Islamic Azad University
Gorgan Branch

Journal of Seed Research

ISSN (Print): 2383-2665
ISSN (Online): 2252-0961

Effect of spermidine on cold tolerance of cucumber seeds in completing germination stage

Mohammad Solaimani[1], Mostafa Mobli[2], Ali-Akbar Ramin[3], Leila Aslani[4*]

[1] Former M.Sc. student of Horticulture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, Email: mohammadsolimani110@gmail.com
[2] Professor of Horticulture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, Email: mobli@iut.ac.ir
[3] Professor of Horticulture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, Email: aa-ramin@iut.ac.ir
[4] Former Ph.D. Student of Horticulture, Isfahan University of Technology. Isfahan, Iran, Email: leilaaslani40@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2022-12-1
Revised: 2022-12-13
Accepted: 2022-12-30

Keywords:
Chilling injury
Cucumber
Polyamine
Stress

ABSTRACT

To investigate the effect of spermidine on the cold tolerance of cucumber cultivar 'Rashid' in completing germination stage, an experiment was conducted using a completely randomized design with 4 replications and 4 treatments consist of different concentrations of spermidine (0, 0.1, 0.5 and 1 mM) in Incubator of College of Agriculture, Isfahan University of Technology. So seeds were exposed to 20°C for two days and then treated with spermidine, the remaining 13 days they were kept at 15, 13, 11 or 9°C. To compare the effects of temperature and its interactions with the hormone, data of four experiments analyzed as a split-plot experiment (four different temperatures as four main plots and four spermidine concentrations as four subplots). At the end of each experiment characteristics consist of length of shoot and root, fresh and dry weight of shoot and root and ion leakage of shoot and root were measured. The findings of this study showed that the application of spermidine in low concentrations was more effective than high concentrations for controlling chilling injury. Also in most cases, concentrations of more than 0.5 mM spermidine demonstrated inhibitory effect on measured characteristics. By reducing the temperature in this stage, most of the growth characteristics reduced, significantly. Significant interactions between hormone concentrations and temperatures were observed on shoot and root length, and root fresh weight. Overall, 0.5 mM spermidine is recommended to reduce the negative effects of chilling injury on the germination of cucumber seeds.

Cite this article: Solaimani, M., Mobli, M., Ramin, A.A., Aslani, L. (2022). Effect of spermidine on cold tolerance of cucumber seeds in completing germination stage. *Journal of Seed Research*, 12(4), 73-86.

©The author(s)
Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch
Doi: 10.30495/jsr.2023.1991321.1260

نشریه تحقیقات بذر
شاپا چاپی: ۲۶۶۵-۲۳۸۳
شاپا الکترونیکی: ۰۹۶۱-۲۳۵۲
دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان

اثر اسپرمیدین بر تحمل به سرمای بذور خیار در مرحله تکمیل جوانه‌زنی

محمد سلیمانی[۱]، مصطفی مبلی[۲]، علی اکبر رامین[۳]، لیلا اصلانی[٤*]

[۱] دانشجوی سابق کارشناسی ارشد علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، رایانامه: mohammadsolimani110@gmail.com
[۲] استاد علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، رایانامه: mobli@iut.ac.ir
[۳] استاد علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، رایانامه: aa-ramin@iut.ac.ir
[٤] دانشجوی سابق دکترا علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، رایانامه: leilaaslani40@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۱/۹/۱۰
تاریخ بازنگری: ۱٤۰۱/۹/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۱/۱۰/۹

واژه‌های کلیدی:
پلی آمین
تنش
خیار
سرمازدگی

چکیده

به منظور بررسی اثر اسپرمیدین بر تحمل به سرمای بذور خیار رقم 'رشید' در مرحله تکمیل جوانه‌زنی، آزمایش کرت‌های خرد شده در قالب طرح کاملا تصادفی با چهار تیمار شامل غلظت‌های صفر، ۰/۱، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اسپرمیدین با چهار تکرار در انکوباتور در دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان به صورت چهار آزمایش مجزا اجرا شد. به این منظور در ابتدا بذرها ۲ روز در دمای ۲۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند تا آبنوشی صورت گیرد و پس از تیمار با هورمون اسپرمیدین (تیمارهای ذکر شده در بالا)، ۱۳ روز در دماهای ۹، ۱۱، ۱۳ یا ۱۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند. برای مقایسه اثر دما و برهمکنش آن با غلظت اسپرمیدین داده‌های چهار آزمایش با همدیگر در یک طرح کرت‌های خرد شده (٤ دمای متفاوت انکوباتور به صورت ٤ کرت اصلی و ٤ غلظت اسپرمیدین به صورت ٤ کرت فرعی) آنالیز آماری شدند. در خلال و پایان هر آزمایش ویژگی‌هایی شامل طول ساقه‌چه و ریشه‌چه، وزن تر و خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه، نشت یونی ساقه‌چه و ریشه‌چه اندازه‌گیری شد. یافته‌ها نشان داد که کاربرد اسپرمیدین در غلظت‌های پایین موثرتر از غلظت‌های بالا در تعدیل سرمازدگی بود. در اکثر موارد غلظت بیش از ۰/۵ میلی‌مولار اسپرمیدین اثر بازدارنده بر روی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده نشان داد. با کاهش دما در مرحله تکمیل جوانه‌زنی، بیشتر ویژگی‌های رشد اندازه‌گیری شده در اندام هوایی و ریشه به طور معنی‌داری کاهش یافت. برهمکنش هورمون و دما برای ویژگی‌های طول ساقه‌چه و ریشه‌چه و وزن تر ریشه‌چه از نظر آماری معنی‌دار شد، بنابراین اثر غلظت‌های مختلف هورمون بر این ویژگی‌ها تابع دما بود. در مجموع غلظت ۰/۵ میلی‌مولار اسپرمیدین برای کاهش اثرات منفی ناشی از سرمازدگی بر جوانه‌زنی بذور خیار توصیه می‌شود.

استناد: سلیمانی، محمد؛ مبلی، مصطفی؛ رامین، علی اکبر؛ اصلانی، لیلا. (۱٤۰۱). اثر اسپرمیدین بر تحمل به سرمای بذور خیار در مرحله تکمیل جوانه‌زنی. *نشریه تحقیقات بذر*، ۱۲ (٤)، ۸٦-۷۳.

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان
© نویسندگان.
Doi: 10.30495/jsr.2023.1991321.1260

مقدمه

تنش‌های محیطی علت اصلی خسارت به محصولات کشاورزی در سرتاسر جهان هستند که رشد، نمو و قابلیت تولید گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. سرمازدگی یکی از تنش‌های محیطی است، که نتیجه آسیب فیزیولوژیکی دماهای پایین (نه دمای یخ زدن) به بافت گیاهان با منشأ گرمسیری و نیمه گرمسیری می‌باشد (Theocharis *et al*., 2012). در اکثریت قابل توجه گیاهان زمانی که دمای محیط به زیر ۵ تا ۱۵ درجه سلسیوس کاهش یابد، گیاه دچار سرمازدگی می‌شود (Sanchez *et al*., 2014). صدمات ناشی از سرما شامل محدودیت‌های فوری مکانیکی، تغییر فعالیت ماکرومولکول‌ها، کاهش پتانسیل اسمزی در محیط سلولی و تغییرات قابل توجه در دیگر اجزای سلولی است (Xiong *et al*., 2002؛ Lee *et al*., 2002). اولین تغییر ایجاد شده در اثر سرمازدگی تغییر فاز مولکول‌های چربی غشا است. طی تنش سرما، غشای سلولی مورد حمله رادیکال‌های آزاد قرار می‌گیرد که منجر به پراکسیداسیون غشاها و تجمع مالون دی آلدهید و پرولین می‌شود (Dai *et al*., 2012). تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن با اکسیداسیون غشای پلاسمایی و زنجیره انتقال الکترون درون کلروپلاست همراه است (Yin *et al*., 2007).

خیار گیاهی حساس به سرما است و کشت آن در مناطقی با آب و هوای نسبتا گرم صورت می‌گیرد. دمای مناسب رشد و نمو خیار در روز ۲۵-۲۲ و در شب ۱۹-۱۶ درجه سلسیوس است. دمای بالا برای جوانه‌زنی بذر، مراحل رویشی و زایشی لازم است. حداقل دما برای جوانه‌زنی بذر خیار ۱۲ درجه سلسیوس است و برای رشد و نمو گیاه دمای بالای ۲۵ درجه سلسیوس لازم است (Fariduddin *et al*., 2011).

جوانه‌زنی بذور در طی سه مرحله اتفاق می‌افتد، مرحله اول به عنوان آبنوشی و تورم شناخته شده و یک فرایند فیزیکی است، در مرحله دوم یا مرحله تأخیری جذب آب کم می‌شود و همچنان که بذر به سمت تکمیل فرایند جوانه‌زنی پیش می‌رود آنزیم‌ها و غشاها در سلول‌های آبگیری نموده به فعالیت می‌پردازند. مرحله سوم جوانه‌زنی یا مرحله تکمیل جوانه‌زنی با ظهور قابل مشاهده ریشه‌چه همراه است، رشد ریشه‌چه توسط طویل شدن سلول‌ها انجام می‌گیرد که بعدها با رشد ساقه تداوم می‌یابد (Shekari *et al*., 2006).

پلی‌آمین‌ها هیدروکربن‌های خطی با وزن مولکولی کم و زنجیره راست ۱۵-۳ کربنی با دو گروه آمینی انتهایی هستند که در بسیاری از موارد دارای یک یا چند گروه آمینی دیگر می‌باشند (Asnaashari & Zokaei Khosroshahi, 2008). این گروه از تنظیم کننده‌های رشد، مولکول‌های کوچک کاتیونی آلی هستند که تقریبا در همه موجودات زنده یافت می‌شوند و در طیف وسیعی از فرایندهای فیزیولوژیکی از جمله رشد و نمو گیاهان (و جانوران)، تحریک تقسیم سلولی، ساخت DNA و پروتئین‌ها، شکستن خواب غده‌ها، جوانه‌زنی بذور، کنترل ریشه‌زایی، جنین‌زایی، پیری و ریزش بافت‌ها و اندام‌ها، گل انگیزی و نمو اندام‌های زایشی، تشکیل، رشد و رسیدن میوه‌ها ایفای نقش می‌کنند (Rehman *et al*., 2022 a). با قرار گرفتن گیاهان تحت تنش‌های زنده و غیر زنده، مقدار پلی‌آمین‌ها به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد (Amini *et al*., 2021؛Wang *et al*., 2022؛ Wang & Kramer, 1990). گزارش شده که تیمار پلی‌آمین‌ها باعث افزایش معنی‌دار سطح آنتی‌اکسیدان‌ها و کاهش آسیب ناشی از پراکسیداسیون چربی‌های غشای پلاسمی می‌شود (Mostofa *et al*., 2014). پلی‌آمین‌های معمول، شامل پوترسین (دی آمین)، اسپرمیدین (تری آمین) و اسپرمین (تترامین) هستند (Asnaashari &

(Zokaei Khosroshahi, 2008).

گزارش شده است که در گونه‌های گیاهی مختلف، دماهای پایین باعث تجمع پوترسین می‌شود. همچنین گیاهان مختلف از طریق افزایش یکنواخت در میزان اسپرمیدین با دماهای پایین سازگاری پیدا می‌کنند (Rehman *et al*., 2022 b). تحقیقات نشان داده که پیش تیمارهایی که علایم سرمازدگی را کاهش می‌دهند، باعث افزایش سطوح پلی‌آمین می‌شوند. پیش تیمار میوه‌های کدو مسمایی به مدت دو روز در دمای ۱۰ درجه سلسیوس آسیب سرمازدگی در آن‌ها را کاهش داد. این پیش تیمار منجر به افزایش معنی‌دار سطوح اسپرمین و اسپرمیدین شد، ولی سطح پوترسین افزایش نیافت. در میوه‌های شاهد، آسیب سرمازدگی با افزایش پوترسین و کاهش اسپرمیدین و اسپرمین همبستگی داشت. بنابراین می‌توان چنین استنباط نمود که اسپرمیدین و اسپرمین از طریق محافظت از چربی‌های غشا، از آسیب سرمازدگی در کدو جلوگیری می‌کنند (Asnaashari & Zokaei Khosroshahi, 2008). تیمار برون‌زای اسپرمیدین باعث افزایش بیان ژن‌ها و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در دانهال‌های گوجه فرنگی شد (Dai *et al*., 2012). این نتایج حاکی از آن است که کاهش آسیب سرمازدگی به وسیله پلی‌آمین‌ها می‌تواند ناشی از خاصیت آنتی‌اکسیدانی آن‌ها باشد.

بررسی اثر اسپرمیدین را با غلظت‌های ۰، ۰/۱، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار در مراحل آبگیری، جوانه‌زنی بذر و دانهالی بذر نخود نشان داد که به ترتیب غلظت‌های ۱، ۰/۵ و ۰/۱ میلی‌مولار غلظت‌های مؤثر برای کنترل سرمازدگی در سه مرحله مذکور بود. اسپرمیدین با غلظت ۱ میلی‌مولار نشت یونی را کاهش و احیایی تترازولیوم (TTC) را افزایش داد و به عبارت دیگر مانع سرمازدگی شد (Nayyar *et al*., 2004). غلظت ۰/۵ میلی‌مولار اسپرمیدین با کاهش نشت یونی و افزایش قابلیت احیایی TTC، به‌طور نسبی در کاهش سرمازدگی در مرحله جوانه‌زنی مؤثرتر بود (Nayyar *et al*., 2004). پرایم کردن بذرهای برنج با اسپرمیدین، درصد جوانه‌زنی و رشد دانهال برنج را تحت تنش سرما بهبود بخشید و باعث افزایش معنی‌دار فعالیت آلفاآمیلاز، محتوای قندها و پروتئین‌های محلول شد. همچنین تیمار اعمال شده فعالیت آنزیم‌های درگیر در سنتز پلی‌آمین‌ها که در اثر سرما کاهش می‌یابند را بهبود بخشید (Sheteiwy *et al*., 2017؛ Fu *et al*., 2019). همچنین گزارش شده که پرایمینگ بذر برنج با اسپرمیدین باعث افزایش قابل توجه میزان تنفس و سطح ATP در بذر و نهال برنج شد و چنین اثرات مثبتی ممکن است در اثر افزایش گلیکولیز و ترمیم و بیوژنز میتوکندری ایجاد شده باشد (Nie *et al*., 2020). در آزمایشی ریشه دانهال‌های دو برگی خیار را در محیط کشت حاوی ۰/۵ میلی‌مولار اسپرمیدین و سپس به مدت ۸ روز در دمای نسبتا پایین ۱۰- ۷ (روز و شب) قرار دادند. نتایج به دست آمده نشان داد که گیاهان قرار گرفته در محلول اسپرمیدین سرعت رشد و کلروفیل بیشتری نسبت به گیاهان شاهد در طول دوره سرما و پس از انتقال به دمای بالا (۲۸/۲۲) داشتند (He *et al*., 2002). اسپری کردن اسپرمیدین ۰/۵ میلی‌مولار بر روی خیار در مرحله دو برگ حقیقی موثرترین غلظت در بین غلظت‌های ۰، ۰/۰۱، ۰/۱، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اسپرمیدن در کنترل سرمازدگی بود (Laloi *et al*., 2004).

با توجه به اثرات گزارش شده پلی آمین‌ها در کاهش خسارت سرمازدگی، هدف از این پژوهش مطالعه تأثیر اسپرمیدین بر افزایش تحمل به سرما در مرحله تکمیل جوانه‌زنی بذور خیار بود.

مواد و روش‌ها

هدف از این تحقیق بررسی تأثیر غلظت‌های صفر (شاهد)، ۰/۱، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اسپرمیدین بر افزایش تحمل به سرما در مرحله تکمیل جوانه‌زنی بذر خیار مزرعه‌ای رقم 'رشید' (تولید شرکت Petoseed) بود و در چهار آزمایش مجزا (هر دما یک بار) در انکوباتور در دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان در قالب طرح کاملا تصادفی با ٤ تکرار انجام شد.

آزمایش اول: به این منظور ۱۰ عدد پتری دیش ۹ سانتی‌متری به مدت ٤٨ ساعت در دمای ۸۰ درجه سلسیوس ضدعفونی شد و داخل هر یک از آن‌ها و بر روی کاغذ صافی، ۵۰ عدد بذر خیار رقم 'رشید' قرار داده و به هر پتری‌دیش ۸ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. پتری‌ها به مدت ٤٨ ساعت درون انکوباتور با دمای ۲۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند تا طول ریشه‌چه بذور به حدود ۵ میلی‌متر برسد. سپس بذور با جوانه‌زنی یکنواخت (طول ریشه‌چه حدود ۵ میلی‌متر) جدا و درون ١٦ پتری‌دیش استریل، قرار داده شد، به طوری که درون هر پتری ۲۵ عدد بذر قرار گرفت. در مرحله آخر ۸ میلی‌لیتر از محلول اسپرمیدین مربوط به همان تیمار به آن‌ها اضافه شد و پتری دیش‌ها به مدت ۱۳ روز درون انکوباتور با دمای ۱۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند.

آزمایش دوم: تمام مراحل انجام این آزمایش مانند آزمایش اول انجام شد با این تفاوت که پس از ٤٨ ساعت دریافت دمای ۲۰ درجه سلسیوس برای آبگیری و جوانه‌زنی، بذور با جوانه‌زنی یکنواخت جدا و درون ١٦ پتری‌دیش استریل، قرار داده شد و ۸ میلی‌لیتر از محلول اسپرمیدین مربوط به همان تیمار (همان غلظت) به آن‌ها اضافه شد سپس بذرها به مدت ۱۳ روز به دمای ۱۳ درجه سلسیوس منتقل شدند.

آزمایش سوم: تمام مراحل انجام این آزمایش مانند آزمایش اول انجام شد با این تفاوت که پس از ٤٨ ساعت دریافت دمای ۲۰ درجه سلسیوس برای آبگیری و جوانه‌زنی، بذور با جوانه‌زنی یکنواخت جدا و درون ١٦ پتری‌دیش استریل، قرار داده شد و ۸ میلی‌لیتر از محلول اسپرمیدین مربوط به همان تیمار (همان غلظت) به آن‌ها اضافه شد سپس بذرها به مدت ۱۳ روز به دمای ۱۱ درجه سلسیوس منتقل شدند.

آزمایش چهارم: تمام مراحل انجام این آزمایش مانند آزمایش اول انجام شد با این تفاوت که پس از ٤٨ ساعت دریافت دمای ۲۰ درجه سلسیوس برای آبگیری و جوانه‌زنی بذور با جوانه‌زنی یکنواخت جدا و درون ١٦ پتری‌دیش استریل، قرار داده شد و ۸ میلی‌لیتر از محلول اسپرمیدین مربوط به همان تیمار به آن‌ها اضافه شد سپس بذرها به مدت ۱۳ روز به دمای ۹ درجه سلسیوس منتقل شدند.

ویژگی‌های اندازه‌گیری شده

طول ساقه‌چه و ریشه‌چه: طول ساقه‌چه‌ها در انتهای هر آزمایش از ناحیه طوقه تا محل خروج برگ‌های لپه‌ای و طول ریشه‌چه‌ها از ناحیه طوقه تا انتهای ریشه‌چه بر حسب میلی‌متر اندازه‌گیری شد.

وزن تر ساقه‌چه و ریشه‌چه: ساقه‌چه‌ها و ریشه‌چه‌های جدا شده و با حوله کاغذی خشک و وزن‌تر آن‌ها به طور جداگانه با استفاده از ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد.

نشت یونی: اندازه‌گیری نشست یونی بر اساس روش لوتوس و همکاران انجام شد (Lutts *et al*., 1996). بدین ترتیب که نمونه یک گرمی از بافت ساقه‌چه و ریشه‌چه، سه بار توسط آب دیونیزه شسته شد. سپس نمونه‌ها را درون لوله آزمایش قرار داده و ۱۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه به هر یک از آن‌ها اضافه شد و به مدت ٢٤ ساعت در دمای اتاق (۲۰ درجه سلسیوس) بر روی شیکر قرار گرفتند. میزان هدایت الکتریکی

محلول (Lt) توسط دستگاه ای-سی متر (ساخت کشور لهستان مدل: CC-501) اندازه‌گیری شد. برای کشتن بافت، ظروف حاوی نمونه به مدت یک ساعت درون اتوکلاو با دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس قرار گرفت و هم زمان با هم دما شدن نمونه‌ها با دمای اتاق، مجددا هدایت الکتریکی آن‌ها اندازه‌گیری شد (Lo). در نهایت درصد نشست یونی از رابطه زیر به دست آمد:

درصد نشست یون = [Lt / Lo] × 100

تجزیه تحلیل آماری

برای بررسی اثر اسپرمیدین در هر دما، داده‌های مربوط به هر دما (آزمایش) جداگانه تجزیه واریانس شدند، همچنین برای بررسی اثر متقابل دما و اسپرمیدین بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده، داده‌ها بر اساس آزمایش طرح کرت‌های خرد شده (٤ دمای متفاوت انکوباتور به صورت ٤ کرت اصلی و ٤ غلظت اسپرمیدین به صورت ٤ کرت فرعی) آنالیز آماری شد.

تجزیه واریانس داده‌ها و محاسبه همبستگی بین صفات با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) انجام و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون کم‌ترین اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵٪ با استفاده از نرم‌افزار MSTATC انجام شد.

نتایج

آزمایش اول: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر غلظت‌های متفاوت اسپرمیدین بر طول ریشه‌چه و وزن تر ریشه‌چه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱).

جدول ۱: تجزیه واریانس داده‌های مربوط به تأثیر تیمارهای مختلف اسپرمیدین برفاکتورهای اندازه گیری شده خیار رقم 'رشید' در مرحله تکمیل جوانه زنی.

شماره آزمایش	منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
			طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	وزن ترساقه‌چه	وزن تر ریشه‌چه	نشت یونی ساقه‌چه	نشت یونی ریشه‌چه
آزمایش اول	تیمار	۳	۲۲/٦۷ns	۸۹۰/٥٦**	۰/۹٦ns	۲/۹٤**	٥۳/۸ns	۱۰/۹٦ns
	خطا	۱۲	٦/۸٦	۷۹/٦۹	۱/۱۲	۰/۲۷	۱٤/۲	۱۱/٦۲
	CV		۱۷/۸۸	۱٦/۹	۱۹/۲۳	۲۳/۱۱	۳/۹۸	۳/٥۹
آزمایش دوم	تیمار	۳	٥/۳٥**	۳٥۰/٤**	۱/٤٥**	۰/۰۱۷ns	٤۳/٤٥ns	۳۸/۹۲ns
	خطا	۱۲	۰/۸۷	۱٤/۳۱	۰/۱۲۳	۰/۰۷٦	۱٦/۷۸	٤۱/٦۷
	CV		۱۰/۰۷	۱۲	۷/۳٦	۱۸/۱۷	٤/۳	٦/۷۷
آزمایش سوم	تیمار	۳	۳/۷ns	٥٤۸/۷**	۰/۲۳ns	۰/٦۳*	۲۱/۹۸ns	۱٦/٥٦**
	خطا	۱۲	۱/٤٤	۷/۲٦	۰/۱۷	۰/۱۳	۲۷/۲۲	۱/۹٥
	CV		۱۱/۱۷	۷/۲	۸/۲	۱۹/٦۷	٥/۳۷	۱/٤۷
آزمایش چهارم	تیمار	۳	۰/۰۹۸ns	۱٥/۹۸**	۰/۰٤٦**	۰/۰٥٥**	۹/۷۹ns	۸/۱۷ns
	خطا	۱۲	۰/۰۸۹	۰/۸٥۷	۰/۰۰٦	۰/۰۰۷	۲۱	۳/۳۹
	CV		۹/۱۹	٦/۱	۲/۷٤	۹/۱۱	٤/۷٥	۱/۸۹

*، **، ns به ترتیب نشان دهنده معنی‌دار بودن اثر منابع تغییرات در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌دار بودن آن می‌باشد.

مقایسه میانگین داده‌های مربوط به طول ریشه‌چه نشان داد که بین غلظت‌های ۰/۱ و ۰/۵ میلی‌مولار اسپرمیدین و شاهد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. فقط تیمار ۱ میلی‌مولار اسپرمیدین به میزان معنی‌داری طول ریشه‌چه بذور را در مقایسه با شاهد کاهش (۵۵/٦۹ درصد) داد (جدول ۲).

مقایسه میانگین داده‌های مربوط به وزن تر ریشه‌چه نشان داد که اگرچه وزن تر ریشه‌چه در غلظت ۰/۱میلی‌مولار اسپرمیدین مقداری افزایش یافت اما بین تیمارهای ۰/۱ و ۰/۵ میلی‌مولار اسپرمیدین و شاهد از نظر این ویژگی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. غلظت ۱ میلی‌مولار اسپرمیدین وزن تر ریشه‌چه را نسبت به سایر تیمارها به میزان معنی‌داری کاهش (٦۱/۸۳ درصد) داد (جدول ۲).

جدول ۲: اثر غلظت‌های مختلف اسپرمیدین بر ویژگی‌های مربوط به جوانه‌زنی بذر خیار رقم 'رشید' در دماهای مورد آزمایش مرحله تکمیل جوانه‌زنی.

شماره آزمایش	دما در مرحله تکمیل جوانه‌زنی (درجه سلسیوس)	غلظت اسپرمیدین (میلی مولار)	طول‌ساقه‌چه (میلی‌متر)	طول‌ریشه‌چه (میلی‌متر)	وزن ترساقه‌چه (گرم)	وزن تر ریشه‌چه (گرم)
اول	۱۵	۰ (شاهد)	۱۳/٤۱ a	٦۱/۸٦ a	۵/۱ a	۲/٦۲ a
		۰/۱	۱۷/٦۵ a	٦۲/۹۱ a	۵/٤ a	۳ a
		۰/۵	۱٦/۱۸ a	۵۲/٦۸ a	٦/۲ a	۲/٤٦ a
		۱	۱۲/۱۱ a	۲۷/٤ b	۵/۳ a	۱ b
دوم	۱۳	۰ (شاهد)	۹/۹۸ a	۳۸/٤۱ a	٤/۲۸ b	۱/۵ a
		۰/۱	۹/۹۸ a	۳۹/٦٤ a	٤/۷٦ b	۱/۵۷ a
		۰/۵	۹/٦۱ a	۲۸/۳۵ b	۵/٦۱ a	۱/۵٦ a
		۱	۷/۵۷ b	۱۹/٦۹ c	٤/٤ b	۱/٤۳ a
سوم	۱۱	۰ (شاهد)	۹/۷۵ a	٤٤/٤۸ a	٤/۷۷ a	۱/۹۹ a
		۰/۱	۱۱/٤۳ a	٤٦/٤۷ a	۵/۲۳ a	۲/۰۸ a
		۰/۵	۱۱/۷۵ a	۳۸/۰۸ b	۵/۰۳ a	۲/۱۸ a
		۱	۱۰/۱۷ a	۲۰/۷ c	۵/۳۲ a	۱/۳۱ b
چهارم	۹	۰ (شاهد)	۳/۰۲ a	۱٤/٤٦ b	۲/۸۵ c	۱/۰۳ a
		۰/۱	۳/۳٤ a	۱۵/۹ b	۳/۱ a	۰/۹٦ a
		۰/۵	۳/۳٦ a	۱۷/٤۹ a	۳ ab	۱/۰۲ a
		۱	۳/۳ a	۱۲/۸۱ c	۲/۹۱ bc	۰/۷۸ b

در هر ستون و برای هر دما میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

آزمایش دوم: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر غلظت‌های متفاوت اسپرمیدین بر طول ساقه‌چه و ریشه‌چه و وزن تر ریشه‌چه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱).

بین تیمارهای ۰/۱ و ۰/۵ میلی‌مولار اسپرمیدین و شاهد اختلاف معنی‌داری از نظر طول ساقه‌چه وجود نداشت. تیمار ۱ میلی‌مولار اسپرمیدین به میزان معنی‌داری طول ساقه‌چه بذور را کاهش (۲٤/۱٤ درصد در مقایسه با شاهد) داد (جدول ۲). نتایج نشان داد بین غلظت ۰/۱ میلی‌مولار اسپرمیدین با شاهد اختلاف معنی‌داری از نظر ویژگی طول ریشه‌چه وجود نداشت. غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اسپرمیدین طول ریشه‌چه را به میزان معنی‌داری در مقایسه با شاهد و غلظت ۰/۱ میلی‌مولار اسپرمیدین کاهش دادند (جدول ۲).

مقایسه میانگین داده‌های مربوط به وزن تر ساقه‌چه نشان داد غلظت ۰/۵ میلی‌مولار اسپرمیدین وزن تر ساقه‌چه را در مقایسه با شاهد افزایش (۲۷/۵۰ درصد) داد اما غلظت‌های ۰/۱ و ۱ میلی‌مولار اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشتند (جدول ۲).

آزمایش سوم: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر غلظت‌های متفاوت اسپرمیدین بر طول ریشه‌چه و نشت یونی ریشه‌چه در سطح احتمال یک درصد و بر وزن تر ریشه‌چه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱).

غلظت ۰/۱ میلی‌مولار اسپرمیدین تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد از نظر طول ریشه‌چه نداشت در حالی که طول ریشه‌چه در تیمارهای ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اسپرمیدین در مقایسه با شاهد به میزان معنی‌دار کاهش (به ترتیب ۱٤/۳۹ و ٥٤/۸۸ درصد) یافت (جدول ۲).

مقایسه میانگین داده‌های مربوط به وزن تر ریشه‌چه نشان داد غلظت‌های ۰/۱ و ۰/۵ میلی‌مولار اسپرمیدین تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد از نظر طول ریشه‌چه نداشتند اما تیمار ۱ میلی‌مولار اسپرمیدین در مقایسه با شاهد به میزان معنی‌داری وزن تر ریشه‌چه را کاهش (۳٤/۱۷ درصد) داد (جدول ۲).

تیمارهای ۰/۱، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اسپرمیدین بدون داشتن تفاوت معنی‌دار نشت یونی ریشه‌چه را نسبت به شاهد به میزان معنی‌دار کاهش دادند (جدول ۲).

آزمایش چهارم: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر غلظت‌های متفاوت اسپرمیدین بر طول ریشه‌چه، وزن تر ساقه‌چه و وزن تر ریشه‌چه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱).

تیمار ۰/۱ میلی‌مولار اسپرمیدین از نظر طول ریشه‌چه با شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت. اما غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اسپرمیدین با اختلاف معنی‌دار با تیمار شاهد طول ریشه‌چه را به‌ترتیب افزایش (۲۰/۹۵ درصد) و کاهش (۱۱/٤۱ درصد) دادند (جدول ۲).

غلظت‌های ۰/۱ و ۰/۵ میلی‌مولار اسپرمیدین در مقایسه با شاهد موجب افزایش معنی‌دار وزن تر ساقه‌چه شد، در حالی که تیمار بذور خیار با اسپرمیدین ۱ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری با شاهد از نظر این ویژگی نداشت (جدول ۲). بین تیمار صفر، ۰/۱ و ۰/۵ میلی‌مولار اسپرمیدین تفاوت معنی‌داری از نظر وزن تر ریشه‌چه وجود نداشت، در حالی که غلظت ۱ میلی‌مولار اسپرمیدین وزن تر ریشه‌چه را به میزان معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها کاهش (۲۷/۲٤ درصد) داد (جدول ۲).

مقایسه دماها: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر دما بر طول ریشه‌چه و وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه، اثر غلظت‌های متفاوت اسپرمیدین بر طول ساقه‌چه و ریشه‌چه، وزن تر ساقه‌چه و ریشه‌چه و اثر متقابل تیمار اسپرمیدن و دما بر طول ساقه‌چه و ریشه‌چه و وزن تر ریشه‌چه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳).

جدول ٣: تجزیه واریانس اثر دما و اسپرمیدین روی صفات اندازه گیری شده در گیاه خیار رقم 'رشید'.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	وزن ترساقه‌چه	وزن تر ریشه‌چه	نشت یونی ساقه‌چه	نشت یونی ریشه‌چه
دما	٣	٣٦٨/٨**	٣٥٦٧**	١٨/٣٨**	٥/١**	٢١/٠٦ns	١٥/٥ns
خطای دما	١٢	٣/٥٣*	٥٦**	٠/٦٢*	٠/٢*	١٨/٦٨ns	٢٣/٣٧ns
غلظت	٣	١٨/١**	١٤٨٠**	١/٤٥**	١/٩٨**	٤/٩١ns	١٤/١٤ns
دما×غلظت	٩	٥/٥١**	١٧٥/٨**	٠/٤٣ns	٠/٥٥**	٤١/٦٨ns	١٩/٩٧ns
خطای ٢	٣٦	١/٧١	١٣/١٦	٠/٢٧	٠/٠٩	٢٠/١٧	١١/٣٣
CV		١٣/٧٤	١٠/٧٢	١١/٣	١٨/٨٩	٤/٦٨	٣/٥٢

*، **، ns به ترتیب نشان دهنده معنی‌دار بودن اثر منابع تغییرات در سطح احتمال ٥ و ١ درصد و عدم معنی‌دار بودن آن می‌باشد.

طول ساقه‌چه: مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بین دماهای متفاوت اختلاف معنی‌داری از نظر ویژگی طول ساقه‌چه وجود داشت. به طوری که طول ساقه‌چه در دمای ٩ و ١٣ درجه سلسیوس به ترتیب کم‌ترین و بیشترین میزان بود (جدول ٤). غلظت‌های ٠/١ و ٠/٥ میلی‌مولار اسپرمیدین طول ساقه‌چه را به میزان معنی‌داری افزایش (به ترتیب ١٧/٢٦ و ١٢/٨٣ درصد در مقایسه با شاهد) داد. اسپرمیدین ١ میلی‌مولار اثر معنی‌داری بر طول ساقه‌چه در مقایسه با شاهد نداشت (جدول ٤). مقایسه میانگین برهمکنش‌ها نشان داد، در حالی که در مجموع تیمارهای ٠/١ و ٠/٥ میلی‌مولار اسپرمیدین باعث افزایش معنی‌دار طول ساقه‌چه شد اما به دلیل برهمکنش معنی‌دار بین هورمون و دما، هیچ یک از غلظت‌های اسپرمیدین مورد بررسی در دمای ٩ درجه سلسیوس در مقایسه با اثر متقابل سایر دماها و غلظت‌ها موثر نبود (جدول ٤).

جدول ٤: برهمکنش غلظت‌های مختلف اسپرمیدین و دما بر طول ساقه‌چه (میلی‌متر) خیار رقم 'رشید' در مرحله تکمیل جوانه‌زنی.

غلظت اسپرمیدین (میلی مولار)	دما در مرحله تکمیل جوانه‌زنی (درجه سلسیوس)				میانگین
	١٥	١٣	١١	٩	
٠ (شاهد)	١٣/٤ b	١٠ de	٩/٧ e	٣/٠٢ g	٩/٠٤ B
٠/١	١٧/٦ a	١٠ de	١١/٤ cde	٣/٣٤ g	١٠/٦ A
٠/٥	١٦/٢ a	٩/٦ e	١١/٧ bcd	٣/٣٦ g	١٠/٢ A
١	١٢/١ bc	٧/٦ f	١٠/٢ de	٣/٣ g	٨/٣ B
میانگین	١٤/٨ A	٩/٣ C	١٠/٧٨ B	٣/٢٥ D	

میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند در سطح احتمال ٥٪ بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌دار ندارند. حروف کوچک برای مقایسه اثر متقابل و حروف بزرگ برای مقایسه میانگین‌های هر فاکتور (اثرات اصلی) است.

طول ریشه‌چه: طول ریشه‌چه در دمای ٩ و ١٣ درجه سلسیوس به ترتیب کم‌ترین و بیشترین میزان بود (جدول ٥). مقایسه میانگین داده‌های مربوط به غلظت‌های متفاوت اسپرمیدین در مجموع نشان داد که بین تیمار ٠/١ میلی‌مولار اسپرمیدین و شاهد اختلاف معنی‌داری وجود ندارد ولی تیمارهای ٠/٥ و ١ میلی‌مولار اسپرمیدین در مقایسه با شاهد باعث کاهش معنی‌دار (به ترتیب ١٤/٢٠ و ٤٩/٣٧ درصد در مقایسه

با شـاهد) طول ریشه‌چه شدند (جدول ۵). برهمکنش دما و غلظت اسپرمیدین نشان داد که بر خلاف این که در مجموع تیمارهای ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اسـپرمیدین باعث کاهش معنی دار طول ریشـه‌چه شد، این کاهش در دمای ۹ درجه سلسیوس معنی‌دار نبود (جدول ۵).

جدول ۵: برهمکنش غلظت‌های مختلف اسـپرمیدین و دما بر طول ریشـه‌چه (میلی‌متر) خیار رقم 'رشـید' در مرحله تکمیل جوانه‌زنی.

غلظت اسپرمیدین (میلی مولار)	دما در مرحله تکمیل جوانه‌زنی (درجه سلسیوس)				میانگین
	۱۵	۱۳	۱۱	۹	
۰ (شاهد)	٦١/٨٦ a	٣٨/٤ e	٤٤/٤٨ cd	١٤/٤٦ h	٣٩/٨ A
۰/۱	٦٢/٩ a	٣٩/٦٤ de	٤٦/٤٦ c	١٥/٩ gh	٤١/٢٣ A
۰/۵	٥٢/٧ b	٢٨/٣٥ f	٣٨/٠٨ e	١٧/٥ gh	٣٤/١٥ B
۱	٢٧/٤ f	١٩/٧ g	٢٠/٧ g	١٢/٨ h	٢٠/١٥ C
میانگین	٥١/٢١ A	٣١/٥٢ C	٣٧/٤٣ B	١٥/١٧ D	

میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌دار ندارند. حروف کوچک برای مقایسه اثر متقابل و حروف بزرگ برای مقایسه میانگین‌های هر فاکتور (اثرات اصلی) است.

وزن تر سـاقه‌چه: کم‌ترین وزن تر سـاقه‌چه مربوط به دمای ۹ درجه سـلسـیوس بود (جدول ٦). مقایسـه میـانگین داده‌هـای مربوط بـه غلظـت‌هـای متفـاوت اسـپرمیدین نشـان داد که غلظت‌های ۰/۱ و ۰/۵ میلی مولار اسـپرمیدین در مقایسـه با شاهد وزن تر ساقه‌چه را افزایش (به ترتیب ۹/٦۰ و ١٦/٨٦ درصد در مقایسه بـا شـاهد) داد، اما غلظت ۱ میلی‌مولار اثر معنی‌داری نسبت به شاهد نداشت (جدول ٦).

جدول ٦: اثر دما و غلظت‌های مختلف اسـپرمیدین بر وزن تر سـاقه‌چه، نشـت یونی سـاقه‌چه و ریشه‌چه خیار رقم 'رشید' در مرحله تکمیل جوانه‌زنی.

	تیمار	وزن تر ساقه‌چه (گرم)
دما (درجه سلسیوس)	۹	٣/٠٧ c
	۱۱	٥/٠٨ ab
	۱۳	٤/٧٧ b
	۱۵	٥/٥٢ a
هورمون اسپرمیدین (میلی‌مولار)	۰	٤/٢٧ c
	۰/۱	٤/٦٨ ab
	۰/۵	٤/٩٩ a
	۱	٤/٥ bc

در هر ستون و برای هر فاکتور میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

وزن تر ریشـه‌چه: مقایسه میانگین داده‌های مربوط به وزن تر ریشـه‌چه در دماهای مختلف نشـان داد که به طور کلی با کاهش دما این ویژگی به میزان معنی‌داری کاهش یافت و فقط در دمای ۱۱ درجه سـلسـیوس افزایش وزن تر ریشـه‌چه نسـبت به دمای ۱۳ درجه سـلسـیوس مشـاهده شد (جدول ۷). بین غلظت‌های

۰/۱ و ۰/۵ میلی‌مولار اسپرمیدین و شاهد از نظر وزن تر ریشه‌چه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. غلظت ۱ میلی‌مولار اسپرمیدین وزن تر ریشه‌چه را به میزان معنی‌داری نسبت به شاهد (۳۵/۹۶ درصد) کاهش داد (جدول ۷). مقایسه میانگین برهمکنش دما و غلظت‌های متفاوت اسپرمیدین نشان داد که با این که در مجموع غلظت ۱ میلی‌مولار اسپرمیدین وزن تر ریشه‌چه را کاهش داد، این کاهش در دماهای ۹ و ۱۳ درجه سلسیوس معنی‌دار نبود (جدول ۷).

جدول ۷: برهمکنش غلظت‌های مختلف اسپرمیدین و دما بر وزن تر ریشه‌چه (گرم) خیار رقم 'رشید' در مرحله تکمیل جوانه‌زنی.

غلظت اسپرمیدین (میلی مولار)	دما در مرحله تکمیل جوانه‌زنی (درجه سلسیوس)				میانگین
	۱۵	۱۳	۱۱	۹	
۰ (شاهد)	۲/۶۲ ab	۱/۵ fg	۱/۹۹ de	۱/۰۳ hij	۱/۷۸ A
۰/۱	۳ a	۱/۵۸ ef	۲/۰۸ cd	۰/۹۸ ij	۱/۹۱ A
۰/۵	۲/۴۶ bc	۱/۵۶ ef	۲/۱۸ bcd	۱/۰۳ hij	۱/۸ A
۱	۱/۰۴ g-j	۱/۴۳ fgh	۱/۳ i-f	۰/۷۸ j	۱/۱۴ B
میانگین	۲/۲۸ A	۱/۵۱ C	۱/۹ B	۰/۹۵ D	

میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌دار ندارند. حروف کوچک برای مقایسه اثر متقابل و حروف بزرگ برای مقایسه میانگین‌های هر فاکتور (اثرات اصلی) است.

همبستگی بین ویژگی‌ها: همبستگی بین ویژگی‌های مورد بررسی در گیاه خیار رقم 'رشید' نشان داد (جدول ۸) که طول ساقه‌چه با طول ریشه‌چه، وزن تر ساقه‌چه و وزن تر ریشه‌چه همبستگی مثبت و معنی‌دار دارد. همچنین طول ریشه‌چه با وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه همبستگی مثبت معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ دارد. همچنین همبستگی مثبت و معنی‌داری بین وزن تر ساقه‌چه با وزن تر ریشه‌چه در سطح احتمال ۱٪ و همبستگی منفی معنی‌داری بین وزن تر ساقه‌چه و نشت یونی ریشه‌چه در سطح احتمال ۵٪ مشاهده شد (جدول ۸).

جدول ۸: ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در خیار رقم 'رشید' در مرحله تکمیل جوانه‌زنی.

	نشت یونی ریشه‌چه	نشت یونی ساقه‌چه	وزن تر ریشه‌چه	وزن تر ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	طول ساقه‌چه
طول ساقه‌چه	-۰/۴۴	-۰/۲۲۹	۰/۸۵**	۰/۹**	۰/۸۷**	۱
طول ریشه‌چه	-۰/۳۹	-۰/۲۴	۰/۹۴**	۰/۶۹**	۱	
وزن تر ساقه‌چه	-۰/۵۷*	-۰/۱۳	۰/۶۹**	۱		
وزن تر ریشه‌چه	-۰/۳	-۰/۲	۱			
نشت یونی ساقه‌چه	۰/۴۲	۱				
نشت یونی ریشه‌چه	۱					

ns، ** و * به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۱ و ۵٪ را نشان می‌دهد.

بحث

مطالعه ویژگی‌های مورفولوژیک و رشد ابزار گسترده‌ای برای توصیف رشد گیاهان است. از آنجایی که رشد اولیه مناسب و کافی برای رشد و فعالیت‌های فیزیولوژیک گیاه در مراحل بعدی ضروری است، مطالعه ویژگی‌های رشد بذور جوانه زده بسیار حائز

اهمیت است. بر اساس نتایج به دست آمده غلظت‌های ۰/۱ و ۰/۵ میلی‌مولار اسپرمیدین طول ساقه‌چه و وزن تر ساقه‌چه را به میزان معنی‌داری افزایش داد (به ترتیب جداول ٤ و٦). گزارش شده که بیشترین رشد شاخساره در بذور نخود تحت تنش سرما مربوط به غلظت ۰/۵ میلی‌مولار اسپرمیدین بود (Nayyar *et al*., 2004) که با نتایج پژوهش حاضر همسو است. اسپرمیدین ۱ میلی‌مولار طول ساقه‌چه را در مرحله تکمیل جوانه‌زنی در دمای ۱۳ درجه سلسیوس کاهش داد اما در سایر دماها تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت (جدول ٤). تیمار با اسپرمیدین ۱ میلی‌مولار رشد شاخ و برگ‌ها دانهال‌های برنج را افزایش داد (Yamamoto *et al*., 2012). همچنین گزارش شده که اسپرمیدین ۱ میلی‌مولار بیشتر از سایر غلظت‌ها سرعت رشد ریشه و ساقه را در نخود تحت شرایط دمای پایین افزایش داد (Nayyar *et al*., 2004). با وجود این که غلظت بالای اسپرمیدین، دستگاه فتوسنتزی را در برابر بازدارندگی نوری (Photoinhibition) در اثر دمای پایین محافظت می‌کند، سرعت فتوسنتز خالص و تجمع ماده خشک را افزایش می‌دهد (He *et al*., 2002)، تیمار بذور خیار در مرحله تکمیل جوانه‌زنی بر رشد ساقه‌چه موثر نبود.

حساسیت خیار به دمای پایین به بخش‌های هوایی محدود نمی‌شود بلکه در ریشه‌هایی که در معرض دمای ۱۵ درجه سلسیوس یا کمتر قرار گرفتند باعث بازدارندگی رشد می‌شود (Sun et al., 2017)، که با نتایج آزمایش حاضر همسو است (جدول ۵). رشد طولی ریشه‌چه گیاهان تیمار شده با غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اسپرمیدین نسبت به شاهد کاهش یافت و غلظت ۰/۱ میلی‌مولار اسپرمیدین بر رشد ریشه‌چه موثر نبود و تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت (جدول ۵). همچنین اسپرمیدین ۱ میلی‌مولار به میزان معنی‌داری وزن تر ریشه‌چه را کاهش داد (جدول ۷). با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار بین وزن تر ریشه‌چه و طول ریشه‌چه (جدول ۸) می‌توان دلیل کاهش وزن ریشه‌چه را کاهش طول آن دانست (جدول ۸). گزارش شده که بیشترین فعالیت ریشه خیار تحت تنش سرما در غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اسپرمیدین مشاهده شد و این دو غلظت با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشتند (Laloi et al., 2004)، در حالی که در پژوهش حاضر غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اسپرمیدین اثر منفی بر طول ریشه‌چه داشت. غلظت بالای اسپرمیدین در ناحیه ریشه می‌تواند رشد کل گیاه را در دمای پایین افزایش دهد (Lee et al., 1997)، که با نتایج پژوهش حاضر مخالف است. بر اساس نتایج این آزمایش و پژوهش‌های پیشین، غلظت مناسب اسپرمیدن برای کاهش اثرات سرما به ژنوتیپ، مرحله نمو و شرایط آزمایش بستگی دارد.

نتایج نشان داد که تیمار بذور جوانه‌زده خیار با غلظت‌های مختلف اسپرمیدین در مرحله تکمیل جوانه‌زنی و در دماهای متفاوت مورد بررسی اثر معنی‌داری بر نشت یونی ساقه‌چه نداشت (جدول ۳). گزارش شده که نشت یونی یک ویژگی عمومی برای همه گونه‌های حساس به سرما نیست و فقط در بافت‌های تحت تنش سرما در برخی از گیاهان دیده شده است (Nayyar *et al*., 2004). مرادمند نیز نشت یونی را فاکتور قابل قبولی برای ارزیابی سرمازدگی در گیاهان فلفل‌دلمه‌ای ندانست (Moradmand, 2011).

نتیجه‌گیری کلی

با کاهش دما در مرحله تکمیل جوانه‌زنی، بیشتر ویژگی‌های رشد اندازه‌گیری شده در اندام هوایی و ریشه خیار به میزان معنی‌داری کاهش یافت و اثر کاهش دما بر رشد ریشه‌چه شدیدتر از رشد ساقه‌چه بود. کاربرد غلظت‌های پایین اسپرمیدین در کنترل

اثرات ناشی از تنش سرما موثرتر بود. در اکثر موارد غلظت بیش از ۰/۵ میلی‌مولار اسپرمیدین اثر بازدارنده بر روی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده نشان داد. اثرات منفی ناشی از تیمار با غلظت بالای اسپرمیدن بر رشد ریشه بیشتر بود. در مجموع غلظت ۰/۵ میلی‌مولار اسپرمیدین برای کاهش اثرات منفی ناشی از سرمازدگی بر جوانه‌زنی بذور خیار توصیه می‌شود.

References

Amini, S., Maali Amiri, R., Kazemi-shahandashti, S. S., Lopez, M., Sadeghzadeh, B., Sobhani, A. and Kariman, K. 2021. Effect of cold stress on polyamine metabolism and antioxidant responses in chickpea. J, Plant, Physiol, 153387: 258-259.

Asnaashari, M. and Zokaei Khosroshahi, M. 2008. Polyamines and horticultural science. Buali Sina University Press. (In Farsi).

Dai, A. H., Nie, Y. X., Yu, B., Li, Q., Lu, L. Y. and Bai, J. G. 2012. Cinnamic acid pretreatment enhances heat tolerance of cucumber leaves through modulating antioxidant enzyme activity. Environ, Exp, Bot, 79: 1-10.

Fariduddin, Q., Yusuf, M., Chalkoo, S., Hayat, S. and Ahmad, A. 2011. 28-homobrassinolide improves growth and photosynthesis in *Cucumis sativus* L. through an enhanced antioxidant system in the presence of chilling stress. Photosynthetica, 49: 55-64.

Fu, Y., Zhang, Z., Liu, J., Chen, M., Pan, R., Hu, W., Guan, Y. and Hu, J. 2019. Seed priming with spermidine and trehalose enhances chilling tolerance of rice via different mechanisms. J, Plant Growth Regul, 1-11. At: https://doi.org/10.1007/s00344-019-10009-y.

He, L., Nada, K. and Tachibana, S. 2002. Effects of spermidine pretreatment through the roots on growth and photosynthesis of chilled cucumber plants (Cucumis sativus L.). J, Jpn, Soc, Hortic, Sci, 71: 490-498.

Laloi, C., Apel, K. and A. Danon. 2004. Reactive oxygen signaling: the latest news. Curr, Opin, Plant Biol, 7: 323-328.

Lee, S. H., Singh, A. P., Chung, G. C., Kim, Y. S. and Kong, I. B. 2002. Chilling root temperature causes rapid ultra-structural changes in cortical cells of cucumber (*Cucumis sativus* L.) root tips. J, Exp, Bot, 53: 2225-2237.

Lee, T. M. 1997. Polyamine regulation of growth and chilling tolerance of rice (*Oryza sativa* L.) roots cultured *in vitro*. Plant Sci, 122: 111-117.

Lutts, S., Kinet, J. M. and Bouharmon, J. 1996. NaCl- induced senescence in leave of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. Ann, Bot, 78: 389-398.

Moradmand, Y. 2011. Effect of methyl jasmonate and salicylic acid on cold tolerance of bell pepper seedling. M.Sc. Thesis. Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. (In Farsi).

Mostofa, M. G., Yoshida, N. and Fujita, M. 2014. Spermidine pretreatment enhances heat tolerance in rice seedlings through modulating antioxidative and glyoxalase systems. Plant Growth Regul, 73: 31-44.

Nayyar, H., Kaur, G. and Chander, S. 2004. Response of chickpea seed germination to spermidine treatment to overcome cold injury. ICPN, 11: 25-28.

Nie, L., Liu, H, Zhang, L. and Wang, W. 2020. Enhancement in rice seed germination via improved respiratory metabolism under chilling stress. Food Energy Secur, At: 10.1002/fes3.234

Rehman, A., Shahzad, B., Haider, F.U., Ibraheem Ahmed, H. A., Lee, D. J., Young Im, S. and Khan, I. 2022 a. An introduction to brassinosteroids: history, biosynthesis, and chemical diversity. In: Ahammd, G. J., Sharma, A. and Yu, J. (Ed.), Brassinosteroids in Plant Developmental Biology and Stress Tolerance. (pp. 1-14) Elsevier.

Rehman, A., Shahzad, B., Young Im, S. and Lee, D. J. 2022 b. Brassinosteroids and cold stress tolerance in plants. In: Ahammd, G. J., Sharma, A. and Yu, J. (Ed.), Brassinosteroids in Plant Developmental Biology and Stress Tolerance. (pp. 182-193) Elsevier.

Sanchez, B., Rasmussen, A. and Porter, J. R. 2014. Temperatures and the growth and development of maize and rice: A review. Global Change Biol, 20: 408-417.

Shekari, F., Masiha, C. and Esmaeilpour, B. 2006. Vegetable Physiology. Vol. 1. University of Zanjan Press. (In Farsi).

Sheteiwy, M., Shen, H., Xu, J., Guan, Y., Song, W. and Hu, J. 2017. Seed polyamines metabolism induced by seed priming with spermidine and 5-aminolevulinic acid for chilling tolerance improvement in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. Environ, Exp, Bot, 137: 58-72.

Sun, S. J., Fu, C. Y., Song, Y., Wu, R. Xue, Y. J. and Cui, S. M. 2017. Effect of low root-zone temperature on growth and 15N uptake and distribution characteristics in grafted cucumber seedling root. Plant Physiol, J, 53: 1545-1552.

Theocharis, A., Clément, C. and Barka, E. A. 2012. Physiological and molecular changes in plants grown at low temperatures. Planta, 235: 1091-1105.

Wang, C. Y. and Kramer, G. F. 1990. Effect of polyamine treatment on ethylene production of apples. In: H. E. Flores, R. N. Arteca, J. C. Shannon (Ed.), Polyamines and Ethylene: Biochemistry, Physiology and Interactions. (pp. 411-413) American Society of Plant Physiology. Cornell University.

Wang, P., Zijian, X., Yong, Z., Yongbo, M., Jianyu, Y., Fan, Z., Yi, G., Guobin, L. and Xiaohui, H. 2022. Over-expression of spermidine synthase 2 (SlSPDS2) in tomato plants improves saline-alkali stress tolerance by increasing endogenous polyamines content to regulate antioxidant enzyme system and ionic homeostasis. Plant Physiol, Biochem, 192. At: https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.09.025

Xiong, L., Schumaker, K. S. and Zhu, J. K. 2002. Cell signaling during cold, drought, and salt stress. The Plant Cell, 14: 165-183.

Yamamoto, A., Shim, I. S. and Fujihara, S. 2012. Chilling-stress responses by rice seedlings grown with different ammonium concentrations and its relationship to leaf spermidine content. J, Plant Biol, 55: 191-197.

Yin, L. L., Yang, X. H., Li, K., Han, D. J. , Wang, Y. H., Xu, Z. H. and Yu, X. C. 2007. Effect of spermidine on chilling tolerance in cucumber seedlings. Acta Hortic, Sin, 34: 1309-1312.