SBSI

Journal of Sugar Beet

Journal Home Page: https://jsb.areeo.ac.ir

ISCPBS
انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران

The effect of seed priming on the emergence and growth characteristics of sugar beet seedlings under normal and salt stress conditions in the greenhouse

Ismail Nabizadeh[1]*, Khadijeh Ahmadi[2], Mojgan Namdari[1]

(Received: 1 Sep. 2024 ; Accepted: 8 Janu. 2024)

How to cite this article:
Nabizadeh I*, Norouzi, Ahmadi K, Namdari M, Sharifi M. The effect of seed priming on the emergence and growth characteristics of sugar beet seedlings under normal and salt stress conditions in the greenhouse. Journal of Sugar Beet. 2024: (40)1. 63- 76. (In Persian with English abstract). Doi: https://doi.org/10.22092/JSB.2025.366893.1368

Extended Abstract

Introduction

Soil salinity is a major adverse environmental problem that reduces crop yields globally and threatens more than 833 million hectares of arable land. Salinity-affected soil has been reported in over 100 countries worldwide, with most salinity cases resulting from irrigation. Seed germination is a stage in which the plant is susceptible to abiotic stress such as salinity. Salinity stress affects plant growth and yield through ionic toxicity, reduced seed germination percentage, and increased germination time. Since germination is facilitated by energy stored in the seed, the inhibition of seed germination caused by salinity stress may primarily be due to energy changes in metabolic activities caused by osmotic and ionic pressure. Sugar beet (Beta vulgaris L.) is a valuable source of sugar and bioethanol production in temperate regions of the world. Priming treatments have beneficial effects such as increased germination, synchronized emergence, early seedling growth, and minimization of the harmful effects of abiotic and biotic stress. In this study, the effect of different priming levels on the germination and morphological traits of sugar beet cultivars called Pars and a Rizofort were investigated under normal and salinity stress conditions.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of chemical priming with different substances on the germination and growth of seedlings under greenhouse conditions, experiments were carried out under normal and salt stress conditions in the crop season of 2018-19. Experimental treatments included two cultivars (Rizofort and Pars) and ten levels of priming [without seed priming (control), polyethylene glycol, potassium nitrate, calcium chloride, zinc sulfate, salicylic acid, hydrochloric acid, mannitol, potassium dihydrogen phosphate, and distilled water]. At harvest, five samples were selected from each treatment in all replications. The length and width of the leaves as well as the length of the petiole were measured. The mean length and width of the leaves and the length of the petiole from these five plants were then utilized for statistical calculations. After harvesting the roots of the selected plants from each experimental treatment, the distance from the cutting point of the collar to the end of the root was measured, and the average was recorded as the root length. The length and diameter of the hypocotyl of the selected plants was measured. . The weight of the aerial parts of the selected plants and the roots that were separated from the collar after weighing were measured using a digital scale. The aerial parts and roots of the seedlings were placed in paper bags for drying in an oven at 85℃ for 24h and then weighed again. The analysis of variance of the data was performed using SAS 9.1, and mean comparison was done by the Duncan method at five percent significant level

Results and Discussion

Analysis of variance of the studied traits showed that the effect of cultivar treatment was significant on seedling germination percentage and rate, shoot dry weight, root dry weight, root length, petiole length, hypocotyl

1. Agrotechnology Department, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University of Mahabad, Mahabad, Iran.
*Corresponding author: nabizadeh.esmaeil@gmail.com
2. Faculty of Agricultural Sciences, Shahed University, Tehran, Iran

CC BY

diameter, hypocotyl length, and leaf length, which indicated the existence of genetic diversity between cultivars. Different levels of priming also affected the above traits at 5% probability level. The interaction effect of cultivar on priming was significant for all traits except seedling emergence rate and leaf length. Under salinity stress, the effect of cultivar and the interaction effect of cultivar on priming was significant ($P < 0.01$) on seedling emergence percentage and rate, shoot weight, shoot dry weight, root weight, root dry weight, root length, petiole length, hypocotyl diameter, hypocotyl length and leaf length, which indicated the existence of genetic diversity between the studied cultivars. Different levels of priming also had significant effect on the above-mentioned traits ($P < 0.05$). Results showed that the highest percentage of seedling emergence, shoot and root dry weight, root and leaf tail length, hypocotyl diameter and length related to the Rizofort variety and the application of zinc sulfate pretreatment with 50 mM concentration in both conditions. Calcium chloride priming with 50 mM concentration also improved and increased the studied traits in the Rizofort cultivar under normal condition. Zinc sulfate priming in both conditions (normal and salinity stress) increased the characteristics of seedling emergence and seedling growth of two sugar beet cultivars compared with no priming and was able to moderate the adverse effects of salinity stress. The application of micronutrients, especially zinc, has emerged as a promising strategy to mitigate the adverse effects of salinity stress on plants. This essential micronutrient plays a vital role in plant growth and development. Previous studies report that the application of micronutrients plays an important role in various physiological and biochemical processes in plants, including ion uptake and transport. Reduced yield and growth due to salinity stress have been attributed to high concentrations of sodium ions, which hinder the uptake of other nutrients essential for growth.

Conclusion

Since ZnSO4 can mitigate the negative effect of NaCl by limiting the absorption of sodium and chlorine or its translocation in the plant, under normal conditions, the highest fresh and dry weight of the aerial parts and roots, root length, leaf petiole length, hypocotyl length and diameter, leaf length, percentage and seedling emergence rate under normal and salinity stress conditions resulted from zinc sulfate priming. The results of the interaction effect of priming on the cultivar under normal and salinity stress conditions also followed this pattern. Given the higher genetic potential of the Rizofort cultivar compared with Pars cultivar under normal and salinity stress conditions, the highest traits resulted from priming with zinc sulfate. In summary, the use of zinc sulfate priming as an effective method to improve seedling emergence and seedling growth of sugar beet under salinity stress conditions can help growers to improve their crop yields.

Keywords

Calcium chloride, Potassium nitrate, Priming,Salicylic acid, Zinc sulfate

References

Choudhary S, Zehra A, Wani KI, Naeem M, Hakeem KR, Aftab T. The role of micronutrients in growth and development: transport and signalling pathways from crosstalk perspective. Plant Micronutrients, Deficiency and Toxicity Management. 2020; 73–81. Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-49856-6_3

Damalas CA, Koutroubas SD, Fotiadis S. Hydro-priming effects on seed germination and field performance of faba bean in spring sowing. Agriculture**.** 2019; 9: 201. Doi: https://doi.org/10.3390/agriculture9090201

Jesus JM, Danko AS, Fiuza A, Borges MT. Phytoremediation of salt-affected soils: a review of processes, applicability, and the impact of climate change. Environmental Science and Pollution Research. 2015; 22: 6511–25. Doi: https://doi.org/10.1007/s11356-015-4205-4.

Moliterni VMC, Paris R, Onofri C. Orrù L, Cattivelli L, Pacifico D, Avanzato C, Ferrarini A, Delledonne M, Mandolino G. Early transcriptional changes in Beta vulgaris in response to low temperature. Planta. 2015; 242: 187–201. Doi: https://doi.org/10.1007/s00425-015-2299-z.

Wang N, Wang XR, Qi Q, Iqbal A, Zhang H, Shi J, Dong Q, Xu Q, Liu X, Gui H, Song M, Zhang X, Yan G.. Analysis of the effects of mepiquat chloride priming on the seedling growth-promoting in cotton under salt stress by multi-omics. Industrial Crops and Products. 2022; 186: 115296. Doi: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115296

Zewail RMY, El-Gmal IS, Khaitov B, El-Desouky HSA. Micronutrients through foliar application enhance growth, yield and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L). Journal Plant Nutr. 2020; 43: 2275–85. Doi: https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1771580.

Zhou WG, Chen F, Zhao SH, et al. DA-6 promotes germination and seedling establishment from aged soybean seeds by mediating fatty acid metabolism and glycometabolism. Journal of Experimental Botany. 2019; 70: 101–14. Doi: https://doi.org/10.1093/jxb/ery247

نشریه چغندرقند
Journal Home Page: https://jsb.areeo.ac.ir

اثر پرایمینگ بذر بر ویژگی‌های ظهور و رشد گیاهچه چغندر قند در گلخانه در شرایط نرمال و تنش شوری†

اسمعیل نبی‌زاده[1*]، خدیجه احمدی[2]، مژگان نامداری[1]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۶/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۹
نوع مقاله: پژوهشی
DOI: 10.22092/JSB.2025.366893.1368
ا. نبی‌زاده، خ. احمدی و م. نامداری. اثر پرایمینگ بذر بر ویژگی‌های ظهور و رشد گیاهچه چغندر قند در گلخانه در شرایط نرمال و تنش شوری. **چغندرقند ۴۰(۱): ۶۳-۷۶**

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر پرایمینگ شیمیایی با مواد مختلف بر ظهور و رشد گیاهچه در شرایط گلخانه، آزمایش‌هایی در شرایط نرمال و تنش شوری در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در گلخانه دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل رقم در دو سطح (ریزوفورت و پارس) و پرایمینگ در ده سطح (بدون پرایمینگ (شاهد)، پلی‌اتیلن گلیکول، نیترات پتاسیم، کلرید کلسیم، سولفات روی، اسید سالیسیلیک، اسیدکلریدریک، مانیتول، دی هیدروژن فسفات پتاسیم و آب مقطر) بود. اثر سطوح شوری بر کلیه صفات مورد بررسی به‌غیراز شاخص ظهور گیاهچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. عامل پرایمینگ بذر نیز بر کلیه صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل دو عامل بر شاخص ظهور و طول گیاهچه در سطح احتمال یک درصد و طول ساقه‌چه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. نتایج نشان داد که بیشترین درصد ظهور گیاهچه، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، طول ریشه و دم برگ، قطر و طول هیپوکوتیل مربوط به رقم ریزوفورت و پیش‌تیمار سولفات روی با غلظت ۵۰ میلی‌مولار در هردو شرایط نرمال و تنش بود. پرایمینگ بذر با کلرید کلسیم با غلظت ۵۰ میلی‌مولار نیز باعث بهبود و افزایش صفات مورد مطالعه در رقم ریزوفورت در شرایط نرمال شد. پرایمینگ بذر با سولفات روی در هر دو شرایط (نرمال و تنش شوری) صفات ظهور و رشد گیاهچه هر دو رقم چغندرقند را نسبت به عدم پرایمینگ به میزان ۴۰ درصد افزایش داد و توانست اثرات نامطلوب تنش شوری را حدود ۳۰ درصد تعدیل کند.

واژه‌های کلیدی: اسید سالیسیلیک، پیش‌تیمار، سولفات روی، کلرید کلسیم، نیترات پتاسیم.

†- این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد است.

۱. دانشیار و دانش آموخته گروه آگروتکنولوژی دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد، ایران.
*- نویسنده مسئول: Email: nabizadeh.esmaeil@gmail.com
۲. دکتری تخصصی فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران.

CC BY

مقدمه

شوری خاک یک مسأله‌ی مهم زیست‌محیطی نامطلوب است که عملکرد محصول را در سطح جهانی کاهش می‌دهد و بیش از ۸۳۳ میلیون هکتار از زمین‌های قابل‌کشت را تهدید می‌کند (Wang *et al*. 2022). خاک تحت تأثیر شوری در بیش از ۱۰۰ کشور در سراسر جهان گزارش‌شده است که اکثر موارد، شوری ناشی از آبیاری بوده است (Jesus *et al*. 2015). هنگامی‌که گیاهان در معرض تنش شوری قرار می‌گیرند دو تنش اولیه باید با آن‌ها مقابله کنند: تنش اسمزی نخستین مرحله تنش شوری است و یون‌های حل‌شده سدیم و کلر باعث کاهش پتانسیل آب در بافت گیاه می‌شوند (Liang *et al*. 2018). یون‌های یونیزه شده سدیم و کلر نسبت سدیم به پتاسیم را در سلول‌های گیاهی مختل می‌کنند و درنتیجه تنش یونی (مرحله آخر تنش شوری) ایجاد می‌شود (Deinlein *et al*. 2014). پاسخ‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی متعددی ازجمله کاهش سرعت تنفس و فتوسنتز، انبساط برگ، بسته شدن روزنه و کاهش زیست‌توده تحت تنش شوری رخ می‌دهد (Jahan *et al*. 2020). شوری و قلیایی شدن خاک توسط فرآیندهای طبیعی یا ساخت دست بشر رخ می‌دهد و ازجمله تنش‌های نامطلوب محیطی است که بر محصولات زراعی تأثیر می‌گذارد. به‌طورکلی، نوسانات مختلف محیطی غیر زیستی و زیستی، ازجمله تنش شوری بالا، بر جوانه‌زنی بذر تأثیر می‌گذارد (Wang *et al*. 2021). جوانه‌زنی بذر مرحله‌ای است که در آن گیاه به تنش غیر زیستی از جمله تنش شوری حساس است. تنش شوری از طریق سمیت یونی، کاهش درصد جوانه‌زنی بذر و افزایش زمان جوانه‌زنی بر رشد و عملکرد گیاه تأثیر می‌گذارد. ازآنجایی‌که جوانه‌زنی توسط انرژی ذخیره شده در بذر تسهیل می‌شود (Zhou *et al*. 2019)، مهار جوانه‌زنی بذر ناشی از تنش شوری ممکن است در درجه اول به دلیل تغییرات انرژی در فعالیت‌های متابولیکی ناشی از فشار اسمزی و یونی رخ دهد (Wang *et al*. 2021).

چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) منبع ارزشمندی از تولید قند و بیواتانول در مناطق معتدل جهان است (Moliterni *et al*. 2015). با افزایش تدریجی اثر گلخانه‌ای، رویدادهای شدید دمایی مانند امواج سرد، خشک‌سالی و شوری اغلب رخ می‌دهد (Devireddy *et al*. 2021). چغندرقند نسبت به گیاهان دیگر به شوری مقاوم‌تر است، با افزایش سطح شوری در سراسر جهان تولید چغندر تهدید می‌شود (Feizi *et al*. 2018). در مناطق معتدل دنیا، چغندرقند برای تأمین ۲۱ درصد نیاز جهانی به شکر کشت می‌شود امّا مشکلاتی مانند محدودیت ژنتیکی، عدم توانایی برای بازسازی و انتقال ژن‌های متعدد، تحقیقات مربوط به فرآوری و کشت چغندرقند در محیط‌های آزمایشگاهی را به شدت محدود کرده است (Wu *et al*. 2019).

چندین تیمار پرایمینگ بذر برای افزایش جوانه‌زنی از جمله هیدروپرایمینگ، نیترات پتاسیم، پرایمینگ اسید جیبرلیک و اسید سالیسیلیک استفاده شده است (Afzal *et al*. 2006). هدف از تیمارهای پرایمینگ کوتاه کردن دوره سبز شدن و محافظت از بذرها در برابر عوامل زنده و غیر زنده در مرحله حیاتی استقرار گیاهچه، منجر به سبز شدن همزمان و یکنواخت می‌شود و بهبود عملکرد را به دنبال دارد.

پرایمینگ یک رویکرد آب‌رسانی مجدد است که از عوامل بیوشیمیایی مختلف استفاده می‌کند تا امکان آب‌رسانی منظم بذر در فرآیندهای متابولیکی را تحریک و در مراحل اولیه جوانه‌زنی فعال و فراهم کند، این در حالی است که از پیشرفت بذر به‌سوی جوانه‌زنی کامل جلوگیری می‌کند (Paparella *et al*. 2015). گونه‌های گیاهی/ ژنوتیپ و فیزیولوژی، در معرض تنش‌های محیطی استفاده از روش پرایمینگ بذر موجب بهبود درصد جوانه‌زنی و بنیه بذر می‌شود (Adhikari *et al*. 2022). تیمارهای پرایمینگ دارای اثرات مفیدی مانند افزایش جوانه‌زنی، همزمانی رویش، رشد اولیه گیاهچه و به حداقل رساندن اثرات مضر تنش غیر زیستی و زیستی هستند (Damalas *et al*. 2019).

در این مطالعه، واکنش‌های ظهور گیاهچه و صفات مورفولوژیکی دو رقم چغندرقند در سطوح مختلف پرایمینگ تحت شرایط نرمال و تنش شوری مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مشخصات محل اجرای آزمایش

این پژوهش به‌منظور تأثیر پرایمینگ بذر بر روی ویژگی‌های ظهور و رشد گیاهچه در گلخانه دو رقم پارس و ریزوفورت در شرایط نرمال و تنش شوری در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در گلخانه دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد به اجرا درآمد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دو شرایط نرمال و تنش شوری اجرا شد. فاکتور A (رقم) در دو سطح (پارس و ریزوفورت) و پرایمینگ در ده سطح (طبق جدول ۱) در نظر گرفته شدند. بنابراین، درمجموع ۲۰ تیمار در این پژوهش تحت هردو شرایط مورد بررسی قرار گرفتند.

عملیات گلخانه‌ای

گلخانه پیش از اجرای آزمایش با قارچ‌کش ویتاواکس تیرام به مقدار دو لیتر در ۱۰۰۰ لیتر آب ضدعفونی شد. سپس تعداد ۳۰۰۰ لیوان یک‌بارمصرف پس از سوراخ نمودن به همراه بذرها و سینی‌های زیرین توسط هیپوکلریت سه در هزار ضدعفونی شدند. هر تیمار شامل ۲۵ عدد لیوان یک‌بارمصرف بود که با پرلیت مخلوط سایز یک و سه پر شده و در هر لیوان یک بذر و روی سینی‌های یک‌بارمصرف جهت آبنوشی بهتر قرار داده شد. عملیات کاشت انجام و بلافاصله بذرهای کاشته شده آبیاری شدند. ۱۰ تیمار از هر تکرار با آب مقطر و ۱۰ تیمار از هر تکرار پس از نخستین آبیاری با آب نرمال و تخلیه کامل باکس‌ها از آب اضافی تنش شوری با آب شور ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر آبیاری شدند. از ۱۰ روز پس از کاشت از محلول هوگلند استفاده و ۳۵ روز پس از کاشت بذرها، برداشت گیاهچه جهت بررسی صفات مورد نظر آغاز شد. به‌منظور هوادهی بذرها در تیمارهای مربوطه (جدول ۱) از آب مغناطیسی (قرار دادن بذرها به مدت ۲۰ دقیقه در معرض محلول که با دو آهن ربا با شدت ۰/۵ میلی تسلا مغناطیس شده بود) استفاده گردید. (Maheshwari and Grewal 2009).

جدول ۱ مشخصات سطوح مختلف تیمارهای پرایمینگ

Table 1- Specifications of different priming treatment levels

شماره پرایمینگ Priming number	نام پرایمینگ Name priming	
b1	Control (no priming)	شاهد (بدون پرایمینگ)
b2	Polyethylene glycol (PEG) 6000 for 10h	پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ به مدت ۱۰ ساعت
b3	Potassium nitrate (KNO_3) 3% for 16h	نیترات پتاسیم ۳٪ به مدت ۱۶ ساعت
b4	Calcium chloride (CaCl) 50 mM for 10h	کلرید کلسیم ۵۰ میلی‌مولار به مدت ۱۰ ساعت
b5	Zinc sulfate ($ZNSO_4$) 50 mM for 12h	سولفات روی ۵۰ میلی‌مولار به مدت ۱۲ ساعت
b6	Salicylic acid 0.05 mM for 6h	اسید سالیسیلیک ۰/۰۵ میلی‌مولار به مدت ۶ ساعت
b7	Hydrochloric acid 0.3N for 6h	اسیدکلریدریک ۳ /۰ نرمال به مدت ۶ ساعت
b8	Mannitol 8000 for 6h	مانیتول ۸۰۰۰ به مدت ۶ ساعت
b9	KH_2PO_4 0.5% for 6h	پتاسیم دی هیدروژن فسفات ۰/۵ درصد به مدت ۶ ساعت
b10	Distilled water for 12h	آب مقطر به مدت ۱۲ ساعت

محاسبات تعیین مقدار نمک برای شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر: برای هر لیتر آب ۵/۵۵ گرم نمک از نوع مرک ساخت آلمان افزوده شد تا EC برابر $12\ ^{ms}/_{cm}$ $12\ ^{ds}/_{m}$ گردد. از ۱۰ روز پس از کاشت از محلول هوگلند هر هفته یکبار برای تغذیه گیاهچه‌ها استفاده شد. یادداشت‌برداری از زمان شروع ظهور گیاهچه یعنی چهار روز پس از کاشت شروع شد. در پایان آزمایش بعد از ۳۵ روز از کشت برای محاسبه درصد و سرعت ظهور کل گیاهچه‌ها در هر تیمار و برای سایر صفات از هر تیمار پنج گیاهچه انتخاب شد. فرمول محلول غذایی هوگلند به شرح جدول‌های ۲ و ۳ است:

جدول ۲ فرمول محلول غذایی هوگلند

Table 2- Hoagland's nutrient solution formula

محلول ۱ Solution 1	**مقدار توصیه‌شده** Recommended amount (mg/L)	**محلول ۲** Solution 2	**مقدار توصیه‌شده** Recommended amount (mg/L)
KH_2PO_4	1	$NH_4H_2PO_4$	1
KNO_3	5	KNO_3	6
$CaNO_3$	5	$CaNO_3$	4
$MgSO_4$	2	$MgSO_4$	2

جدول ۳ عناصر ریزمغذی محلول پایه

Table 3- Micronutrients of the base solution

ریزمغذی‌های محلول پایه Basic soluble micronutrients	مقدار توصیه‌شده (mg/L) Recommended amount (mg/L)
Boric acid	2.86
Manganese chloride	1.81
Zinc sulfate	0.22
Copper sulfate	0.08
Molybdic acid	0.02

اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه

هنگام برداشت از هر تیمار در تمام تکرارها پنج نمونه انتخاب، طول و عرض برگ‌ها (باتوجه به کشت در گلخانه برگ‌ها به مرحله‌ای از رشد رسیده بودند که قابل اندازه‌گیری بودند) و طول دم‌برگ پس از جداسازی توسط خط‌کش اندازه‌گیری شد. سپس از میانگین طول و عرض برگ و طول دم برگ‌ها برای انجام محاسبات آماری استفاده گردید. پس از برداشت ریشه بوته‌های انتخابی از هر تیمار آزمایشی، از فاصله محل برش طوقه تا انتهای ریشه توسط خط‌کش اندازه‌گیری شد و میانگین آن‌ها به‌عنوان طول ریشه ثبت گردید. طول هیپوکوتیل بوته‌های انتخاب‌شده (محل انتهای برگ تا جایی که ریشه‌های فرعی رشد نموده‌اند) توسط خط‌کش اندازه‌گیری و میانگین طول هیپوکوتیل برای هر تیمار جهت محاسبات آماری ثبت شد. قطر هیپوکوتیل بوته‌های منتخب توسط دستگاه میکرومتر اندازه‌گیری و میانگین قطر صفت مذکور ثبت گردید. وزن اندام هوایی بوته‌های منتخب و ریشه‌هایی که پس از توزین بوته از ناحیه طوقه جداشده بودند، توسط ترازوی دیجیتالی توزین شدند. اندام هوایی و ریشه گیاهچه پس از توزین به‌منظور خشک شدن در داخل پاکت‌های کاغذی در دستگاه آون در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند و سپس با ترازوی دیجیتالی توزین شدند. در این آزمایش صفات درصد و سرعت جوانه‌زنی طبق روابط‌های ۱ و ۲ محاسبه گردید (Omidi *et al*. 2015).

$$SEP = \frac{S}{T} \times 100 \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

$$SER = \sum_{i=1}^{N} \frac{Si}{Di} \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

در این روابط

SEP= (Seedling emergence Percentage) درصد ظهور گیاهچه، S= تعداد گیاهچه های ظاهر شده، T= تعداد کل بذرها

SER= (Seedling emergence Rate) سرعت ظهور گیاهچه (تعداد گیاهچه ظاهر شده در هر روز)، Si= تعداد گیاهچه ظاهر شده در هر روز، Di= تعداد روز تا شمارش nام، N= تعداد دفعات شمارش است.

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها: تجزیه واریانس داده‌ها با نرم‌افزار آماری SAS var 9.1 انجام گرفت و برای مقایسه میانگین داده‌ها از روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

۱- صفات مورد مطالعه ارقام چغندرقند تحت اثر پرایمینگ بذر در شرایط نرمال

تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه نشان می‌دهد که تیمار رقم بر صفات درصد و سرعت ظهور گیاهچه، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک‌ریشه، طول ریشه، طول دم برگ، قطر هیپوکوتیل، طول هیپوکوتیل و طول برگ در سطح احتمال یک درصد آماری معنی‌داری شد که حاکی از وجود تنوع ژنتیکی بین دو رقم مورد مطالعه است. سطوح مختلف پرایمینگ نیز صفات فوق را در سطح احتمال پنج درصد تحت تأثیر قرار داد. همچنین اثر متقابل رقم در پرایمینگ نیز بر تمامی صفات بجز سرعت ظهور گیاهچه و طول برگ معنی‌دار شد (جدول ۴).

جدول ۴ تجزیه واریانس صفات مورد بررسی چغندرقند تحت اثر رقم و پرایمینگ بذر در شرایط نرمال

Table 4-Analysis of variance of sugar beet traits influenced by the cultivar and seed primingeffect under normal conditions

منابع تغییر	درجه‌آزادی	درصد ظهور گیاهچه	سرعت ظهور گیاهچه	وزن‌خشک اندام‌هوایی	وزن‌خشک ریشه	طول ریشه	طول دم برگ	قطر هیپوکوتیل	طول‌هیپوکوتیل	طول برگ
S.O.V	df	Seedling emergence percentage	Seedling emergence rate	Shoot dry weight	Root dry weigh	Root length	Leaf petiole length	Hypocotyl diameter	Hypocotyl length	Leaf length
رقم Cultivar	1	2258.54**	2.4440**	0.072**	0.045**	290.97**	0.016**	1.25**	0.35**	2.25**
پرایمینگ Priming	9	377.29*	3.0100*	0.040*	0.427*	88.87*	0.073*	0.51*	0.15*	0.26*
C * P	9	62.27**	0.4684^{ns}	0.004^{ns}	0.063**	12.0**	0.013**	0.083**	0.019**	0.028^{ns}
خطا Error	40	12.41	0.5034	0.005	0.001	1.75	0.002	0.014	0.003	0.025
ضریب‌تغییرات CV (%)		9.68	25.05	10.99	6.35	7.46	1.79	7.46	6.27	6.45

^{ns}، *، **، به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد آماری

ns, *, **, non-significant and significant at 5% and 1%, respectively

الف. درصد و سرعت ظهور گیاهچه: طبق یافته‌های حاصل از آزمایش حاضر، سرعت ظهور گیاهچه در تیمار پرایمینگ‌شده با سولفات روی بیشترین مقدار (۴۰/۲۳ تعداد بذر در روز) و در تیمار شاهد کمترین مقدار (۱۶/۹۴ تعداد بذر در روز) بود. تیمارهای کلرید کلسیم و دی هیدروژن فسفات پتاسیم نیز باعث افزایش سرعت ظهور گیاهچه نسبت به تیمار شاهد شدند (جدول ۵).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین درصد ظهور گیاهچه در رقم ریزوفورت و سطوح تیماری پرایمینگ سولفات روی با میانگین ۶۱/۷۰ درصد مشاهده شد و کمترین درصد ظهور گیاهچه نیز مربوط به رقم پارس و عدم پرایمینگ (شاهد) بامیانگین ۲۰/۴۹ درصد بود. کلرید کلسیم بعد از تیمار سولفات روی در رقم خارجی با ۱۰ درصد کمتر درصد ظهور گیاهچه با میانگین ۵۱/۱۱ درصد داشت. طبق نتایج بدست آمده رقم ریزوفورت درصد ظهور گیاهچه بالاتری نسبت به رقم پارس نشان داد (جدول ۶). پرایمینگ بذر با سولفات روی باعث افزایش درصد و سرعت ظهور گیاهچه شد. این امر به دلیل بهبود فعالیت‌های متابولیکی و افزایش دسترسی به مواد مغذی در بذرها می‌تواند باشد. این صفات بهبود یافته را می‌توان به مشارکت روی در مسیرهای آنزیمی مرتبط با بیوسنتز اکسین نسبت داد (Sedghi *et al*. 2013). به طور قابل توجهی، گزارش شده است که کاربرد روی برای حفظ یکپارچگی غشاء و افزایش طول سلول، در نتیجه بر افزایش رشد رادیکال تأثیر می‌گذارد (Hassan *et al*. 2020). گزارش‌شده پرایمینگ بذر باعث افزایش آنتی‌اکسیدان‌هایی از قبیل گلوتاتیون و آسکوربات در بذر می‌شود. به نظر می‌رسد جوانه‌زنی و در پی آن استقرار مناسب محصول و حصول سبز یکنواخت در مزرعه می‌تواند راه را برای

تولید محصولی قابل‌قبول ازنظر کمی و کیفی هموار سازد و در صورت تحقق چنین شرایطی گیاه جوان و تازه استقراریافته، به‌ویژه در ابتدای فصل رویش از نهاده‌های محیطی حداکثر استفاده را کرده و خود را برای طی مراحل آتی زیستی آماده می‌کند (Alipour *et al*. 2019). عنصر روی نقشی در شکستن خواب بذر، تسهیل جذب و فعال‌سازی آنزیمی رویدادهای مختلف بیوشیمیایی مرتبط با جوانه‌زنی، از جمله هیدرولیز بازدارنده‌های جوانه‌زنی دارد (Waqas Mazhar *et al*. 2024). نتایج برخی تحقیقات نشان داده که بذرهای پرایم‌شده هنگام قرار گرفتن در شرایط مزرعه سریع‌تر جوانه‌زده و با بهره‌گیری از شرایط مساعد نوری، سطح کانوپی خود را سریع‌تر و یکنواخت‌تر گسترش می‌دهند (Maestrini *et al*. 2004). گزارش شده که پرایمینگ بذر باعث بهبود سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی، بنیه بذر، استقرار کامل گیاهچه‌ها و درنهایت افزایش عملکرد نهایی محصول چغندرقند می‌گردد (Hamzei *et al*. 2012).

ب. وزن خشک اندام هوایی، وزن و طول ریشه: باتوجه به نتایج مقایسه میانگین داده‌ها در صفت وزن خشک اندام هوایی نشان داد که رقم ریزوفورت با وزن خشک ۰/۲۱ گرم بر رقم پارس با وزن خشک ۰/۱۴ گرم برتری داشت. تیمار سولفات روی ازنظر وزن خشک اندام هوایی به میزان ۰/۳۵ گرم در بالاترین سطح قرار گرفت و تیمار شاهد با ۰/۰۸ گرم کمترین مقدار وزن خشک را به خود اختصاص داد که تیمار سولفات روی در مقایسه با تیمار شاهد ۲۲/۸۵ درصد افزایش نشان داد. بر اساس نتایج داده‌های آزمایش حاضر بالاترین وزن خشک‌ریشه نیز مربوط به رقم ریزوفورت (۰/۶۸ گرم) و کمترین مقدار مربوط به رقم پارس (۰/۵۱ گرم) بود (جدول ۶). گیاهچه‌هایی که با سولفات روی پرایم شده‌اند، معمولاً دارای رشد بهتری هستند. این بهبود شامل افزایش ارتفاع بوته، تعداد برگ‌ها و وزن خشک گیاه می‌شود. یکی از نقش‌های اساسی روی در جوانه‌زنی بذر، افزایش رشد ریشه است. نتایج حاصل از مطالعه تیمار پرایمینگ نشان داد که تیمار سولفات روی (۱/۰۴ گرم) بیش‌ترین وزن خشک‌ریشه و تیمار شاهد (۰/۱۶ گرم) کم‌ترین وزن خشک‌ریشه را به خود اختصاص دادند. بنابراین اختلاف تیمار سولفات روی با تیمار شاهد ۱۵/۳۸ درصد بود. در سطوح پرایمینگ مورد بررسی بذرهای پرایمینگ شده با سولفات روی بیش‌ترین و تیمار شاهد کم‌ترین طول ریشه به دنبال داشت (جدول ۶). برتری سولفات روی احتمالاً به دلیل نقش روی در سنتز پروتئین، عملکرد غشای سلولی و افزایش طول سلول است. اختلاف تیمار پرایمینگ شده با سولفات روی با تیمار شاهد ۴۳/۳۴ درصد بود. عنصر روی نقش مهمی در افزایش سطح جذب به‌واسطه طویل شدن ریشه و همچنین تسهیل انتقال آب و عناصر غذایی در گیاه به دلیل افزایش قطر و تعداد آوندها خواهد داشت. در اثر عمل شستشو و جذب آب توسط دیواره بذر، نیروی فشار ناشی از آماس آب جذب‌شده (طی آبنوشی بذر)، باعث باز شدن نسبی پریکارپ و کاهش فشار فیزیکی ممانعت کننده موجود شده و نفوذ آب و اکسیژن و همچنین خروج آسان‌تر ریشه‌چه به هنگام جوانه‌زنی را سبب شده که نتیجه نهایی این امر افزایش عملکرد ریشه و قند در واحد سطح خواهد بود (Khoshnejad and Mir Mahmoodi 2021). گزارش شده که پرایمینگ در حرکت و انتقال ترکیباتی مانند پروتئین‌ها، آمینواسیدهای آزاد و قندهای محلول از اندام‌های ذخیره‌ای به بافت‌های رویانی در حال رشد در هنگام جوانه‌زنی و نهایتاً افزایش عملکرد، نقش مهمی را ایفا می‌کند (Pedram *et al*. 2017).

ج. طول دم‌برگ، طول و قطر هیپوکوتیل، طول برگ: مقایسه میانگین‌ها در جدول ۵ نشان داد طول برگ در تیمارهای پرایمینگ شده با سولفات روی و کلرید کلسیم بیشترین مقدار (۲/۶۸ و ۲/۷۸ سانتی‌متر) و در تیمار شاهد (بدون پرایمینگ) کمترین مقدار (۲/۰۷ سانتی‌متر) محاسبه شد، از این رو اختلاف

تیمار سولفات روی با تیمار شاهد ۷۷/۲۳ درصد و اختلاف تیمار کلرید کلسیم با تیمار شاهد ۷۴/۴۶ درصد به دست آمد.

عنصر روی در سنتز اسیدهای نوکلوئیک، سوخت‌وساز اکسین، عمل صحیح آنزیم‌ها و افزایش کمیت و کیفیت محصول تأثیر دارد و کمبود آن موجب توقف رشد، کوچک شدن برگ‌ها، افت کمیت و کیفیت محصول، نوارهای کمرنگ به‌موازات رگ‌برگ‌های میانی در غلات و بی‌رنگ شدن برگ‌های جوان است.

جدول ۶ نشان داد رقم خارجی تجاری دارای میانگین برگ بیشتری (۲/۶۴ سانتی‌متر) نسبت به رقم پارس (۲/۲۵ سانتی‌متر) بود. اسید سالیسیلیک و نیترات پتاسیم همچنین اسیدکلریدریک و مانیتول اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد نشان ندادند. نتایج حاصل از مطالعه پرایمینگ در جدول ۶ نشان داد که تیمار سولفات روی (۰/۶۵ سانتی‌متر) بیش‌ترین طول دم برگ و تیمار شاهد (۰/۲۳ سانتی‌متر) کم‌ترین طول دم برگ را به خود اختصاص دادند، بنابراین اختلاف تیمار سولفات روی با تیمار شاهد ۱۵/۳۸ درصد بود. بیش‌ترین قطر هیپوکوتیل مربوط به تیمار پرایمینگ شده با سولفات روی و کلرید کلسیم (۲/۱۸ و ۲/۰۶ میلی‌متر) و کم‌ترین آن مربوط به تیمار شاهد (۱/۲۴ میلی‌متر) بود. به عبارتی اختلاف بیشترین و کمترین تیمار ۵۶/۸۸ درصد بود. بین پرایمینگ اسیدکلریدریک، مانیتول و آب مقطر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. بیشترین قطر هیپوکوتیل مربوط به رقم خارجی تجاری (۱/۸۷میلی‌متر) و کمترین آن مربوط به رقم داخلی پارس (۱/۵۸ میلی‌متر) بود (جدول ۶).

از نتایج مقایسه میانگین‌ها چنین برمی‌آید که با توجه به جدول ۶ تیمار پرایمینگ شده با سولفات روی حداکثر طول هیپوکوتیل (۱/۱۳ سانتی‌متر) و تیمار شاهد حداقل مقدار طول هیپوکوتیل (۰/۶۵ سانتی‌متر) را در میان سایر تیمارهای پرایمینگ داشتند. استفاده از تکنیک پرایمینگ در کل باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های دخیل در جوانه‌زنی ازجمله آنزیم آلفا آمیلاز جهت تجزیه نشاسته گردیده و این امر موجب تقویت بنیه بذر می‌شود که نتیجه آن، درصد سبز یکنواخت‌تر و سطح برگ بیش‌تر خواهد بود (Jamil and Rha 2007). روی برای متابولیسم کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌های ذخیره شده در ذخایر غذایی آندوسپرمی حیاتی است و در نهایت به افزایش طول ساقه و ریشه در گیاهچه‌ها کمک می‌کند. علاوه بر این، روی در پرورش بافت‌های کلئوپتیل و رادیکال نقش دارد و رشد و جوانه‌زنی آنها را تسهیل می‌کند (Waqas Mazhar *et al*. 2024).

جدول ۵ مقایسه میانگین سطوح مختلف محلول‌های آماده‌سازی بذر بر برخی از صفات چغندرقند در شرایط نرمال

Table 5. Mean Comparison of the different levels of seed treatment solutions on some suger beat traits under normal condition

پرایمینگ Priming	شاهد Control	پلی‌اتیلن گلیکول PEG	نیترات پتاسیم KNO_3	کلرید کلسیم CaCl	سالیسیلیک اسید SA	سولفات روی $ZnSO_4$	اسید کلریدریک Hydrochloric Acid	مانیتول Mannitol	دی‌هیدروژن فسفات پتاسیم KH_2PO_4	آب مقطر Distilled water
طول برگ Leaf length (cm)	2.07^{d}	2.31^{c}	2.46^{bc}	2.68^{a}	2.47^{bc}	2.78^{a}	2.32^{c}	2.33^{c}	2.61^{ab}	2.37^{c}
سرعت ظهور گیاهچه Seedling emergence rate (seeds/day)	16.94^{e}	22.83^{de}	28.44^{bcd}	36.59^{ab}	28.99^{bcd}	40.33^{a}	24.34^{de}	23.6^{de}	34.68^{ab}	26.57^{cd}

جدول ۶ مقایسه میانگین‌های اثر متقابل رقم × پرایمینگ بر صفات چغندرقند در شرایط نرمال

Table 6. Mean Comparison of the Culture × Priming interaction on sugar beet traits under normal conditions

رقم× پرایمینگ	درصد ظهور گیاهچه	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک‌ریشه	طول ریشه	طول دم برگ	قطر هیپوکوتیل	طول هیپوکوتیل
Cultivar*priming	Seedling emergence percentage	Shoot Dry weight (g)	Root Dry weight (g)	Root length (cm)	Leaf petiole length (cm)	Hypocotyl diameter (mm)	Hypocotyl length (mm)
a1b1	29.29il	0.10efg	0.21l	11.49k	0.26h	1.35k	0.71jkl
a1b2	30.97hl	0.12efg	0.32k	15.71hi	0.30gh	1.45jk	0.76ijk
a1b3	40.52cf	0.17cg	0.67f	19.29efg	0.47cde	1.88dg	0.92efg
a1b4	51.11b	0.30b	1.03b	25.02ab	0.57ab	2.22ab	1.17ab
a1b5	61.70a	0.43a	1.19a	26.07a	0.63a	2.35a	1.24a
a1b6	43.08cd	0.21bf	0.76e	20.35de	0.50bcd	1.95def	0.98de
a1b7	38.61dg	0.14cg	0.54hi	18.56efg	0.41ef	1.76fi	0.85ghi
a1b8	34.31fj	0.13dg	0.40j	17.17fgh	0.36fg	1.57ij	0.80hij
a1b9	49.56b	0.27bd	0.87c	23.51bc	0.55bc	2.17abc	1.12bc
a1b10	46.17bc	0.23be	0.81d	22.08cd	0.51bc	2.04bcd	1.04cd
a2b1	20.49n	0.06g	0.10m	8.82l	0.25h	1.27l	0.58m
a2b2	29.03jl	0.12efg	0.49i	15.61hi	0.42def	1.58ij	0.77ijk
a2b3	32.87gk	0.17cg	0.63fg	17.02gh	0.50bcd	1.71ghi	0.88fh
a2b4	37.28dh	0.20bf	0.77de	19.53ef	0.55bc	1.91dg	0.99de
a2b5	41.70cde	0.27bc	0.89c	20.81de	0.58ab	2.07cde	1.03cd
a2b6	31.24hl	0.14cg	0.58gh	15.80hi	0.47cde	1.66hij	0.82gi
a2b7	24.76ln	0.09fg	0.31k	13.28jk	0.32gh	1.03kl	0.67km
a2b8	27.37klm	0.11efg	0.38j	14.14ij	0.37fg	1.46jk	0.72jl
a2b9	35.72ei	0.19bg	0.68f	18.18efg	0.52bc	1.81eh	0.96df
a2b10	22.16mn	0.08fg	0.20l	11.39k	0.27h	1.27kl	0.64lm

a_1: ریزوفورت a_2: پارس و b: سطوح مختلف پرایمینگ

a1: Rizofort, a2: Pars, b: Different priming levels

۲- صفات مورد مطالعه ارقام چغندرقند تحت اثر پرایمینگ بذر در شرایط تنش شوری

باتوجه به نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه تحت تنش شوری، صفات درصد و سرعت ظهور گیاهچه، وزن اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن ریشه، وزن خشک‌ریشه، طول ریشه، طول دم برگ، قطر هیپوکوتیل، طول هیپوکوتیل و طول برگ تحت اثر اصلی رقم و اثر متقابل رقم در پرایمینگ اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت که حاکی از وجود تنوع ژنتیکی بین ارقام مورد مطالعه است. سطوح مختلف پرایمینگ نیز بر صفات فوق در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۷).

جدول ۷ تجزیه واریانس صفات مورد بررسی چغندرقند تحت اثر رقم و پرایمینگ بذر در شرایط تنش شوری

Table 7. Analysis of variance of sugar beet traits influenced by the of cultivar and seed priming effect under salt stress conditions

منابع تغییر	درجه آزادی	درصد ظهور گیاهچه	سرعت ظهور گیاهچه	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک‌ریشه	طول ریشه	طول دم برگ	قطر هیپوکوتیل	طول هیپوکوتیل	طول برگ
S.O.V	df	Seedling emergence percentage	Seedling emergence Rate	Shoot dry weight	Root dry weigh	Root length	Leaf petiole length	Hypocotyl diameter	Hypocotyl length	Leaf length
رقم Cultivar	1	24.7**	3.042**	0.001*	0.004*	4.066*	0.006*	0.022**	0.006**	0.013*
پرایمینگ Priming	9	92.89**	16.63**	0.010**	0.048**	42.27**	0.066**	0.354**	0.105**	0.18**
C * P	9	12.22**	6.44**	0.001*	0.007*	5.38**	0.012*	0.067**	0.012**	0.018*
خطا Error	40	0.026	0.010	0.00006	0.00004	0.084	0.00001	0.00002	0.00008	0.00007
ضریب‌تغییرات CV (%)		0.89	0.75	5.92	3.19	2.38	1.49	0.78	0.83	0.45

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد آماری

**Significant at 1% probability level

الف. درصد و سرعت ظهور گیاهچه: طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۸) بالاترین درصد ظهور گیاهچه در تیمار سولفات روی با ۲۵/۶۷ درصد و کمترین درصد مربوط به تیمار شاهد با ۱۲/۳۹ درصد ظهور گیاهچه مشاهده شد. اختلاف بیش‌ترین و کم‌ترین ظهور گیاهچه ۴۸/۲۶ درصد محاسبه شد. در میان ارقام هم‌رقم، ریزوفورت بالاترین درصد (۱۸/۴۹ درصد) و رقم داخلی، کم‌ترین ظهور گیاهچه (۱۷/۷۹ درصد) را به خود اختصاص دادند. مقایسه میانگین داده‌های جدول (۸) نشان داد سرعت ظهور گیاهچه در تیمار پرایمینگ شده با سولفات روی بیشترین مقدار (تعداد ۱۸/۷۱ بذر در روز) در رقم ریزوفورت مشاهده شد و در تیمار شاهد کم‌ترین مقدار (تعداد هشت بذر در روز) و رقم پارس بود. سولفات روی می‌تواند به گیاهان کمک کند تا در برابر استرس‌های محیطی مانند شوری و خشکی مقاومت بیشتری داشته باشند. این امر به دلیل نقش روی در تنظیم متابولیسم گیاهی و بهبود عملکرد سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی است (Zafar *et al*. 2022). بذرهای پرایم شده پس از قرار گرفتن در بستر خود زودتر جوانه‌زده و در پی این امر استقرار در گیاهان حاصل از این بذرها سریع‌تر، بهتر و درعین‌حال یکنواخت‌تر انجام می‌پذیرد. درواقع چنین گیاهی در مقایسه با گیاهان به وجود آمده از بذرهای تیمار نشده در طی زمان کوتاه‌تری سیستم ریشه‌ای خود را گسترش داده و با جذب مطلوب‌تر آب و مواد غذایی و تولید بخش‌های سبز فتوسنتز کننده به مرحله اتوتروفی می‌رسند. تحقق چنین شرایطی به لحاظ زیستی و اکولوژیک، موقعیت ویژه‌ای به گیاهان حاصل از بذرهای پرایم‌شده می‌دهد (Duman 2006).

جدول ۸ مقایسه میانگین‌های اثر متقابل رقم × پرایمینگ بر صفات چغندرقند در شرایط تنش شوری

Table 8-Mean Comparison of the Interaction Effect of Culture × Priming on sugar beet traits under salinity stress condition

رقم× پرایمینگ	درصد ظهور گیاهچه	سرعت ظهور گیاهچه	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک‌ریشه	طول ریشه	طول دم برگ	قطر هیپوکوتیل	طول هیپوکوتیل	طول برگ
Cultivar×Priming	Seedling emergence (%)	Seedling emergence rate (seeds/day)	Shoot rry weight (g)	Root rry weight (g)	Root length (cm)	Leaf petiole length (cm)	Hypocotyl diameter (mm)	Hypocotyl length (mm)	Leaf length (cm)
a1b1	12.73s	8.81s	0.043mn	0.063q	7.187l	0.24r	1.04s	0.54p	1.73r
a1b2	13.47q	4.96q	0.05km	0.096o	9.82j	0.28p	1.11q	0.58n	1.85p
a1b3	17.62k	12.58k	0.07hi	0.203j	12.06fg	0.44j	1.44k	0.71i	2.003k
a1b4	22.24c	17.52c	0.133c	0.31c	15.64b	0.54c	1.71c	0.906b	2.22c
a1b5	26.83a	18.71a	0.186a	0.36a	16.29a	0.6a	1.81a	0.95a	2.31a
a1b6	18.72i	13.62i	0.09fg	0.23hi	12.72e	0.47h	1.5i	0.75g	2.05i
a1b7	16.78m	11.6m	0.06ik	0.16l	11.6gh	0.38l	1.35m	0.65k	1.95m
a1b8	14.92o	10.48o	0.056jm	0.12n	10.73i	0.34n	1.2o	0.62l	1.9n
a1b9	21.55e	16.52e	0.11d	0.26e	14.7c	0.52e	1.67e	0.86d	1.17e
a1b10	20.07g	14.23g	0.1ef	0. 24fg	13.8d	0.49g	1.57g	0.8e	2.09g
a2b1	12.05t	8.0t	0.033n	0.04r	6.79l	0.24r	1.003t	0.52q	1.68s
a2b2	17.08l	12.07l	0.066ij	0.18k	12.01fg	0.41k	1.41l	0.68j	1.98l
a2b3	19.33h	14.0h	0.096eg	0.23gh	13.08e	0.48g	1.52h	0.78f	2.07h
a2b4	21.93d	17.13d	0.12d	0.29d	15.02c	0.536d	1.7d	0.88c	2.2d
a2b5	24.52b	18.06b	0.16b	0.33b	16.01ab	0.56b	1.79b	0.92b	2.28b
a2b6	18.37j	13.04j	0.08gh	0.22i	12.16f	0.46i	1.48j	0.73h	2.03j
a2b7	14.55p	10.31p	0.05jm	0.11n	10.21j	0.31o	1.16p	0.6m	1.88o
a2b8	16.09n	11.43n	0.06il	0.14m	11.2hi	0.36m	1.31n	0.64k	1.93m
a2b9	21.01r	16.01f	0.11	0.25ef	14.13d	0.503f	1.62f	0.85d	2.14f
a2b10	13.03r	9.00r	0.4ln	0.07p	8.72k	0.26q	1.06r	0.56o	1.80q

a_1: ریزوفورت ، a_2: پارس و b: سطوح مختلف پرایمینگ

a1: Rizofort, a2: Pars, b: Different priming levels

ب. وزن خشک اندام هوایی، وزن و طول ریشه: مقایسه میانگین‌ها در صفت وزن خشک اندام هوایی حاکی از آن بود که میان ارقام مورد مطالعه از نظر آماری تفاوت معنی‌داری وجود دارد. به‌طوری‌که رقم ریزوفورت با وزن خشک ۰/۰۹۱ گرم بر رقم پارس با وزن خشک ۰/۰۸۳ گرم برتری داشت. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار سولفات روی از نظر وزن خشک

اندام هوایی به میزان ۰/۱۷ گرم در بالاترین سطح قرار گرفت و تیمار شاهد با ۰/۰۴ گرم کمترین مقدار وزن خشک را به خود اختصاص داد که تیمار سولفات روی در مقایسه با تیمار شاهد ۲۳/۲۵ درصد افزایش نشان داد (جدول ۸). نتایج به‌دست‌آمده از این بررسی نشان داد که بین دو رقم از نظر وزن خشک‌ریشه اختلاف معنی‌داری وجود دارد. بر اساس نتایج حاصل از جدول ۸ بالاترین وزن خشک‌ریشه مربوط به رقم ریزوفورت (۰/۲۱ گرم) و کمترین مقدار مربوط به رقم پارس (۰/۱۹ گرم) بود. ازنظر طول ریشه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بین دو رقم مشاهده شد به‌طوری‌که رقم ریزوفورت با طول ریشه ۱۲/۴۵ سانتی‌متر بر رقم داخلی با طول ریشه ۱۱/۹۳ سانتی‌متر برتری داشت. بین پرایمینگ مورد بررسی بذرهای پرایمینگ شده با سولفات روی بیشترین (۱۶/۱۵ سانتی‌متر) و تیمار شاهد کمترین طول ریشه (۶/۹۹ سانتی‌متر) را مطابق جدول (۸) به دنبال داشت. اختلاف تیمار پرایمینگ شده با سولفات روی با تیمار شاهد ۴۳/۲۸ درصد بود. کاربرد روی با تثبیت غشاهای سلولی ریشه، تحمل گیاه را به تنش شوری بهبود می‌بخشد و در عین حال از نشت یون از ریشه با محدود کردن نفوذپذیری ریشه جلوگیری می‌کند. استفاده از روی منجر به عملکرد بهتر در نخود تحت تنش شوری از طریق مدیریت تنش اسمزی، تعادل یونی و جلوگیری از نشت املاح شد (Ullah *et al*. 2020). بهبود رشد، عملکرد و استقرار گیاهچه ناشی از روی را می‌توان با نقش روی در فعالیت‌های آنزیمی مرتبط با متابولیسم اکسین توجیه کرد. روی به عنوان یک جزء ساختاری و کوفاکتور نقش مهمی در کارایی تنظیم رشد دارد (Rudani *et al*. 2018).

ج. طول دم‌برگ، طول و قطر هیپوکوتیل، طول برگ: نتایج به‌دست‌آمده از این بررسی نشان داد که بین دو رقم از نظر طول دم‌برگ اختلاف معنی‌داری وجود دارد. بیشترین طول دم برگ نیز مربوط به رقم ریزوفورت (۰/۴۳ سانتی‌متر) و کم‌ترین مقدار مربوط به رقم پارس (۰/۴۱ سانتی‌متر) بود. نتایج حاصل از مطالعه اثر پرایمینگ نشان داد که تیمار سولفات روی (۰/۵۸ سانتی‌متر) بیش‌ترین طول دم برگ و تیمار شاهد (۰/۲۴ سانتی‌متر) کمترین طول دم برگ را به خود اختصاص دادند. بنابراین اختلاف تیمار سولفات روی با تیمار شاهد ۴۱/۳۷ درصد بود (جدول ۸). بیشترین قطر هیپوکوتیل مربوط به تیمار پرایمینگ شده با سولفات روی (۱/۸۰ میلی‌متر) و کم‌ترین آن مربوط به تیمار شاهد (۱/۰۰ میلی‌متر) بود. به عبارتی اختلاف بیش‌ترین و کم‌ترین تیمار ۵۵/۵ درصد بود. بین پرایمینگ نیترات پتاسیم و سالیسیلیک اسید و همچنین بین اسیدکلریدریک و مانیتول اختلاف معنی‌نداری در سطح احتمال پنج درصد وجود نداشت. با توجه به جدول ۸ بیش‌ترین قطر هیپوکوتیل مربوط به رقم ریزوفورت (۱/۴۴میلی‌متر) و کم‌ترین آن مربوط به رقم داخلی پارس (۱/۴۰ میلی‌متر) بود. از نتایج مقایسه میانگین‌ها چنین برمی‌آید که با توجه به جدول ۸ تیمار پرایمینگ شده با سولفات روی حداکثر طول هیپوکوتیل (۰/۹۴ سانتی‌متر) و تیمار شاهد حداقل مقدار طول هیپوکوتیل (۰/۵۳ سانتی‌متر) را در میان سایر تیمارهای پرایمینگ داشتند و درنتیجه اختلاف میان بالاترین تیمار با تیمار شاهد ۵۶/۳۸ درصد برآورد شد. نتایج به‌دست‌آمده از جدول ۸ نشان‌دهنده‌ی افزایش طول هیپوکوتیل در رقم ریزوفورت نسبت به رقم پارس بود. طول برگ در تیمارهای پرایمینگ شده با سولفات روی بیشترین مقدار (۲/۳۰ سانتی‌متر) و در تیمار شاهد (بدون پرایمینگ) کمترین مقدار (۱/۷۰ سانتی‌متر) محاسبه شد. ازاین‌رو اختلاف تیمار سولفات روی با تیمار شاهد ۷۳/۹۱ درصد به دست آمد. عنصر روی برای رشد گیاهان ضروری است و در فرایندهای فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز، تولید هورمون‌های رشد و تشکیل کلروفیل گیاهی دخالت دارد. رقم خارجی تجاری دارای طول برگ بیشتری (۲/۰۳ سانتی‌متر) نسبت به رقم پارس (۲/۰۰ سانتی‌متر) بود. کاربرد ریز مغذی‌ها، به‌ویژه روی، به‌عنوان یک استراتژی امیدوارکننده برای کاهش اثرات نامطلوب تنش شوری بر گیاهان ظاهر شد. این ریزمغذی ضروری نقش حیاتی در رشد و نمو گیاهان دارد (Zewail *et al*. 2020). گزارش شده است که کاهش عملکرد و رشد به دلیل تنش شوری به غلظت بالای یون‌های سدیم نسبت داده می‌شود که مانع جذب سایر مواد مغذی ضروری برای رشد می‌شود (Choudhary *et al*. 2022). مطالعات قبلی گزارش می‌دهند که کاربرد ریزمغذی‌ها نقش مهمی در

فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان، از جمله جذب و انتقال یون دارند (Choudhary *et al*. 2020).

نتیجه‌گیری

بیشترین وزن‌تر و خشک اندام هوایی و ریشه، طول ریشه، طول دم برگ، طول و قطر هیپوکوتیل، طول برگ، درصد و سرعت ظهور گیاهچه در شرایط نرمال و تنش شوری از پرایمینگ سولفات روی حاصل شد. نتایج اثر متقابل پرایمینگ× رقم در شرایط نرمال و تنش شوری نیز از همین روال پیروی نمود. بدین عنوان که در شرایط نرمال و تنش شوری بالاترین صفات از پرایمینگ با سولفات روی در هر رقم حاصل شد. در مجموع استفاده از پرایمینگ با سولفات روی به عنوان یک روش مؤثر برای بهبود ظهور و رشد گیاهچه‌های چغندرقند تحت شرایط تنش شوری می‌تواند به کشاورزان در بهبود عملکرد محصولات خود کمک کند.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از مسؤلین آزمایشگاه‌های دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد برای اجرای این آزمایش کمال تشکر و قدردانی را نمایند.

منابع

References

Adhikari B, Olorunwa OJ, Barickman TC. Seed priming enhances seed germination and morphological traits of *Lactuca sativa* L. under salt stress. Seeds. 2022; 1: 74-86. Doi: https://doi.org/10.3390/seeds1020007

Afzal I, Basra SMA, Farooq M, Nawaz A. Alleviation of salinity stress in spring wheat by hormonal priming with ABA, salicylic acid and ascorbic acid. Internasional Journal of Agriculture and Applied Biology. 2006; 8: 23–28.

Alipour S, Jalilian A, Taghvaei M, Razi H, Kazemini A. Effect of seed hydroprimig and plant density on yield and quality traits of two sugar beet hybrids in late planting. Journal of Sugar Beet. 2019; 35(1): 33-44. Doi: https://doi.org/10.22092/jsb.2019.124847.1210

Choudhary M, Chandra P, Dixit B, Nehra V, Choudhary U, Choudhary S. Plant growth-promoting microbes: role and prospective in amelioration of salt stress. Commun Soil Science Plant Annual. 2022; 53: 1692–711. Doi: https://doi.org/ 10.1080/00103624.2022.2063316.

Choudhary S, Zehra A, Wani KI, Naeem M, Hakeem KR, Aftab T. The role of micronutrients in growth and development: transport and signalling pathways from crosstalk perspective. Plant Micronutrients,

Deficiency and Toxicity Management. 2020; 73–81. Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-49856-6_3

Damalas CA, Koutroubas SD, Fotiadis S. Hydro-priming effects on seed germination and field performance of faba bean in spring sowing. Agriculture. 2019; 9: 201. Doi: https://doi.org/10.3390/agriculture9090201

Deinlein U, Stephan AB, Horie T, Luo W, Xu G. Schroeder JI Plant salt-tolerance mechanisms. Trends Plant Science. 2014; 19: 371–379.

Devireddy AR, Zandalinas SI, Fichman Y, Mittler R. Integration of reactive oxygen species and hormone signaling during abiotic stress. The Plant Journal. 2021; 105(2): 459-476. Doi: https://doi.org/10.1111/tpj.15010

Feizi M, Fallahzade J, Noorshargh P. Sugar beet yield response to different levels of saline irrigation water and leaching in an arid region. Journal Plant Nutrient. 2018; 41: 654–663.

Hamzei J, Shayanfard R, Fotouhi K. 2012. The effects of seed priming on some quantitative and qualitative characteristics of two sugar beet cultivars. Journal of Crop Production and Processing. 2012; 2(6): 155- 164.

Hassan M, Aamer M, Umer Chattha M, Haiying T, Shahzad B, Barbanti L, Nawaz, M, Rasheed A, Afzal A, Liu Y, Guoqin H. The critical role of zinc in plants facing the drought stress. Agriculture. 2020; 10(9): 396. Doi: https://doi.org/10.3390/agriculture10090396

Jahan B, Al Ajmi MF, Rehman MT, Khan NA. Treatment of nitric oxide supplemented with nitrogen and sulfur regulates photosynthetic performance and stomatal behavior in mustard under salt stress. Physiology Plant. 2020; 168: 490–510.

Jamil M, Rha E.S. Gibberllic acid (GA_3) enhance seed water uptake, germination and early seedling growth in sugar beet under salt stress. Pakistan Journal of Biological Sciences. 2007; 10: 654-658.

Jesus JM, Danko AS, Fiuza A, Borges MT. Phytoremediation of salt-affected soils: a review of processes, applicability, and the impact of climate change. Environmental Science and Pollution Research. 2015; 22: 6511–25. Doi: https://doi.org/10.1007/s11356-015-4205-4.

Khoshnejad N, Mir Mahmoodi T. Study effect of seed priming and transplantation on some morphological characteristics, sugar yield and yield components of sugar beet. Iranian Journal of Seed Sciences and Research. 2021; 8(1): 91-102. Doi: https://doi.org/10.22124/jms.2021.5213

Liang W, Ma X, Wan P, Liu L. Plant salt-tolerance mechanism: A review. Biochemical and Biophysical Research Communications. 2018; 495: 286–291.

Maestrini C, Fontana F, Donatelli M, Bellocchini G, Poggiolini S. A frame to model specific leaf area in sugar beet. Proceedings of the 8th ESA Congress, 2004; pp. 301-302.

Maheshwari BL, Grewal HS. Magnetic treatment of irrigation water: its effect on vegetable crop yield and water productivity. Agricultural Water Management. 2009; 96: 1229–1236.

Moliterni VMC, Paris R, Onofri C. Orrù L, Cattivelli L, Pacifico D, Avanzato C, Ferrarini A, Delledonne M, Mandolino G. Early transcriptional changes in Beta vulgaris in response to low temperature. Planta. 2015; 242: 187–201. Doi: https://doi.org/10.1007/s00425-015-2299-z.

Omidi H, Naghdi Badi HA, Jafarzadeh L. Seeds of medicinal plants and crops. Shahed University Press. 2015; pp: 454.

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

Pedram A, Tajbakhsh M, Taleghani D, Ghiasi M. The assessment of seed priming effect on quantitative and qualitative yield of different sugar beet cultivars.Iranian Journal of Seed Sciences and Research. 2017; 4(3): 113-123. DOI. https://doi.org/10.22124/jms.2017.2511

Rudani K, Patel V, Kalavati P. The importance of zinc in plant growth—a review. International Research Journal of Natural and Applied Sciences. 2018; 5(2): 38–48.

Sedghi M, Hadi M, Toluie SG. Effect of nano zinc oxide on the germination parameters of soybean seeds under drought stress. Annales of West University of Timisoara. Series of Biology. 2013; 162: 73.

Ullah A, Farooq M, Rehman A, Hussain M, Siddique KH. Zinc nutrition in chickpea (*Cicer arietinum*): A review. Crop Pasture Science. 2020; 71: 199–218. Doi: https://doi.org/10.1071/CP19357.

Wang N, Wang XR, Qi Q, Iqbal A, Zhang H, Shi J, Dong Q, Xu Q, Liu X, Gui H, Song M, Zhang X, Yan G.. Analysis of the effects of mepiquat chloride priming on the seedling growth-promoting in cotton under salt stress by multi-omics. Industrial Crops and Products. 2022; 186: 115296. Doi: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115296.

Wang N, Wang XR, Zhang HH, Liu X, Shi J, Dong Q, Xu Q, Gui H, Song M, YanG.. Early ABA-stimulated maintenance of Cl- homeostasis by mepiquat chloride priming confers salt tolerance in cotton seeds. The Crop Journal. 2021; 9: 387–99. Doi: https://doi.org/10.1016/j.cj.2020.08.004

Waqas Mazhar M, Ishtiaq M, Maqbool M, Mahmoud EA, Ullah F, Elansary HO. Optimizing bitter gourd (*Momordica charantia* L.) performance: exploring the impact of varied seed priming durations and zinc oxide nanoparticle concentrations on germination, growth, phytochemical attributes, and agronomic outcomes. Cogent Food and Agriculture. 2024; 10(1). Doi: https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2313052

Wu GQ, Lin LY, Jiao Q, Li SJ. Tetraploid exhibits more tolerant to salinity than diploid in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). Acta Physiologiae Plantarum. 2019; 41: 51.

Zafar S, Perveen S, Kamran Khan M, Shaheen MR, Hussain R, Sarwar N, Rashid S, Nafees M, Farid G, Alamri S, Ali Shah A, Javed T, Irfan M, Siddiqui MH.. Effect of zinc nanoparticles seed priming and foliar application on the growth and physio-biochemical indices of spinach (*Spinacia oleracea* L.) under salt stress. PLOS One. 2022; 22: 17(2):e0263194. Doi: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263194

Zewail RMY, El-Gmal IS, Khaitov B, El-Desouky HSA. Micronutrients through foliar application enhance growth, yield and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L). Journal of Plant Nutrition. 2020; 43: 2275–85. Doi: https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1771580.

Zhou WG, Chen F, Zhao SH, Yang C, Meng Y, Shuai H, Luo X, Dai Y, Yin H, Du J, Liu J, Fan G, Liu W, Yang W, Shu K. DA-6 promotes germination and seedling establishment from aged soybean seeds by mediating fatty acid metabolism and glycometabolism. Journal of Experimental Botany. 2019; 70: 101–14. Doi: https://doi.org/10.1093/jxb/ery247