Journal of Space Science, Technology& Applications (Persian)

Vol. 1, No. 1, pp.: 114-126
2021
Online ISSN:

Available in: Journal.isrc.ac.ir

DOI: 10.22034/jssta.2024.487398.1214

Article Info

Received: 2024-11-06

Accepted: 2025-01-07

Keywords

Seed, bio-capsule, Kavus Plant, germination, space

How to Cite this article

Fateme Mousavi," Effects of space flight on seed germination indices and some of its components" , Journal of Space Science, Technology and Applications, vol. 4 (2), p.:114-126, 2025.

Original Article

Effects of space flight on seed germination indices and some of its components

Fateme Mousavi

Air and Space Physiology Research Group, Aerospace Research Institute (ARI), Ministry of Science, Research and Technology (MSRT), Tehran, Iran
moosavi@ari.ac.ir

Abstract

Seed germination and seedling establishment are considered an essential growth stage and the first stage of plant adaptation in extraterrestrial environments. This project aimed to investigate the rocket launch-induced stress and the space conditions during a short-term space flight on the seed germination indicators and its components for the seeds of two plant species. The dry seeds were placed in a pre-designed metal structure and embedded in the Kavus bio-space capsule. The dry seeds were embedded in a pre-designed metal structure inside the Kavus bio-space capsule. After the successful launch and recovery of the capsule, relevant tests were performed on the seeds. The results were completely different depending on the chosen species. Quinoa seeds showed a positive response to the conditions of launch stress in the form of increased germination indices and radicle length. Eruca seeds showed a completely negative reaction to the stressful conditions of the launch and the space environment, which showed that this decrease reduced the germination index and its related Obviously, collecting sufficient evidence on the subject to prove the results of the present study requires designing more experiments on the seeds of these two species in future launches in Iran.

مقاله پژوهشی

اثرات پرواز فضایی بر شاخص های جوانه زنی بذر و برخی از مولفه های آن

فاطمه موسوی

استادیار، گروه فیزیولوژی هوافضایی، پژوهشگاه هوافضا، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، تهران، ایران، moosavi@ari.ac.ir

دسترس‌پذیر در نشانی:
Journal.isrc.ac.ir

دو فصلنامه
علـــوم، فـــناوری و
کاربردهـــای فضـــایی

سال چهارم، شماره ۲، صفحه ۱۲۶-۱۱۴
پاییز و زمستان ۱۴۰۳

DOI:
10.22034/jssta.2024.487398.1214

تاریخچه داوری

دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۶
پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۸

واژه های کلیدی

بذر، کپسول زیستی، کاووس، گیاه، جوانه زنی، فضا

نحوه استناد به مقاله

فاطمه موسوی." اثرات پرواز فضایی بر شاخص های جوانه زنی بذر و برخی از مولفه های آن "، *دوفصلنامه علوم، فناوری و کاربردهای فضایی*، جلد چهارم، شماره دوم، صفحات ۱۱۴-۱۲۶، ۱۴۰۳.

چکیده

جوانه زنی بذر و استقرار گیاهچه به عنوان مرحله ضروری رشد و اولین مرحله سازگاری گیاه در محیط های فراسیاره ای در نظر گرفته می شود. هدف از انجام پروژه حاضر بررسی تنش ناشی از پرتاپ و شرایط فضا طی یک پرواز فضایی کوتاه مدت بر شاخص های جوانه زنی بذر و مولفه های آن برای بذر دو گونه گیاهی (کبنوا و منداب) بود. بذرهای خشک درون یک سازه فلزی از پیش طراحی شده داخل کپسول زیستی کاووس تعبیه شدند. پس از پرتاب و بازیابی موفق کپسول، آزمایشات مربوطه بر روی بذرها انجام شد. نتایج بر حسب گونه انتخابی کاملا متفاوت بود. بذرهای کینوا پاسخ مثبتی به شرایط تنش پرتاب به صورت افزایش شاخص های جوانه زنی و افزایش طول ریشه چه نشان دادند. بذرهای گونه منداب پاسخ کاملا منفی به شرایط تنشی پرتاب و محیط فضا نشان دادند که این کاهش به صورت کاهش شاخص جوانه زنی و مولفه های مرتبط با آن بود. بدیهی است جمع آوری شواهد کافی در موضوع برای اثبات نتایج مطالعه حاضر نیاز به طراحی آزمایشات بیشتری بر روی بذرهای این دو گونه در پرتاب های آتی ایران دارد.

۱- مقدمه

از آغاز عصر اکتشافات فضایی، پاسخ گیاهان به شرایط فضا در آزمایشات متعددی مورد بررسی قرار گرفته است است [۱-۶]. گیاهان به عنوان جز اصلی سیستم پشتیبان حیات فضاپیما و ایستگاه های مداری مطرح می باشند [۷-۱۲] و بذر آن ها به عنوان ذخائر ژنتیکی یا ژرم پلاسم گیاه از جمله مهمترین محموله های زیستی برای انتقال به فضا از گذشته تاکنون بوده است [۶]. در زمینه ماموریت های فضایی مهم است گونه هایی را که قادر به تولید بذرهای متحمل به شرایط محیطی شدید فضای بیرونی می باشند را شناسایی نمائیم [۱۳]. پرتاب موشک V2 (۱۹۴۶ میلادی) حاوی بذرهای گیاه ذرت تا ارتفاع ۱۷۱ کیلومتری از سطح زمین، اولین ارسال محموله بذر گیاهان به فضا بود که پس از بازیابی محموله، هیچکدام از بذرها نتوانستند رویش یابند [۱۴]. در سال ۱۹۷۱ میلادی، برای اولین بار، استوارت روزا صدها بذر از گونه های درختی را به مدار اطراف ماه آورد تا پس از بازگشت به زمین، محققان بتوانند رشد آن ها را در زمین مطالعه نمایند [۱۵]. پس از آن در اوایل سال ۲۰۱۹ میلادی، بذرهای گیاه پنبه توسط کاوشگر چانگ ای ۴ چین به ماه آورده شدند. بر طبق گزارش آژانس فضایی چین، بذرهای پنبه کاشته شده در سطح دور ماه برای اولین بار جوانه زدند [۱۶]. اخیرا کشور چین طی ماموریت شنزو ۱۶، بذر ۱۳۶ نوع گیاه (متشکل از ۱۲ دانه غلات، ۲۸ بذر محصول پرسود، هفت گیاه مقاوم به شوری قلیایی و ۷۶ گونه گیاه جنگلی، علفی، گل و گیاهان دارویی) را به منظور قرار گرفتن در معرض تشعشعات کیهانی و ریزگرانش به ایستگاه فضایی تیانگونگ ارسال نموده است. هدف آن ها از این آزمایش، ایجاد جهش های ژنتیکی بالقوه در بذرها بود. این جهش ها می توانند عملکرد محصول را افزایش داده و گیاهان را در برابر خشکسالی و برخی بیماری‌ها مقاوم‌تر کنند [۱۷, ۱۸].

برخی از گزارشات نشان داده اند قرارگیری بذرهای خشک گیاهان در معرض عوامل پرواز فضایی طولانی مدت، اثرات زیستی مختلفی نظیر تغییرات ریخت شناسی [۱۹]، تغییر در میتوز سلولی و شکل اندامک [۲۰]، انحراف کروموزوم [۲۱]، جهش ژنی [۲۲]، و حتی تغییرات بیان ژن [۲۳] را به همراه دارد. علاوه بر این برخی از جهش یافته های پایدار ناشی از پروازهای فضایی با ویژگی های ارزشمندی نظیر بهبود عملکرد زیست توده یا افزایش کیفیت آن [۲۴]، تحمل به تنش های زیستی یا غیرزیستی [۲۵]، و تغییر در زمان خوشه زنی [۲۶, ۲۷] انتخاب شده اند و در توسعه ارقام جدید [۲۸] مورد توجه قرار گرفته اند. با اینحال، بیشتر این تحقیقات عمدتا بر محصولات غذایی نظیر برنج [۲۳, ۲۶]، گندم [۲۹] و گوجه فرنگی [۳۰] متمرکز بودند. اثرات پرواز فضایی بر بذرهای یونجه شامل افزایش پتانسیل جوانه زنی، کاهش شمار بذرهای سخت، کاهش شاخص جوانه زنی و بنیه بذر و کاهش رشد ریشه بود که توسط Ren و همکاران [۳۱]، گزارش شده است. این محققین بذرهای خشک یونجه را داخل یک ماهواره قابل بازیابی به مدت ۱۵ روز قرار دادند.

سازمان فضایی آمریکا (ناسا) ۱۰ گونه گیاهی (ترتیزک، گندم سیاه، گوجه فرنگی، تربچه، کینوا، اسفناج، لوبیا، منداب (گیاه راکت)، پیاز کوهی و تره فرنگی) را برای پرورش در فضا و خاک مریخ کاندید نموده است [۳۲]. در مطالعه حاضر، بذرهای ۲ گونه گیاهی از فهرست بالا شامل کینوآ و منداب انتخاب شد و درون محفظه زیستی کپسول کاووس تعبیه شد. پس از پرتاب و بازیابی موفق کپسول زیستی، شاخص جوانه زنی بذرها و برخی مولفه های آن (طول ریشه چه و ساقه چه) در مقایسه با نمونه های کنترل زمینی مورد سنجش قرار گرفت.

در حال حاضر داده های مرتبط با پاسخ های سازگارانه زیستی گیاهان در پروازهای فضایی طولانی مدت و در مدار غنی می باشد اما اطلاعات در رابطه با پاسخ فوق سریع (سازگاری فوری) گیاهان به شرایط پروازهای فضایی کوتاه مدت (نظیر موشک های اکتشافی و کپسول های زیستی برگشتی) بسیار محدود است [۳۳, ۳۴]. بنابراین هدف از مطالعه حاضر، بررسی پاسخ های رشدی بذرهای دو گونه مذکور به شرایط پرواز فضایی کوتاه مدت بود.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- تهیه بذرهای خشک

بذرهای خشک کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) و منداب (*Eruca sativa* Miller) از فروشگاه بذر پوپونیک تهیه شد و پس از اطمینان از قوه نامیه بالای بذرها، برای پروژه حاضر مورد استفاده قرار گرفتند.

۲-۲- طراحی سازه

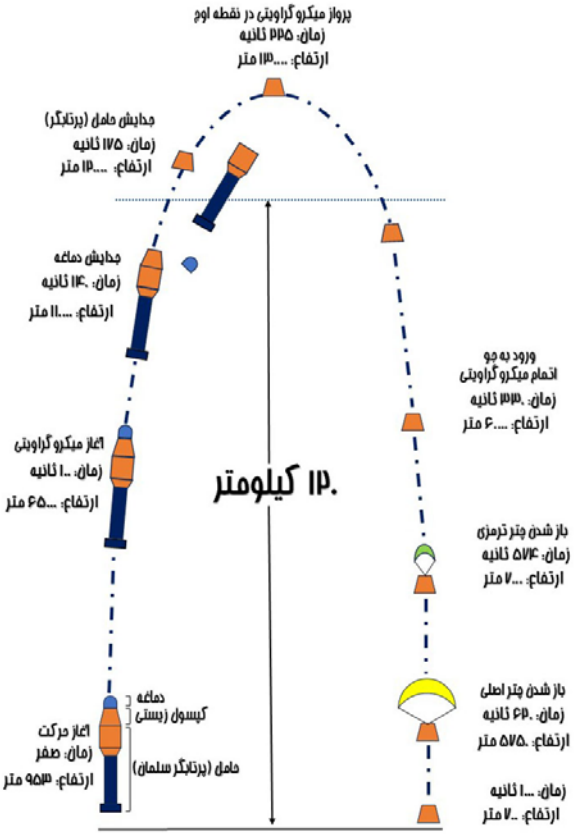
قبل از پرتاب، یک سازه فلزی با مقاومت بالا به منظور قرار دادن بذرها درون کپسول زیستی کاووس مطابق با شکل ۱ طراحی و ساخته شد. سپس هر کدام از نمونه های بذر خشک

کینوا و منداب (شکل ۱) درون یک پارچه بسیار نازک قرار داده شد و داخل سازه فلزی قرار گرفتند. سازه های های فلزی حاوی بذرها درون محفظه کپسول زیستی کاووس فیکس شدند. هدف از طراحی این سازه فلزی این بود که تا حد امکان بذرها در تماس با شرایط تنشی فضا قرار بگیرند.

شکل ۱. سازه فلزی طراحی شده برای تعبیه درون کپسول زیستی (تصویر سمت چپ) و نحوه قرار دادن بذرها درون آن (سمت راست).

۲-۳- پرتاب کپسول زیستی

کپسول زیستی کاووس با استفاده از پرتابگر بومی سلمان مورخ ۱۵ آذرماه ۱۴۰۳ از پایگاه امام خمینی (ره) سمنان به فضا پرتاب شد. مسیر پروازی این کپسول بر اساس مسیر هندسی کاوشگرهای زیرمداری بود. بدین نحو که، پرتابگر کپسول زیستی را تا ارتفاع ۳۵ کیلومتری بالا برد و در این ارتفاع موتور پرتابگر خاموش شد. کپسول زیستی در ارتفاع ۱۲۰ کیلومتری از پرتابگر جدا شد و بواسطه انرژی جنبشی دریافتی از پرتابگر تا ارتفاع ۱۳۰ کیلومتری از سطح زمین اوج گرفت. پس از آن، کپسول در مسیر بازگشت قرار گرفت و در ارتفاع ۶۰ کیلومتری از سطح زمین مجددا وارد جو شد. مدت زمان کل پرتاب، حدود ۱۵ دقیقه بود (شکل ۲). در طول مدت زمان پرتاب، بذر های گروه کنترل، روی زمین نگه داری شدند. پس از بازیابی موفق کپسول زیستی، بذرها برای انجام آزمون های مربوطه (شاخص های جوانه زنی و مولفه های آن) به آزمایشگاه منتقل شدند.



شکل ۲. مسیر پروازی کپسول زیستی کاووس

۲-۴- آماده سازی بستر کشت

اولین گام برای انجام آزمایشات بر روی بذرهای گروه پرتاب و کنترل زمینی، تهیه بستر کشت برای آن ها بود. بدین منظور، در شرایط استریل هود لامینار، کاغذهای صافی درون پلیت های کشت ۱۰ سانتی متری قرار گرفت. بذرها ابتدا با آب لوله کشی شستشو داده شد. سپس یک بار با آب حاوی چند قطر توین ۲۰ و سه مرتبه با آب مقطر شستشو داده شدند. پس از آن بلافاصله بذرها با آب مقطر استریل حاوی ۰.۱٪ هیپوکلریت سدیم به مدت ۶۰ ثانیه شستشو و سه مرتبه نیز با آب مقطر استریل آبکشی شدند.

پس از فرآیند استریل نمودن بذرها، آن ها بلافاصله بر روی پلیت های کشت قرار گرفتند. به هر پلیت ۵ میلی لیتر آب مقطر استریل اضافه شد. پس از بستن درب پلیت، نمونه ها به یک محفظه کشت مخصوص گیاه (ژرمیناتور) با شرایط محیطی کنترل شده برای جوانه زنی منتقل گردیدند. هر دو نمونه های پروازی و کنترل زمینی شامل ۵ تکرار ۵۰ تایی بودند. نرخ جوانه زنی (درصد رویش بذر) برای بذرهای منداب و کینوا در بازه های

زمانی ۱، ۲، ۳، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ روز مطابق با رابطه (۱) مورد سنجش قرار گرفت [۳۵].

$$Seed\ Germination = \frac{\text{Number of germinated seeds}}{\text{Number of total seeds}} \times 100 \quad (1)$$

۲-۵- آزمون تخمین شاخص نرخ جوانه زنی (GRI)[1]

شاخص نرخ جوانه زنی بذرهای منداب و کینوا در بازه های زمانی ۱، ۲، ۳، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ روز در گروه های کنترل زمینی و پرتاپ مطابق با رابطه (۲) محاسبه شد:

$$GI = \frac{N1}{1} + \frac{N2}{2} + \frac{N3}{3} + \cdots + \frac{Nn}{n} \quad (2)$$

که N1، N2، N3 و Nn تعداد بذرهای جوانه زده شده را در روزهای ۱، ۲، ۳ و n نشان می دهد.

۲-۶- آزمون تخمین شاخص جوانه زنی (GI)[2]

شاخص جوانه زنی بذرهای منداب و کینوا در بازه های زمانی ۱، ۲، ۳، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ روز در گروه های کنترل زمینی و پرتاپ مطابق با رابطه (۳) محاسبه شد:

$$GI = (10\times n1) + (9\times n2) + \cdots + (1\times n10) \quad (3)$$

که n1، n2، و...n10 تعداد بذرهای جوانه زده در روزهای اول، دوم و بعد تا روز دهم می باشند: ۱۰، ۹ و...۱ وزنی است که به ترتیب به تعداد بذرهای جوانه زده در روزهای اول، دوم و روزهای بعدی داده می شود.

۲-۷- آزمون سنجش طول ساقه چه و ریشه چه

طول ریشه چه و ساقه چه نیز در بازه های زمانی ذکر شده در بالا برای بذرهای منداب و کینوا با کمک ابزار کولیس (دقت: ۰.۰۱ mm) اندازه گیری شد. بدین منظور، به طور تصادفی از هر پلیت ۵ دانه رست برداشت شده و بر روی سطح مناسب و دارای رطوبت برای ممانعت از خشک شدن دانه رست ها قرار گرفتند. کولیس ابتدا بر روی صفر تراز گردیده و سپس طول ساقه چه و ریشه چه به صورت مجزا اندازه گیری و با دقت صدم میلیمتر گزارش گردید.

نتایج مطالعه با استفاده از آزمون تی مستقل در برنامه آماری Graphpad Prism نسخه ۸ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت [۳۶, ۳۷].

۳- نتایج و بحث

رشد یک گیاه با جوانه زنی بذر آغاز می شود و به دنبال آن رشد ریشه و خروج گیاهچه از خاک به عنوان اولین علائم رشد شناخته می شوند. جوانه زنی بذر و استقرار گیاهچه آسیب پذیرترین مرحله در بین مراحل چرخه زندگی یک گیاه است. بنابراین این پدیده به عنوان مرحله ضروری رشد گیاه و اولین مرحله سازگاری آن در محیط های فراسیاره ای (مدار LEO و فراتر از آن) نیز نظر گرفته می شود [۳۸]. برای اینکه یک بذر بتواند رویش موفقیت آمیزی را داشته باشد و در روند جوانه زنی آن اختلالی ایجاد نشود ضروری است عوامل داخلی و شرایط محیطی مناسبی داشته باشد. از جمله مهمترین عوامل داخلی، ذخیره مواد غذایی است که انرژی لازم را برای جوانه زنی تامین می کند. ترکیب مناسب رطوبت، درجه حرارت، اکسیژن و نور، شرایط محیطی مهم برای جوانه زنی یک بذر است.

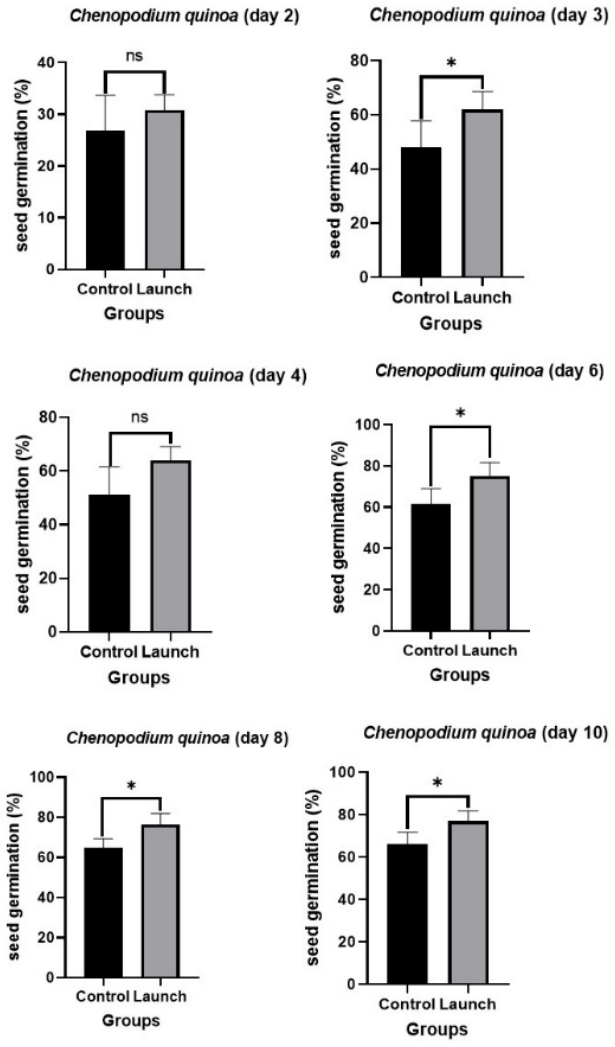
به طور کلی، فشار جزئی O2 به دلیل نقش آن در فرآیند فسفوریلاسیبون اکسیداتیو یک عامل اساسی در رویش بذر است، با این حال برخی از مطالعات نشان داده است رویش بذر و رشد اولیه گیاهچه در فشارهای پایین اتمسفر و در فضا امکان پذیر است [۳۹-۴۲]. در این رابطه، Tang و همکاران [۴۳] نشان دادند که گیاهان تک لپه و دولپه به فشار جزئی اکسیژن حداقل ۶ کیلوپاسکال برای رویش بذرشان نیاز دارند. همچنین ناسا، رویش بذرهای برنج را در فشار اتمسفر کاهش یافته (نزدیک به ۳۴ کیلوپاسکال) در وسیله نقلیه فضایی اسکای لب مورد بررسی قرار داد [۴۴].

[1] Germination Rate Index
[2] Germination Index

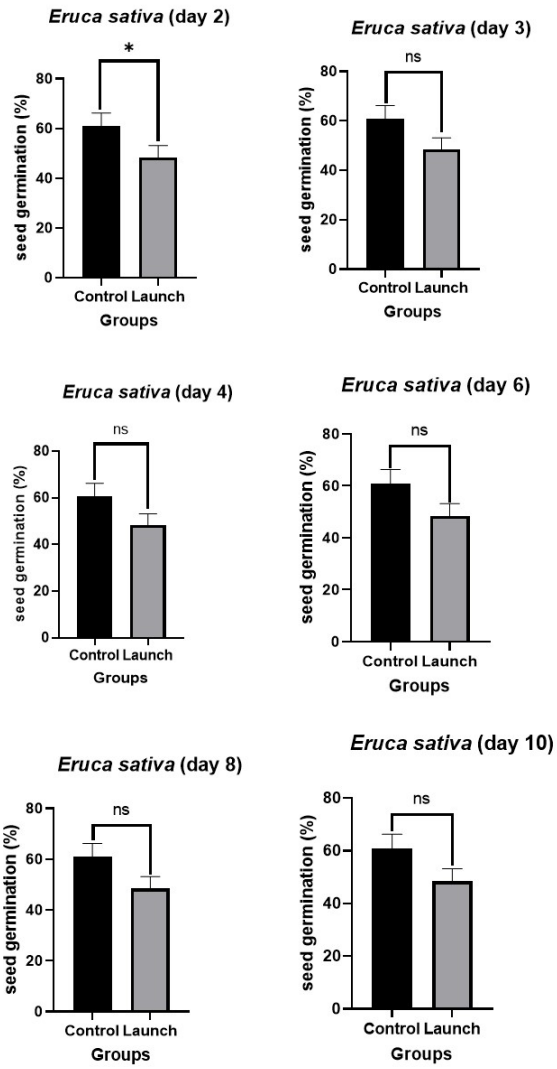
نوسانات دمایی شدید و فقدان اکسیژن می تواند از طریق تسریع پیری بذر منجر به از دست رفتن زیست پذیری آن شوند [۴۵, ۴۶]. به هر حال بذر گونه های مختلف گیاهی، میزان تحمل متفاوتی نسبت به شرایط شدید و خشن روی زمین و فضا دارند [۴۷]. بنابراین در مطالعه حاضر، بذر دو گونه گیاهی (کینوآ و منداب) که سازمان فضایی آمریکا (ناسا) برای سفرهای فضایی و پرورش در فضا کاندید نموده بود برای ارسال به مدار انتخاب شدند.

در مطالعه حاضر، مهمترین تنش های فضایی وارده بر کپسول زیستی کاووس از زمان شروع پرتاب تا بازگشایی چتر و فرود محموله زیستی شامل میکروگراویتی، هایپرگراویتی، نوسانات دمایی شدید و خلا (شرایط بی اکسیژنی و فشار پایین اتمسفر) بودند. مدت زمان هایپرگراویتی ۶۸ ثانیه و مدت زمان میکروگراویتی ۳.۶۵ دقیقه بود. محدوده نوسانات دمایی از ۸۴/۵- تا ۲۶۴/۴۸+ و تغییرات فشار (خلا ایجاد شده) از صفر تا ۹۰۰۰۰ پاسکال به مدت زمان ۴/۷۵ دقیقه بود.

مقایسه درصد رویش بذرهای کینوا بین گروه پرتاب و کنترل زمینی در بازه های زمانی مورد سنجش متفاوت بود و در تمامی بازه های زمانی نرخ رویش بذرهای مربوط به گروه پرتاب نسبت به گروه کنترل زمینی بالاتر بود (شکل ۳) که این افزایش در روزهای ۳، ۶، ۸ و ۱۰ در سطح احتمال ۵٪ معنادار بود. برعکس، برای منداب، درصد رویش بذرهای گروه پرتاب در مقایسه با گروه کنترل زمینی در همه بازه های زمانی مورد بررسی، کمتر بود (شکل ۴) که این کاهش در روز دوم در سطح احتمال ۵ ٪ معنادار بود.



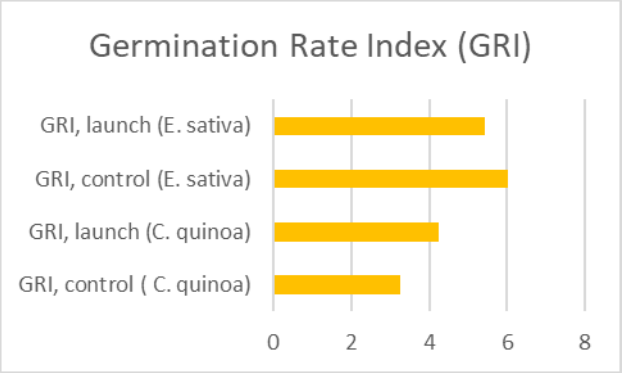
شکل ۳. مقایسه درصد رویش بذر کینوآ در نمونه های پرتاب و کنترل زمینی. میانگین ۵ تکرار.



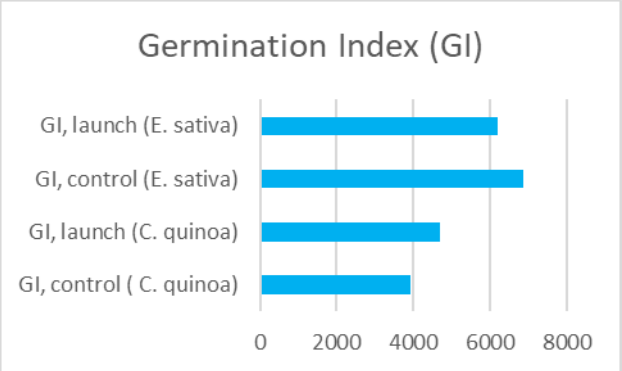
شکل ۴. مقایسه درصد رویش بذر منداب در نمونه های پرتاب و کنترل زمینی. میانگین ۵ تکرار.

مقایسه شاخص نرخ جوانه زنی (GRI) بذرهای کینوا و منداب (شکل ۵) در گروه های کنترل زمینی و پرتاب نشان می دهد شاخص نرخ جوانه زنی بذرهای کینوا در گروه پرتاب (۴/۲۳۶۵) نسبت به گروه کنترل زمینی (۳/۲۵۵) بالاتر است. بر عکس، این شاخص برای منداب، در گروه پرتاب (۵/۴۳۷۵) نسبت به گروه کنترل زمینی (۶/۰۲۹۵) پایین تر است.

نتایج تعیین شاخص جوانه زنی (GI) بذرهای کینوا و منداب در گروه های کنترل زمینی و پرتاب (شکل ۶) نشان می دهد بذرهای کینوا در گروه پرتاپ دارای شاخص جوانه زنی بالاتری (۴۶۷۹) نسبت به گروه کنترل زمینی (۳۹۳۰) می باشند. برعکس شاخص جوانه زنی بذرهای منداب در گروه پرتاب (۶۱۹۳) نسبت به گروه کنترل زمینی (۶۸۴۹) پایین تر می باشد.



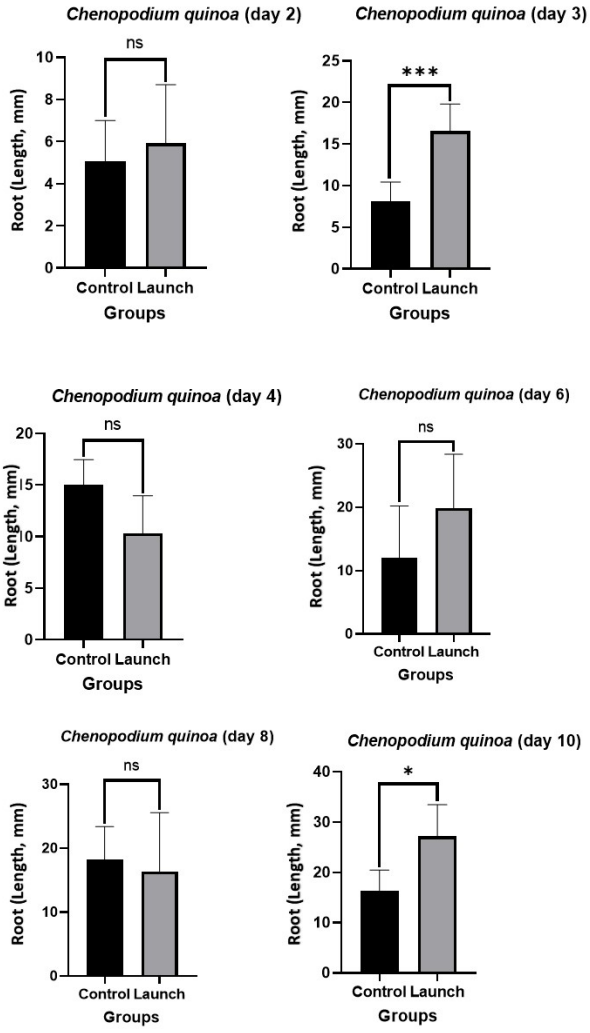
شکل ۵. مقایسه شاخص نرخ جوانه زنی (GRI) بین بذرهای (منداب و کینوا) گروه های پرتاب و کنترل.



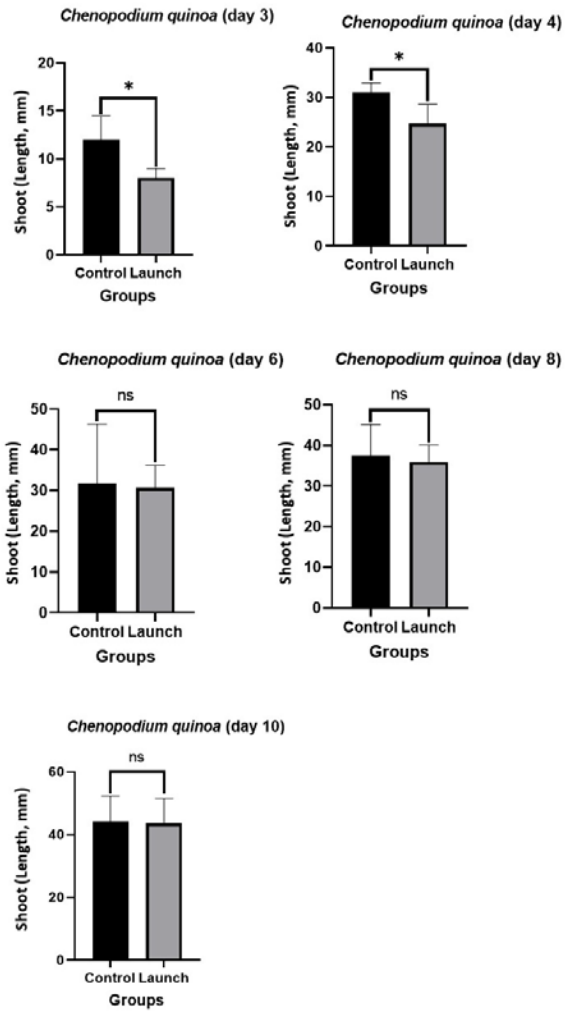
شکل ۶. مقایسه شاخص چوانه زنی (GI) بین بذرهای (منداب و کینوا) گروه های پرتاب و کنترل.

برخی شاخص های رشد نظیر طول ساقه چه و ریشه چه گیاهچه ها نیز مورد سنجش قرار گرفت. نتایج برای کینوا نشان داد طول ریشه چه در گروه پرتاب در روزهای سوم و دهم نسبت به گروه کنترل زمینی افزایش را نشان می دهد که این افزایش برای روز سوم در سطح احتمال یک هزارم ($p \leq 0.001$) و برای روز دهم در سطح احتمال پنج صدم ($p \leq 0.05$) معنادار می باشد (شکل ۷). برعکس طول ساقه چه در گروه پرتاب نسبت به گروه کنترل زمینی (شکل ۸) کاهش را نشان میدهد که این کاهش در روزهای سوم و چهارم در سطح احتمال ۵ درصد ($p \leq 0.05$) معنادار است. نتایج سنجش طول ریشه چه و ساقه چه برای منداب نشان داد طول ریشه چه برای گروه پرتاب در روزهای ۲، ۳، ۴، ۸ و ۱۰ کاهشی را نسبت به گروه کنترل زمینی نشان می دهد که البته این کاهش تنها در روزهای ۸ و ۱۰ به ترتیب در

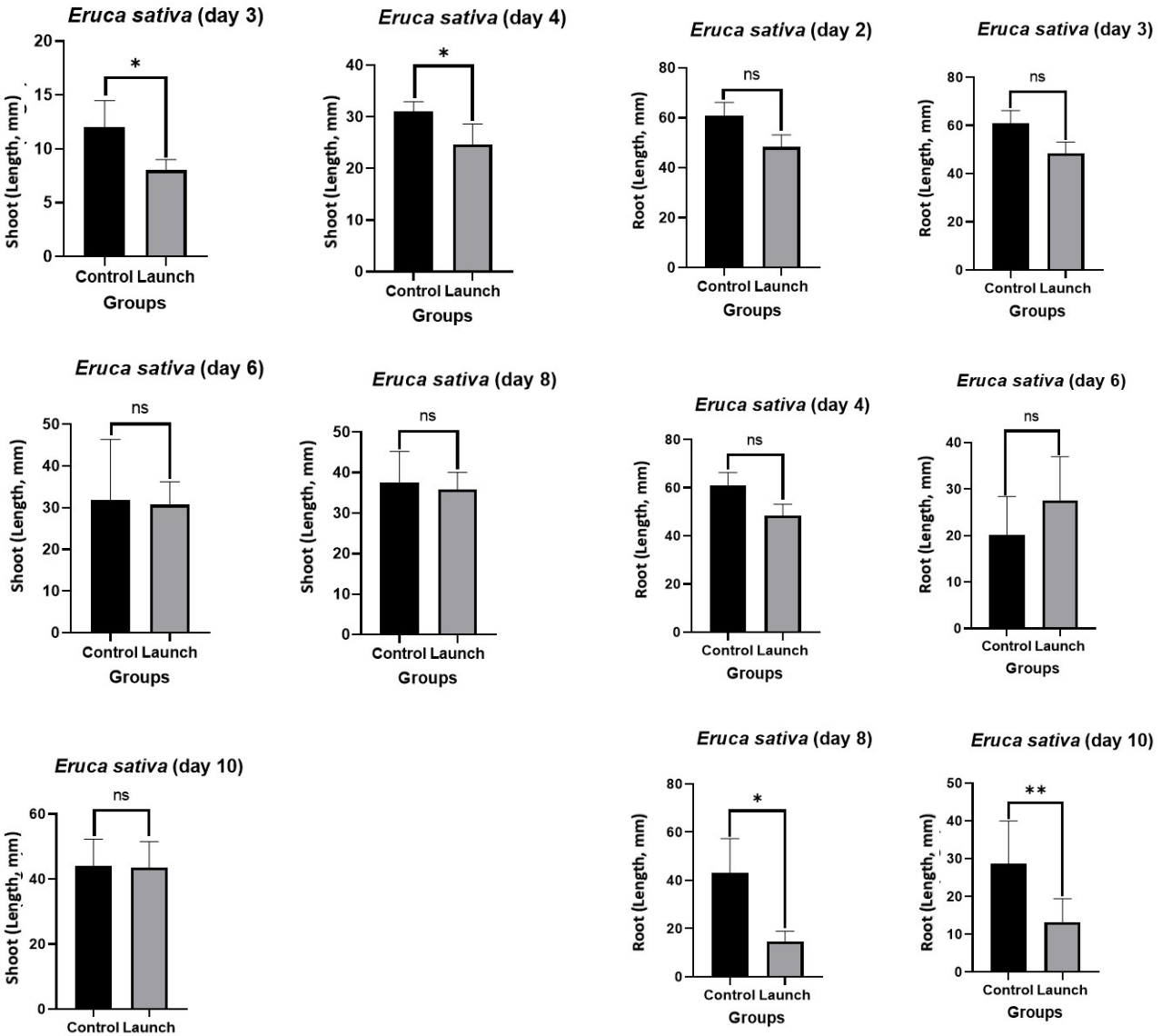
سطح احتمال پنج درصد ($p \leq 0.05$) و یک صدم ($p \leq 0.01$) از لحاظ آماری معنادار است (شکل ۹). طول ساقه چه نیز در گروه پرتاب نسبت به گروه کنترل زمینی در روزهای ۳، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ کاهش را نشان می دهد که این کاهش تنها برای روزهای ۳ و ۴ در سطح احتمال پنج درصد ($p \leq 0.05$) از لحاظ آماری معنادار است (شکل ۱۰).



شکل ۷. مقایسه طول ریشه چه کینوآ (بر حسب میلی متر) در نمونه های پرتاب و کنترل زمینی. میانگین ۵ تکرار.



شکل ۸. مقایسه طول ساقه چه کینوآ (بر حسب میلی متر) در نمونه های پرتاب و کنترل زمینی. میانگین ۵ تکرار.



شکل ۹. مقایسه طول ریشه چه منداب (بر حسب میلی متر) در نمونه های پرتاب و کنترل زمینی. میانگین ۵ تکرار.

شکل ۱۰. مقایسه طول ساقه چه منداب (بر حسب میلی متر) در نمونه های پرتاب و کنترل زمینی. میانگین ۵ تکرار.

کینوا، گیاهی دولپه و یکساله از خانواده تاج خروس (Amaranthaceae) است. ساقه های آن استوانه ای شکل هستند که می توانند به رنگ های سبز، زرد، بنفش تیره و یا قرمز باشند. ریشه های کینوا قوی و محکم و دارای انشعابات زیادی است. برگ ها مثلثی و نوک تیز که در زمان بلوغ سبز رنگ و به تدریج به رنگ های زرد، بنفش یا قرمز تغییر رنگ می دهند. گل آذین از نوع خوشه و گل ها دوجنسه و فاقد گلبرگ می باشند.

گونه کینوا مقاوم به تنش است. این گیاه، به سرما، شوری، خشکی و شرایط آب و هوایی شدید مقاوم است و در مناطق کوهستانی و ارتفاعات نیز قابل کشت است [۴۸]. کینوا هزاران سال است که در منطقه آند به عنوان یک منبع بسیار مغذی کشت می شود جایی که در آن رشد محصول به دلیل خشکسالی، یخبندان، شوری خاک، تگرگ، برف، باران، سیل و گرما بسیار دشوار است. این گونه تحمل غیرمعمول بالایی را نسبت به نمک نشان می دهد و دارای درجه بالایی از مقاومت در برابر سرما است و بسته به فاز فنولوژیکی و نوع واریته آن می تواند تا ۴ ساعت در دمای ۸- درجه سانتی گراد زنده بماند

[۴۹]. همچنین کینوآ به عنوان گونه ای محبوب برای کشت در فضا به دلیل خواص بی شمار و دوره رشد سریع آن مطرح می باشد [۵۰]. در مطالعه ما شرایط سخت و خشن کوتاه مدت فضای خارج از جو، اثرات مثبتی بر درصد رویش بذر، شاخص جوانه زنی، شاخص نرخ جوانه زنی و همچنین طول ریشه چه بذر این گونه داشت. در همین زمینه، نتایج مطالعه قبلی [۳۷] در رابطه با اثرات خلا بر درصد رویش بذر کینوآ، افزایش معنادار درصد رویش بذر را به دنبال تیمار بذرهای خشک آن با خلا شبیه سازی شده فضا نشان داد. به هر حال نتایج مطالعه حاضر با مطالعه Halloy و Gonz´alez [۵۱] مطابقت نداشت. این محققین اثرات فشار کم را بر روی رویش بذر کینوا در شرایط آزمایشگاهی مطالعه کردند و دریافتند رابطه معکوس بین بقا و افزایش ارتفاع (شرایط خلا یا بی اکسیژنی) وجود دارد. در همین رابطه، Ponessa و همکاران [۵۲] نیز جوانه‌زنی و پاسخ‌های رشد اولیه بذر کینوا را تحت یک جو استاندارد آزمایشگاهی کنترل‌شده با نوسانات فشار (کم- زیاد) مورد بررسی قرار دادند و گزارش نمودند شاخص جوانه زنی در بذرهای تحت تیمار تفاوتی با بذرهای شاهد ندارد.

گونه *Eruca sativa* که با نام های منداب، شابانک و یا راکت نیز شناخته می شود گیاهی یکساله از تیره Brassicaceae (Cruciferae) است که مصرف آن در سراسر جهان به طور فزاینده ای افزایش یافته است. از جنبه گیاهشناسی، منداب دارای ساقه ساده یا منشعب، برگ ها قاعده ای (گاهی طوقه ای)، گلبرگ ها زرد با رگه های قهوه ای یا بنفش و با ناخنکی طویل می باشد. میوه آن از نوع خورجین شکوفا (با سیخکی به طول ان ۵ تا ۹ میلی متر) است. دانه ها در دو ردیف درون میوه خورجین قرار گرفته اند.

این گونه در تمام طول سال به جز ماه های بسیار گرم یا بسیار سرد در مناطق معتدل کشت می شود. بذر آن بسیار مغذی است و شامل پروتئین های مختلف، گلوکوزینولات ها، ویتامین های A و C، فلاونوئیدها، اسیداوروسیک و محتوای روغن نسبتا بالا می باشد. روغن بذر این گونه به دلیل فعالیت آنتی اکسیدانی، ضد میکروبی و ضد سرطانی بسیار باارزش است [۵۳, ۵۴]. منداب یکی از گونه های گیاهی است که توسط سازمان ناسا برای پرورش در فضای خارج از جو و کشت روی سطح مریخ انتخاب شده است. در پژوهش حاضر، شرایط پرتاب و تنش کوتاه مدت فضای خارج از جو تاثیر منفی بر شاخص های جوانه زنی و مولفه های آن (طول ریشه چه و ساقه چه) داشت. در همین زمینه Chandler و همکاران [۵۵] نشان دادند یکی از اثرات پرواز فضایی طولانی مدت بر بذرهای خشک منداب کاهش قدرت جوانه زنی بذر می باشد هرچند زیست پذیری بذرها و رشد گیاهچه ها تحت تاثیر قرار نگرفت [۵۵]. در مطالعه دیگری توسط گروه ما [۵۶]، قرار دادن بذرهای خشک منداب تحت تیمار خلا شبیه سازی شده فضا منجر به افزایش معنادار شاخص جوانه زنی بذر منداب در گروه تحت تیمار خلا نسبت به گروه کنترل زمینی شد.

بر اساس یک مطالعه مرور نظام مند در موضوع پژوهش حاضر توسط گروه ما (داده های منتشر نشده)، از قبل از سال ۱۹۶۰ تا آگوست ۲۰۲۴ میلادی، ۱۲ پرتاب از نوع موشک های اکتشافی و یا کپسول های زیستی حامل محموله گیاهی در دنیا انجام شده است که هیچکدام حامل بذرهای خشک گیاهان نبوده است و محموله آن ها شامل پروتوپلاست ها (سلول های گیاهی بدون دیواره)، سوسپانسیون های سلولی، کالوس، اندام های گیاهی (ریزوئید) و گیاهچه های ۷ و ۱۰ روزه بود. لذا از این حیث، پژوهش حاضر، اولین ماموریت فضایی کوتاه مدت حامل محموله بذر گیاهان است و در نتیجه امکان مقایسه نتایج مطالعه حاضر با مطالعات قبلی مشابه وجود ندارد.

۴- نتیجه گیری

در زمینه ماموریت های فضایی و پرتاب های مرتبط با آن مهم است بدانیم کدام گونه ها قادرند بذرهایی را تولید کنند که بتوانند شرایط محیطی شدید فضای بیرونی را تحمل نمایند. اکثریت قریب به اتفاق انتشاراتی که در این زمینه در دنیا وجود دارد اثرات طولانی مدت محیط خشن فضا را بر ژرم پلاسم گیاهی (بذر)، قدرت جوانه زنی بذر و مولفه های مرتبط با آن به طور ویژه در ایستگاه بین المللی فضایی و یا ماهواره های قابل بازیابی مورد مطالعه قرار داده اند. بنابراین با دانش کنونی ما و پس از انجام بررسی مرجع شناسی در موضوع، به نظر می رسد مطالعه حاضر برای اولین بار اثرات پروازهای کوتاه مدت فضایی (کاوشگرهای فضایی و کپسول های زیستی) را بر ژرم پلاسم گیاهی نشان داده است. به طوری که برحسب گونه انتخابی، پاسخ های رویشی و رشدی بذر آن به شرایط پرتاب و فضا کاملا متفاوت بود. بذرهای کینوا به عنوان یک گونه مقاوم به تنش پاسخ مثبتی به شرایط تنش پرتاب نشان دادند. در حالی که برعکس، بذرهای گونه منداب پاسخ کاملا منفی به شرایط تنش پرتاب و محیط فضا نشان دادند که این کاهش به صورت کاهش

شاخص جوانه زنی و مولفه های مرتبط با آن بود. بدیهی است برای جمع آوری شواهد کافی در موضوع و اثبات نتایج مطالعه حاضر، طراحی آزمایشات بیشتری بر روی بذرهای این دو گونه و گونه های گیاهی دیگر در پرتاب های آتی ایران ضروری به نظر می رسد. بنابراین مطالعه حاضر بیش از پیش بر اهمیت انجام آزمایشات زیستی بر روی بذرها و گونه های گیاهی در پروازهای فضایی کوتاه مدت نظیر ماهواره های زیستی، کاوشگرها و راکت های زیرمداری و مداری به منظور انتخاب گونه های گیاهی متحمل به شرایط فضا تاکید دارد. از سوی دیگر این پرتاب ها با توجه به بازدهی بالا، هزینه اجرای کمتر و امکان طراحی سریع آزمایشات زیستی نسبت به ماموریت های طولانی مدت فضایی با اهمیت می باشند. با در نظر گرفتن این مسئله که در حال حاضر کشورمان ایران هیچگونه ایستگاه فضایی مداری به صورت مستقل و یا مشترک با سایر کشورها برای انجام پژوهش های علمی در مدار ندارد گنجاندن پرتاب های منظم (هر دو سال یک بار) مرتبط با موشک ها و کپسول های زیستی زیرمداری و مداری در برنامه فضایی کشور برای انجام آزمایشات علمی مرتبط با زیست فضا به طور ویژه در بخش علوم گیاهی و نتیجه اقتدارآفرینی در این حوزه در سطح جهان پیشنهاد می گردد.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

تشکر و قدردانی

نگارنده بر خود لازم می داند از سازمان صنایع هوافضای وزارت دفاع جمهوری اسلامی ایران، سازمان فضایی ایران و پژوهشگاه هوافضا وزارت علوم تحقیقات و فناوری برای طراحی و ساخت پرتابگر سلمان، کپسول زیستی کاووس و حمایت مالی پروژه حاضر کمال تشکر و قدردانی را داشته باشد.

مراجع

[1] I. Anikeeva *et al.*, "Radiobiological experiments with plant seeds aboard the biosatellite Kosmos 1887," *International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part D. Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, vol. 17, no. 2, pp. 167-171, 1990.

[2] M. E. Musgrave, "Seeds in space," *Seed Science Research*, vol. 12, no. 1, pp. 1-17, 2002.

[3] M. E. Musgrave and A. Kuang, "Plant reproductive development during spaceflight," *Advances in space biology and medicine*, vol. 9, pp. 1-23, 2003.

[4] D. Tepfer and S. Leach, "Survival and DNA damage in plant seeds exposed for 558 and 682 days outside the International Space Station," *Astrobiology*, vol. 17, no. 3, pp. 205-215, 2017.

[5] M. T. P. Nguyen *et al.*, "Space farming: horticulture systems on spacecraft and outlook to planetary space exploration," *Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 194, pp. 708-721, 2023.

[6] F. Mousavi, "Plant germplasm and extreme conditions of outer space," *Space Science and Technology*, vol. 16, no. English Special Issue, pp. 65-71, 2023.

[7] M. Czupalla, V. Aponte, S. Chappell, and D. Klaus, "Analysis of a spacecraft life support system for a Mars mission," *Acta Astronautica*, vol. 55, no. 3-9, pp. 537-547, 2004.

[8] W. M. Knott, "Use of plants to control the atmosphere in spacecraft," 1991.

[9] P. Eckart, *Spaceflight life support and biospherics*. Springer Science & Business Media, 2013.

[10] V. Sychev, M. Levinskikh, T. Gurieva, and I. Podolsky, "Biological life support systems for space crews: some results and prospects," *Human Physiology*, vol. 37, pp. 784-789, 2011.

[11] V. De Micco, C. Arena, L. Di Fino, and L. Narici, "Radiation environment in exploration-class space missions and plants' responses relevant for cultivation in Bioregenerative Life Support Systems," *Frontiers in Plant Science*, vol. 13, p. 1001158, 2022.

[12] R. Morrow, J. Wetzel, R. Richter, and T. Crabb, "Evolution of space-based plant growth technologies for hybrid life support systems," 2017: 47th International Conference on Environmental Systems.

[13] F. Mousavi, "The effect of extreme temperature fluctuations simulated of space on the electrophoretic profile of tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.) seed storage proteins," *Space Science and Technology*, vol. 16, no. 4, pp. 83-89, 2023.

[14] M. Böhmer and E. Schleiff, "Microgravity research in plants: A range of platforms and options allow research on plants in zero or low gravity that can yield important insights into plant physiology," *EMBO reports*, vol. 20, no. 7, p. e48541, 2019.

[15] L. C. Rourks, "Moon Trees," *Prairie Schooner*, vol. 88, no. 1, pp. 147-156, 2014.

[16] A. Jones, "China grew two leaves on the moon: The Chang'e-4 spacecraft also carried potato seeds and fruit-fly eggs to the lunar far side-[News]," *IEEE Spectrum*, vol. 56, no. 11, pp. 9-10, 2019.

[17] X. Jinping, "China's Space Programme."

[18] A. H. Cordesman and J. Kendall, *Chinese space strategy and developments*. Center for Strategic and International Studies (CSIS), 2022.

[19] X. Yu *et al.*, "Characteristics of phenotype and genetic mutations in rice after spaceflight," *Advances in Space Research*, vol. 40, no. 4, pp. 528-534, 2007.

[20] S. Jiao, E. Hilaire, A. Q. Paulsen, and J. A. Guikema, "Brassica rapa plants adapted to microgravity with reduced photosystem I and its photochemical activity," *Physiologia plantarum*, vol. 122, no. 2, pp. 281-290, 2004.

[21] R. Weibo, X. Zhu, C. Libo, G. Huiqin, W. Mi, and Z. Liang, "Cytological changes of root tip cells of alfalfa

[38] R. A.-M. Repo-Carrasco-Valencia and L. A. Serna, "Quinoa (Chenopodium quinoa, Willd.) as a source of dietary fiber and other functional components," *Food Science and Technology*, vol. 31, pp. 225-230, 2011.

[39] E. E. Sigstad and F. E. Prado, "A microcalorimetric study of Chenopodium quinoa Willd. seed germination," *Thermochimica acta*, vol. 326, no. 1-2, pp. 159-164, 1999.

[40] S. H. Schwartzkopf and R. L. Mancinelli, "Germination and growth of wheat in simulated Martian atmospheres," *Acta Astronautica*, vol. 25, no. 4, pp. 245-247, 1991.

[41] M. E. Musgrave, W. A. Gerth, H. W. Scheld, and B. R. Strain, "Growth and mitochondrial respiration of mungbeans (Phaseolus aureus Roxb.) germinated at low pressure," *Plant physiology*, vol. 86, no. 1, pp. 19-22, 1988.

[42] P. Carillo, B. Morrone, G. M. Fusco, S. De Pascale, and Y. Rouphael, "Challenges for a sustainable food production system on board of the international space station: A technical review," *Agronomy*, vol. 10, no. 5, p. 687, 2020.

[43] Y. Tang, F. Gao, S. Guo, and F. Li, "Effects of hypobaria and hypoxia on seed germination of six plant species," *Life Sciences in Space Research*, vol. 3, pp. 24-31, 2014.

[44] A.-L. Paul and R. J. Ferl, "The biology of low atmospheric pressure–implications for exploration mission design and advanced life support," *Gravitational and Space Biology*, vol. 19, no. 2, pp. 3-18, 2006.

[45] C. Culshaw, P. Espinosa, H. Pritchard, and J. Engels, "Thermal scarification of hard seeds by wet heat treatments risks accelerated seed ageing: evidence from five woody taxa," in *Proceedings of the International Union of Forestry Research Organizations Tree Seeds Meeting, China*, 2002, pp. 34-39.

[46] S. González-Pérez, J. M. Vereijken, K. B. Merck, G. A. van Koningsveld, H. Gruppen, and A. G. Voragen, "Conformational states of sunflower (Helianthus annuus) helianthinin: effect of heat and pH," *Journal of agricultural and food chemistry*, vol. 52, no. 22, pp. 6770-6778, 2004.

[47] A. Vashisth and S. Nagarajan, "Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (Helianthus annuus) seeds exposed to static magnetic field," *Journal of plant physiology*, vol. 167, no. 2, pp. 149-156, 2010.

[48] A. Vega-Gálvez, M. Miranda, J. Vergara, E. Uribe, L. Puente, and E. A. Martínez, "Nutrition facts and functional potential of quinoa (Chenopodium quinoa willd.), an ancient Andean grain: a review," *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 90, no. 15, pp. 2541-2547, 2010.

[49] W. Derbali, A. Manaa, R. Goussi, I. Derbali, C. Abdelly, and H.-W. Koyro, "Post-stress restorative response of two quinoa genotypes differing in their salt resistance after salinity release," *Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 164, pp. 222-236, 2021.

[50] S. Romero and S. Shahriari, "Quinoa's global success creates quandary at home," *The New York Times*, vol. 19, pp. 86-99, 2011.

[51] S. Halloy and J. González, "An inverse relation between frost survival and atmospheric pressure," seeds after space flight," *Acta Agriculturae Nucleatae Sinica*, vol. 22, 2008.

[22] Y. Li, M. Liu, Z. Cheng, and Y. Sun, "Space environment induced mutations prefer to occur at polymorphic sites of rice genomes," *Advances in Space Research*, vol. 40, no. 4, pp. 523-527, 2007.

[23] Z. Cheng, M. Liu, M. Zhang, X. Hang, C. Lei, and Y. Sun, "Transcriptomic analyses of space-induced rice mutants with enhanced susceptibility to rice blast," *Advances in Space Research*, vol. 40, no. 4, pp. 540-549, 2007.

[24] Y. Ma, Z. Cheng, W. Wang, and Y. Sun, "Proteomic analysis of high yield rice variety mutated from spaceflight," *Advances in Space Research*, vol. 40, no. 4, pp. 535-539, 2007.

[25] W.-m. XIAO *et al.*, "Blast-resistance inheritance of space-induced rice lines and their genomic polymorphism by microsatellite markers," *Agricultural Sciences in China*, vol. 8, no. 4, pp. 387-393, 2009.

[26] L.-j. WEI *et al.*, "A comparative study on mutagenic effects of space flight and irradiation of γ-rays on rice," *Agricultural Sciences in China*, vol. 5, no. 11, pp. 812-819, 2006.

[27] L.-J. Wei *et al.*, "Analysis of cytogenetic damage in rice seeds induced by energetic heavy ions on-ground and after spaceflight," *Journal of radiation research*, vol. 47, no. 3-4, pp. 273-278, 2006.

[28] D. Cyranoski, "Satellite will probe mutating seeds in space," *Nature*, vol. 410, no. 6831, pp. 857-858, 2001.

[29] R.-Q. Gu and H. Shen, "Effects of space flight on the growth and some cytological characteristics of wheat seedlings," 1989.

[30] E. C. Hammond Jr, K. Bridgers, and F. D. Berry, "Germination, growth rates, and electron microscope analysis of tomato seeds flown on the LDEF," *Radiation measurements*, vol. 26, no. 6, pp. 851-861, 1996.

[31] W. Ren, Y. Zhang, B. Deng, H. Guo, L. Cheng, and Y. Liu, "Effect of space flight factors on alfalfa seeds," *African Journal of Biotechnology*, vol. 9, no. 43, p. 7273, 2010.

[32] B. Kotzen, M. P. Perez, and L. Fruscella, "Feeding Mars: A pilot study growing vegetables using aquaponic effluent fertiliser in simulant and analogue Martian regoliths," *Ecocycles*, vol. 10, no. 1, pp. 1-17, 2024.

[33] R. J. Ferl *et al.*, "Transcriptomic dynamics in the transition from ground to space are revealed by Virgin Galactic human-tended suborbital spaceflight," *npj Microgravity*, vol. 9, no. 1, p. 95, 2023.

[34] N. S. Beisel, J. Noble, W. B. Barbazuk, A.-L. Paul, and R. J. Ferl, "Spaceflight-induced alternative splicing during seedling development in Arabidopsis thaliana," *NPJ microgravity*, vol. 5, no. 1, p. 9, 2019.

[35] F. E. Prado, C. Boero, M. R. A. Gallardo, and J. A. González, "Effect of NaCl on growth germination and soluble sugars content in Chenopodium quinoa Willd. seeds," 2000.

[36] F. Mosavi, "Effects of Simulated Microgravity on Pollen Germination and Growth of Lily," 2019.

[37] F. Mousavi, "The effect of simulated space vacuum conditions on some biochemical and physiological responses of quinoa," *Nova Biologica Reperta*, pp. 0-0.

Arctic and Alpine Research, vol. 25, no. 2, pp. 117-123, 1993.

[52] G. Ponessa *et al.*, "Tolerance of high mountain quinoa to simulated extraplanetary conditions. Changes in surface mineral concentration, seed viability and early growth," *Acta Astronautica*, vol. 195, pp. 502-512, 2022.

[53] E. Mallah *et al.*, "The influence of Eruca sativa (Arugula) on pharmacokinetics of sildenafil in rats," *Neuroendocrinology Letters*, vol. 38, no. 4, pp. 295-300, 2017.

[54] H. Hniličková, F. Hnilička, J. Martinkova, and K. Kraus, "Effects of salt stress on water status, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of rocket," *Plant, Soil and Environment*, vol. 63, no. 8, pp. 362-367, 2017.

[55] J. O. Chandler *et al.*, "Rocket science: The effect of spaceflight on germination physiology, ageing, and transcriptome of Eruca sativa seeds," *Life*, vol. 10, no. 4, p. 49, 2020.

[56] ف. موسوی, "منداب و امنیت غذایی در محیط های فراسیاره ای," دانش و فناوری هوافضا, vol. 13, no. 2, pp. -, 2025.

COPYRIGHTS
© 2025 by the authors. Licensee Iranian Space Research Center of Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)