث آسیب به بافت بذر و کاهش رشد ساقه‌چه و ریشه‌چه شده باشد که در پی آن شاخص بنیه بذر نیز کاهش یافت.

نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج اثر پوشش بذر و تنش خشکی نشان داد که واکنش پوشش‌های بذر به سطوح تنش بر معیارهای جوانه‌زنی متفاوت بود؛ بدین گونه که افزایش سطح تنش، شاخص‌های جوانه‌زنی را در همه صفات بسیار کاهش داد؛ به طوری که در سطح تنش ۰/۸- مگاپاسکال فقط تیمار بذر پوشش‌دار با جیبرلین + کائولن و بذر پوشش‌دار با جیبرلین + کائولن + هیومیک‌اسید جوانه‌زنی مشاهده شد و جوانه‌زنی در سایر تیمارها متوقف شد. در سطح تنش ۰/۴- مگاپاسکال در صفات درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر بهترین عملکرد را تیمارهای بذر پوشش‌دار با جیبرلین +کائولن و بذر پوشش‌دار با جیبرلین + کائولن + هیومیک‌اسید نشان دادند و پوشش جیبرلین + کائولن + هیومیک‌اسید منجر به بهبود صفت میانگین مدت زمان جوانه‌زنی نسبت به بذر بدون پوشش (شاهد) شد.

تعارض منافع

نویســـنده این مقاله اعلام می‌دارد که هیچ‌گونه تعارض منافعی در رابطه با نگارش و یا انتشار این مقاله ندارد.

References

Abd Allah, A., Badawy, S., Zayed, A., & El-Gohary, A. (2010). The role of root system traits in the drought tolerance of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Plant Production*, *1*(4), 621–631. https://doi.org/10.21608/jpp.2010.86384

Abdolmaleki, A., Tohidloo, Gh., & Shahbazi, S. (2021). Study of onion (*Allium cepa*) seed coating with disinfection, GA_3 and *Trichoderma* on germination traits. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *9*(4), 123–128. https://doi.org/10.22092/ijsst.2019.120987.1175 [In Persian]

Abdullahil Baque, M., Faijunnahar, M., Ahsan Habib, M., & Motmainna, M. (2018). PEG induced germination, seedling growth, and water relation behavior of wheat genotypes under salt stress condition. *Universal Journal of Plant Science*, *6*(3), 21–31. https://doi.org/10.13189/ujps.2018.060301

Ajam, A., Nabavikalat, S., & Mohebi, N. (2011). Study of drought and salinity stress on germination of two varieties of lettuce. In *Proceedings of the National Conference on Agriculture* (Jahrom). https://civilica.com/doc/122735 [In Persian]

Behboud, R., Moradi, A., & Farajee, H. (2021). Film coating with sodium alginate improves seed germination of sweet corn (*Zea mays* var. *Saccharata*) under osmotic stress conditions. *Journal of Plant Process and Function*, *9*(40), 33–42. http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1375-fa.html [In Persian]

Dodd, G. L., & Donovan, L. (1999). Water potential and ionic effects on germination and seedling growth of two cold desert shrubs. *American Journal of Botany*, *86*(8), 1146–1153. https://doi.org/10.2307/2656978

Fang, S., Wang, J., Wei, Z., & Zhu, Z. (2006). Methods to break seed dormancy in *Cyclocarya paliurus* (Batal) Iljinskaja. *Scientia Horticulturae*, 110(3), 305–309. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.06.031

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Basra, S. (2009). Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, *29*, 185–212. https://doi.org/10.1051/agro:2008021

Farooq, M., Wahid, A., & Siddique, K. (2012). Micronutrient application through seed treatments: A review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *12*(1), 125–142. https://doi.org/10.4067/S0718-95162012000100011

Gharehbaghli, N. (2024). Investigating the effect of pretreatment of salicylic acid on the germination of aged pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) seeds and antioxidant enzymes of plant under drought stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *13*(2), 33–46. https://doi.org/10.22092/ijsst.2023.362518.1491 [In Persian]

Gorim, L., & Asch, F. (2015). Seed coating reduces respiration losses and affects sugar metabolism during germination and early seedling growth in cereals. *Functional Plant Biology*, *42*(2), 209–218. https://doi.org/10.1071/FP14142

Hall, J. Á., & Williams, L. E. (2003). Transition metal transporters in plants. *Journal of Experimental Botany*, *54*(393), 2601–2613. https://doi.org/10.1093/jxb/erg303

Jalilian, A., & Tavakol Afshari, R. (2005). The effect of osmopriming on germination of sugar beet seeds under drought stress. *Journal of Agriculture*, *27*(2), 23–35. [In Persian]

Kamkar, B. (2011). *GS-2011: A pocket software to calculate germination and emergence indices*. GUASNR. [In Persian]

Mahdavi, B., Modarres Sanavy, S., Aghaalikhani, M., Sharifi, M., & Dolatabadian, A. (2011). Chitosan improves osmotic potential tolerance in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) seedlings. *Journal of Crop Improvement*, *25*(6), 728–741. https://doi.org/10.1080/15427528.2011.606354

Makoondi, M., Shapoori, S., & Ramin, A. (2010). Drought tolerance of tomato and lettuce seed germination stage using mannitol as a stress factor. In *Proceedings of the 1st Conference on Sustainable Agriculture and Cleaner Production* (Isfahan). https://civilica.com/doc/107482 [In Persian]

Manu, M., Atit, P., Bindeshwor, S., Jiban, S., Binesh, S., Keshab, K., & Shambhu, D. (2019). Effect of PEG induced drought stress on germination and seedling traits of maize (*Zea mays* L.) lines. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, *6*(2), 196–205. https://doi.org/10.30910/turkjans.556607

Massacci, A., Nabiev, S., Pietrosanti, L., Nematov, S., Chernikova, S., Thor, K., & Leipner, J. (2008). Response of the photosynthetic apparatus of cotton (*Gossypium hirsutum*) to the onset of drought stress under field conditions studied by gas-exchange analysis and chlorophyll fluorescence imaging. *Plant Physiology and Biochemistry*, *46*(2), 189–195. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2007.10.006

Michel, B. E., & Kaufman, M. (1973). The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*, *51*, 914–916. https://doi.org/10.1104/pp.51.5.914

Moemeni, K. H., Mahmoodi, S., Latifmanesh, H., & Moradi, A., Rezaei, R. (2023). The effect of coating with *Pseudomonas fluorescens* and gibberellic acid on the quality and germination properties of parsley seeds (*Petroselinum crispum*). *Iranian Journal of Field Crop Science*, *54*(2), 59–71. https://doi.org/10.22059/ijfcs.2022.333252.654872 [In Persian]

Mosavi Nik, S. M., Dahmardeh, M., & Sirousmehr, A. (2015). *Seed physiology and aspects of application in agriculture*. Mashhad Academic Jihad Publications. [In Persian]

Limede, A. C., Oliveira, C., Zoz, A., & Zuffo, A. (2018). Effects of seed size and sowing depth in the emergence and morphophysiological development of soybean cultivated in sandy texture soil. *Australian Journal of Crop Science*, *12*(1), 93–98. https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.01.pne765

Liu, Y., Xu, H., Wen, X., & Liao, Y. (2016). Effect of polyamine on seed germination of wheat under drought stress is related to changes in hormones and carbohydrates. *Journal of Integrative Agriculture*, *15*(12), 2759–2774. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61366-7

Pedrini, S., Merritt, D., 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

Porcel, R., Azcón, R., & Ruiz-Lozano, J. (2004). Evaluation of the role of genes encoding for Δ1-pyrroline-5-carboxylate synthetase (P5CS) during drought stress in arbuscular mycorrhizal *Glycine max* and *Lactuca sativa* plants. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, *65*, 211–221. https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2005.02.003

Reuter, D. J., Alston, A., & McFarlane, J. (1988). Occurrence and correction of manganese deficiency in plants. In R. D. Graham, R. J. Hannam, & N. C. Uren (Eds.), *Manganese in soils and plants: Proceedings of the international symposium on "Manganese in soils and plants" held at the Waite Agricultural Research Institute, The University of Adelaide, Glen Osmond, South Australia, August 22–26, 1988 as an Australian Bicentennial Event* (pp. 205–224). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-009-2817-6_15

Shinde, P., Doddagoudar, S., Vasudevan, S., & Maruti, K. (2018). Effect of seed polymer coating with micronutrients on seed quality of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *7*(6), 1152–1155. https://doi.org/10.31018/jans.v8i3.1012

Soltani, A., Galeshi, S., Zenali, E., & Latif, N. (2001). Germination, seed reserve utilization and growth of chickpea as affected by salinity and seed size. *Seed Science and Technology*, *30*, 51–60.

Tang, S. H., Tang, J., Yuan, D., Wang, Z., Zhang, Y., & Rao, Y. (2020). Elimination of humic acid in water: Comparison of UV/PDS and UV/PMS. *Chemistry Advances*, *10*(3), 17627–17634. https://doi.org/10.1039/D0RA01787F

Viacava, G. E., Goyeneche, R., Goñi, M., Roura, S., & Agüero, M. (2018). Natural elicitors as preharvest treatments to improve postharvest quality of butterhead lettuce. *Scientia Horticulturae*, *228*, 145–152. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.018

Wang, L., Jin, S., Wu, L., Zhou, X., Liu, X., & Bai, L. (2016). Influence of environmental factors on seed germination and emergence of Asia Minor bluegrass (*Polypogon fugax*). *Weed Technology*, *30*, 533–538. http://www.jstor.org/stable/24856089

Zuffo, A., Zambiazzi, E., Moreira, M., Carvalho, D., Oliveira, N., Bruzi, A., Soares, I., & dos Santos, S. (2017). Quality of pelleted and bare lettuce seeds at different temperatures. *Australian Journal of Crop Science*, *11*(3), 338–342. https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.03.pne352