Journal of Vegetables Sciences
Vol 4, No 8, Autumn & Winter 2021, Pages (67-80)
DOI: 10.22034/iuvs.2021.521119.1136

دو فصلنامه علمی- پژوهشی علوم سبزی‌ها
سال ۴- شماره ۸- پاییز و زمستان ۱۳۹۹- صفحات (۸۰-۶۷)

اثر سطوح مختلف نانوسلنیوم و سلنیوم بر جوانه‌زنی بذر و رشد دانه‌رست پیاز (*Allium cepa* L.)

معصومه عامریان[1*] و ایرج نصرتی[2]
۱- استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۲- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
* نویسنده مسئول: Masoomehamerian@yahoo.com
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۲۴- تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۰۲)

چکیده

سلنیوم (Se) یک عنصر شبه‌فلز است که خصوصیات آنتی‌اکسیدانی آن برای انسان، حیوانات و گیاهان تأیید شده است. سلنیوم در برخی موجودات به‌عنوان عنصر ضروری محسوب می‌شود؛ اما غلظت‌های بالای آن منجر به ایجاد سمیت در گیاهان می‌گردد. بنابراین در تحقیق حاضر تأثیر سطوح و منابع مختلف سلنیوم بر جوانه‌زنی بذر و ویژگی‌های رشدی دانه‌رست پیاز در آزمایشگاه فیزیولوژی دانشکده‌ی علوم و مهندسی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی در سال ۱۳۹۸ مورد بررسی قرار گرفت. تیمارهای آزمایش شامل چهار غلظت سلنیت‌سدیم، سلنات‌سدیم و نانوسلنیوم (صفر؛ شاهد)، پنج، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر) بود. نتایج نشان داد سطوح و اشکال مختلف سلنیوم تأثیر معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی بذر و خصوصیات رشدی دانه‌رست پیاز داشتند. بیشترین درصد جوانه‌زنی (۱۰۰ درصد) در تیمار ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسلنیوم حاصل شد، که تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد داشت. سلنیوم تأثیر مثبتی بر طول و وزن تازه‌ی ریشه‌چه‌ی پیاز نسبت به تیمار شاهد داشت، کمترین میزان طول ریشه‌چه (۵ سانتی‌متر) در تیمار شاهد مشاهده شد. سطوح پایین سلنیوم تأثیر مثبتی بر میزان فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز داشتند. در نهایت کاربرد سطوح ۱۰ و ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم می‌تواند جوانه‌زنی بذر پیاز را در مقایسه با سلنیت و سلنات سدیم بهبود ببخشد.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، رشد دانهال، شاخص‌های جوانه‌زنی.

مقدمه

پیاز (*Allium cepa* L.) از خانواده‌ی Alliaceae است و در سراسر جهان یک سبزی مهم به‌شمار می‌رود که به‌صورت خام و فرآوری شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. پیاز در جهان با تولید بیش از ۹۳ میلیون تن از سطح کشت بالایی برخودار است (Tymoszuk & Wojnarowicz, 2020).

جوانه‌زنی و رشد جنین مهمترین مراحل در چرخه‌ی زندگی گیاه و همچنین حساس‌ترین مراحل زندگی گیاه نسبت به تغییرات پیرامون هستند. آغاز جوانه‌زنی بذر یک فرآیند فیزیولوژیکی است که نیازمند جذب آب است، زیرا بذرهای بالغ نسبتاً خشک هستند و به‌میزان زیادی آب برای شروع متابولیسم سلولی و رشد احتیاج دارند

(Suriyasak *et al*., 2020). یکی از عوامل دست‌یابی به عملکرد بالا در واحد سطح، درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرها و استقرار گیاهچه‌های حاصل از بذرهای کشت شده است. به‌طور طبیعی هر چه سرعت جوانه‌زنی و درصد بذرهای جوانه‌زده بیشتر باشد استفاده از منابع رشدی نظیر نور، آب و عناصر غذایی بهتر خواهد بود (Galochkina *et al*., 2020).

سلنیوم یک عنصر کم‌مصرف ضروری برای حفظ سلامتی انسان و حیوانات است که اثر مهمی بر برخی فرآیندهای متابولیکی گیاهان و حیوانات دارد. اگرچه 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 (Lapaz *et al*., 2019). گیاهان می‌توانند سلنیوم را به‌شکل 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 (Hernandez-Hernandez *et al*., 2019). سلنیوم در غلظت‌های بالا برای گیاه سمی است و می‌تواند با غیرفعال کردن آنزیم‌های هیدرولیتیک در جوانه‌زنی اختلال ایجاد کرده و منجر به مرگ جنین شود، اما در سطوح پایین اثرات سودمندی بر گیاه دارد. سلنیوم می‌تواند بر جوانه‌زنی و طول ریشه‌چه‌ی برخی گونه‌های گیاهی تأثیرگذار باشد. بذرهای گیاهان قادرند سلنیوم را از محیط جذب کرده و آن را طی جوانه‌زنی به فرم‌های مختلف آلی یا ترکیبات غیرآلی سلنیومی تبدیل کنند (Lapaz *et al*., 2019). علاوه بر این سلنیوم یکی از اجزا مهم برای فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاهان می‌باشد که تحمل آن‌ها را نسبت به تنش‌های محیطی افزایش می‌دهد. طبق بررسی‌های انجام شده سلنیوم با افزایش فعالیت آنزیم‌ها (آنزیم سوپراکسیداز دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز) و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی از پراکسیداسیون لیپیدها جلوگیری می‌کند. وقتی گیاه با تنش‌های محیطی مواجه می‌شود سلنیوم در غلظت مناسب به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان قوی عمل کرده و موجب خنثی شدن رادیکال‌های آزاد تشکیل شده و در نتیجه با کاهش اکسیداسیون سلول تحمل گیاه را نسبت به شرایط تنش افزایش می‌دهد (Lu *et al*., 2020).

در عصر حاضر از نانوتکنولوژی به‌عنوان دانش زمینه‌ساز گشایش افق‌های جدید در عرصه‌ی تمامی علوم یاد می‌شود. فناوری نانو، کاربردهای نوظهور و تازه‌ای را در زمینه‌ی علوم کشاورزی ایجاد کرده است که با استفاده از این دانش می‌توان شیوه‌های فعلی مدیریت محصول را بهبود بخشید (Joshi *et al*., 2020). نانوتکنولوژی به‌عنوان یک علم بین رشته‌ای می‌تواند کاربرد وسیعی در بخش کشاورزی داشته باشد. افزایش تولیدات زراعی، کم‌کردن مصرف سموم و کودها و طولانی‌تر کردن مدت نگهداری محصول کشاورزی از آن جمله می‌باشد. نانوتکنولوژی پتانسیل این را دارد که با استفاده از ابزارهای جدید، توانایی گیاهان را برای جذب مواد غذایی افزایش دهد (Salama *et al*., 2020).

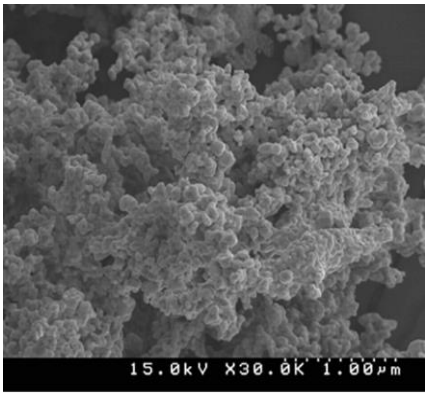
نانوذرات‌ها در مقایسه با شکل معدنی مواد دارای خصوصیات فیزیکی و شیمیایی متفاوتی هستند. چندین مطالعه نشان داده است که نانوذرات‌ها در غلظت‌های بالا اثرات منفی بر خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه دارند. با این حال نانوذرات در غلظت‌های مناسب اثرات مثبتی دارند، به‌ویژه نانوذرات سلنیوم که در گیاهان سمیت کمتری نسبت به سلنات دارد (Mohamed Zeid *et al*., 2019). نانوسلنیوم رشد ریشه را تحریک می‌کند، چون‌که جذب نانوذرات سلنیوم توسط ریشه به‌کندی صورت

می‌گیرد و در داخل گیاه نانوسلنیوم به‌سرعت به سلنیت اکسید می‌شود و به فرم‌های آلی (سلنوسیستئین و سلنومتیونین) تبدیل می‌گردد (Hernandez-Hernandez *et al*., 2019).

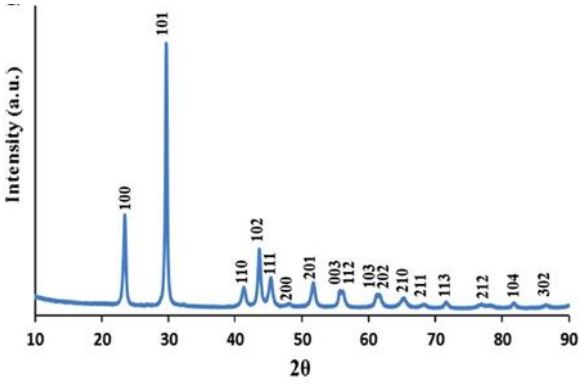
با توجه به بررسی‌های انجام شده می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از نانوذرات سلنیوم ممکن است (به‌دلیل تغییر در ماهیت شیمیایی و فیزیکی سلنیوم) خطر سمیت این عنصر را کاهش دهد. اگرچه، مطالعات انجام شده در رابطه با اثر نانوذرات بر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه بسیار محدود هستند؛ اما از آن‌جایی که مواد معدنی مانند سلنیوم بر جوانه‌زنی بذر تأثیر دارند، از این‌رو تلاش شده است که اثر سطوح مختلف نانوذرات سلنیوم و نمک‌های سلنیت‌سدیم و سلنات‌سدیم بر جوانه‌زنی بذر و رشد دانهال پیاز مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

پودر تجاری نانوسلنیوم از دانشگاه مراغه تهیه گردید. جهت سنتز نانو ذرات سلنیوم از روش گرمایی استفاده شده است (Iranifam *et al*., 2013). نانوذرات سلنیوم از پودر تجاری نانوسلنیوم به روش پراکنش در آب مقطر و توسط دستگاه اولتراسونیک (300 W, 35 kHz؛ مدل سینگن، آلمان) به‌مدت ۳۰ دقیقه تهیه شد (Mahmoodzadeh & Aghili, 2014). اندازه‌ی نانوذرات سلنیوم توسط میکروسکوپ الکترونی (STM هیتاچی اس-۴۲۰۰، ژاپن) تعیین گردید که میانگین اندازه‌ی نانوذرات سلنیوم بین ۴۰-۲۰ نانومتر بود (شکل ۱). خلوص نانوذرات بیش از ۹۵ درصد گزارش گردید. شکل ۲ الگوی انکسار اشعه ایکس (XRD) نانوذرات سلنیوم را نشان می‌دهد.



شکل ۱- تصویر SEM نانوذرات سلنیوم



شکل ۲- نمودار تفکیکی انکسار اشعه X (XRD) نانوذرات سلنیوم

به‌منظور بررسی اثر سلنیوم و نانوسلنیوم بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و رشد دانه‌رست‌های پیاز آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه فیزیولوژی دانشکده‌ی علوم و مهندسی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی در سال ۱۳۹۸ اجرا گردد.

بذر پیاز رقم زرد اصفهان از مرکز تحقیقات سیب‌زمینی و پیاز وزارت جهاد کشاورزی تهیه گردید. بذرهای سالم با اندازه‌های تقریباً یکسان و عاری از آسیب و شکستگی انتخاب شدند. ضدعفونی سطحی بذرهای با هیپوکلرید سدیم یک درصد به‌مدت ۱۰ دقیقه انجام گرفت. پس از آن بذرهای با آب مقطر استریل سه بار شسته شدند تا اثر هیپوکلریت سدیم به‌طور کامل از بین برود. تمامی وسایل مورد نیاز برای جوانه‌زنی مانند پتری‌ها و انبرک‌ها با الکل ۷۰ درصد ضدعفونی شدند. برای ضدعفونی کردن کاغذهای صافی از اتوکلاو با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد استفاده شد. سپس بذرها به پتری‌های مربوط (واحدهای آزمایشی) منتقل شدند. برای هر تیمار سه پتری به‌عنوان تکرار در نظر گرفته شد و در هر پتری ۵۰ عدد بذر قرار گرفت. سپس ۱۰ میلی‌لیتر از غلظت‌های مختلف تیمارهای مورد نظر شامل صفر، پنج، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم، سلنیت‌سدیم و سلنات‌سدیم به پتری‌ها اضافه شدند. برای تیمار شاهد فقط آب مقطر اضافه گردید. پتری‌ها داخل انکوباتور با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و تاریکی قرار گرفتند (Kubisz *et al.*, 2012). تعداد بذرهای جوانه زده به‌طور روزانه در یک ساعت معین به‌مدت ۱۲ روز یادداشت گردید. به‌منظور بررسی رشد ریشه‌چه در پایان روز دوازدهم دانهال‌ها از پتری خارج و طول ریشه‌چه توسط خط‌کش اندازه‌گیری شد. جهت تعیین وزن خشک ریشه‌چه، ریشه‌چه‌ها در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند. وزن تر و خشک ریشه‌چه‌ها با ترازویی با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. درصد جوانه‌زنی (GP)، سرعت جوانه‌زنی (GR)، میانگین زمان جوانه‌زنی (MGT) و شاخص قدرت بذر (SVI) از روز چهارم تا دوازدهم با استفاده از رابطه‌های زیر محاسبه شدند.

$$Gp = \frac{n}{N} \times 100$$ رابطه (۱)

در این رابطه GP درصد جوانه‌زنی، n تعداد بذور جوانه‌زده در روز iام و N تعداد کل بذور می‌باشد.

میانگین زمان جوانه‌زنی بر اساس معادله Matthews و Khajeh-Hosseini (۲۰۰۷) رابطه ۲ محاسبه شد:

$$MGT = \sum \frac{F.X}{F}$$ رابطه (۲)

F، تعداد بذر تازه جوانه‌زده در زمان X و X تعداد روزهایی که از کشت بذرها می‌گذرد.

سرعت جوانه‌زنی بر اساس معادله Maguire (۱۹۸۲) رابطه ۳ محاسبه گردید:

$$G_R = \left[\frac{(n1 \times t1)+(n2 \times t2)+(ni \times ti)}{T}\right]$$ رابطه (۳)

n تعداد بذرهای جوانه‌زده پس از ۱، ۲، ۳ و غیره، T روز پس از شروع جوانه‌زنی است.

شاخص قدرت دانهال (SVI) بر اساس طول دانهال (L) و وزن خشک دانهال (W) بر اساس روش Vashisth و Nagarajan (۲۰۱۰) و روابط ۴ و ۵ محاسبه شد:

$$SVI = Gp \times L$$ رابطه (۴)

$$SVI = Gp \times W$$ رابطه (۵)

سنجش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

استخراج عصاره آنزیم: یک گرم از نمونه‌های تازه‌ی ریشه‌چه با سه میلی‌متر بافر فسفات ۰/۱ مولار (pH=7) در هاون چینی خوب سائیده و مخلوط حاصل را با سرعت ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ کرده و مایع رویی به‌عنوان عصاره‌ی آنزیمی مورد استفاده قرار گرفت.

آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

بررسی فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز با استفاده از روش Madamanchi و همکاران (۱۹۹۴) انجام شد. یک واحد فعالیت سوپراکسید دیسموتاز مقدار آنزیمی در نظر گرفته می‌شود که به ۵۰ درصد مهار احیای نیتروبلو تترازولیوم در ۵۶۰ نانومتر منجر می‌گردد و به نسبت واحد بر وزن تر بیان می‌شود. برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره‌ی آنزیمی با بافر فسفات سدیم ۵۰ میلی‌مولار و pH ۷/۸ حاوی ۰/۱ میلی‌مولار اتیلن دی آمین تترا استیک اسید (EDTA)، ۱۳ میلی‌مولار متیونین، ۷۵ میکرومولار نیتروبلوتترازولیوم کلراید، ۱/۵ میلی‌لیتر کربنات سدیم و آب مقطر مخلوط گردید. در تاریکی به نمونه‌ها ریبوفلاوین ۶۰ میکرومولار اضافه شده و به‌مدت ۱۰ دقیقه در معرض نور سفید قرار گرفتند. در نهایت میزان جذب در ۵۶۰ نانومتر اندازه‌گیری و یک واحد فعالیت آنزیمی به‌صورتی تعریف شد که بتواند از احیای نوری نیتروبلوتترازولیوم کلراید ۵۰ درصد جلوگیری کند.

آنزیم کاتالاز و پراکسیداز

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از محاسبه کاهش مقدار پراکسید هیدروژن در ۲۴۰ نانومتر انجام شد. مخلوط واکنش شامل ۲/۹ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۰/۰۶ مولار با pH معادل هفت و پراکسید هیدروژن ۱۰ میلی‌مولار است. با اضافه کردن ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی به مخلوط ذکر شده واکنش آغاز می‌شود. شاهد برای صفر کردن دستگاه اسپکتروفتومتر شامل مخلوط واکنش بدون عصاره آنزیمی بود. فعالیت آنزیم کاتالاز به‌صورت واحد بر گرم وزن تر بیان می‌شود (Maxwell & Bateman, 1967).

پراکسیداز

برای اندازه‌گیری آنزیم پراکسیداز سه میلی‌لیتر مخلوط واکنش شامل ۱/۷ میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۱ میلی‌مولار (pH=7)، یک میلی‌لیتر محلول تازه تهیه شده‌ی گویاکول ۱۰ میلی‌مولار، ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره‌ی آنزیمی و ۰/۱ میلی‌لیتر از پراکسید هیدروژن ۱۲/۳ میلی‌مولار بود. میزان فعالیت آنزیم به‌صورت تغییرات جذب نور در ۴۷۵ نانومتر بر اساس واحد بر وزن تر قرائت شد (Vidyasekharan & Durairaj, 1973).

آنالیز آماری

تجزیه‌ی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه‌ی ۹/۱ انجام شد و برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P\leq0.05$) استفاده شد.

نتایج

مقایسه میانگین اثر سطوح و منابع مختلف سلنیوم بر درصد جوانه‌زنی بذر پیاز نشان داد که بیشترین درصد جوانه‌زنی (۱۰۰ درصد) در تیمار ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای پنج و ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم نداشت. کمترین درصد جوانه‌زنی در تیمار شاهد بود که اختلاف معنی‌داری با تیمار ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم، پنج و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنیت‌سدیم و سطوح سلنات‌سدیم (پنج، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر) نشان نداد (جدول ۱).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر سطوح و منابع مختلف سلنیوم بر شاخص قدرت بذر I پیاز، کمترین میزان آن در تیمار شاهد بود که اختلاف معنی‌داری پنج میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم، پنج و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنیت‌سدیم و سطوح سلنات‌سدیم نداشت. بیشترین میزان شاخص قدرت بذر I در تیمار ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم و ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنیت‌سدیم نداشت (جدول ۱).

در رابطه با اثر سطوح و منابع مختلف سلنیوم بر میزان شاخص قدرت بذر پیاز، مقایسه میانگین‌ها نشان دادند که کمترین شاخص قدرت بذر II در تیمار شاهد بود. بیشترین میزان شاخص قدرت بذر II در تیمار ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم و ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر سلنیت‌سدیم مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنیت سدیم و ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم نداشتند (جدول ۱).

مقایسه میانگین اثر سطوح و منابع مختلف سلنیوم بر سرعت جوانه‌زنی بذر پیاز، بیشترین سرعت جوانه‌زنی (۲۱/۷۹ بذر در روز) در تیمار ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم مشاهده گردید که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای پنج، ۱۵ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم، سطوح سلنیت‌سدیم و ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم نداشت. اما بین سطوح مختلف هر سه فرم سلنیوم از نظر سرعت جوانه‌زنی مشاهده نشد (جدول ۱).

جدول ۱- مقایسه میانگین‌های اثر منابع و سطوح مختلف سلنیوم بر درصد جوانه‌زنی و شاخص‌های جوانه‌زنی بذر پیاز

غلظت (میلی‌گرم بر لیتر)	درصد جوانه‌زنی	شاخص قدرت بذر I	شاخص قدرت بذر II	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز)	میانگین زمان جوانه‌زنی (روز)
نانوسلنیوم					
۰	۹۰^{c}	۲۲/۰۸^{d}	۴۴۴۲/۵^{c}	۱۹/۳۴^{b}	۱۰/۰۵^{a}
۵	۹۸^{a}	۳۳/۸۴^{bcd}	۵۶۸/۸^{b}	۲۰/۲۹^{ab}	۹/۷۷^{a}
۱۰	۱۰۰^{a}	۴۹/۹۹^{ab}	۷۷۷/۵^{a}	۲۱/۷۹^{a}	۸/۱۳^{b}
۱۵	۹۷^{a}	۵۲/۷۲^{a}	۵۹۴/۹^{b}	۲۱/۳۷^{ab}	۸/۶۹^{ab}
۲۰	۹۶^{c}	۴۴/۲۶^{abc}	۵۸۰/۴^{b}	۲۱/۱۳^{ab}	۹/۵۲^{a}
سلنیت‌سدیم					
۵	۹۲^{bc}	۲۹/۷۰^{cd}	۵۷۷/۲^{b}	۲۱/۰۰^{ab}	۹/۰۸^{ab}
۱۰	۹۲^{bc}	۳۹/۲۳^{abcd}	۶۶۹/۰^{ab}	۲۱/۱۱^{ab}	۸/۹۲^{ab}
۱۵	۹۷^{a}	۴۹/۸۶^{ab}	۷۱۵/۳^{a}	۲۱/۳۹^{ab}	۸/۶۸^{ab}
۲۰	۹۴^{ab}	۴۵/۴۸^{abc}	۵۷۷/۹^{b}	۲۱/۲۴^{ab}	۸/۹۵^{ab}
سلنات‌سدیم					
۵	۹۰^{c}	۲۲/۰۸^{d}	۵۸۶/۸^{b}	۱۹/۳۴^{b}	۹/۹۰^{a}
۱۰	۹۲^{bc}	۳۲/۳۷^{bcd}	۶۷۱/۸^{ab}	۲۰/۸۳^{ab}	۹/۹۰^{a}
۱۵	۹۴^{abc}	۳۶/۷۲^{abcd}	۶۷۲/۱^{ab}	۲۱/۱۰^{ab}	۹/۱۹^{ab}
۲۰	۹۲^{bc}	۳۰/۲۲^{cd}	۶۶۹/۶^{ab}	۱۹/۸۰^{ab}	۹/۹۴^{a}

در هر ترکیب تیماری حروف مشابه عدم اختلاف معنی‌دار و حروف غیرمشابه اختلاف معنی‌دار را در سطح احتمال پنج درصد نشان می‌دهد (آزمون چند دامنه‌ای دانکن).

مقایسه میانگین داده‌های اثر سطوح و منابع مختلف سلنیوم بر میانگین زمان جوانه‌زنی بذر پیاز نشان داد که بیشترین میانگین زمان جوانه‌زنی در تیمار شاهد مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری تیمارهای پنج، ۱۵ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم، سطوح سلنیت‌سدیم و سلنات‌سدیم نداشت و کمترین میانگین زمان جوانه‌زنی در تیمار ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم بود که اختلاف معنی‌داری با ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم، سطوح سلنیت‌سدیم و ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر

سلنات‌سدیم نداشت. هر چند تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف منابع سلنیوم از نظر میانگین زمان جوانه‌زنی بذر مشاهده نشد (جدول ۱).

در رابطه با اثر سطوح و منابع مختلف سلنیوم بر میزان طول ریشه‌چه پیاز، مقایسه میانگین‌ها نشان دادند که سلنیوم تأثیر مثبتی بر میزان طول ریشه‌چه دارد و کمترین طول ریشه‌چه (۵/۰۱ سانتی‌متر) در تیمار شاهد مشاهده شد. بیشترین میزان طول ریشه‌چه (۸/۰۳ سانتی‌متر) در تیمار ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای ۱۰ و ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر سلنیت سدیم و پنج، ۱۰ و ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم نداشت (جدول ۲).

مقایسه میانگین داده‌های مربوط به اثر سطوح و منابع مختلف سلنیوم بر میزان وزن تر ریشه‌چه دانه‌رست پیاز نشان داد که کمترین میزان وزن تر ریشه‌چه (۰/۲۵۳ گرم) در تیمار شاهد بود که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای پنج میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم و سلنیت‌سدیم و پنج و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم نداشت. بیشترین میزان وزن تر ریشه‌چه در تیمار ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر سلنیت‌سدیم مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنیت‌سدیم و ۱۵ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم نداشت (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین‌های اثر منابع و سطوح مختلف سلنیوم بر شاخص‌های رشد ریشه‌ی پیاز

غلظت (میلی‌گرم بر لیتر)	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر)	وزن تر ریشه‌چه (گرم در بوته)	وزن خشک ریشه‌چه (گرم در بوته)
نانوسلنیوم			
۰	۵/۰۱^{d}	۰/۲۵۳^{d}	۰/۰۰۸^{c}
۵	۶/۲۷^{c}	۰/۳۷۳^{bcd}	۰/۰۱۵۵^{ab}
۱۰	۸/۰۳^{a}	۰/۵۶۳^{ab}	۰/۰۲۲۴^{a}
۱۵	۶/۶۷^{bc}	۰/۵۱۶^{abc}	۰/۰۱۸۹^{a}
۲۰	۶/۳۷^{bc}	۰/۵۱۰^{abc}	۰/۰۱۵۹^{ab}
سلنیت‌سدیم			
۵	۶/۴۰^{bc}	۰/۳۳۳^{cd}	۰/۰۱۰۸^{bc}
۱۰	۷/۴۹^{abc}	۰/۵۱۶^{abc}	۰/۰۱۶۹^{ab}
۱۵	۷/۶۶^{ab}	۰/۵۷۳^{a}	۰/۰۱۷۸^{a}
۲۰	۶/۵۷^{bc}	۰/۴۲۰^{abc}	۰/۰۱۶۴^{ab}
سلنات‌سدیم			
۵	۷/۴۳^{abc}	۰/۳۳۶^{cd}	۰/۱۶۱^{ab}
۱۰	۷/۴۷^{abc}	۰/۳۶۰^{cd}	۰/۰۱۷۹^{ab}
۱۵	۷/۵۰^{abc}	۰/۵۲۶^{abc}	۰/۰۱۸۰^{a}
۲۰	۶/۶۲^{bc}	۰/۴۲۶^{abc}	۰/۰۱۶۹^{ab}

در هر ترکیب تیماری حروف مشابه عدم اختلاف معنی‌دار و حروف غیرمشابه اختلاف معنی‌دار را در سطح احتمال پنج درصد نشان می‌دهد (آزمون چند دامنه‌ای دانکن).

مقایسه میانگین اثر سطوح و منابع مختلف سلنیوم بر وزن خشک ریشه‌چه نشان داد که بیشترین وزن خشک ریشه‌چه ۱۰ نانوسلنیوم مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای پنج، ۱۵ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنیت‌سدیم و سلنات‌سدیم

مشاهده شد پنج و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنیت‌سدیم و سطوح سلنات‌سدیم نداشتند. کمترین میزان وزن خشک ریشه‌چه در تیمار شاهد بود که اختلاف معنی‌داری با پنج میلی‌گرم بر لیتر سلنیت‌سدیم نداشت (جدول ۲).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها، سطوح و منابع مختلف سلنیوم تأثیر مثبتی بر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی دانه‌رست پیاز داشتند. سلنیوم میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز را نسبت به شاهد افزایش داد. بیشترین میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم (۲۵/۲۶ واحد در گرم وزن تر) مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر سلنیت‌سدیم (۲۴/۳۸ واحد در گرم وزن تر) و سلنات‌سدیم (۲۴/۰۰ واحد در گرم وزن تر) نداشت. در حالی‌که کمترین میزان فعالیت این آنزیم در تیمار شاهد (۱۴/۰۰ واحد در گرم وزن تر) بود. طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها با افزایش غلظت سلنیوم در هر سه منبع مورد استفاده میزان فعالیت آنزیم کاتالاز نسبت به شاهد افزایش نشان داد. بیشترین و کمترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز به‌ترتیب در غلظت‌های ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم (۶۰/۰ واحد در گرم وزن تر) و تیمار شاهد (۲۲/۰ واحد در گرم وزن تر) بود (جدول ۳). بیشترین میزان آنزیم پراکسیداز در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم (۳۷/۰ واحد در گرم وزن تر) مشاهده گردید. کمترین میزان این آنزیم در تیمارهای شاهد (۲۰/۰ واحد در گرم وزن تر) و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم (۲۰/۱۲ واحد در گرم وزن تر) بود (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های اثر منابع و سطوح مختلف سلنیوم بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی دانه‌رست پیاز خوراکی

غلظت (میلی‌گرم بر لیتر)	آنزیم سوپراکسید دیسموتاز واحد در گرم وزن تر	آنزیم کاتالاز واحد در گرم وزن تر	آنزیم پراکسیداز واحد در گرم وزن تر
نانوسلنیوم			
شاهد	۱۴/۰۰^{h}	۲۲/۰۰^{i}	۲۰/۰۰^{g}
۵	۲۳/۰۴^{bcd}	۴۲/۷۲^{d}	۲۳/۰۰^{ef}
۱۰	۲۵/۲۶^{a}	۶۰/۰۰^{a}	۳۷/۰۰^{a}
۱۵	۲۲/۲۲^{cd}	۳۸/۱۴^{f}	۲۸/۰۰^{c}
۲۰	۱۸/۰۰^{f}	۳۱/۱۴^{f}	۲۴/۰۶^{e}
سلنیت‌سدیم			
۵	۲۰/۰۰^{e}	۳۲/۶۴^{f}	۲۴/۰۰^{e}
۱۰	۲۲/۷۴^{bcd}	۴۰/۱۶^{e}	۲۶/۰۰^{d}
۱۵	۲۴/۳۸^{ab}	۵۵/۰۰^{b}	۳۲/۰۰^{b}
۲۰	۱۷/۶۴^{fg}	۲۸/۰۰^{g}	۲۱/۹۸^{f}
سلنات‌سدیم			
۵	۱۸/۰۰^{f}	۳۱/۰۰^{f}	۲۳/۹۸^{e}
۱۰	۲۲/۰۰^{d}	۳۹/۰۰^{e}	۲۴/۳۴^{de}
۱۵	۲۴/۰۰^{abc}	۴۹/۰۰^{c}	۲۸/۰۰^{c}
۲۰	۱۶/۰۰^{g}	۲۵/۰۰^{h}	۲۰/۱۲^{g}

در هر ترکیب تیماری حروف مشابه عدم اختلاف معنی‌دار و حروف غیرمشابه اختلاف معنی‌دار را در سطح احتمال پنج درصد نشان می‌دهد (آزمون چند دامنه‌ای دانکن).

بحث

جوانه‌زنی و رشد جنین مهمترین مرحله در چرخه‌ی زندگی گیاهان می‌باشد که سلنیوم بر جوانه‌زنی بذرها تأثیر می‌گذارد و اثر سلنیوم بر جوانه‌زنی و رشد ریشه متنوع بوده و به گونه‌ی گیاهی، فرم و غلظت سلنیوم بستگی دارد (Lin & Xin, 2007). در این پژوهش، سطوح پایین منابع سلنیوم موجب افزایش درصد جوانه‌زنی گردید که مشابه نتایج به‌دست آمده توسط Nie و همکاران (۲۰۲۰) و Lapaz و همکاران (۲۰۱۹) بود. بیشترین درصد جوانه‌زنی (۱۰۰ درصد) در تیمار ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسلنیوم بود که تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد داشت. با توجه به نتایج به‌دست آمده سطوح مناسب سلنیوم (پنج، ۱۰ و ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم، ۱۵ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنیت‌سدیم و ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم) تأثیر مثبتی بر درصد جوانه‌زنی بذر پیاز نسبت به شاهد دارد (جدول ۱). غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم تفاوت معنی‌داری از نظر درصد جوانه‌زنی با تیمار شاهد نداشت. در نتیجه افزایش غلظت نانوسلنیوم منجر به کاهش درصد جوانه‌زنی بذر پیاز شده است (جدول ۱). بی‌گالاکتوزیداز، یک آنزیم مهم هیدرولیزکننده کربوهیدرات‌ها در طی جوانه‌زنی است که سلنیوم در سطوح پایین منجر به افزایش این آنزیم و در نهایت افزایش درصد جوانه‌زنی می‌شود (Zeid *et al*., 2019). در حالی‌که سطوح بالای سلنیوم موجب افزایش میزان ترکیبات فنولی می‌شود، لذا ترکیبات فنولی از طریق مهار تولید و ترشح آنزیم آلفا-آمیلاز جوانه‌زنی بذر گیاهان را کاهش می‌دهند (Zeid *et al*., 2019). مهار یا تأخیر جوانه‌زنی بذرها تحت تیمار سلنیوم می‌تواند به‌دلیل عدم تحرک ذخایر دانه باشد. متحرک بودن ذخایر دانه، فرآیند مهمی است که معمولاً به‌سرعت طی مراحل اولیه رویش دانه روی می‌دهد و سلنیوم می‌تواند بر آن تأثیرگذار باشد (Lapaz *et al*., 2019). طی جوانه‌زنی و رشد جوانه‌ها سلنیوم در سنتز پروتئین‌های جدید شرکت می‌کند و ورود سلنیوم به پروتئین‌های موجود در بذر بر جوانه‌زنی آن تأثیرگذار است (Zeid *et al*., 2019). آنالیز اسیدهای آمینه پروتئین آلومین نشان داده است که این پروتئین حاوی مقادیر زیادی اسیدآمینه سیستئین و متیونین است (Ulhassan *et al*., 2019). پروتئین گلوبولین نیز حاوی اسیدآمینه متیونین است. در ساختار اسیدهای آمینه سیستئین و متیونین گوگرد وجود دارد. در سطوح بالای سلنیوم، جانشین شدن سلنیوم به‌جای گوگرد موجود در ساختار این اسیدهای آمینه موجب تغییر در ساختار سوم و عمل پروتئین‌های حاوی این اسیدهای آمینه می‌شود. پروتئین‌های آلبومین، پرولامین، گلوبولین و گلوتین در هنگام جوانه‌زنی بذر به‌مصرف جنین گیاه می‌رسند (Galochkina *et al*., 2020; Chernikova *et al*., 2019). در گیاه ذرت (*Zea mays* L.)، کلم تکمه‌ای (*Brassica oleracea* var. gemmifera) و گون سفید (*Astragalus gossypinus* L.) نانوسلنیوم تأثیر مثبتی بر درصد جوانه‌زنی بذر داشت (Bidgoli, 2020; Chernikova *et al*., 2019).

با توجه به نتایج به‌دست آمده، سلنیوم تأثیر مثبت بر طول ریشه‌چه‌ی پیاز نسبت به تیمار شاهد داشت، کمترین میزان طول ریشه‌چه در تیمار شاهد مشاهده گردید. با افزایش غلظت سلنیوم میزان طول ریشه‌چه کاهش نشان داد هر چند اختلاف معنی‌داری بین سطوح سلنیوم از نظر میزان طول ریشه‌چه مشاهده نشد (جدول ۲). غلظت‌های پائین سلنیوم، تقسیم سلولی را در سلول‌های مریستمی نوک ریشه و متعاقب آن رشد ریشه را در گیاه بادرنجبویه (*Melissa officinalis*) بهبود می‌بخشد، اما سطوح بالای آن منجر به کاهش

تقسیم سلولی در این سلول‌ها می‌شود (Tavakoli *et al*., 2020). همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد که سطوح بالای سلنیوم میزان ترکیبات فنولی را در گیاهان افزایش می‌دهد. این ترکیبات فنولی با تأثیر بر اکسیداسیون آنزیمی اکسین و تحریک دکربوکسیله شدن ایندول استیک اسید آن را از دسترس خارج می‌کند. در واقع کاهش میزان اکسین منجر به کاهش رشد طولی ریشه و ساقه می‌شود (Gul *et al*., 2017; Guardado-Felix *et al*., 2019). علاوه بر این ترکیبات فنولی سنتز هورمون اسید آبسیزیک را افزایش می‌دهند. غلظت‌های بالای این هورمون طول ریشه‌چه را به‌شدت کاهش می‌دهد. اسید آبسیزیک از طریق مهار شل شدن و گسترش دیواره‌ی سلولی بر میزان رشد ریشه‌چه‌ی بذر تأثیر می‌گذارد و نه از طریق مهار تقسیم سلولی (Yao *et al*., 2019). نتایج به‌دست آمده مطابق نتایج Du و همکاران در گیاه برنج (*Oryza sativa* L.) (۲۰۱۹) و Li و همکاران (۲۰۱۹) در گیاه گندم (*Triticum aestivum* L.) بود.

با افزایش غلظت سلنیوم وزن تر ریشه‌چه نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (جدول ۲). نقش تنظیم‌کنندگی ترکیبات سلنیومی در مدیریت آب و افزایش آب بافت می‌تواند دلیلی بر افزایش وزن تر ریشه باشد (Ali *et al*., 2017). بر اساس پژوهش‌های انجام شده سلنیوم با تشکیل اسیدهای آمینه‌ی سلنیوم‌دار موجب افزایش تولید اتیلن و در نتیجه تغییر ترکیب لیپیدهای غشایی، افزایش نفوذپذیری غشا و نشت پتاسیم می‌شود که نتیجه‌ی آن افزایش آب در فضای بین سلولی و افزایش وزن تر است (Malheiros *et al*., 2019). نانوذرات با القاء منافذ جدید بر دیواره سلولی، به جذب آب توسط بذرهای کمک کرده و موجب بهبود جوانه‌زنی بذرها می‌شوند. همچنین نانوذرات منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های درگیر در جوانه‌زنی شده و جوانه‌زنی بذر و رشد دانهال را افزایش می‌دهند (Shinde *et al*., 2020).

شاخص قدرت بذر، نشان‌دهنده‌ی توأم قدرت جوانه‌زنی و قدرت رویش بذر است. شاخص قدرت I و II به‌ترتیب بیانگر میزان رشد طولی و وزن دانهال می‌باشد. بر اساس نتایج به‌دست آمده میزان شاخص بذر II با حضور سلنیوم نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (جدول ۱). با توجه به نتایج به‌دست آمده سلنیوم تأثیر مثبتی بر شاخص قدرت بذر یونجه (*Medicago sativa* L.) داشته است (Jing *et al*., 2019).

با توجه به نتایج به‌دست آمده سرعت جوانه‌زنی در تیمار ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد داشت. در حالی‌که سطوح سه فرم سلنیوم تفاوت معنی‌داری با هم و نیز تیمار شاهد از نظر سرعت جوانه‌زنی نداشتند (جدول ۱). بالا بودن سرعت جوانه‌زنی بذر پیاز در تیمار ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم می‌تواند به‌دلیل افزایش میزان ورود آب به بذر و تأثیر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیکی جوانه‌زنی باشد. در نتیجه مدت زمان لازم برای خروج ریشه‌چه از بذر کاهش یافته و سرعت جوانه‌زنی افزایش می‌یابد (Jing *et al*., 2019).

به‌طور کلی، حداقل میانگین زمان جوانه‌زنی بذر بیان کننده‌ی جوانه‌زنی زودتر بذر پیاز می‌باشد که مربوط به تیمار ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم می‌باشد که حداقل زمان جوانه‌زنی را نسبت به تیمار شاهد کاهش داده است (جدول ۱).

سلنیوم یکی از اجزا ضروری برای فعالیت سیستم آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاهان بوده و تحمل آن‌ها را در برابر تنش‌های محیطی افزایش می‌دهد. سلنیوم با افزایش فعالیت آنزیم‌ها و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و نیز افـزایش فـعالیت

آنـزیم کـاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز موجب کاهش پراکسیداسیون لیپیدها می‌گردد. سلنیوم محتوای H_2O_2 را کاهش داده و در به تأخیر افتادن پیری در برگ‌ها و بهبود عملکرد کل تأثیر بسزایی داشته است (Lapaz *et al*., 2019). نقش حیاتی سلنیوم در تحریک بیان ژن مسئول سیستم دفاعی ثابت شده است (Rady *et al*., 2020). سطوح پایین منابع مختلف سلنیوم (نانوسلنیوم، سلنیت سدیم و سلنات سدیم) تأثیر مثبت بر میزان فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز دانه‌رست پیاز داشتند که مطابق نتایج به‌دست آمده در شاهی (*Lepidium sativum*)، قهوه عربی (*Coffea arabica*) و گندم بود (Wu *et al*., 2020; Rady *et al*., 2020; Mateus *et al*., 2020). با افزایش غلظت سلنیوم میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاهش نشان داد (جدول ۳). احتمالاً در دانه‌رست‌های پیاز نیز سلنیوم در سطوح پایین مانند یـــک آنـتی‌اکسیدان عمل می‌کند و با کاهش گـونه‌های فـعال اکـسیژن تأثـیر مثبتی بر رشد و نمو گیاه داشته است (Lapaz *et al*., 2019) که افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نقش آنتی‌اکسیدانی سلنیوم را سطوح پایین مورد استفاده ثابت می‌کند.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر، سلنیوم در سطوح مناسب می‌تواند درصد جوانه‌زنی بذر و رشد ریشه‌چه‌ی پیاز را افزایش دهد. با توجه به این‌که نقش آنتی‌اکسیدانی سلنیوم ثابت شده است، سطوح پائین سلنیوم میزان درصد جوانه‌زنی و رشد دانه‌رست پیاز را افزایش دهد. تأثیر نانوسلنیوم بر جوانه‌زنی بذر پیاز بیشتر از سلنیت‌سدیم و سلنات‌سدیم بود. بر اساس بررسی‌های انجام شده سلنیت تحرک کمتری نسبت به سلنات دارد، لذا سلنیت جذب شده در ریشه مانده و به‌سرعت به ترکیبات آلی سلنیوم‌دار تبدیل می‌شود، در نتیجه میزان رشد ریشه‌چه پیاز در تیمارهای سلنیت‌سدیم بیشتر از سلنات‌سدیم بود.

References

- Ali, F., Peng, Q., Wang, D., Cui, Z., Huang, J., Fu, D. & Liang, D. (2017). Effects of selenite and selenate application on distribution and transformation of selenium fractions in soil and its bioavailability for wheat (*Triticum aestivum* L.). *Environmental Science and Pollution Research*, 24(9), 8315-8325.
- Chernikova, O. V., Ampleeva, L. E. & Mazhaisky, Y. A. (2019). Effect of selenium nanoparticles on the formation of corn yield. *Russian Agricultural Sciences*, 45(3), 256-259.
- Bidgoli, R. D. (2019). The effect of selenium nanoparticles (Se NPs), on germination and some morphophysiological characteristics of (*Astragalus gossypinus* Fisher.) in MS culture medium. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 26(4), 1055-1068.
- Du, B., Luo, H., He, L., Zhang, L., Liu, Y., Mo, Z., Z., Pan, S., Tian, H., Duan, M. & Tang, X. (2019). Rice seed priming with sodium selenate: Effects on germination, seedling growth, and biochemical attributes. *Scientific Reports*, 9(1), 1-9.
- Galochkina, N. A., Glotova, I. A. & Podlesnykh, N. V. (2020). Influence of germination of wheat grain with selenium sources on the components of protein-carbohydrate complex. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 422, 1-10.

- Guardado-Felix, D., Serna-Saldivar, S. O., Gutierrez-Uribe, J. A. & Chuck-Hernandez, C. (2019). Selenium in germinated chickpea (*Cicer arietinum* L.) increases the stability of its oil fraction. *Plants*, 8(5), 113.
- Gul, H., Kinza, S., Shinwari, Z. K. & Hamayun, M. (2017). Effect of selenium on the biochemistry of Zea mays under salt stress. *Pakistan Journal of Botany*, 49, 25-32.
- Hernandez-Hernandez, H., Quiterio-Gutierrez, T., Cadenas-Pliego, G., Ortega-Ortiz, H., Hernandez-Fuentes, A. D., Cabrera de la Fuente, M., Valdes-Reyna, J. & Juarez-Maldonado, A. (2019). Impact of selenium and copper nanoparticles on yield, antioxidant system, and fruit quality of tomato plants. *Plants*, 8(10), 355.
- Iranifam, M., Fathinia, M., Rad, T. S., Hanifehpour, Y., Khataee, A. R. & Joo, S. W. (2013). A novel selenium nanoparticles-enhanced chemiluminescence system for determination of dinitrobutylphenol. *Talanta*, 107, 263-269.
- Jing, S., Jinyi, W., Xi, L., Jinhua, Q., Suyuan, D. & Na, Y. (2019). Effects of selenium and cobalt on germination of Alfalfa (*Medicago sativa*) at different temperatures. *Animal Husbandry and Feed Science*, 11(3), 115-124.
- Joshi, H., Kumar, R., Pandey, D. S. & Jariwala, Ch. (2020). Effect of plasma and nanotechnology on nutrient use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(2), 137-141.
- Kubisz, L., Hołubowicz, R., Gauza, M., Li, H., Hojan-Jezierska, D. & Jaroszyk, F. (2012). Effect of low frequency magnetic field on germination of onion (*Allium cepa* L.) seeds. *Acta Physica Polonica A*, 1(121), 49-53.
- Lapaz, A. D. M., Santos, L. F. D. M., Yoshida, C. H. P., Heinrichs, R., Campos, M. & Reis, A. R. D. (2019). Physiological and toxic effects of selenium on seed germination of cowpea seedlings. *Bragantia*, 78(4), 498-508.
- Li, R., He, J., Xie, H., Wang, W., Bose, S. K., Sun, Y., Y., Hu, & Yin, H. (2019). Effects of chitosan nanoparticles on seed germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Biological Macromolecules*, 126, 91-100.
- Lin, D. & Xing, B. (2007). Phytotoxicity of nanoparticles: inhibition of seed germination and root growth. *Environmental Pollution*, 150(2), 243-250.
- 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.
- Madamanchi, N. R., Donahue, J. L., Cramer, C. L., Alscher, R. G. & Pedersen, K. (1994). Differential response of Cu, Zn superoxide dismutases in two pea cultivars during a short-term exposure to sulfur dioxide. *Plant Molecular Biology*, 26(1), 95-103.
- Maguire, J. D. (1962). Speed of germination-Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor 1. *Crop Science*, 2(2), 176-177.
- Mahmoodzadeh, H. & Aghili, R. (2014). Effect on germination and early growth characteristics in wheat plants (*Triticum aestivum* L.) seeds exposed to TiO_2 nanoparticles. *Journal of Chemical Health Risks*, 4(1), 29-36.
- Malheiros, R. S., Costa, L. C., Avila, R. T., Pimenta, T. M., Teixeira, L. S., Brito, F. A., Zsogon, A., Araujo, W. L. & Ribeiro, D. M. (2019). Selenium downregulates auxin and ethylene biosynthesis in rice seedlings to modify primary metabolism and root architecture. *Planta*, 250(1), 333-345.

- de Brito Mateus, M. P., Tavanti, R. F. R., Galindo, F. S., da Rocha Silva, A. C., Gouveia, G. C. C., Aparecido, C. F. F., Carr, N. F., Feitosa, Y. B., Santos, E. F., Lavres, J. & Dos Reis, A. R. (2020). *Coffea arabica* seedlings genotypes are tolerant to high induced selenium stress: Evidence from physiological plant responses and antioxidative performance. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 203, 111016.
- Matthews, S. & Khajeh-Hosseini, M. (2007). Length of the lag period of germination and metabolic repair explain vigour differences in seed lots of maize (*Zea mays*). *Seed Science and Technology*, 35(1), 200-212.
- Maxwell, D. P. & Bateman, D. F. (1967). Changes in the activities of some oxidases in extracts of Rhizoctonia-infected bean hypocotyls in relation to lesion maturation. *Phytopathology*, 57(5), 132-136.
- Nie, L., Liu, H., Zhang, L. & Wang, W. (2020). Enhancement in rice seed germination via improved respiratory metabolism under chilling stress. *Food and Energy Security*, 9(4), e234.
- Rady, M. O., Semida, W. M., Abd El-Mageed, T. A., Howladar, S. M. & Shaaban, A. (2020). Foliage applied selenium improves photosynthetic efficiency, antioxidant potential and wheat productivity under drought stress. *International Journal of Agriculture and Biology*, 24(5), 1293-1300.
- Salama, D. M., Abd El-Aziz, M. E., Rizk, F. A. & Abd Elwahed, M. S. A. (2020). Applications of nanotechnology on vegetable crops. *Chemosphere*, 129026.
- Shinde, S., Paralikar, P., Ingle, A. P. & Rai, M. (2020). Promotion of seed germination and seedling growth of Zea mays by magnesium hydroxide nanoparticles synthesized by the filtrate from *Aspergillus niger*. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(1), 3172-3182.
- Stampoulis, D., Sinha, S. K. & White, J. C. (2009). Assay-dependent phytotoxicity of nanoparticles to plants. *Environmental Science & Technology*, 43(24), 9473-9479.
- Suriyasak, C., Oyama, Y., Ishida, T., Mashiguchi, K., Yamaguchi, S., Hamaoka, N., Iwaya-Inoue, M. & Ishibashi, Y. (2020). Mechanism of delayed seed germination caused by high temperature during grain filling in rice (*Oryza sativa* L.). *Scientific Reports*, 10(1), 1-11.
- Tavakoli, S., Enteshari, S. & Yousefifard, M. (2020). Investigation of the effect of selenium on growth, antioxidant capacity and secondary metabolites in *Melissa officinalis*. *Plant Physiology*, 10(2), 3125-3134.
- Tymoszuk, A. & Wojnarowicz, J. (2020). Zinc oxide and zinc oxide nanoparticles impact on in vitro germination and seedling growth in *Allium cepa* L. *Materials*, 13(12), 2784.
- Ulhassan, Z., Gill, R. A., Huang, H., Ali, S., Mwamba, T. M., Ali, B., Huang, Q., Hamid, Y., Khan, A. R., Wang, J. & Zhou, W. (2019). Selenium mitigates the chromium toxicity in *Brassicca napus* L. by ameliorating nutrients uptake, amino acids metabolism and antioxidant defense system. *Plant Physiology and Biochemistry*, 145, 142-152.
- Vashisth, A. & Nagarajan, S. (2010). Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. *Journal of Plant Physiology*, 167(2), 149-156.
- Vidyasekharan, P. & Durairaj, P. (1973). Shot hole syndrome in mango. *Indian Phytopath*, 26, 49-55.

- Wu, M., Cong, X., Li, M., Rao, S., Liu, Y., Guo, J., hu, S., Chen, Sh., Xu, F., Cheng, Sh., Liu, L. & Yu, T. (2020). Effects of different exogenous selenium on Se accumulation, nutrition quality, elements uptake, and antioxidant response in the hyperaccumulation plant *Cardamine violifolia*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 204, 111045.
- Yao, C., Zhang, F., Sun, X., Shang, D., He, F., Li, X., Zhang, J. & Jiang, X. (2019). Effects of S-abscisic acid (S-ABA) on seed germination, seedling growth, and Asr1 gene expression under drought stress in maize. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38(4), 1300-1313.
- Zeid, I. M., Gharib, Z. F. A. E., Ghazi, S. M. & Ahmed, E. Z. (2019). Promotive effect of ascorbic acid, gallic acid, selenium and nano-selenium on seed germination, seedling growth and some hydrolytic enzymes activity of cowpea (*Vigna unguiculata*) seedling. *Journal of Plant Physiology & Pathology*, 7, 1-8.