هجدهمین کنگره ملی و چهارمین کنگره بین‌المللی
علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران
18th Iranian National & 4th International Crop Sciences Congress
Ferdowsi University of Mashhad, Iran
Sept. 10 – 12th , 2024
دانشگاه فردوسی مشهد
۲۲ – ۲۰ شهریورماه ۱۴۰۳

# ارزیابی امکان تخفیف تنش یخزدگی در گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) با سیلیکات پتاسیم

**جعفر نباتی۱*، محمدجواد احمدی لاهیجانی۱، نازنین میری۲، حسین متین زاده۲**

۱- استادیار، اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد / ۲- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

*- نویسنده مسئول: Email: jafarnabati@uam.ac.ir

ارائه‌دهنده: جعفر نباتی

**نحوه ارجاع به مقاله:**

نباتی، ج.، احمدی لاهیجانی، م.ج.، میری، ن.، متین‌زاده، ح. (۱۴۰۳). ارزیابی امکان تخفیف تنش یخ زدگی در گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) با سیلیکات پتاسیم. هجدهمین کنگره ملی و چهارمین کنگره بین‌المللی علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران . ۲۰-۲۲ شهریور ۱۴۰۳، دانشگاه فردوسی مشهد.

**چکیده:**

تنش یخزدگی به عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که در سراسر دنیا رشد و میزان محصولات زراعی را محدود می‌کند. غشاء سلولی اولین بخشی از سلول است که تخت تاثیر تنش یخزدگی آسیب می‌بیند و باعث نشت الکترولیت در گیاهان حساس می‌شود و همراه با ایجاد اختلات متابولیسمی دیگر، بقا گیاه را کاهش می‌دهد. سیلیکات پتاسیم دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی است و به‌نظر می‌رسد می‌تواند در کاهش تنش‌ها موثر باشد، به همین منظور در این پژوهش اثر محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم در دو تیمار شاهد و ۰/۵ میلی‌مولار بر تخفیف تنش یخزدگی در چهار سطح (صفر (شاهد)، ۱۲-، ۲۰- و ۲۵- درجه سانتی‌گراد) بر گیاه جو در دو زمان (دو ساعت و پنج ساعت) بررسی شد. سپس میزان نشت الکترولیت در برگ، طوقه و ریشه، میزان بقا و وزن خشک اندام هوایی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که اثر تنش دمایی بر همه صفات مورد بررسی معنی‌دار بود و اثر تیمار محلول‌پاشی سلیکات پتاسیم نیز بر بقا و نشت الکترولیت طوقه معنی‌دار بود، اما تیمار زمان بر هیچ یک از صفات اثر معنی‌داری نداشت. همچنین اثر دما مشخص کرد که با کاهش دما وزن خشک اندام هوایی کاهش یافت و برهمکنش دما در سیلیکات پتاسیم نشان داد که بین بیش‌ترین و کمترین درصد نشت الکترولیت برگ ۴۱۷ برابر اختلاف وجود داشت. صفات بقای گیاهچه، نشت الکترولیت طوقه و برگ در تیمارهای مختلف در بررسی برهمکنش اثرات سه گانه تفاوت معنی‌داری نشان دادند؛ بنابراین به نظر کاربرد سیلیکات پتاسیم برای کاهش خسارت سرمازدگی می‌تواند موثر باشد.

**مقدمه و بیان مسئله:**

دما به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی در توزیع و پراکنش گیاهان مطرح است. از طرف دیگر در بین تنش‌های غیرزنده، تنش دمایی بر سبز شدن، استقرارگیاهچه، رشد و نمو و درنهایت میزان عملکرد محصولات زراعی تاثیرگذار است و در پی تنش‌های شدید، اختلالاتی در فرآیندهای سلولی گیاه ایجاد می‌شود و با عبور از آستانه تحمل، اختلالات فیزیولوژیکی، سلولی، متابولیکی و مولکولی منجر به مرگ گیاه خواهد شد. درک نحوه خسارت تنش سرما بر فرآیندهای فیزیولوژیکی در گیاهان اهمیت دارد تا از آن‌ها به عنوان شاخصی برای تعیین میزان تحمل به تنش سرما در گیاهان استفاده می‌شود. تنش سرما با اختلال در کارکرد پروتئین‌ها به‌عنوان جزء حیاتی غشا، سبب نشت مواد درون سلول به بیرون می‌شود (Kaplan et. al., 2004). همچنین ارزیابی بقا در گیاهانی که تحت تنش یخزدگی قرار گرفتند نیز به عنوان روشی برای ارزیابی گیاهان استفاده شده و در تعیین میزان تحمل به یخزدگی موثر است (Behi et. al., 2013). مطالعات متعددی تاثیر مثبت سیلیسیم در تخفیف تنش‌های اکسیداتیو ناشی از تنش‌های غیرزیستی را نشان می‌دهند. سیلیسیم یک عنصر مطلوب ولی غیر ضروری برای گیاهان است که ثابت شده بر رشد و نمو برخی گونه‌ها خصوصاً غلات موثر است و باعث مقاومت در برابر خشکی، دمای پایین، کمبود عناصر غذایی و شوری می‌شود (Liu et. al., 2014).

میزان رشد و عملکرد غلات پاییزه از جمله جو (*Hordeum vulgare* L.) تحت تاثیر تنش دماهای پایین قرار می‌گیرد. با توجه به اهمیت غلات در نظام‌های زراعی در مناطق سرد و تاثیر تنش یخزدگی بر کاهش بقا زمستانه گیاه جو، در این پژوهش تاثیر محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم بر افزایش بقا و کاهش نشت الکترولیت‌ها برای تخفیف تنش یخزدگی مورد بررسی قرار گرفت.

**مواد و روش‌ها:**

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در آبان ماه سال ۱۴۰۲ اجرا شد. برای این منظور بذر گیاه جو رقم جلگه در گلدان‌هایی با حجم یک لیتر کاشته شد و در فضا باز قرار گرفتند. بعد از گذشت ۶۰ روز در مرحله‌ی (۲-۲۴ زادوکس)، محلول‌پاشی با سیلیکات پتاسیم ۰/۵ میلی‌مولار به مدت سه روز انجام و تیمار شاهد با آب مقطر محلول‌پاشی شد. مدت ۲۴ ساعت پس از محلول‌پاشی تیمارهای تنش یخ‌زدگی در چهار دمای صفر، ۱۲-، ۲۰- و ۲۵- درجه سانتی‌گراد در دو زمان ۲ و ۵ ساعت در فریز ترموگرادیان اعمال گردید. به‌منظور ایجاد هستک یخ در گیاه و اجتناب از بروز پدیده فرا سرما، در دمای ۳- درجه سانتی‌گراد، پاشش باکتری‌های ایجادکننده هستک یخ (Ice Nucleation Active Bacteria) روی گیاه انجام شد. به‌منظور ایجاد تعادل در دمای محیط، گیاهچه‌ها پس از اعمال تنش به مدت یک شب در اتاقک سرد با دمای ۲±۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. سپس نشت الکترولیت ریشه، برگ و طوقه اندازه‌گیری شد. درنهایت گلدان‌ها به گلخانه با شرایط رطوبت نسبی ۶۰ درصد ، طول روز ۱۴ ساعت و دمای ۵±۲۵ درجه سانتی‌گراد منتقل و بعد از چهار هفته بقای گیاهچه‌ها و وزن خشک اندام هوایی اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها و انجام محاسبات با نرم‌افزار Minitab17 و مقایسه میانگین به روش حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد انجام شد.

**نتایج و بحث:**

نتایج نشان داد که دما بر همه صفات مورد بررسی تاثیر معنی‌داری داشت. تیمار سیلیکات پتاسیم بر بقای گیاهچه‌ها و نشت الکترولیت طوقه تاثیر معنی‌داری داشت. برهمکنش تیمار دما در سیلیکات پتاسیم بر بقای گیاهچه‌ها و نشت الکترولیت برگ تاثیر معنی‌داری داشت. برهمکنش دما در زمان تاثیر معنی‌دار بر نشت الکترولیت طوقه داشت و سیلیکات پتاسیم در زمان بر بقای گیاهچه و نشت الکترولیت ریشه تاثیر معنی‌داری داشت. برهمکنش دما در سیلیکات پتاسیم در زمان بر بقای گیاهچه و نشت الکترولیت طوقه و نشت الکترولیت ریشه معنی‌داری بود (جدول ۱).

مقایسه میانگین تیمارهای دمایی نشان داد که بیشترین وزن خشک اندام هوایی در دماهای بالاتر به‌دست (جدول ۲). مقایسه میانگین برهمکنش دما و سیلیکات پتاسیم نشان داد که کمترین نشت الکترولیت برگ مربوط به دماهای صفر و ۱۲- درجه سانتی‌گراد بود (جدول ۳). گزارش شده است که فراهمی یک میلی‌مولار سیلیکات پتاسیم باعث افزایش پایداری غشاء سلول‌های برگ جو در شرایط تنش شوری می‌شود (El-khawaga, 2018) و همچنین سایر پژوهشگران گزارش کردند که محلول‌پاشی با سیلیکات پتاسیم به کاهش اثرات تنش سرما در بادمجان (*Solanum melongena* L.) کمک می‌کند (Doaa et. Al., 2023). برهمکنش دما در سیلیکات پتاسیم در زمان نشان داد که در دماهای کمتر از ۲۰- درجه سانتی‌گراد هیچ گیاهچه‌ای قادر به بقا نبود. همچنین بیش‌ترین میزان نشت طوقه و ریشه مربوط به دمای ۲۰- و ۲۵- درجه سانتی‌گراد بود (جدول ۴). باتوجه به نتایج مقایسه میانگین برهمکنش اثرات سه گانه به نظر می‌رسد دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد می‌تواند به‌عنوان حد آستانه تحمل گیاه در نظر گرفته شود که با گذر از این دما میزان خسارت به غشا و در کل به گیاه به حدی است که گیاه قادر به بقا نخواهد بود. نتایج مشابه‌ای توسط سایر پژوهشگران گزارش شده است (Plazek & Zur , 2003).

**جدول ۱ - تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تخفیف‌دهنده سیلیکات پتاسیم بر تنش یخ‌زدگی در دو بازه زمانی در گیاه جو**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | بقا | نشت‌الکترولیت طوقه | نشت‌الکترولیت برگ | نشت الکترولیت ریشه | وزن خشک اندام هوایی |
|---|---|---|---|---|---|---|
| دما | ۳ | ۲۷۰۳۶$^{**}$ | ۲۲۸۲$^{**}$ | ۱۴۶۱۸$^{**}$ | ۲۸۷۴$^{**}$ | ۰/۳۱۳$^{**}$ |
| سیلیکات پتاسیم | ۱ | ۵۵۴$^{**}$ | ۱۷۰$^{*}$ | ۵/۷۰$^{ns}$ | ۹/۹۷$^{ns}$ | ۰/۰۰۰$^{ns}$ |
| زمان | ۱ | ۰/۱۰۰$^{ns}$ | ۱۴۹$^{ns}$ | ۳۵/۴$^{ns}$ | ۱۱۷$^{ns}$ | ۰/۰۰۹$^{ns}$ |
| دما×سیلیکات پتاسیم | ۳ | ۲۳۲$^{**}$ | ۹۳$^{ns}$ | ۲۲۶$^{*}$ | ۱۹۶$^{ns}$ | ۰/۰۰۱$^{ns}$ |
| دما×زمان | ۳ | ۱۸/۴$^{ns}$ | ۳۰۸$^{**}$ | ۷۱/۲$^{ns}$ | ۱۹۷$^{ns}$ | ۰/۰۰۲$^{ns}$ |
| سیلیکات پتاسیم×زمان | ۱ | ۲۱۲$^{**}$ | ۷۰$^{ns}$ | ۵/۰۰$^{ns}$ | ۹۱۸$^{**}$ | ۰/۰۰۲$^{ns}$ |
| دما×سیلیکات‌پتاسیم×زمان | ۳ | ۷۲/۲$^{**}$ | ۱۹۶$^{**}$ | ۱۳۸$^{ns}$ | ۱۰۱۰$^{**}$ | ۰/۰۰۸$^{ns}$ |
| خطا | ۳۲ | ۷/۸ | ۳۷/۲ | ۷۱/۵ | ۹۷/۴۲ | ۰/۰۰۴ |

ns, $^{*}$, $^{**}$به ترتیب عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد.

**جدول ۲- اثر دماهای یخ‌زدگی و تخفیف دهنده سیلیکات پتاسیم در دو بازه زمانی بر وزن خشک اندام هوایی گیاه جو**

| دما (درجه سانتی‌گراد) | وزن خشک اندام هوایی (گرم در بوته) |
|---|---|
| ۰ | ۰/۳۰۷$^{a}$ |
| -۱۲ | ۰/۳۷۰$^{a}$ |
| -۲۰ | ۰/۰۵۷$^{b}$ |
| -۲۵ | ۰/۰۶۸$^{b}$ |

حروف مشابه در هر ستون در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار با هم تفاوت معنی داری ندارند.

**جدول ۳- برهمکنش یخزدگی و سیلیکات پتاسیم بر نشت الکترولیت برگ گیاه جو**

| دما (درجه سانتی‌گراد) | سیلیکات پتاسیم (میلی مولار) | نشت الکترولیت برگ (٪) |
|---|---|---|
| ۰ | ۰ | ۱۵/۳$^{b}$ |
| ۰ | ۰/۵ | ۱۸/۱$^{b}$ |
| -۱۲ | ۰ | ۲۹/۲$^{b}$ |
| -۱۲ | ۰/۵ | ۲۱/۵$^{b}$ |
| -۲۰ | ۰ | ۷۵/۱$^{a}$ |
| -۲۰ | ۰/۵ | ۸۷/۰$^{a}$ |
| -۲۵ | ۰ | ۸۳/۵$^{a}$ |
| -۲۵ | ۰/۵ | ۷۹/۲$^{a}$ |

حروف مشابه در هر ستون در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار با هم تفاوت معنی داری ندارند.

**جدول ۴- برهمکنش یخزدگی، سیلیکات پتاسیم و زمان بر صفات مختلف گیاه جو**

| دما (درجه سانتی‌گراد) | سیلیکات پتاسیم (میلی‌مولار) | زمان (ساعت) | بقا (درصد) | نشت الکترولیت‌طوقه (٪) | نشت الکترولیت ریشه (٪) |
|---|---|---|---|---|---|
| ۰ | ۰ | ۲ | ۸۱/۷$^{bc}$ | ۵۱/۸$^{d-f}$ | ۵۶/۰$^{a-d}$ |
| ۰ | ۰ | ۵ | ۶۹/۳$^{d}$ | ۵۵/۹$^{b-f}$ | ۵۶/۲$^{a-d}$ |
| ۰ | ۰/۵ | ۲ | ۹۰/۹$^{a}$ | ۵۰/۳$^{ef}$ | ۳۴/۲$^{cd}$ |
| ۰ | ۰/۵ | ۵ | ۹۷/۰$^{a}$ | ۴۶/۱$^{f}$ | ۶۱/۲$^{a-c}$ |
| -۱۲ | ۰ | ۲ | ۷۷/۶$^{cd}$ | ۴۸/۰$^{f}$ | ۶۰/۲$^{a-c}$ |
| -۱۲ | ۰ | ۵ | ۷۲/۹$^{cd}$ | ۵۴/۲$^{c-f}$ | ۲۵/۷$^{d}$ |
| -۱۲ | ۰/۵ | ۲ | ۷۸/۷$^{c}$ | ۲۴/۷$^{g}$ | ۳۷/۹$^{b-d}$ |
| -۱۲ | ۰/۵ | ۵ | ۸۹/۲$^{ab}$ | ۵۵/۸$^{b-f}$ | ۶۸/۵$^{ab}$ |
| -۲۰ | ۰ | ۲ | ۰$^{e}$ | ۷۱/۳$^{a-c}$ | ۷۷/۹$^{a}$ |
| -۲۰ | ۰ | ۵ | ۰$^{e}$ | ۷۲/۱$^{a-c}$ | ۷۶/۳$^{a}$ |
| -۲۰ | ۰/۵ | ۲ | ۰$^{e}$ | ۷۶/۰$^{a}$ | ۸۰/۱$^{a}$ |
| -۲۰ | ۰/۵ | ۵ | ۰$^{e}$ | ۶۸/۶$^{a-e}$ | ۷۲/۹$^{a}$ |
| -۲۵ | ۰ | ۲ | ۰$^{e}$ | ۷۴/۸$^{ab}$ | ۷۲/۲$^{a}$ |
| -۲۵ | ۰ | ۵ | ۰$^{e}$ | ۶۸/۲$^{a-e}$ | ۸۵/۷$^{a}$ |
| -۲۵ | ۰/۵ | ۲ | ۰$^{e}$ | ۷۰/۰$^{a-d}$ | ۷۵/۵$^{a}$ |
| -۲۵ | ۰/۵ | ۵ | ۰$^{e}$ | ۷۴/۵$^{ab}$ | ۷۲/۷$^{a}$ |

حروف مشابه در هر ستون در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار با هم تفاوت معنی داری ندارند.

**مهمترین یافته‌ها:**

۱- سیلیکات پتاسیم تا آستانه تحمل دمایی گیاه به دما موجب تخفیف اثرات تنش شد.

۲- دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد می‌تواند به عنوان آستانه تحمل گیاه جو در این آزمایش در نظر گرفته شود.

۳- افزایش مدت تنش سبب افزایش خسارت تنش یخزدگی شد.

**واژگان کلیدی:** بقای گیاهچه‌ها، سرما، سیلیکات پتاسیم، مدت تنش، نشت الکترولیت، وزن خشک اندام هوایی

**Abstract**

Forest stress is one of the most important abiotic stresses that limits the growth and quantity of crops all over the world. The cell membrane is the first part of the cell that is damaged under the impact of freezing stress, causing electrolyte leakage in sensitive plants and reducing plant survival along with other metabolic disorders. Potassium silicate has antioxidant properties and seems to be effective in reducing stress. Therefore, in this study the effect of potassium silicate foliar spraying in two treatments, control and 0.5 mM, on reducing the stress of forest stress at four levels (zero (control), -12, -20 and -25 degrees Celsius) on barley plants at two times (2 and 5 hours) were investigated. Then, the amount of electrolyte

leakage in the leaf, crown and root, the survival rate and the dry weight of the shoot were measured. The results showed that the effect of temperature treatments on all investigated traits was significant, and the effect of potassium silicate foliar spraying on the survival and electrolyte leakage of crown was significant, but time treatment had no significant effect on any of the traits. Furthermore, the simple effect of temperature determined that the dry weight of shoot decreased with the decrease in temperature and The interaction of temperature in potassium silicate showed that there was a 417-fold difference between the maximum and minimum percentage of electrolyte leakage of leaf. Seedling survival traits, electrolyte leakage of crown and leaf in different treatments showed significant differences in the interaction of triple effects. Aditionally, it seems that the use of potassium silicate can be effective in reducing forest stress.

**Key words:** Cold, Electrolyte leakage, Potassium silicate, Seedling survival, Shoot dry weight, Stress duration.

**منابع:**

Behi, M., Sefalian, A., Shekarpour, M., Asghari, A., Khomari, S., & Firozi, B. (2013), evaluation of the relationship between resistance to freezing with markers of storage proteins and some traits Physiology in barley (*Hordeum vulgare* L.), *Breeding of Agricultural and Garden Plants*, 1(1), 1-10. DOI: 10.1093/jxb/ert158

Doaa, A.M., Gad Ghada, U.M., Radwan Mohamed., & A.A. Abdrabbo. (2023). Effect of spraying with potassium silicate and phosphorus fertilizer levels on growth, yield, and fruit quality of eggplant plants under low temperatures stress. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 213-223. DOI: 10.21608/ejar.2023.189007.1326

*Hend* A. El-khawaga. (2018). Effect of silica on physiological and ultrastrstructure characters in barley (*Hordeum vulgare* L.) plant under salt stress. *Al Azhar Bulletin of Science*, 29(1), pp.1-17. DOI: https://doi.org/10.21608/absb.2018.33754

*Kaplan*, F., Kopka, J., Haskell, D.W., Zhao, W., Schiller, K.C., Gatzke, N., Sung, D.Y. & Guy, C.L. (2004). Exploring the temperature-stress metabolome of Arabidopsis, *Plant Physiology*, 136, 4159–4168. doi: 10.1104/pp.104.052142

Liu, P., Yin, L., Deng, X., Wang, S., Tanaka, K., & Zhang, S. (2014). Aquaporin-mediated increase in root hydraulic conductance is involved in Siinduced improved root water uptake under osmotic stress in *Sorghum bicolor* L. *Journal of Experimental Botany*, 65, 4747– 4756. DOI: 10.1093/jxb/eru220

Plazek, *A.*, & Zur I., (2003). Cold-induced plant resistance to necrotropic pathogens and antioxidant enzyme activities and cell membrane permeability. *Plant Science*, 164, pp. 1019-1028. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(03)00089-X