Journal of Vegetables Sciences, **Autumn & Winter 2023, Vol 6, No 12(2), Pages 1-16**

doi: 10.22034/iuvs.2022.537591.1177 **Article Type: Research** **Online ISSN: 2676-4822**

Effect of Selenium and Humic Acid on Germination and Some Morphological Characteristics of Quinoa under Drought and Salinity Stress

Masoomeh Amerian[1*], Mahmoud Khorami Vafa[2] and Barakat Alah Rabani[3]

1- Assistant Professor, Plant Production and Genetics Department, Faculty of Science and Agriculture Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.
2- Associate Professor, Plant Production and Genetics Department, Faculty of Science and Agriculture Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.
3- Ph. D. Student, Plant Production and Genetics Department, Faculty of Science and Agriculture Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.

[*]**Corresponding author:** Masoomehamerian@yahoo.com

(**Received:** 27 August 2021 **Revised:** 05 January 2022 **Accepted:** 13 February 2022)

Extended Abstract

1. Introduction: In recent years, young quinoa leaves are used as fresh or cooked vegetables. Due to its high quality vegetable protein, quinoa is a promising candidate for increasing food production in the world. Due to its tolerance to abiotic stresses, quinoa is known as one of the most valuable and nutritious food products. Environmental stresses, especially drought and salinity are one of the most important factors in reducing growth in plant growth and development stages, especially the germination stage of the plant. The increase in global demand for the production of nutritious and healthy food has challenged researchers to look for the production of products in marginal areas that are inefficient for producing agricultural products due to adverse weather conditions, low soil fertility, and lack of good quality irrigation water. As a result, in this study was conducted to study the effect of selenium and humic acid on germination percentage, seed germination characteristics and some morphological characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa*) seedling under drought and salinity stress as a factorial experiment in the form of completely randomized design with three replications.

2. Materials and Methods: The research was conducted as two independent experiments. The experiments were carried out in the physiology laboratory of the Faculty of Agricultural Sciences and Engineering. The first experiment consisted of four levels of selenium (0, 5, 10 and 20 mg L^{-1} sodium selenate), three levels of humic acid (0, 100 and 300 mg L^{-1}) and four levels of drought stress (0, -4, -8 and -12 bar). The second experiment with four levels of selenium (0, 5, 10 and 20 mg L^{-1} sodium selenate), three levels of humic acid (0, 100 and 300 mg L^{-1}) and six levels of salinity stress (0, 0.5, 4.3, 8, 11.8 and 16 ds/m) were performed. Titicaca variety was used in this research. The criterion for seed germination was the emergence of roots approximately 3 mm long. At the end of the seventh day, the characteristics of germination percentage, germination rate, mean daily germination, mean germination time, germination rate coefficient, seed vigour and seed germination index were measured. At the end of the experiment, the length, fresh and dry weight of seedlings, stems and roots were examined.

3. Results and Discussion: Drought and salinity stress had a negative effect on germination percentage and seed germination indices and morphological characteristics of quinoa seedlings. Whiles, according to the results, selenium and humic acid under salinity and drought stress had a positive effect on germination percentage and some morphological characteristics of quinoa seedling. Considering that one of the salinity resistance indicators is having longer root length, selenium and humic acid increased the root length of quinoa under salt stress conditions compared to the control. Humic acid and selenium had a positive effect on germination and plant growth by increasing water uptake and root volume, so that the highest germination percentage and morphological characteristics in the treatment without stress with 20 mg L^{-1} sodium selenate and 300 mg L^{-1} Humic acid was observed. According to the obtained results, the highest percentage of germination, germination rate germination rate coefficient, seed vigor, seedling, stem and root fresh weight in the treatment without salt stress with 20 mg L^{-1} of sodium selenate and 300 mg L^{-1} humic acid was observed. With the increase of sodium chloride concentration, the germination percentage and germination indices of quinoa seeds decreased. Under salinity stress, in all four levels of selenium, with increasing humic acid concentration, the percentage of germination and investigated characteristics increased.

4. Conclusion: Therefore, the use of humic acid at a concentration of 300 mg L^{-1} along with 20 mg L^{-1} sodium selenate is recommended to improve germination and seed growth of quinoa under drought and salt stress conditions. As a result, the use of selenium and humic acid in the direction of sustainable agriculture and healthy crop production is cost-effective and the use of selenium and humic acid fertilizer is recommended. Humic acid improves product performance by increasing nutrient absorption and affecting antioxidant defense mechanisms. In salinity stress, humic acid leads to osmotic regulation by maintaining water absorption. Selenium has beneficial effects on plants at low levels. Selenium can affect germination and root length. Plant seeds are able to absorb selenium from the environment and convert it into various organic forms or inorganic selenium compounds during germination.

Keywords: Germination percentage, Sodium selenate, Seed vigor, Seedling growth.

Citation: Amerian, M., Khoramivafa, M. & Rabani, B. A. (2023). Effect of selenium and humic acid on germination and some morphological characteristics of quinoa under drought and salinity stress. *Journal of Vegetables Sciences*, 6 (2), 1-16. doi: 10.22034/iuvs.2022.537591.1177.

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Vegetables Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/ by/4.0).

دوفصلنامه علمی علوم سبزی‌ها، سال ۶، دوره ۱۲، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۱، صفحات ۱۶-۱

شاپا الکترونیکی: ۴۸۲۲-۲۶۷۶ نوع مقاله: پژوهشی doi: 10.22034/iuvs.2022.537591.1177

اثر سلنیوم و اسیدهیومیک بر جوانه‌زنی و برخی خصوصیات مورفولوژیکی دانه‌رست کینوا تحت تنش خشکی و شوری

معصومه عامریان[1*]، محمود خرمی‌وفا[2] و برکت الله ربانی[3]

۱- استادیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

۲- دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

۳- دانشجوی دکتری، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

[*]نویسنده مسئول: Masoomehamerian@yahoo.com

(**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۰/۰۶/۰۵ **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۰/۱۰/۱۵ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۰/۱۱/۲۴)

چکیده

این پژوهش به‌منظور مطالعه اثر سلنیوم و اسیدهیومیک بر درصد جوانه‌زنی، شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و برخی خصوصیات مورفولوژیکی دانه‌رست کینوا (*Chenopodium quinoa*) تحت تنش خشکی و شوری به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. پژوهش به‌صورت دو آزمایش مستقل اجرا گردید. آزمایش اول شامل، چهار سطح سلنیوم (صفر، ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم)، سه سطح اسیدهیومیک (صفر، ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و چهار سطح تنش خشکی (صفر، ۴-، ۸- و ۱۲- بار) بود. آزمایش دوم نیز با چهار سطح سلنیوم (صفر، ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم)، سه سطح اسیدهیومیک (صفر، ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و شش سطح تنش شوری (صفر، ۰/۵، ۴/۳، ۸، ۱۱/۸ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر کلریدسدیم) اجرا شد. طبق نتایج به‌دست آمده سلنیوم و اسیدهیومیک تحت تنش شوری و خشکی اثر مثبتی بر درصد جوانه‌زنی و برخی خصوصیات مورفولوژیکی دانه‌رست کینوا داشتند. اسیدهیومیک و سلنیوم با افزایش سرعت جذب آب و افزایش حجم ریشه اثر مثبتی بر جوانه‌زنی و تداوم حیات دانه‌رست داشتند، به‌طوری‌که در هر دو آزمایش بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی و خصوصیات مورفولوژیکی در تیمارهای بدون تنش همراه با ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدهیومیک مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: سلنات‌سدیم، درصد جوانه‌زنی، قدرت بذر، رشد دانه‌رست

استناد: عامریان، م.، خرمی وفا، م. و ربانی، ب. (۱۴۰۱). اثر سلنیوم و اسیدهیومیک بر جوانه‌زنی و برخی خصوصیات مورفولوژیکی دانه‌رست کینوا تحت تنش خشکی و شوری. *علوم سبزی‌ها*، ۶ (۲)، ۱۶-۱.

حق چاپ:

حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به‌صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

کینوا (*Chenopodium quinoa*) از خانواده Amaranthaceae، گیاهی یک‌ساله است که معمولاً به‌منظور محصول دانه‌ای کشت می‌شود ولی از برگ‌های جوان آن به‌عنوان سبزی تازه و یا پخته نیز استفاده می‌شود (Shi & GU, 2020). در سال‌های اخیر کشت کینوا به‌دلیل افزایش علاقه، توسعه بازار و پژوهش‌ها گسترش یافته است. کینوا به‌دلیل داشتن پروتئین گیاهی با کیفیت بالا و تحمل به تنش‌های غیرزیستی، یکی از با ارزش‌ترین و مغذی‌ترین محصولات غذایی در حال حاضر است (Sellami *et al.*, 2021).

تنش‌های غیرزیستی مانند خشکی و شوری از عوامل مهم محیطی هستند که بر رشد و نمو گیاه تأثیر گذاشته و به کاهش عملکرد محصول منجر می‌شوند. از میان تنش‌های گوناگون غیر زیستی، خشکی بیش‌ترین افت عملکرد محصول و تلفات را به همراه دارد. با توجه به گرم شدن کره زمین، خطر جهانی خشک‌سالی همچنان افزایش می‌یابد (Huihui *et al.*, 2021). تنش شوری نیز یک تنش مهم غیرزیستی است که به‌طور جدی رشد گیاه و امنیت غذایی را تهدید می‌کند و پیش‌بینی می‌شود در سال‌های آینده زمین‌های کشاورزی تحت تأثیر تنش شوری به دلیل تغییرات آب و هوایی و مدیریت ضعیف گسترش یابد (Hu *et al.*, 2021). در نتیجه اصلاح زمین‌های آسیب دیده از نمک ضروری است اما سال‌ها طول می‌کشد تا محصولات غذایی دوباره در آن خاک‌ها به‌طور استاندارد رشد کنند. بنابراین توسعه محصولات انعطاف‌پذیر که بتوانند در این شرایط زنده بمانند کارساز خواهد بود (Qureshi & Daba, 2020). هالوفیت‌ها گونه‌های گیاهی هستند که به‌طور طبیعی سازگاری زیادی به شوری دارند و می‌توانند در شرایط شوری زیاد زنده مانده، رشد و تولید مثل کنند. با این‌حال بیشتر گونه‌های شورپسند مورد علاقه کشاورزان نیستند زیرا عملکرد آن‌ها کم بوده و زیست توده آن‌ها به‌عنوان غذا و خوراک مناسب نیستند. اما کینوا یکی از گونه‌های گیاهی سازگار به خشکی و شوری است که در خاک‌هایی با شوری در حد آب دریا نیز می‌تواند بذر تولید کند و عملکرد مناسبی داشته باشد. در نتیجه انتخاب کینوا به‌عنوان یک محصول ضروری برای اطمینان از امنیت غذایی قابل توجیه است (Roman *et al.*, 2020).

تنش شوری و خشکی به‌طور قابل ملاحظه‌ای بر جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه تأثیرگذار است که به نوع گیاه و سطح تنش بستگی دارد. جوانه‌زنی بذر را می‌توان به‌عنوان مرحله‌ی مهم و حساس گیاه توصیف کرد، چون‌که مدت زمان این مرحله استقرار گیاهچه و رشد گیاه را در آینده تعیین می‌کند (Rajabi Dehnavi *et al.*, 2020). به‌طورکلی تنش شوری و خشکی باعث کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه، وزن تر و خشک گیاهچه در گیاهان ذرت (*Zea mays*) (Mazhar *et al.*, 2020) و کلم چینی (*Brassica chinensis*) (Ren *et al.*, 2020) شده است.

اسیدهیومیک (HA) یک ترکیب آلی طبیعی است که بر رشد، گلدهی و کارایی جذب مواد غذایی توسط ریشه تأثیرگذار است (Purwanto *et al.*, 2021). اسیدهیومیک درصد جوانه‌زنی، قدرت بذر و استقرار گیاهچه را افزایش می‌دهد. اسیدهیومیک با افزایش جذب مواد غذایی، نفوذپذیری غشای سلولی و جذب اکسیژن، جوانه‌زنی و رشد گیاه را تنظیم می‌کند (Alhariri & Boras, 2020). محلول‌پاشی برگی اسیدهیومیک یک روش مؤثر برای بهبود تحمل گیاه در برابر تنش‌های غیرزیستی از جمله خشکی است. اسیدهیومیک با افزایش جذب مواد غذایی و تأثیر بر مکانیزم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی عملکرد محصول را بهبود می‌بخشد (Man-hong *et al.*, 2020). تحت شرایط تنش خشکی و شوری نقش مفید اسیدهیومیک شامل اثرات غیرمستقیم (بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و میکروبیولوژیکی خاک) و مستقیم (تأثیر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و فعالیت شبه‌هورمونی) آن می‌شود (Ashour *et al.*, 2021). در تنش شوری اسیدهیومیک با حفظ جذب آب و آماس سلول به

تنظیم اسمزی منجر می‌شود. علاوه بر این اسیدهیومیک فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و میزان پرولین برگ را افزایش می‌دهد که کاهش نشت غشاء و سازگاری به تنش شوری و خشکی را در پی دارد (Shen *et al.*, 2021 ; Bijanzadeh *et al.*, 2020). در تحقیق انجام شده در گیاه کلزا (*Brassica napus*) اثرات تعدیلی تیمار اسید هیومیک بر پایداری غشاء در سطوح ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس نیز قابل‌توجه بوده است (Aliloo *et al.*, 2021). با توجه به نتایج به‌دست آمده، تیمار بذر سرخار گل (*Echinacea purpurea*) با اسید هیومیک در مناطق شور و خشک می‌تواند باعث مقاومت بذر این گیاه دارویی در مرحله جوانه‌زنی شود (Alizadeh Ahmadabadi & Khorasaninejad, 2017).

سلنیوم (Se) یک عنصر کم‌مصرف ضروری برای حفظ سلامتی انسان و حیوانات است که اثر مهمی بر برخی فرایندهای متابولیکی گیاهان و حیوانات دارد. گرچه سلنیوم به‌عنوان یک ریزمغذی ضروری برای گیاه تأیید نشده است، اما شواهدی وجود دارد مبنی بر این‌که سلنیوم در گیاه به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان عمل می‌کند (Borbély *et al.*, 2021). گیاهان می‌توانند سلنیوم را به شکل سلنیت و سلنات جذب کنند. جذب این عنصر توسط ناقلین موجود در غشاء پلاسمایی ریشه صورت می‌گیرد. سلنات توسط کانال‌های یون سولفات و سلنیت از طریق ناقلین فسفات انتقال می‌یابند (Hernández-Hernández *et al.*, 2019). البته سلنیوم در غلظت‌های بالا برای گیاه سمی است و می‌تواند با غیرفعال کردن آنزیم‌های هیدرولیتیک در جوانه‌زنی اختلال ایجاد کرده و به مرگ جنین منجر شود. اما در سطوح پایین اثرات سودمندی بر گیاه دارد. سلنیوم می‌تواند بر جوانه‌زنی و طول ریشه‌چه‌ی برخی گونه‌های گیاهی نیز تأثیرگذار باشد. بذرهای گیاهان قادرند سلنیوم را از محیط جذب کرده و آن را طی جوانه‌زنی به شکل‌های گوناگون آلی یا ترکیبات غیر آلی سلنیومی تبدیل کنند (Lapaz *et al.*, 2019). علاوه بر این سلنیوم یکی از اجزاء مهم برای فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاهان است که تحمل آن‌ها را نسبت به تنش‌های محیطی افزایش می‌دهد. طبق بررسی‌های انجام شده سلنیوم با افزایش فعالیت آنزیم‌ها (آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز) و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی از پراکسیداسیون لیپیدها جلوگیری می‌کند. هنگام رویارویی گیاه با تنش‌های محیطی، سلنیوم در غلظت مناسب به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان قوی عمل کرده و به خنثی شدن بنیان‌های آزاد تشکیل شده منجر می‌شود. در نتیجه با کاهش اکسیداسیون سلول مقاومت گیاه را نسبت به شرایط تنش افزایش می‌دهد (Lu *et al.*, 2020). برای نمونه ۰/۲۵ درصد سلنیوم، اثرات منفی تنش شوری را بر درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی بذر بالنگوی شهری (*Lamellia ibrica*) کاهش داد (Mousavi & Aghighi Shahverdi, 2021). همچنین در تحقیق انجام شده توسط Gholami و همکاران (2022)، تنش خشکی درصد جوانه‌زنی بذر کینوا را کاهش داد درحالیکه کاربرد سلنیوم اثرات منفی تنش را تعدیل کرده است.

افزایش تقاضای جهانی برای تولید مواد غذایی مغذی و سالم پژوهشگران را به چالش کشیده است تا به‌دنبال تولید محصولات در مناطق حاشیه‌ای باشند که به‌دلیل شرایط نامساعد آب و هوایی، حاصلخیزی کم خاک و کمبود آب آبیاری با کیفیت خوب تولید محصولات کشاورزی ناکارآمد است (Qureshi & Daba, 2020). لذا هدف از این پژوهش بررسی تأثیر سلنیوم و اسیدهیومیک بر خصوصیات جوانه‌زنی و رشدی گیاه کینوا تحت تنش شوری و خشکی است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی ویژگی‌های جوانه‌زنی گیاه کینوا تحت شرایط تنش خشکی و شوری، دو آزمایش جداگانه به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه فیزیولوژی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی اجرا گردید. آزمایش اول شامل، چهار سطح سلنیوم (صفر، ۵، ۱۰ و ۲۰

میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم) (Amerian *et al.*, 2021)، سه سطح اسید هیومیک (صفر، ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) (Azad *et al.*, 2017) و چهار سطح تنش خشکی (صفر، ۴-، ۸- و ۱۲- بار با استفاده از پلی اتیلن گلایکول (۶۰۰۰)) (Gholami *et al.*, 2022) بود. آزمایش دوم نیز با چهار سطح سلنیوم (صفر، ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم) (Amerian *et al.*, 2021)، سه سطح اسید هیومیک (صفر، ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) (Azad *et al.*, 2017) و شش سطح تنش شوری (صفر، ۰/۵، ۴/۳، ۸، ۱۱/۸ و ۱۶ دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم که معادل ۵، ۴۳، ۸۰، ۱۱۸ و ۱۶۰ میلی‌مولار کلرید سدیم است) (Qureshi & Daba, 2020) اجرا شد. در این پژوهش از رقم Titicaca استفاده شد که از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه گردید. برای هر واحد آزمایشی (پتری دیش)، ۲۵ عدد بذر یکنواخت انتخاب و ضدعفونی شدند. ابتدا بذرها جهت ضدعفونی در الکل ۷۰ درصد به‌مدت ۵ دقیقه و بعد از آن در محلول هیپوکلریت سدیم ۱۰ درصد به‌مدت یک دقیقه قرار داده شده و در آخر با آب مقطر شستشو داده شدند. سپس بذرها در داخل پتری دیش‌های به قطر ۹ سانتی‌متر حاوی یک عدد کاغذ واتمن شماره یک گذاشته شد و هر پتری به‌عنوان یک تکرار از تیمارهای مورد آزمایش در نظر گرفته شد. در هر یک از پتری‌ها با توجه به آزمایش مورد نظر به‌میزان ۶ سی‌سی از محلول تیمارها شامل سلنیوم (ساخت شرکت Sigma)، اسیدهیومیک (ساخت شرکت Merck)، پلی اتیلن گلایکول (ساخت شرکت Merck) و کلریدسدیم (ساخت شرکت Merck) اضافه شد. به‌طوری که بذرها در محلول غوطه‌ور نبوده و سپس پتری دیش‌ها در ژرمیناتور به‌مدت هفت روز با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۴۰ درصد قرار داده شد. جهت ارزیابی اثر تیمارهای آزمایشی روزانه (هر ۲۴ ساعت) تعداد بذرهای جوانه‌زده به‌صورت تجمعی شمارش شد. معیار جوانه‌زنی بذر خروج ریشه‌چه به‌طول تقریبی سه میلی‌متر بود. در پایان روز هفتم اندازه‌گیری صفات درصد جوانه‌زنی، میانگین جوانه‌زنی روزانه، میانگین زمان لازم برای جوانه‌زنی، شاخص سرعت جوانه‌زنی، سرعت ضریب جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر انجام شد؛ در پایان آزمایش وزن تر و خشک گیاهچه، ساقه‌چه و ریشه‌چه به‌وسیله‌ی ترازوی دیجیتالی (JMicroVision) با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شدند. به‌منظور اندازه‌گیری طول گیاهچه، ساقه‌چه و ریشه‌چه از هر تیمار به‌صورت تصادفی ۵ بذر جوانه‌زده انتخاب و طول آن‌ها اندازه‌گیری شد (ISTA). برای اندازه‌گیری وزن خشک گیاهچه، ساقه‌چه و ریشه‌چه، نمونه‌ها در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند. بنیه بذر از مجموع طول ریشه‌چه و ساقه‌چه ضرب در درصد جوانه‌زنی محاسبه شد. با توجه به رابطه‌های ذیل سایر صفات اندازه‌گیری و محاسبه شدند.

رابطه ۱:

$$GP = GN/NT \times 100$$

GP درصد جوانه‌زنی، GN تعداد بذرهای جوانه‌زده و NT تعداد کل بذرها بود.

رابطه ۲:

$$MTG=\sum (ni\ di)/ni)$$

MTG: میانگین زمان لازم برای جوانه‌زنی، di تعداد روز پس از کاشت، ni تعداد بذور جوانه‌زده در روز di و $\sum ni$ کل تعداد بذر جوانه‌زده می‌باشد.

رابطه ۳:

$$MDG = Germination\ percentage/The\ length\ of\ the\ test\ period$$

MDG: میانگین جوانه‌زنی روزانه شاخص از سرعت جوانه‌زنی روزانه می‌باشد.

رابطه ۴:

$$DGS = 1/MDG$$

DGS: سرعت جوانه‌زنی روزانه شاخص بیان کننده مدت زمان لازم برای جوانه‌زنی تک بذر است و هر چه کمتر باشد سرعت جوانه‌زنی بالاتر می‌باشد. این شاخص عکس میانگین جوانه‌زنی روزانه می‌باشد.

رابطه ۵:

$$CVG= 1 / MTG$$

CVG: ضریب سرعت جوانه‌زنی شاخص مشخصه سرعت و شتاب جوانه‌زنی بذرها می‌باشد این شاخص عکس میانگین زمان لازم برای جوانه‌زنی می‌باشد.
رابطه ۶:
SVI= درصد جوانه‌زنی نهایی×(میانگین طول ساقه‌چه+میانگین طول ریشه‌چه)
SVI: شاخص بنیه بذر می‌باشد که بیان‌کننده میزان جوانه‌زنی بذور و کیفیت گیاه‌چه‌های تولیدی به‌صورت هم‌زمان است.

تجزیه‌ی آماری

داده‌های به‌دست آمده توسط نرم‌افزار آماری (۹/۱) SAS تجزیه شدند و مقایسه میانگین تیمارها بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد محاسبه شد.

نتایج و بحث

آزمایش اول

طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها، اثر متقابل بین سلنیوم و اسیدهیومیک تأثیر مثبتی بر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و ضریب سرعت جوانه‌زنی بذر کینوا داشت. بیش‌ترین میزان صفات فوق در تیمار ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم همراه با ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدهیومیک مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد داشتند. با افزایش سطح سلنات سدیم و اسیدهیومیک درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و ضریب سرعت جوانه‌زنی بذر کینوا افزایش نشان داد، هرچند تفاوت نامحسوسی بین سطوح مشاهده شد (جدول ۱). میانگین زمان جوانه‌زنی با افزایش غلظت سلنیوم کاهش نشان داد و کمترین میانگین زمان جوانه‌زنی در تیمار ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم همراه با صفر، ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدهیومیک بود (جدول ۱). سلنیوم تأثیر مثبتی بر میزان وزن تر و خشک گیاهچه، ساقه‌چه و ریشه‌چه دانه‌رست کینوا داشت و کمترین میزان آن‌ها در تیمار صفر میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم همراه با صفر، ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدهیومیک مشاهده شد و بیشترین میزان وزن تر و خشک گیاهچه، ساقه‌چه و ریشه‌چه در تیمار ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم همراه با صفر، ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدهیومیک مشاهده شد. طبق نتایج اثر متقابل بین سلنیوم و اسیدهیومیک در هر سه سطح سلنیوم با افزایش غلظت اسیدهیومیک میزان وزن تر و خشک گیاهچه، ساقه‌چه و ریشه‌چه افزایش یافت (جدول ۱).

براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها سلنیوم برخلاف تنش خشکی تأثیر مثبتی بر شاخص‌های جوانه‌زنی و خصوصیات مورفولوژیکی دانه‌رست کینوا داشت. به‌طوری‌که بیشترین درصد جوانه‌زنی بذر (۵۸/۶۶درصد)، میانگین زمان جوانه‌زنی (۹/۷۷ روز)، بنیه بذر (۳۱۷۵/۲)، وزن تر گیاهچه (۱۵/۷۵ میلی‌گرم)، ساقه‌چه (۱۰/۳۴ میلی‌گرم)، ریشه‌چه (۵/۴۰ میلی‌گرم) و وزن خشک گیاهچه (۰/۴۷ میلی‌گرم)، ساقه‌چه (۰/۳۱ میلی‌گرم) و ریشه‌چه (۰/۱۶ میلی‌گرم) در تیمار بدون تنش خشکی همراه با ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم مشاهده شد (جدول ۲).

جدول ۱- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف سلنیوم و اسیدهیومیک بر برخی ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر و مورفولوژیکی دانه‌رست کینوا

Table 1- Comparison of the mean effect of different levels of selenium and humic acid on some characteristics of seed germination and quinoa seedling morphology

سلنات سدیم (میلی‌گرم بر لیتر) Sodium selenate (mg L^{-1})	اسیدهیومیک (میلی‌گرم بر لیتر) Humic acid (mg L^{-1})	درصد جوانه‌زنی (٪) Germination percentage (%)	سرعت جوانه‌زنی (بذر بر روز) Germination rate (seed day^{-1})	ضریب سرعت جوانه‌زنی Germination rate coefficient	میانگین زمان جوانه‌زنی (روز) Mean germination time (Day)	وزن تر گیاهچه (میلی‌گرم) Seedling fresh weight (mg)	وزن تر ساقه‌چه (میلی‌گرم) Shoot fresh weight (mg)	وزن تر ریشه‌چه (میلی‌گرم) Root fresh (mg)	وزن خشک گیاهچه (میلی‌گرم) Seedling dry weight (mg)	وزن خشک ساقه‌چه (میلی‌گرم) Shoot dry weight (mg)	وزن خشک ریشه‌چه (میلی‌گرم) Root dry weight (mg)
0	0	32.66^{bc}	0.125^{c}	0.382^{cd}	7.61^{a}	10.03^{g}	6.58^{g}	3.44^{g}	0.300^{g}	0.195^{g}	0.105^{f}
	100	34.00^{bc}	0.142^{c}	0.388^{bcd}	7.83^{ab}	10.16^{g}	6.67^{g}	3.48^{g}	0.305^{g}	0.199^{g}	0.105^{f}
	300	43.33^{ab}	0.145^{c}	0.391^{bcd}	8.33^{a}	10.33^{g}	6.78^{g}	3.54^{g}	0.310^{g}	0.203^{g}	0.108^{f}
5	0	28.00^{c}	0.150^{c}	0.385^{bcd}	6.72^{ab}	11.07^{fg}	7.27^{fg}	3.80^{fg}	0.333^{fg}	0.217^{fg}	0.115^{ef}
	100	41.00^{ab}	0.152^{c}	0.390^{abcd}	7.05^{ab}	11.83^{def}	7.76^{def}	4.05^{def}	0.355^{def}	0.233^{def}	0.123^{ed}
	300	45.66^{a}	0.171^{c}	0.397^{abc}	8.11^{ab}	12.50^{cde}	8.21^{cde}	4.29^{cde}	0.375^{cde}	0.245^{cde}	0.129^{cd}
10	0	40.33^{ab}	0.154^{c}	0.363^{d}	7.61^{a}	11.50^{ef}	7.55^{ef}	3.94^{ef}	0.345^{ef}	0.226^{ef}	0.120^{de}
	100	42.33^{ab}	0.155^{c}	0.394^{abcd}	7.22^{ab}	12.63^{bcd}	8.29^{bcd}	4.33^{bcd}	0.380^{bcd}	0.248^{cde}	0.130^{bcd}
	300	42.66^{ab}	0.260^{ab}	0.432^{a}	7.00^{a}	12.72^{bcd}	8.35^{bcd}	4.36^{bcd}	0.381^{bcd}	0.250^{bcd}	0.130^{bcd}
20	0	45.66^{a}	0.144^{bc}	0.395^{abcd}	5.66^{bc}	13.53^{abc}	8.89^{abc}	4.64^{abc}	$0.405^{ab}c$	0.265^{abc}	0.140^{abc}
	100	47.00^{a}	0.195^{bc}	0.402^{abc}	5.44^{bc}	13.73^{ab}	9.01^{ab}	4.71^{ab}	0.412^{ab}	0.270^{ab}	0.141^{ab}
	300	50.00^{a}	0.267^{a}	0.417^{ab}	4.66^{c}	14.32^{a}	9.40^{a}	4.91^{a}	0.430^{a}	0.280^{a}	0.148^{a}

میانگین‌های هر ستون با حروف یکسان نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

The means of each column with the same letters indicate no significant difference based on Duncan's multiple range test ($P< 0.05$).

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف سلنیوم و تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر و مورفولوژیکی دانه‌رست کینوا

Table 2- Comparison of the mean effect of different levels of selenium and drought stress on some characteristics of seed germination and quinoa seedling morphology

سلنات‌سدیم (میلی‌گرم بر لیتر) Sodium selenate (mg L^{-1})	تنش خشکی (بار) Drought stress (bar)	درصد جوانه‌زنی (٪) Germination percentage (%)	میانگین زمان جوانه‌زنی (روز) Mean germination time (Day)	بنیه بذر Seed vigour	وزن تر گیاهچه (میلی‌گرم) Seedling fresh weight (mg)	وزن تر ساقه‌چه (میلی‌گرم) Shoot fresh weight (mg)	وزن تر ریشه‌چه (میلی‌گرم) Root fresh (mg)	وزن خشک گیاهچه (میلی‌گرم) Seedling dry weight (mg)	وزن خشک ساقه‌چه (میلی‌گرم) Shoot dry weight (mg)	وزن خشک ریشه‌چه (میلی‌گرم) Root dry weight (mg)
0	0	39.11^{bcde}	6.51^{bcde}	1663.1^{cde}	10.79^{de}	7.09^{de}	3.7^{ed}	0.32^{de}	0.21^{de}	0.112^{def}
	-4	37.33^{bcde}	6.22^{bcde}	1281.1^{ef}	10.41^{ef}	6.83^{ef}	3.57^{ef}	0.31^{efg}	0.20^{ef}	0.108^{efg}
	-8	36.88^{bcde}	6.14^{bcde}	1262.3^{ef}	9.87^{ef}	6.48^{ef}	3.39^{ef}	0.29^{fg}	0.19^{de}	0.103^{fg}
	-12	$33.33^{cd}e$	$5.55^{cd}e$	1040.0^{f}	9.61^{f}	6.31^{f}	3.30^{f}	0.28^{g}	0.18^{f}	0.101^{g}
5	0	47.11^{b}	7.85^{b}	2203.6^{b}	13.22^{bc}	8.68^{bc}	4.54^{bc}	0.39^{bc}	0.26^{bc}	0.136^{bc}
	-4	42.44^{bcd}	7.03^{bcd}	1506.7^{def}	11.61^{d}	7.62^{d}	3.98^{d}	0.35^{d}	0.22^{d}	0.121^{d}
	-8	35.11^{bcde}	5.85^{bcde}	1321.7^{ef}	11.49^{d}	7.54^{d}	3.94^{d}	0.34^{d}	0.22^{d}	0.118^{ed}
	-12	28.44^{e}	4.47^{e}	1079.2^{f}	10.78^{de}	7.14^{de}	3.73^{de}	0.32^{de}	0.21^{de}	0.113^{def}
10	0	46.22^{bc}	7.70^{bc}	2081.0^{bc}	13.28^{bc}	8.72^{bc}	4.55^{bc}	0.39^{bc}	0.26^{bc}	0.136^{bc}
	-4	46.22^{bc}	7.70^{bc}	1986.2^{bcd}	12.79^{c}	8.39^{c}	4.39^{c}	0.38^{c}	0.25^{c}	0.132^{c}
	-8	41.77^{bcd}	6.96^{bcd}	1570.5^{cdef}	11.58^{d}	7.60^{d}	3.97^{d}	0.34^{d}	0.22^{d}	0.120^{ed}
	-12	32.88^{de}	5.48^{de}	1542.0^{def}	11.49^{d}	7.05^{d}	3.94^{d}	0.34^{d}	0.22^{d}	0.118^{ed}
20	0	58.66^{a}	9.77^{a}	3173.2^{a}	15.75^{a}	10.34^{a}	5.40^{a}	0.47^{a}	0.31^{a}	0.162^{a}
	-4	44.44^{bcd}	7.40^{bcd}	2221.8^{b}	14.04^{b}	9.22^{c}	4.82^{b}	0.42^{b}	0.27^{b}	0.144^{b}
	-8	44.44^{bcd}	7.40^{bcd}	2071.5^{bc}	12.84^{c}	8.43^{c}	4.40^{c}	0.39^{bc}	0.25^{c}	0.133^{c}
	-12	42.66^{bcd}	7.11^{bcd}	1619.2^{cde}	12.81^{c}	8.41^{c}	4.39^{c}	0.38^{c}	0.25^{c}	0.133^{c}

میانگین‌های هر ستون با حروف یکسان نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

The means of each column with the same letters indicate no significant difference based on Duncan's multiple range test ($P< 0.05$).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها تحت شرایط تنش خشکی اسیدهیومیک تأثیر مثبتی بر میزان طول دانه‌رست کینوا داشت و با افزایش غلظت اسیدهیومیک در هر چهار سطح تنش خشکی طول دانه‌رست افزایش یافت. بیشترین میزان طول گیاهچه (۵۰/۳۳ میلی‌متر)، ساقه‌چه (۲۶/۴۹ میلی‌متر) و ریشه‌چه (۲۳/۸۴ میلی‌متر) در تیمار بدون تنش خشکی همراه با ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدهیومیک مشاهده گردید (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف اسیدهیومیک و تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی دانه‌رست کینوا

Table 3- Comparison of the mean effect of different levels of humic acid and drought stress on some morphological characteristics of quinoa seeding

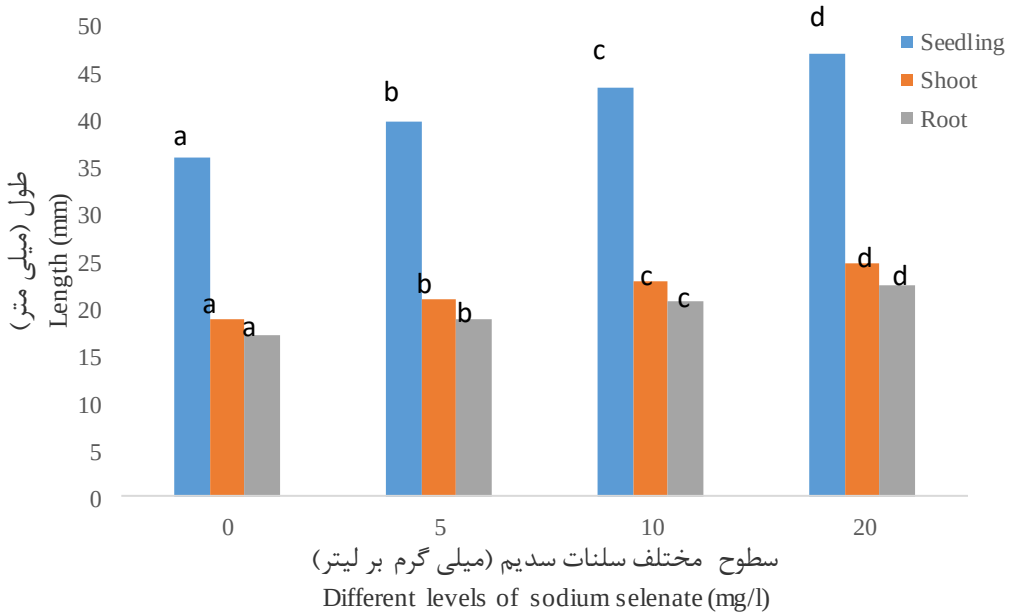
اسیدهیومیک (میلی‌گرم بر لیتر) Humic acid (mg L^{-1})	تنش خشکی (بار) Drought stress (bar)	طول گیاهچه (میلی‌متر) Seedling length (mm)	طول ساقه‌چه (میلی‌متر) Shoot length (mm)	طول ریشه‌چه (میلی‌متر) Root length (mm)
0	0	45.33^{cde}	24.17^{bc}	21.75^{bc}
	-4	44.33^{cde}	23.33^{cde}	21.00^{cde}
	-8	39.38^{f}	20.73^{f}	18.65^{f}
	-12	32.38^{g}	17.04^{g}	15.34^{g}
100	0	49.16^{b}	25.87^{ab}	23.28^{ab}
	-4	43.65^{cde}	22.97^{cde}	20.67^{cde}
	-8	40.57^{ef}	21.35^{ef}	29.22^{ef}
	-12	34.43^{g}	18.12^{g}	16.30^{g}
300	0	50.33^{a}	26.49^{a}	23.84^{a}
	-4	45.43^{cde}	23.91^{bcd}	21.52^{bcd}
	-8	41.31^{def}	21.74^{def}	19.57^{def}
	-12	35.82^{g}	16.75^{g}	15.07^{g}

میانگین‌های هر ستون با حروف یکسان نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.
The means of each column with the same letters indicate no significant difference based on Duncan's multiple range test ($P< 0.05$).

طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها با افزایش غلظت سلنیوم طول دانه‌رست کینوا افزایش یافت. بیشترین طول گیاهچه (۴۷/۰۸ میلی‌متر)، ساقچه (۲۴/۷۸ میلی‌متر) ریشه‌چه (۲۲/۳۰ میلی‌متر) در غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم مشاهده شد. کمترین میزان طول دانه‌رست در تیمار شاهد بود (شکل ۱).

آزمایش دوم

با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل بین سلنیوم در اسیدهیومیک در تنش شوری، بیشترین میزان درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، ضریب سرعت جوانه‌زنی، قدرت بذر، وزن تر گیاهچه، ساقه‌چه و ریشه‌چه در تیمار بدون تنش شوری همراه با ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم همراه با ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدهیومیک مشاهده شد. با افزایش غلظت کلرید سدیم درصد جوانه‌زنی و شاخص‌های جوانه‌زنی بذر کینوا کاهش یافت. تحت تنش شوری، در هر چهار سطح سلنیوم با افزایش غلظت اسیدهیومیک درصد جوانه‌زنی و خصوصیات مورد بررسی افزایش نشان داد. طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها، سلنیوم و اسیدهیومیک تأثیر مثبتی بر طول دانه‌رست کینوا داشتند. با افزایش غلظت سلنیوم در هر سه سطح اسیدهیومیک طول دانه‌رست کینوا افزایش نشان داد. به‌طوری‌که بیشترین میزان طول گیاهچه (۷۵/۰۱ میلی‌متر)، ساقه‌چه (۴۳/۲۵ میلی‌متر) و ریشه‌چه (۳۲/۸۸ میلی‌متر) در تیمار ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم همراه با ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدهیومیک مشاهده شد (جدول ۴).



شکل ۱- اثر سطوح مختلف سلنیوم بر طول گیاهچه، ساقه‌چه و ریشه‌چه‌ی کینوا

Figure 1- The effect of different levels of selenium on quinoa seedling, shoot and root length

با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها، با افزایش غلظت سلنیوم وزن خشک گیاهچه (۰/۴۵ میلی‌گرم) و ریشه‌چه (۰/۸۷ میلی‌گرم) کینوا افزایش نشان داد. کمترین میزان صفات فوق در تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ۲).

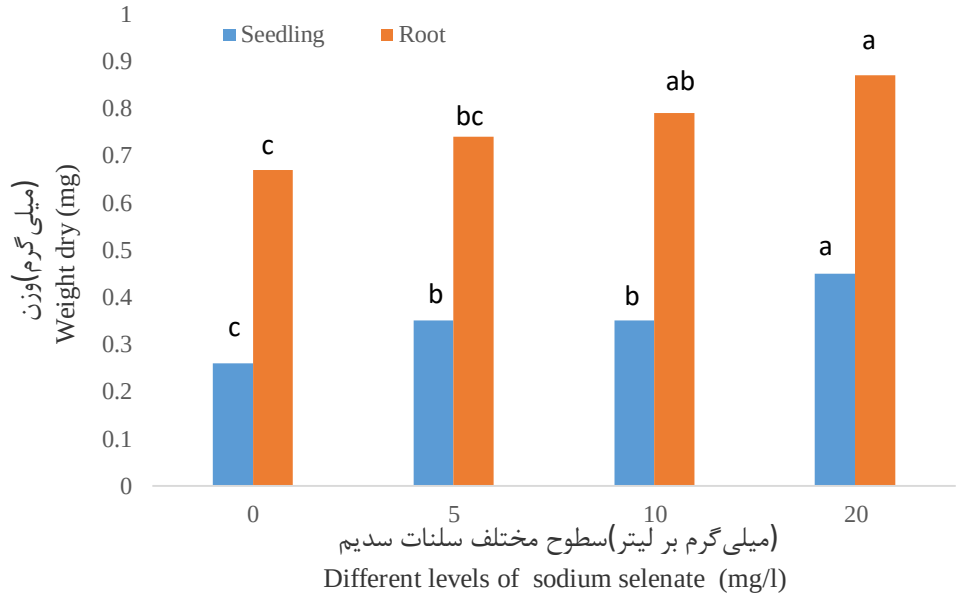
جدول ۴- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف سلنیوم و اسیدهیومیک بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی دانه‌رست کینوا

Table 4- Comparison of the mean effect of different levels of selenium and humic acid on some morphological characteristics of quinoa seeding

سلنات سدیم (میلی‌گرم بر لیتر) Sodium selenate (mg L^{-1})	اسیدهیومیک (میلی‌گرم بر لیتر) Humic acid (mg L^{-1})	طول گیاهچه (میلی‌متر) Seedling length (mm)	طول ساقه‌چه (میلی‌متر) Shoot length (mm)	طول ریشه‌چه (میلی‌متر) Root length (mm)
0	0	26.65^{gh}	18.40^{cd}	8.25^{g}
	100	33.92^{fgh}	23.84^{bcd}	10.08^{fg}
	300	41.46^{efgh}	26.60^{ab}	13.85^{fg}
5	0	44.00^{defg}	25.83^{abc}	18.84^{efg}
	100	55.29^{cde}	29.33^{ab}	24.11^{cdef}
	300	66.57^{abc}	32.84^{a}	33.69^{bcd}
10	0	55.57^{cde}	26.56^{abc}	29.73^{bcde}
	100	61.90^{bcd}	29.73^{ab}	32.57^{bcde}
	300	67.36^{abc}	31.75^{ab}	34.52^{bcd}
20	0	49.46^{cdef}	25.39^{abcd}	22.89^{def}
	100	66.65^{abc}	31.17^{ab}	36.91^{bcd}
	300	75.01^{a}	32.88^{a}	43.25^{a}

میانگین‌های هر ستون با حروف یکسان نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

The means of each column with the same letters indicate no significant difference based on Duncan's multiple range test ($P< 0.05$).



شکل ۲- اثر سطوح مختلف سلنیوم بر وزن خشک گیاهچه و ریشه‌چه‌ی کینوا

Figure 2- The effect of different levels of selenium on the dry weight of seedling and root of quinoa

بحث

با توجه به نتایج به‌دست آمده تنش خشکی و شوری برخلاف سلنیوم و اسیدهیومیک تأثیر منفی بر برخی خصوصیات جوانه‌زنی بذر و مورفولوژیکی دانه‌رست کینوا داشتند. کاهش درصد جوانه‌زنی و خصوصیات رشدی بذر تحت تنش خشکی و شوری در ذرت (*Zea mays* L.) (Mazhar *et al.*, 2020) نیز گزارش شده است. با افزایش تنش خشکی که با کاهش پتانسیل اسمزی محیط همراه است منجر به کاهش درصد جوانه‌زنی بذر می‌شود در واقع تنش خشکی با محدود کردن جذب آب توسط بذر منجر به کاهش حرکت و انتقال مواد و ذخایر بذر می‌شود (Wang *et al.*, 2020). علاوه بر این کاهش توان جذب آب توسط بذر با افزایش مدت زمان مورد نیاز برای جذب همراه است که آغاز فرایندهای جوانه‌زنی با تأخیر صورت می‌گیرد (Koskosidis *et al.*, 2020). تنش شوری به‌طور مستقیم بر رشد جنین تأثیرگذار بوده و موجب کاهش جوانه‌زنی بذر می‌شود. تنش شوری نیز مانند تنش خشکی جذب آب توسط بذر را محدود کرده و در نتیجه رشد محور جنینی و درصد جوانه‌زنی را کاهش می‌دهد. از سوی دیگر تجمع یون سدیم در محیط باعث کاهش پتانسیل اسمزی و تنش خشکی کاذب می‌شود که منجر به کاهش جذب آب توسط بافت‌های گیاه می‌شود. شوری می‌تواند با اثر سمیت یون‌ها سبب تغییر در فعالیت آنزیم شود (Lei *et al.*, 2017). این اختلال در فعالیت‌های آنزیمی باعث تغییرات عمده‌ای در هنگام جوانه‌زنی بذر مانند تغییر در متابولیسم اسیدنوکلئیک و پروتئین، بر هم زدن تعادل یونی و کاهش استفاده از ذخایر بذر می‌شود. تنش شوری با افزایش ترکیبات فنلی می‌تواند جوانه‌زنی را کاهش دهد. کاهش طول دانه‌رست در بسیاری از گیاهان یک پدیده رایج است زیرا ریشه‌ها اولین اندام‌هایی هستند که در معرض شوری قرار می‌گیرند و در تماس مستقیم با خاک هستند، آب از خاک جذب می‌کنند و آن را به شاخه می‌رسانند. شوری می‌تواند بر روی فراساختار سلول‌ها، بافت‌ها و اندام‌ها تأثیر منفی بگذارد (Shakeri *et al.*, 2017). شوری با اثرات سمی یونی مانع از حفظ سطح مواد مغذی لازم برای رشد گیاه می‌شود، در نهایت باعث محدود شدن جوانه‌زنی بذر و رشد دانه‌رست می‌شود (Rajabi Dehnavi *et al.*, 2020). طبق بررسی‌های انجام شده تنش شوری عملکرد هورمون سیتوکنین را در ریشه‌چه متوقف کند در نتیجه طول ریشه‌چه می‌تواند معیار مناسبی برای

ارزیابی میزان تحمل به تنش شوری در گیاهان مختلف باشد (Zhang *et al.*, 2020). تنش خشکی و شوری با تأثیر بر تقسیم سلولی و متابولیسم گیاه رشد دانه‌رست را کاهش می‌دهند. سرعت جوانه‌زنی بذر یکی از شاخص‌های کیفیت بذر است. سرعت جوانه‌زنی بهتر بیانگر درصد جوانه‌زنی بالاتر است. شرایط نامناسب و تنش‌های محیطی بر سرعت جوانه‌زنی بذر تأثیرگذار بوده و منجر به تأخیر در جوانه‌زنی بذر می‌شوند که در نهایت کاهش عملکرد نهایی را در پی دارد (Anirudh *et al.*, 2020). با توجه به نتایج به‌دست آمده، تنش خشکی و شوری سرعت جوانه‌زنی بذر کینوا را کاهش داده‌اند، زیرا در سطوح بالای تنش جذب آب توسط بذر با مشکل مواجه شده در نتیجه فعالیت‌های متابولیکی جوانه‌زنی در داخل بذر به کندی صورت می‌گیرد که مدت زمان لازم برای خروج ریشه‌چه از بذر را افزایش می‌دهد و با کاهش سرعت جوانه‌زنی بذر همراه است (Tabatabaei & Ansari, 2020). طول گیاهچه معیاری از قدرت گیاهچه است که معیار مناسبی برای ارزیابی رشد گیاهچه و قدرت آن است. تحت شرایط تنش افزایش میزان هورمون اسید آبسیزیک کاهش یا توقف رشد ساقه‌چه و ریشه‌چه را منجر می‌شود (Hu *et al.*, 2021).

سلنیوم تأثیر مثبتی بر جوانه‌زنی و رشد دانه‌رست کینوا تحت تنش خشکی داشت (جدول ۲) که مطابق با نتایج به‌دست آمده توسط Gholami و همکاران (۲۰۲۲) است. سلنیوم در سطوح پایین می‌تواند رشد گیاه، به‌ویژه ساقه‌چه را با تنظیم آنزیم‌های متابولیسم کربوهیدرات تحریک کند، بنابراین سوبسترای انرژی را برای رشد بیشتر فراهم می‌کند (Liang *et al.*, 2020). در ذرت سلنیوم تحت تنش خشکی درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، قدرت بذر و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش داد (Xu *et al.*, 2021). تحت شرایط تنش سلنیوم با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدانی و کاهش میزان گونه‌های فعال اکسیژن جوانه‌زنی و شاخص‌های آن را در بالنگوی‌شهری افزایش داد (Mosavi & Aghighi Shahverdi, 2021). در بالاترین سطح تنش خشکی سلنیوم مانع از کاهش جوانه‌زنی و رشد دانه‌رست کینوا شد (جدول ۲). درنتیجه این صفت معیار دقیقی جهت ارزیابی سرعت جوانه‌زنی است (Nawaz *et al.*, 2021)، سلنیوم تحت شرایط تنش خشکی باعث بهبود سرعت جوانه‌زنی بذر کینوا شد (جدول ۲) و نیز با افزایش فعالیت آنزیم‌های آمیلاز، پروتئاز و لیپاز که نقش اساسی در رشد و نمو اولیه جنین دارند، باعث رشد سریع‌تر گیاهچه (افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه) می‌شود (Guardado-Félix *et al.*, 2019). افزایش شاخص طولی تحت تأثیر درصد جوانه‌زنی و طول گیاهچه قرار می‌گیرد. تحت تنش خشکی با افزایش غلظت سلنیوم درصدجوانه‌زنی و طول گیاهچه افزایش یافته است (جدول ۲) که با افزایش شاخص طولی بذر همراه بوده است (جدول ۲). با توجه به نتایج به‌دست آمده تحت تنش خشکی اسیدهیومیک طول گیاهچه، ساقچه و ریشه‌چه را نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۳). امروزه استفاده از انواع اسیدهای آلی به‌منظور افزایش کمیت و کیفیت محصولات زراعی و باغی مورد توجه کشاورزان قرار گرفته است (Mardi *et al.*, 2022). اسیدهیومیک از جمله این اسیدهای آلی می‌باشد که حتی در مقادیر کم هم اثرات قابل ملاحظه‌ای در بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارد (ElFayomy *et al.*, 2021). اسیدهیومیک هم‌چنین به‌علت دارا بودن خواص شبه هورمونی اثرات مفیدی در افزایش تولید و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی دارد (Arslan *et al.*, 2021). اسید آلی هیومیک قادر است بدون اثرات مخرب زیست محیطی و در شرایط متغیر محیطی عامل شکستن خواب بذر و افزایش سرعت جوانه‌زنی و استقرار گیاه باشد و از طریق افزایش جذب آب، افزایش میزان تنفس سلولی سبب سرعت بخشیدن به جوانه‌زنی می‌شود، هم‌چنین افزایش جذب آب و عناصر غذایی سبب افزایش معنی‌داری در رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه می‌شود (Hussein *et al.*, 2020). اسیدهیومیک با افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و پرولین می‌تواند تحمل به تنش خشکی را افزایش دهد

(Bijanzadeh *et al.*, 2021). تأثیر مثبت اسیدهیومیک بر شاخص‌های جوانه‌زنی فلفل (*Capsicum annum* L.) (Wali *et al.*, 2019) و هویج (*Daucus carota* L.) (Alhariri & Boras, 2020) نیز گزارش شده است. اثر متقابل بین سلنیوم و اسیدهیومیک تأثیر مثبتی بر درصد جوانه‌زنی و شاخص‌های جوانه‌زنی کینوا داشتند (جدول ۱). با افزیش غلظت سلنیوم در هر چهار سطح اسیدهیومیک طول گیاهچه، ساقه‌چه و ریشه‌چه دانه‌رست کینوا نسبت به شاهد افزایش نشان داد (جدول ۴) که بیانگر نقش سلنیوم و اسیدهیومیک در افزایش میزان جذب آب طی جوانه‌زنی و نیز افزایش فعالیت آنزیم‌های درگیر در جوانه‌زنی می‌باشد (Liang *et al.*, 2020; Bijanzadeh *et al.*, 2021).

اثر متقابل بین سلنیوم در اسیدهیومیک در تنش شوری نشان داد تحت تنش شوری، سلینوم و اسیدهیومیک تأثیر مثبتی بر درصد جوانه‌زنی، شاخص‌های جوانه‌زنی و خصوصیات مورفولوژیکی دانه‌رست کینوا داشته‌اند. بیشترین میزان خصوصیات مورد بررسی در تیمار بدون تنش شوری همراه با ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدهیومیک مشاهده شد. سلنیوم تحت شرایط تنش شوری با تحریک تقسیم سلولی در سلول‌های مریستمی و با فراتنظیمی فعالیت‌های آنزیم‌های دخیل در سنتز و هیدرولیز نشاسته و پروتئین باعث فراهم شدن سوبسترای لازم برای جوانه‌زنی و رشد گیاه می‌شود. سلنیوم از طریق افزایش میزان جذب عنصر مغذی پتاسیم در سلول‌های گیاهی باعث کاهش در میزان نشت یونی و افزایش پایداری غشاء سلولی می‌گردد، در ضمن سلنیوم دارای قابلیت تنظیم وضعیت آبی گیاه از طریق تحریک رشد ریشه و افزایش ظرفیت جذب آب توسط سیستم ریشه‌ای است (Aroiee *et al.*, 2019). متوسط زمان جوانه‌زنی مربوط به مدت زمانی است که ریشه‌چه از بذر خارج می‌شود و صفت بسیار مهمی جهت تشخیص کیفیت بذر محسوب می‌شود. کوتاه‌تر بودن این دوره بیانگر بالا بودن کیفیت بذر می‌باشد که بذر سریعتر جوانه می‌زند. با توجه به نتایج به‌دست آمده در گیاه گندم (*Triticum durum* Desf.) با افزایش غلظت نمک (صفر تا ۵۰ میلی‌مول کلریدسدیم) درصد جوانه‌زنی و رشد دانهال کاهش نشان داده است، اما کاربرد سلنات‌سدیم و سلنیت‌سدیم در غلظت ۰/۱ میکرومول اثرات تنش شوری را کاهش داده و منجر به افزایش رشد دانهال شده است (Liang *et al.*, 2020). کاربرد سلنیوم و اسید هیومیک تأثیر مثبتی بر جوانه‌زنی بذر گندم (*Triticum aestivum*) تحت شرایط تنش شوری داشت و درصد جوانه‌زنی بذر، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه نسبت به شاهد افزایش یافته است (Mona Nossier *et al.*, 2017).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده تنش خشکی و شوری تأثیر منفی بر درصد جوانه‌زنی و شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و خصوصیات مورفولوژیکی دانه‌رست کینوا داشتند. اثر متقابل بین سلنیوم و اسیدهیومیک تحت شرایط تنش شوری منجر به افزایش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی بذر، قدرت بذر، طول گیاهچه، ساقه‌چه و ریشه‌چه دانه‌رست کینوا گردید. با توجه به این‌که یکی از شاخص‌های مقاومت به شوری داشتن طول ریشه‌چه بیشتر است، سلنیوم و اسیدهیومیک تحت شرایط تنش شوری میزان طول ریشه‌چه‌ی کینوا را نسبت به شاهد افزایش دادند. تحت شرایط تنش خشکی نیز اسیدهیومیک تأثیر مثبت بر درصد جوانه‌زنی بذر و خصوصیات رشدی دانه‌رست کینوا داشت. اسیدهیومیک و سلنیوم با افزایش در سرعت جذب آب و افزایش حجم ریشه اثر مثبتی بر جوانه‌زنی و تداوم حیات دانه‌رست داشتند به‌طوری‌که بیشترین درصد جوانه‌زنی و خصوصیات مورفولوژیکی در تیمار بدون تنش همراه با ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم همراه با ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدهیومیک مشاهده شد. در نتیجه کاربرد سلینوم و اسیدهیومیک در راستای کشاورزی پایدار و تولید محصول سالم بوده و مقرون به‌صرفه است و کاربرد کود سلنیوم و اسیدهیومیک توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

این مقاله بخشی از طرح تحقیقاتی با عنوان "اثر سطوح مختلف سلنیوم، نانوذرات نقره و اسید هیومیک بر جوانه‌زنی و خصوصیات رشدی دانه‌رست کینوا تحت شرایط تنش شوری و خشکی" مصوب شورای آموزشی و پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی در سال ۱۳۹۹ است.

References

- Alhariri, A. & Boras, M. (2020). Responses of seed germination and yield related traits to seed pretreatment and foliar spray of humic and amino acids compounds in carrot (*Daucus carota* L.). International *Journal of Chemical Studies*, 8(4), 26-30.
- Aliloo, A. A., Shiriazar, Z., Dashti, Sh., Shahabivand, S. & Pourmohammad, A. R. (2020). Alleviating effects of humic acid on germination and vegetative growth of canola under salinity stress. *Journal of Plant Research is the Iranian Journal of Biology*, 33(4), 985-997.
- Alizadeh Ahmadabadi, A. & Khorasaninejad, S. (2017). The Effect of humic acid pretreatment on germination of purple cornflower (*Echinacea purpurea*) plant under drought and salinity conditions. *Arid Biome Scientific and Research Journal*, 6(2), 97-107.
- Amerian, M. & Nosratti, E. (2021). Effect of different levels of nano-selenium and selenium on seed germination and seedling growth of onion (*Allium cepa* L.). *Journal of Vegetables Sciences*, 4(8), 67-80. (In Persian)
- Anirudh, K. V. S., Chakraborty, T., Srivastava, R. K. & Akhtar, N. (2020). Effect of drought and salt stress on cereal crop plants and their proteomic and physiological studies. *Journal of Biotechnology and Biomedical Science*, 2(3), 43-59.
- Aroiee, H., Shekari, L. & Mirshekari, A. (2019). Effects of selenium on damage of heavy metals in germination, growth and antioxidant activities ofcucumber (*Cucumis sativus* L.) seedling. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 6(2), 269-286. (In Persian)
- Arslan, E., Agar, G. & Aydin, M. (2021). Humic acid as a biostimulant in improving drought tolerance in wheat: The expression patterns of drought-related genes. *Plant Molecular Biology Reporter*, ttps://doi.org/10.1007/s11105-020-01266-3
- Ashour, H. A., Esmail, S. E. A. & Kotb, M. S. (2021). Alleviative effects of chitosan or humic acid on *Vitex trifolia* 'Purpurea' grown under salinity stress. *Ornamental Horticulture*, 27(1), 88-102.
- Azad, H., Fazeli nasab, B. & Sobhanizade, A. A. (2017). Study into the Eeffect of jasmonic and humic acids on some germination characteristics of rosselle (*Hibiscus sabdariffa*) seed under salinity stress. *Iranian Journal of Seed Research*, 4(1), 1-18. (In Persian)
- Bijanzadeh, E., Emam, Y. & Pessarakli, M. (2021). Biochemical responses of water-stressed triticale (X *Triticosecale wittmack*) to humic acid and jasmonic acid. *Journal of Plant Nutrition*, 44(2), 252-269.
- Borbély, P., Molnár, A., Valyon, E., Ördög, A., Horváth-Boros, K., Csupor, D., Fehér, A. & Kolbert, Z. (2021). The effect of foliar selenium (Se) treatment on growth, photosynthesis, and oxidative-nitrosative signalling of stevia rebaudiana leaves. *Antioxidants*, 10(1), 1-18.
- ElFayomy, A. H., El-Behairy, U. A. A. & Mona, M. Y. (2021). Response of lettuce to humic acid and salt stress condition under soilless culture system. *Journal of the Advances in Agricultural Researches*, 26(1), 20-38.
- Gholami, Sh., Amini Dehaghi, M. & Rezazadeh, A. R. (2022). Effect of different concentrations of selenium on germination characteristics and proline content of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd) under drought stress. Environmental *Stresses in Crop Sciences*, 14(4), 1029-1040.
- Guardado-Félix, D., Serna-Saldivar, S.O., Gutiérrez-Uribe, J. A. & Chuck-Hernández, C. (2019). Selenium in

germinated chickpea (*Cicer arietinum* L.) increases the stability of its oil fraction. *Plants* (Basel), 8)113(, 1-10.
- Hernández-Hernández, H., Quiterio-Gutiérrez, T., Cadenas-Pliego, T., Ortega-Ortiz, H., Hernández-Fuentes, A. L., de la Fuente, M. C., Valdés-Reyna, J. & Juárez-Maldonado, A. (2019). Impact of selenium and copper nanoparticles on yield, antioxidant system, and fruit quality of tomato plants. *Plants*, 8(10), 1-17.
- Hu, E., Liu, M., Zhou, R., Jiang, F., Sun, M., Wen, J., Zhu, Zh. & Wua, Zh. (2021). Relationship between melatonin and abscisic acid in response to salt stress of tomato. *Scientia Horticulturae*, 285(1), 110176.
- Huihui, Z., Yuze, H., Kaiwen, H., Zisong, X., Liu, Sh., Wang, Q., Wang, X., Nan, X., Wu, Y. & Guangyu, S. (2021). Na+ accumulation alleviates drought stress induced photosynthesis inhibition of PSII and PSI in leaves of Medicago sativa. *Journal of Plant Interactions*, 16(1), 1-11.
- Hussein, S. A., Noori, A. M. & Kanber, H. S. (2020). Stratification period with different agricultural media roll on seeds germination ratio and humic acid fertilization on apricot seedlings *Prunus armeniaca* L. Growth. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*, 21(71&72), 23-29.
- Koskosidis, A., Ebrahim Khah, E., Mavromatis, A., Pavli, O. & Vlachostergios, D. N. (2020). Effect of PEG-induced drought stress on germination of ten chickpeas (*Cicer arietinum* L.) genotypes. Notulae Botanicae *Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48(1), 294-304.
- Lapaz, A. M., Santos, L. F.M., Yoshida, C. H. P., Heinrichs, R., Campos, M. & Reis, A. R. (2019). Physiological and toxic effects of selenium on seed germination of cowpea seedlings. *Bragantia*, 78(4), 498-508.
- Lei, Y., Liu, Q., Hettenhausen, C., Cao, G., Tan, Q., Zhao, W., Lin, H. & Wu, J. (2017). Salt-tolerant and –sensitive alfalfa (*Medicago sativa*) cultivars have large variations in defense responses to the lepidopteran insect Spodoptera litura under normal and salt stress condition. *PLoS ONE*, 12(7), 1-15.
- Liang, Y., Li, D., Chen, Y., Cheng, J., Zhao, G., Fahima, T. & Yan, J. (2020). Selenium mitigates salt-induced oxidative stress in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) seedlings by modulating chlorophyll fluorescence, osmolyte accumulation, and antioxidant system. *Biotech*, 10(8), 368.
- Lu, N., Wu, L. & Shi, M. (2020). Selenium enhances the vase life of *Lilium longiflorum* cut flower by regulating postharvest physiological characteristics. *Scientia Horticulturae*, 264, 109172.
- Man-hong, Y., Lei, Z., Sheng-tao, X., McLaughlin, N. B. & Jing-hui, L. (2020). Acid applied to potato foliage on plant growth, photosynthesis characteristics and fresh tuber yield under different water deficits. *Scientific reports*, 10(1), 1-10
- Mazhar, T., Ali, Q., Rashid, M. S. & Mailk, A. (2020). Effects of salt and drought stress on growth raits of Zea mays seedlings. *Life Science Journal*, 17(7), 48-54.
- Mona Nossier, I., Gawish, Sh. M., Taha, T. A. & Mubarak, M. (2017). Response of wheat plants to application of selenium and humic acid under salt stress conditions. Egyptian *Journal of Soil Science*, 57(2), 175-187.
- Mardi, M., Abbasifar, A.R & ValizadehKaji, B. 2022. Comparison of the effect of bological and non-biological fertilizers on quantitative, qualitative and phytochemical properties of garlic (*Allium sativum* L.). *Journal of Vegetables Science*, 10(2): 1-17. (In Persian)
- Mosavi, S. A. & Aghighi Shahverdi, M. (2021). Effect of seeding priming with selenium on germination and physiological characteristics of dragons head (*Lallemantia iberica*) under salinity stress. *Journal of Seed Research*, 10(2), 65-76.
- Mousavi, S. E. & Aghighi Shahverdi, M. (2021). Effect of nutritious seed priming with selenium on germination and physiological indices of Dragon head (*Lamellia ibrica* L.) under salinity stress.

Journal of Seed Research, 10(35), 65-76. (In Persian)

- Nawaz, F., Zulfiqar, B., Ahmad, K. S., Majeed, S., Shehzad, M. A., Javeed, H. M. R., Tahir, N. N. & Ahsan, M. (2021). Pretreatment with selenium and zinc modulates physiological indices and antioxidant machinery to improve drought tolerance in maize (*Zea mays* L.). *South African Journal of Botany*, 138(1), 209-216.
- Purwanto, B. H., Wulandari, P., Sulistyaningsih, E., Utami, S. N. H. & Handayani, S. (2021). Department of soil science, improved corn yields when humic acid extracted from composted manure is applied to acid soils with phosphorus fertilizer. *Applied and Environmental Soil Science*, 1-12.
- Qureshi, A. S. & Daba, A. W. (2020). Evaluating growth and yield parameters of five quinoa (*Chenopodium quinoa*) genotypes under different salt stress conditions. *Journal of Agricultural Science*, 12(3), 128-140.
- Rajabi Dehnavi, A., Zahedi, M., Ludwiczak, A., Cardenas Perez, S. & Piernik, A. (2020). Efect of salinity on seed germination and seedling development of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Moench genotypes. *Agronomy*, 10(6), 1-15.
- Ren, Y., Wang, W., He, J., Zhang, L., We, Y. & Yang, M. (2020). Nitric oxide alleviates salt stress in seed germination and early seedling growth of pakchoi (*Brassica chinensis* L.) by enhancing physiological and biochemical parameters. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 187(1), 1-10.
- Roman, V. J., den Tooma, L. A., Gamiza, C. C., van der Pijl, N., Vissera, R. G., van Loo, E. N. & van der Linden, G. G. (2020). Differential responses to salt stress in ion dynamics, growth and seed yield of European quinoa varieties. *Environmental and Experimental botany*, 177(1), 1-14.
- Sellami, M. H., Pulvento, C. & Lavini, A. (2021). Agronomic practices and performances of quinoa under field conditions: A systematic review. *Plants*, 10(72), 1-20.
- Shakeri, E., Emam, Y., Tabatabaei, S. & Sepaskhah, A. (2017). Evaluation of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L.) lines/cultivars under salinity stress using tolerance indices. *International Journal of Plant Production*, 11(1), 101–116.
- Shen, J., Guo, M. J., Wang, Y. G., Yuan, X. Y., Wen, Y. Y., Song, X. E., Dong, Sh. Q. & Guo, P. Y. (2020). Humic acid improves the physiological and photosynthetic characteristics of millet seedlings under drought stress. *Plant Signaling & Behavior*, 5(8), 1-16.
- Shi, P. & GU, M. (2020). Transcriptome analysis and differential gene expression profiling of two contrasting quinoa genotypes in response salt stress. *BMC Plant Biology*, 20(1), 1-15.
- Tabatabaei, S. A. & Ansari, O. (2020). The effect of priming on germination characteristics of barley seeds under drought stress conditions. *Cercetări Agronomice în Moldova*, 53(1), 1-18.
- Wali, A., Salah, I. B., Zerrouki, M., Choukchou-Braham, A., Kamoun, Y. & Ksibi, M. (2019). A novel humic acid extraction procedure from Tunisian lignite. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 4(1), 1-9.
- Wang, Sh., Wei, M., Wu, B., Cheng, H., Jiang, K. & Wang, C. (2020). Does N deposition mitigate the adverse impacts of drought stress on plant seed germination and seedling growth? *Acta Oecologica*, 109(1), 1-13.
- Xu, Sh., Zhao, N., Qin, D., Liu, Sh., Jiang, Sh., Xu, L., Sun, Z., Yan, D. & Hu, A. (2021). The synergistic effects of silicon and selenium on enhancing salt tolerance of maize plantsa. *Environmental and Experimental Botany*, 187(2), 104482.
- Zhang, W., Hao, Y., Teng, C., Fan, X., Yang, X., Liu, M., Ren, G. & Tan, C. (2020). Effects of salt stimulation on lunasin accumulation and activity during soybean germination. *Foods*, 9(2), 1-9.