JSST
Journal of Space Science and Technology

P-ISSN: 2008-4560
E-ISSN: 2423-4516

Journal of Space Science and Technology

Vol. 18, No. 1, pp. 92-100, 2025
https://doi.org/10.22034/jsst.2024.1503
Journal Homepage: https://www.jsstpub.com

Original Research Paper

The Effects of Suborbital Space Flight on Plant Germplasm in Kavus Bio Capsule

Fateme Mousavi

Aerospace Research Institute, Ministry of Science, Research and Technology, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article History:

Received 29 September 2024
Revised 16 October 2024
Accepted 27 October 2024
Available Online 11 November 2024

Keywords:

Seed
Suborbital flight
Launch
Bio capsule
Germination index

ABSTRACT

Recent advancements in commercial suborbital spacecraft have provided new opportunities to investigate the effects of short-term space missions on living organisms. Plants play a vital role in life support systems for space exploration, supplying essential resources for long-term human survival beyond Earth. As plant genetic reserves or germplasm, seeds have been among the most significant biological payloads in suborbital missions.This study examined the impact of a suborbital flight using the Kavus bio capsule on the germination indices of tomato seeds and the growth indices—specifically epicotyl and radicle length—of the resulting plants. The capsule reached an altitude of 133 km, with a total flight duration of 900 seconds. The launch speed and acceleration were 1657.97 m/s and 64 m/s², respectively. During the mission, biological samples were exposed to 245 seconds of microgravity and 68 seconds of hypergravity, with temperature fluctuations ranging from −84.5°C to +264.48°C. Following the successful launch and recovery of the biological payload, researchers analyzed seed germination and seedling growth indices. The findings revealed that suborbital flight stimulated initial seed growth and positively influenced the growth indices of tomato seedlings in the flight group compared to the ground control group.Based on the available literature, data on the ultrafast response of plants to short-duration space missions remain limited. This study provides valuable insights into the effects of brief space missions on biological systems, particularly plants. However, further research is needed to explore such exposures' long-term physiological and genetic effects. Future studies should also investigate potential countermeasures to mitigate adverse effects and optimize plant growth in space environments.

*Corresponding Author's E-mail: moosavi@ari.ac.ir

How to Cite this Article:
F. Mousavi, "The effects of suborbital space flight on plant germplasm in Kavus bio capsule," *Journal of Space Science and Technology*, Vol. 18, No. 1, pp. 92-100, 2025, (in Persian), https://doi.org/10.22034/jsst.2024.1503.

COPYRIGHTS
© 2025 by the authors. Published by Aerospace Research Institute. 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).

OPEN ACCESS

JSST
علوم و فناوری فضایی

شاپای چاپی: ۴۵۶۰-۲۰۰۸
شاپای الکترونیکی: ۴۵۱۶-۲۴۲۳

علوم و فناوری فضایی

سال ۱۴۰۴، دوره ۱۸، شماره ۱، صفحه ۹۲-۱۰۰
https://doi.org/10.22034/jsst.2024.1503
Journal Homepage: https://www.jsstpub.com

مقاله پژوهشی

اثرات پرواز فضایی زیرمداری بر ژرم پلاسم گیاهی در کپسول زیستی کاووس

فاطمه موسوی

استادیار، پژوهشگاه هوافضا، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۸ مهر ۱۴۰۳
بازنگری ۲۵ مهر ۱۴۰۳
پذیرش ۶ آبان ۱۴۰۳
اولین انتشار ۲۱ آبان ۱۴۰۳

واژه‌های کلیدی:

بذر
پرواز زیرمداری
پرتاب
کپسول زیستی
شاخص جوانه‌زنی

چکیده

توسعه فضاپیماهای تجاری زیرمداری در دنیا در سال‌های اخیر، فرصتی را برای درک اثرات عوامل پرواز فضایی کوتاه مدت بر بیولوژی موجودات زنده فراهم آورده است. گیاهان یک عنصر مهم سیستم‌های پشتیبانی از حیات در اکتشافات فضایی هستند، زیرا آن‌ها اجزای ضروری برای بقای طولانی مدت انسان در خارج از زمین را فراهم می‌کنند. بذر آن‌ها به‌عنوان ذخائر ژنتیکی گیاه یا ژرم پلاسم از جمله مهم‌ترین محموله‌های زیستی برای انتقال به فضا از گذشته تاکنون بوده است. هدف از انجام مطالعه حاضر، بررسی اثرات یک پرواز زیرمداری (کپسول زیستی کاووس) بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذرهای گوجه‌فرنگی و شاخص‌های رشدی (طول ساقه‌چه و ریشه‌چه) گیاهان رویش یافته از آن‌ها بود. ارتفاع پرتاب کپسول ۱۳۳ کیلومتر و طول مدت زمان کل پرتاب، ۹۰۰ ثانیه بود. سرعت و شتاب پرتاب به‌ترتیب ۱۶۵۷/۹۷ متر بر ثانیه و ۶۴ متر بر مجذور ثانیه بود. مدت زمان میکروگرانویتی وهایپرگرانویتی اعمال شده بر نمونه‌های زیستی در این پرتاب به‌ترتیب ۲۴۵ و ۶۸ ثانیه بود. محدوده نوسانات دمایی بین ۸۴/۵- تا ۲۶۴/۴۸+ درجه سانتی‌گراد بود. پس از پرتاب و بازیابی موفقیت‌آمیز محموله زیستی، شاخص جوانه‌زنی بذر و شاخص‌های رشدی گیاهچه‌ها بین گروه‌های پرتاب و کنترل زمینی مقایسه شد. پرواز فضایی موجب تحریک رشد اولیه بذرها شد و تاثیرات مثبتی در رابطه با شاخص‌های رشدی گیاهچه‌های گوجه‌فرنگی گروه پرتاب در مقایسه با گروه کنترل زمینی داشت. با دانش ما، اطلاعات در رابطه با پاسخ فوق سریع گیاهان به شرایط پروازهای فضایی کوتاه مدت بسیار محدود است. این گزارش می‌تواند بینش‌های جدیدی را در رابطه با اهمیت بررسی اثرات پروازهای فضایی کوتاه مدت بر سیستم‌های زیستی و به‌طور ویژه گیاهان، ارائه دهد.

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: moosavi@ari.ac.ir

How to Cite this Article:
F. Mousavi, "The effects of suborbital space flight on plant germplasm in Kavus bio capsule," *Journal of Space Science and Technology*, Vol. 18, No. 1, pp. 92-100, 2025, (in Persian), https://doi.org/10.22034/jsst.2024.1503.

COPYRIGHTS
© 2025 by the authors. Published by Aerospace Research Institute. 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).

OPEN ACCESS

علائم و اختصارات

پرتوهای کیهانی کهکشانی	GCRs
ماورابنفش با طول موج کوتاه	UV-C
ماورابنفش با طول موج متوسط	UV-B
شاخص نرخ جوانه‌زنی	GRI
شاخص جوانه‌زنی	GI

مقدمه

گیاهان یک عنصر مهم سیستم‌های پشتیبانی از حیات در اکتشافات فضایی هستند، زیرا آن‌ها اجزای ضروری برای بقای طولانی مدت انسان در خارج از زمین را فراهم می‌کنند [۱–۳]. بذر آن‌ها به‌عنوان ذخائر ژنتیکی گیاه یا ژرم پلاسم از جمله مهم‌ترین محموله‌های زیستی برای انتقال به فضا از گذشته تاکنون بوده است [۴–۶]. در زمینه ماموریت‌های فضایی مهم است بدانیم کدام گونه‌ها قادرند بذرهایی را تولید کنند که بتوانند شرایط محیطی شدید فضای بیرونی را تحمل نمایند.

اقلیم فضا با گرانش کم، نوسانات دمایی شدید، تشعشعات کیهانی کهکشانی (GCRs) و خورشیدی با طول موج بسیار کوتاه مشخص می‌شود. علاوه بر این، در فضا، UV-C با طول موج‌های کوتاه‌تر از UV-B بسیار شایع‌تر است و شدت آن بسیار بیشتر از روی زمین است. بنابراین ضروری به‌نظر می‌رسد برای ایجاد یک سیستم پشتیبان حیات پایدار برای تضمین زندگی انسان در فضا، اثرات محیط پیچیده فضا بر رشد و نمو گیاهان به خوبی درک شود [۷–۱۰]. درهمین راستا، تحقیق بر روی نحوه پاسخ گیاهان به محیط فضا و مکانیزم رشد آن‌ها در چنین اقلیم منحصر بفردی تاریخچه مفصلی دارد. همزمان با آغاز عصر پروازهای فضایی، در ماه می سال ۱۹۶۰ میلادی، اولین محموله گیاهی شامل بذرهای ذرت، نخود، گندم و پیاز با استفاده از ماهواره اسپوتنیک ۴ به فضا ارسال شد [۱۱]. از آن زمان تاکنون، آزمایشات گیاهی متعددی در ایستگاه‌های مداری و یا وسائل پروازی قابل بازیابی انجام شده است [۱،۱۲].

توسعه فضاپیماهای تجاری زیرمداری در دنیا در سال‌های اخیر، فرصتی را برای درک اثرات عوامل پرواز فضایی کوتاه مدت بر بیولوژی موجودات زنده فراهم آورده است [۱۳]. گیاهان مکانیزم‌های پیچیده‌ای را برای سازگاری به پروازهای فضایی طولانی مدت تکامل داده‌اند [۱۴،۱۵]. تحقیقات بیولوژیکی بر روی گیاهانی که در معرض محیط‌های مرتبط با پروازهای فضایی قرار می‌گیرند برای ماموریت‌های طولانی مدت فضایی انسان حیاتی است. هر چند اکنون داده‌های مرتبط با پاسخ‌های بیولوژیکی گیاهان در پروازهای فضایی طولانی مدت و در مدار غنی می‌باشد اما اطلاعات در رابطه با پاسخ فوق سریع گیاهان به شرایط پروازهای فضایی کوتاه مدت بسیار محدود است [۱۳،۱۶]. بنابراین در مطالعه حاضر و در طی یک پرتاب زیرمداری، اثرات این پرواز فضایی بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذرهای خشک گوجه‌فرنگی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

طراحی سازه فلزی

به‌منظور جایگذاری بذرها درون محفظه کپسول زیستی کاووس، قبل از پرتاب یک سازه فلزی با مقاومت بالا (شکل ۱) به‌منظور قرار دادن بذرها درون کپسول زیستی کاووس طراحی و ساخته شد سپس بذرهای خشک گوجه‌فرنگی درون یک جوراب بسیار نازک قرار داده شد و داخل سازه فلزی قرار گرفتند. سازه فلزی درون محفظه کپسول زیستی کاووس جایگذاری و فیکس شد. هدف از طراحی سازه فلزی این بود که تا حد امکان بذرها در تماس با شرایط تنشی فضا قرار بگیرند. در طول مدت زمان پرتاب، بذرهای گروه کنترل، روی زمین نگه‌داری شدند. پس از بازیابی موفق کپسول زیستی، بذرها برای انجام آزمون‌های مربوطه زیر مورد استفاده قرار گرفتند.

شکل ۱– سازه فلزی طراحی شده برای تعبیه بذرها درون محفظه زیستی.

Fig. 1. Metal structure designed to embed the seeds inside the biological chamber.

آماده‌سازی بستر کشت بذرها

بذرهای خشک گوجه‌فرنگی رقم سوپرچف از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. پس از پرتاب و بازیابی موفق نمونه‌ها، برای تهیه بستر کشت برای بذرها، در شرایط استریل هود لامینار، کاغذهای صافی درون پلیت‌های کشت ۱۰ سانتی‌متری قرار گرفتند. بذرها ابتدا با آب لوله‌کشی شستشو داده شد. سپس با آب همراه چند قطر توئین ۲۰ شستشو انجام و با آب مقطر سه مرتبه شستشو داده شد. بلافاصله با آب مقطر استریل حاوی ۱٪ هیپوکلریت سدیم در محیط هود لامینار به‌مدت۶۰ ثانیه شستشو داده و سه مرتبه با آب مقطر استریل آبکشی گردید.

بذرهای گروه‌های پرتاب و کنترل زمینی، بلافاصله بر روی پلیت‌های کشت قرار گرفته و به هر پلیت ۵ میلی‌لیتر آب مقطر استریل اضافه شد. پس از بستن درب پلیت، نمونه‌ها به محفظه کشت با رطوبت ۵۰٪ در شرایط تاریکی منتقل گردیدند. هر دو نمونه‌های پروازی و کنترل زمینی شامل ۵ تکرار ۵۰ تایی بودند. از آنجایی‌که بذرهای گوجه‌فرنگی از روز ششم شروع به جوانه‌زنی کردند، نرخ جوانه‌زنی (درصد رویش بذر) در بازه‌های زمانی ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۱، ۱۳ و ۱۵ روز مطابق با فرمول (۱) مورد سنجش قرار گرفت [۱۷].

$$Seed\ Germination = \frac{\text{Number of germinated seeds}}{\text{Number of total seeds}} \times 100 \quad (۱)$$

آزمون تخمین شاخص نرخ جوانه‌زنی[1] (GRI)

شاخص نرخ جوانه‌زنی بذرهای گوجه‌فرنگی در بازه‌های زمانی ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۱، ۱۳ و ۱۵ روز در گروه‌های کنترل زمینی و پرتاپ مطابق با فرمول (۲) محاسبه شد:

$$GI = \frac{N1}{1} + \frac{N2}{2} + \frac{N3}{3} + \cdots + \frac{Nn}{n} \quad (۲)$$

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

آزمون تخمین شاخص جوانه‌زنی[2] (GI)

شاخص جوانه‌زنی بذرهای گوجه‌فرنگی در بازه‌های زمانی ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۱، ۱۳ و ۱۵ روز در گروه‌های کنترل زمینی و پرتاپ مطابق با فرمول (۳) محاسبه شد:

$$GI = (10\times n1) + (9\times n2) + \cdots + (1\times n10) \quad (۳)$$

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

آزمون سنجش طول ساقه‌چه و ریشه‌چه

طول ریشه‌چه و ساقه‌چه نیز در بازه‌های زمانی فوق‌الذکر برای بذرهای گوجه‌فرنگی با کمک کولیس (دقت: 0.01 mm) اندازه‌گیری انجام شد. 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 رست‌ها قرار گرفتند. کولیس ابتدا بر روی صفر تراز گردیده و سپس طول ساقه‌چه و ریشه‌چه به‌صورت مجزا اندازه‌گیری 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 [۱۸،۱۹].

نتایج و بحث

جوانه‌زنی فرآیند جذب آب[3] تا بیرون زدگی ریشه‌چه از طریق پوشش بذر است. جوانه‌زنی بذر ارتباط مستقیمی‌با بقا و پراکندگی گونه‌های گیاهی دارد. نقش اصلی بذر، حفاظت از جنین گیاه و دریافت اطلاعات محیطی برای جوانه‌زنی است [۲۰–۲۲]. جوانه‌زنی بذر و به دنبال آن استقرار گیاهچه به‌عنوان بحرانی‌ترین مرحله چرخه زندگی و سازگاری گیاه در سیاره ما و محیط‌های فرازمینی درنظر گرفته می‌شود [۲۳]. بنابراین در مطالعه حاضر، اثرات یک پرواز فضایی زیرمداری کوتاه مدت بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر گوجه‌فرنگی مورد بررسی قرار گرفت. جدول ۱ مهم‌ترین تنش‌های وارده بر کپسول زیستی کاووس در طی این پرتاب خلاصه نموده است. این کپسول با استفاده از پرتابگر بومی سلمان به فضا پرتاب شد.

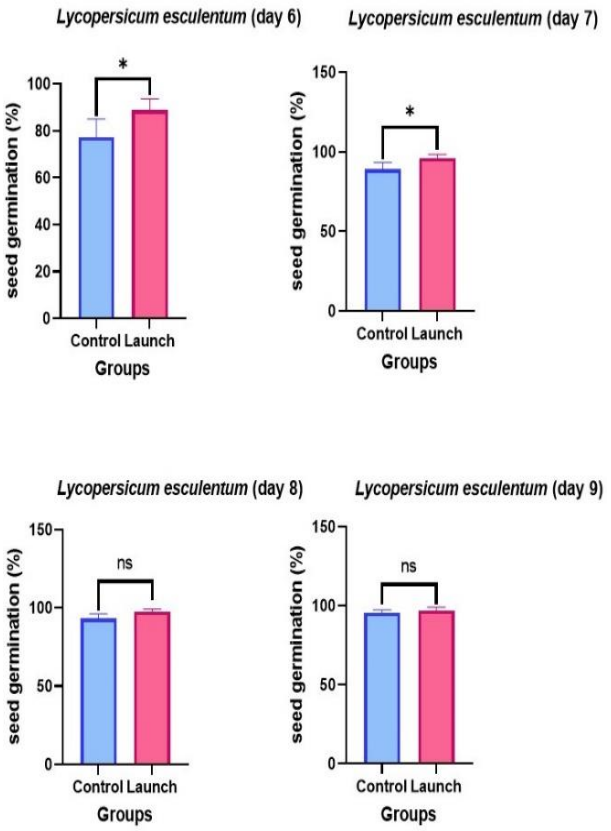
جدول ۱– مشخصات پرتابی کپسول زیستی کاووس.

Table 1. Kavus bio capsule launch characteristics.

Launch duration (seconds)	900
Launch height (km)	133
launch speed (m/s)	1657.97
Acceleration (m/s2)	64
Temperature fluctuation range (Celsius)	-84.5 to +264.48
Pressure range (Pascal)	0 to 90000
Microgravity duration (seconds)	245
Duration of hypergravity (seconds)	68

1. Germination Rate Index
2. Germination Index
3. Imbibition

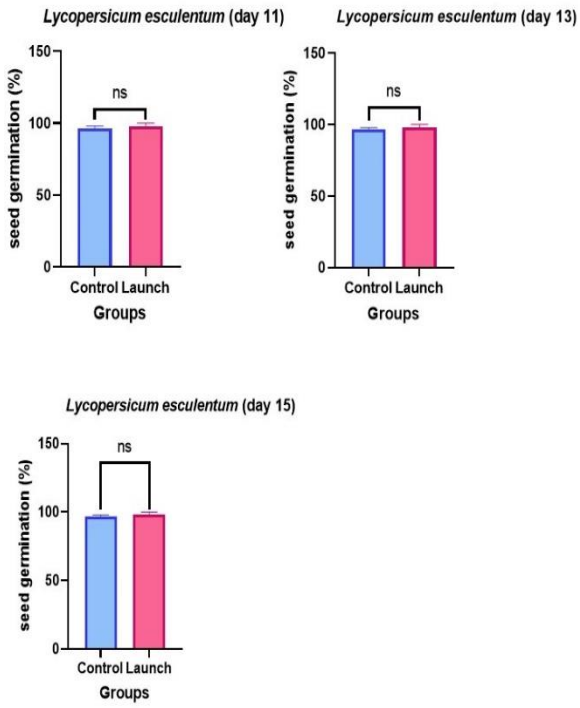
گوجه‌فرنگی یکی از گونه‌های گیاهی محبوب ناسا برای پرورش در فضای خارج از جو زمین است. در همین زمینه، در دهه نود میلادی، ناسا طی پرتاب‌های شاتل‌های فضایی چلنجر[1] و آتلانتیس، مقادیر زیادی از بذرهای گوجه‌فرنگی را نیز به فضا ارسال نمود. هدف آن‌ها از این ارسال، بررسی تاثیر شرایط واقعی فضا بر زیست‌پذیری بذرها توان جوانه‌زنی آن‌ها بود [۲، ۲۴-۲۷]. در مطالعه حاضر، اثرات یک پرواز فضایی کوتاه مدت بر شاخص‌های جوانه زنی بذر گوجه‌فرنگی مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه درصد رویش بذر در بازه‌های زمانی مورد بررسی تفاوت داشت و در تمام بازه‌های مورد بررسی، نرخ رویش بذرها در گروه پرتاب نسبت به گروه کنترل بالاتر بود (شکل‌های ۲ و ۳) هر چند این افزایش تنها در روزهای ۶ و ۷ در سطح احتمال ۵ درصد معنادار بود.



شکل ۲– مقایسه درصد رویش بذر گوجه‌فرنگی در نمونه‌های پرتاب و کنترل زمینی (روزهای ۶، ۷، ۸ و ۹). میانگین ۵ تکرار.

Fig. 2. Comparison of the germination percentage of tomato seeds in the ground control and launch samples (days 6, 7, 8, and 9). average of 5 repetitions.

1. Space Shuttle Challenger

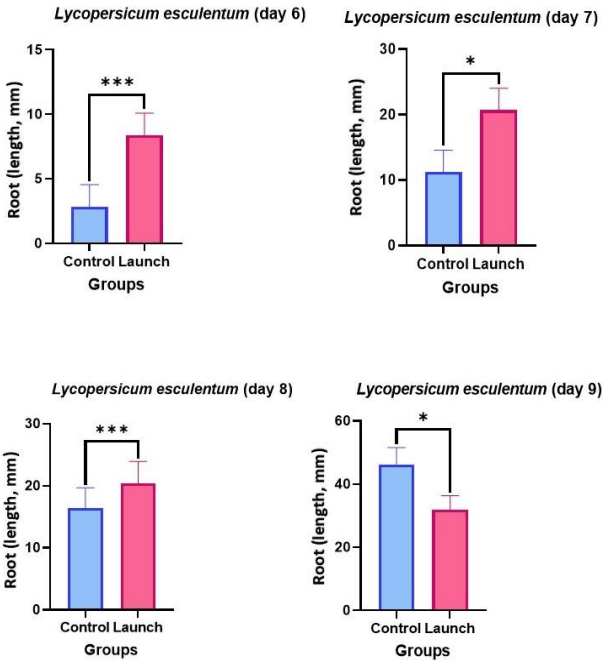


شکل ۳- مقایسه درصد رویش بذر گوجه‌فرنگی در نمونه‌های پرتاب و کنترل زمینی (روزهای ۱۱، ۱۳ و ۱۵). میانگین ۵ تکرار.

Fig. 3. Comparison of the germination percentage of tomato seeds in the launch and ground control samples (days 11, 13 and 15) .Average of 5 repetitions.

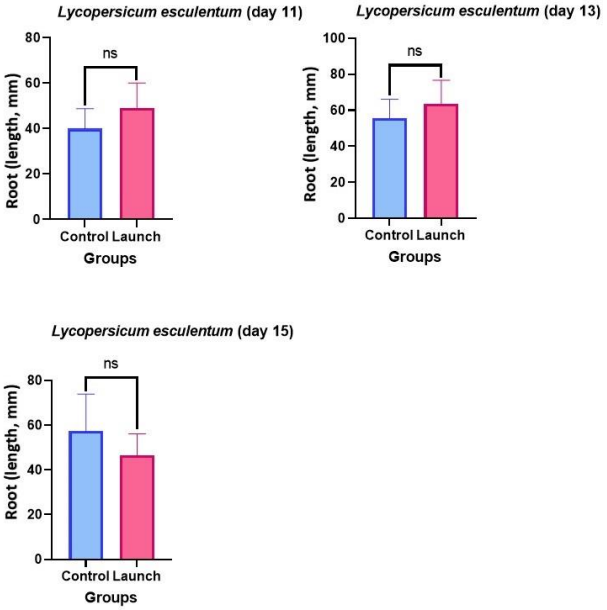
مقایسه شاخص نرخ جوانه‌زنی (GRI) بذرهای گوجه‌فرنگی در گروه‌های کنترل زمینی و پرتاب نشان داد این شاخص در گروه پرتاب (۳/۰۷۷۷) نسبت به گروه کنترل زمینی (۳/۵۱۵۵) پایین‌تر می‌باشد. در حالی‌که شاخص جوانه‌زنی (GI) بذرهای گوجه‌فرنگی در گروه پرتاب (۱۳۵۶۶) نسبت به گروه کنترل زمینی (۱۲۸۳۶) افزایش را نشان داد.

مقایسه شاخص‌های رشدی گیاه یا مولفه‌های جوانه‌زنی (طول ریشه‌چه و ساقه‌چه) در بذرهای گروه‌های کنترل زمینی و پرتاب نشان داد طول ریشه‌چه در روزهای ۶، ۷، ۸، ۱۱ و ۱۳ در گروه پرتاب نسبت به گروه کنترل زمینی افزایش را نشان می‌دهد که البته این افزایش تنها برای روزهای ۶ تا ۸ معنادار می‌باشد به‌طوری‌که برای روز ششم و هشتم، این افزایش بسیار قابل توجه و در سطح احتمال یک هزارم ($p \leq 0.001$) و برای روز هفتم در سطح احتمال پنج صدم ($p \leq 0.05$) معنادار است. برای روزهای ۹ و ۱۵ کاهش طول ریشه‌چه در گروه پرتاب نسبت به گروه کنترل زمینی مشاهده شد که این کاهش تنها برای روز نهم در سطح احتمال پنج درصد ($p \leq 0.05$) معنادار می‌باشد. (شکل‌های ۴ و ۵).



شکل ۴- مقایسه طول ریشه‌چه (بر حسب میلی‌متر) گیاهچه‌های گوجه‌فرنگی در نمونه‌های پرتاب و کنترل زمینی (روزهای ۶، ۷، ۸ و ۹). میانگین ۵ تکرار.

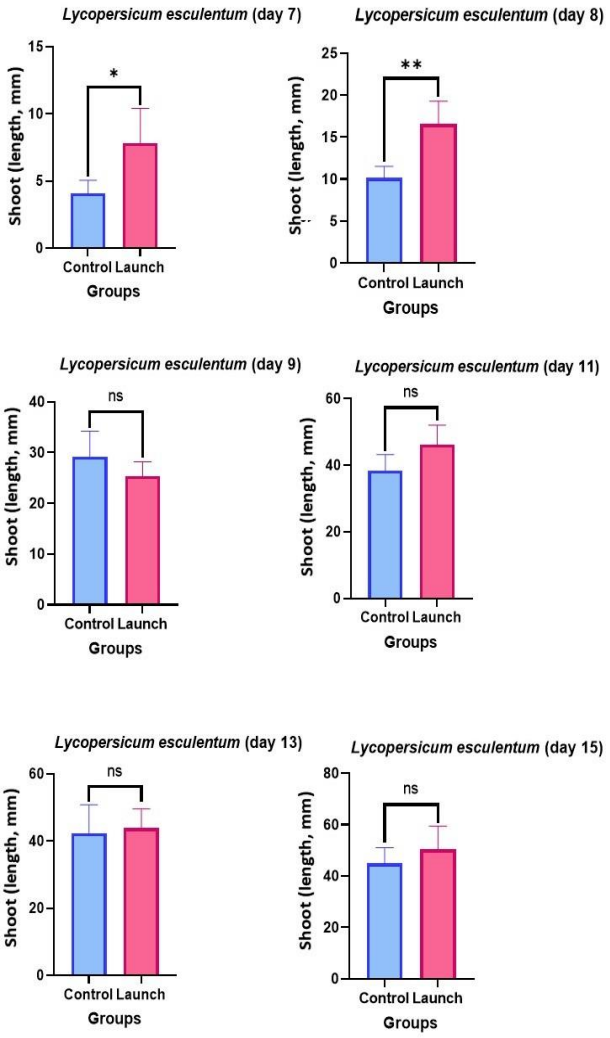
Fig. 4. Comparison of tomato seedlings' root length (mm) in the launch and ground control samples (days 6, 7, 8, and 9). Average of 5 repetitions.



شکل ۵- مقایسه طول ریشه‌چه (بر حسب میلی‌متر) گیاهچه‌های گوجه‌فرنگی در نمونه‌های پرتاب و کنترل زمینی (روزهای ۱۱، ۱۳ و ۱۵). میانگین ۵ تکرار.

Fig. 5. Comparison of tomato seedlings' root length (mm) in the launch and ground control samples (days 11, 13, and 15). average of 5 repetitions.

مقایسه طول ساقه‌چه گوجه‌فرنگی در گروه‌های پرتاب و کنترل زمینی (شکل ۶)، افزایش را برای گروه پرتاب نسبت به کنترل زمینی در روزهای ۷، ۸، ۱۱، ۱۳ و ۱۵ نشان داد که این افزایش تنها برای روزهای هفتم و هشتم به‌ترتیب در سطح احتمال پنج درصد ($p \leq 0.05$) و یک درصد ($p \leq 0.01$) معنادار بود.



شکل ۶- مقایسه طول ساقه‌چه (بر حسب میلی‌متر) گیاهچه‌های گوجه‌فرنگی در نمونه‌های پرتاب و کنترل زمینی (روزهای ۷، ۸، ۹، ۱۱ و ۱۳). میانگین ۵ تکرار.

Fig. 6. Comparison of tomato seedlings' stem length (mm) in the launch and ground control samples (days 7, 8, 9, 11, 13, and 15). average of 5 repetitions.

مطالعاتی که تاکنون در رابطه با تاثیر محیط واقعی فضا بر ژرم پلاسم گیاهی (نظیر بذر گیاهان) انجام شده است، تنها اثرات پروازهای فضایی طولانی مدت را بر کیفیت بذرها و گیاهان رویش یافته از آن‌ها بررسی نموده است. برای مثال، در یک مطالعه نتایج بررسی بذرهای

گوجه‌فرنگی پس از ۶ سال پرواز فضایی نشان داد که گیاهان رویش یافته از آن‌ها در برابر ویروس‌ها مقاوم‌ترند و غلظت پلی فنول بالاتری نسبت به گیاهان کنترل زمینی دارند [۲۸]. در مطالعه‌ای مشابه [۲۹]، گیاهان رویش یافته از بذرهای گوجه‌فرنگی که به مدت شش ماه در خارج ایستگاه بین‌المللی فضایی ذخیره شده بودند برخلاف عملکرد بالاتر، تنش اکسیداتیو، کاهش سطوح آهن، مس و تغییر طعم میوه را نشان دادند. در گونه منداب، پرواز فضایی موجب کاهش قدرت جوانه‌زنی و افزایش حساسیت به پیری بذرها شد. اما زیست‌پذیری (قابلیت زیستن) و شاخص‌های رشد گیاهچه تحت تاثیر قرار نگرفت [۳۰]. یک پرواز فضایی ۱۵ روزه بذرهای یونجه موجب تسریع جوانه‌زنی و مهار رشد ریشه به دلیل آسیب کروموزومی و میتوز غیر طبیعی ناشی از تشعشعات کیهانی شد [۳۱]. در برخی از گونه‌های گیاهی دیگر نیز پرواز فضایی موجب کاهش جوانه‌زنی، کشندگی، عقیمی و تسریع پیری بذر گردید [۳۲-۳۴]. به‌هر حال در مطالعه حاضر، پرواز فضایی کوتاه مدت با استفاده از کپسول زیستی کاووس، موجب تحریک رشد اولیه بذرها شد و تاثیرات مثبتی در رابطه با شاخص‌های رشدی گیاهچه‌های گوجه‌فرنگی گروه پرتاب در مقایسه با گروه کنترل زمینی داشت. با این حال، این پرتاب روی درصد نهایی جوانه‌زنی بذرهای گوجه‌فرنگی تاثیر معناداری نداشت. با دانش ما، این مقاله، اولین گزارش در رابطه با اثرات پرواز فضایی کوتاه مدت بر ژرم پلاسم گیاهی است و بینش‌های جدیدی را در رابطه با اهمیت بررسی اثرات پروازهای فضایی کوتاه مدت بر سیستم‌های زیستی ارائه می‌دهد.

نتیجه‌گیری

ارسال بذرها به فضا با هدف بررسی اثرات پیچیده محیط فضا بر زیست پذیری بذرها، چشم اندازهایی را برای انتخاب سریع گونه‌های گیاهی متحمل به شرایط فضا از طریق بذر آن‌ها فراهم می‌آورد. هدف دیگر، بررسی تاثیر فضا بر کیفیت بذرها و گیاهان رشد یافته از آن‌ها بر روی سیاره ما و همچنین در فضا است. به‌هر حال، از آنجایی‌که اقلیم فضا با مجموعه پیچیده‌ای از تنش‌های غیرزیستی شناخته شده (گرانش کم، تشعشعات فضایی، نوسانات دمایی شدید و ...) و حتی ناشناخته مشخص می‌شود نتیجه‌گیری در ارتباط با اینکه کدام یک از عوامل پرواز فضایی موجب اثرات مثبت بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر گوجه‌فرنگی بوده‌اند یا به‌عبارتی دلایل احتمالی نتایج مطالعه حاضر، بسیار زود است. هر چند در ارتباط با ژرم پلاسم گیاهی عواملی نظیر تشعشعات فضایی و خلا فضا می‌تواند اثرات مستقیمی بر ژنتیک و بیوشیمی بذرها داشته باشند اما بدیهی‌است مطالعات بیشتری در این زمینه و در جهت شناخت هر چه بیشتر اقلیم فضا و درک مکانیسم‌های پاسخ فوری ژرم پلاسم گیاهی به محیط پرتنش فضا در پرتاب‌های آتی ایران ضروری می‌باشد. از سوی دیگر، نتایج مطالعه حاضر، بیش از پیش بر اهمیت طراحی آزمایشات زیستی برای وسائل پرتابی زیرمداری نظیر راکت‌های اکتشافی یا کاوشگرها و کپسول‌های زیستی سرنشین دار یا بی‌سرنشین تاکید دارد. این‌گونه پرتاب‌ها می‌تواند سکویی برای انجام آزمایشات زیست فضا به‌طور خاص در بخش علوم گیاهی برای کشورمان ایران باشد و بینش‌های جدیدی را برای طراحی آزمایشات زیستی مرتبط با پروازهای زیرمداری ارائه دهد.

تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافع توسط نویسنده بیان نشده است.

تشکر و قدردانی

نویسنده بر خود لازم می‌داند از سازمان فضایی ایران و پژوهشگاه هوافضا برای حمایت مالی پروژه حاضر تشکر و قدردانی نماید.

مراجع

[1] F. Mousavi, "History of plant exploration scientific missions: Goals and technologies," *Journal of Technology in Aerospace Engineering*, vol. 5, no. 2, pp. 1-9, 2021, (in Persian), https://doi.org/10.22034/jtae.2021.120513.

[2] F. Mousavi, "Plant germplasm and extreme conditions of outer space," *Journal of Space Science and Technology*, vol. 16, Special Issue, pp. 65-71, 2023, https://doi.org/10.22034/jsst.2023.1460.

[3] H. Hassanpour and F. Mousavi, "Plant growth chamber for space studies," *Journal of Technology in Aerospace Engineering*, vol. 1, no. 2, pp. 45-53, 2017, (in Pesian).

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

[5] 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, 2019, Art. no. e48541, https://doi.org/10.15252/embr.201948541.

[6] 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, https://doi.org/10.1109/MSPEC.2019.8889900.

[7] S. Furukawa *et al.*, "Space radiation biology for "Living in Space"," *BioMed Research International*,

vol. 2020, no. 1, 2020, Art. no. 4703286, https://doi.org/10.1155/2020/4703286.

[8] J. C. Chancellor *et al.*, "Limitations in predicting the space radiation health risk for exploration astronauts," *npj Microgravity*, vol. 4, 2018, Art. no. 8, https://doi.org/10.1038/s41526-018-0043-2.

[9] A. Yamagishi *et al.*, "Japan Astrobiology Mars Project (JAMP): Search for microbes on the Mars surface with special interest in methane-oxidizing bacteria," *Biological Sciences in Space*, vol. 24, no. 2, pp. 67-82, 2010, https://doi.org/10.2187/bss.24.67.

[10] A. L. Paul, S. M. Elardo, and R. Ferl, "Plants grown in Apollo lunar regolith present stress-associated transcriptomes that inform prospects for lunar exploration," *Communications Biology*, vol. 5, 2022, Art. no. 382, https://doi.org/10.1038/s42003-022-03334-8.

[11] T. Shymanovich and J. Z. Kiss, "Conducting plant experiments in space and on the Moon," in *Plant Gravitropism: Methods and Protocols*, E. B. Blancaflor, ed. 2nd ed. Humana New York, NY: 2022, pp. 165-198, https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1677-2_12.

[12] P. Zabel, M. Bamsey, D. Schubert, and M. Tajmar, "Review and analysis of over 40 years of space plant growth systems," *Life Sciences in Space Research*, vol. 10, pp. 1-16, 2016, https://doi.org/10.1016/j.lssr.2016.06.004.

[13] R. J. Ferl *et al.*, "Transcriptomic dynamics in the transition from ground to space are revealed by Virgin Galactic human-tended suborbital spaceflight," *Nature Partner Journals Microgravity*, vol. 9, 2023, Art. no. 95, https://doi.org/10.1038/s41526-023-00340-w.

[14] 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*," *Nature Partner Journals Microgravity*, vol. 5, 2019, Art. no. 9, https://doi.org/10.1038/s41526-019-0070-7.

[15] A. Manzano, E. Carnero Diaz, R. Herranz, and F. J. Medina, "Recent transcriptomic studies to elucidate the plant adaptive response to spaceflight and to simulated space environments," *Iscience*, vol. 25, no. 8, 2022, Art. no. 104687.

[16] H. Kollist, S. I. Zandalinas, S. Sengupta, M. Nuhkat, J. Kangasjärvi, and R. Mittler, "Rapid responses to abiotic stress: Priming the landscape for the signal transduction network," *Trends in Plant Science*, vol. 24, no. 1, pp. 25-37, 2019, https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.10.003.

[17] F. E. Prado, C. Boero, M. Gallardo, and J. A. González, "Effect of NaCl on germination, growth, and soluble sugars content in *Chenopodium quinoa* Willd. seeds," *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, vol. 41, no. 1, pp. 27-34, 2000.

[18] F. Mosavi, "Effects of simulated microgravity on pollen germination and growth of lily," *Journal of Technology in Aerospace Engineering*, vol. 3, no. 2, pp. 53-58, 2021, 2019, (in Persian).

[19] F. Mousavi, "The effect of simulated space vacuum conditions on some biochemical and physiological responses of quinoa," *Nova Biologica Reperta*, vol. 10, no. 4, pp. 86-99, 2023, (in Persian), https://doi.org/10.61186/nbr.10.4.88.

[20] J. D. Bewley and M. Black, *Seeds: Physiology of Development and Germination*, 2nd ed., Springer Science & Business Media, 2013.

[21] C. G. Willis *et al.*, "The evolution of seed dormancy: Environmental cues, evolutionary hubs, and diversification of the seed plants," *New Phytologist*, vol. 203, no. 1, pp. 300-309, 2014, https://doi.org/10.1111/nph.12782.

[22] G. Carrera Castaño, J. Calleja Cabrera, M. Pernas, L. Gómez, and L. Oñate-Sánchez, "An updated overview on the regulation of seed germination," *Plants*, vol. 9, no. 6, 2020, Art. no. 703, https://doi.org/10.3390/plants9060703.

[23] 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, no. 1, pp. 225-230, 2011, https://doi.org/10.1590/S0101-20612011000100035.

[24] H. A. Curry, "Tomato seeds in space: NASA outreach and science education in the shuttle era," *Endeavour*, vol. 34, no. 4, pp. 173-180, 2010, https://doi.org/10.1016/j.endeavour.2010.07.004.

[25] T. Dreschel, B. McClain, D. Chamberland, W. Knott, and R. Grymes, "SEEDS II: More tomatoes from space!(for classroom research)," in *37th Annual Space Congress*, Cape Canaveral, Florida, 2000, vol. 37.

[26] B. Melton, "Seeds: A Celebration of Science," NASA, Report no EP-281, 1991.

[27] F. Mousavi, "The effect of extreme temperature fluctuations simulated of space on the electrophoretic profile of tomato (Lycopersicum esculentum Mill.) seed storage proteins," *Journal of Space Science and Technology*, vol. 16, no. 4, pp. 83-89, 2023, https://doi.org/10.30699/jsst.2023.1433.

[28] L. T. Mishchenko, A. A. Dunich, and O. I. Danilova, "Impact of a real microgravity on the productivity of tomato plants and resistance to viruses," in *Life in Space for Life on Earth*, Aberdeen, United Kingdom, 2012, Art. no. ESA SP-706.

[29]E. Dzhos *et al.*, "Effect of spaceflight on tomato seed quality and biochemical characteristics of mature plants," *Horticulturae*, vol. 7, no. 5, 2021, Art. no. 89, https://doi.org/10.3390/horticulturae7050089.

[30]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, 2020, Art. no. 49, https://doi.org/10.3390/life10040049.

[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, pp. 7273-7279, 2010, https://doi.org/%2010.5897/AJB10.532.

[32]V. De Micco, C. Arena, D. Pignalosa, and M. Durante, "Effects of sparsely and densely ionizing radiation on plants," *Radiation and Environmental Biophysics*, vol. 50, pp. 1-19, 2011, https://doi.org/10.1007/s00411-010-0343-8.

[33]C. Arena, V. De Micco, and A. De Maio, "Growth alteration and leaf biochemical responses in *Phaseolus vulgaris* exposed to different doses of ionising radiation," *Plant Biology*, vol. 16, no. s1, pp. 194-202, 2014, https://doi.org/10.1111/plb.12076.

[34]C. Arena, V. De Micco, G. Aronne, M. Pugliese, A. V. De Santo, and A. De Maio, "Response of *Phaseolus vulgaris* L. plants to low-let ionizing radiation: Growth and oxidative stress," *Acta Astronautica*, vol. 91, pp. 107-114, 2013, https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2013.05.013.