Archive of SID

دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۳/۲۹
پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۱۵

یادداشت فنی

تأثیر میکروگراویتی القایی بر رشد و رویش لوله گرده لیلیوم

فاطمه موسوی*، استادیار، پژوهشگاه هوافضا، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

*نویسنده مخاطب، آدرس: تهران، کدپستی: ۱۴۶۵۷۷۴۱۱۱

نیاز به تحقیقات پایهٔ گیاهی تحت شرایط پیچیدهٔ فضا بارها توسط سازمان‌های فضایی دنیا، از جمله ناسا، عنوان شده است. هدف از پژوهش حاضر بررسی اثرات میکروگراویتی القایی روی رویش و رشد لوله گرده لیلیوم می‌باشد. در این تحقیق، میزان زیست‌پذیری دانه‌های گرده توسط روش رنگ‌آمیزی با استوکارمن تعیین شد. دانه‌های گرده لیلیوم در محیط کشت مایع حاوی ۱۰ درصد سوکروز، ۱/۶ میلی مول H3BO3، ۱ میلی‌مول KCl و ۰/۱ میلی‌مول CaCl2 (pH=5.7) تحت هر دو شرایط کنترل زمینی و کلینواستت رویش پیدا کردند. پس از اینکوباسیون به مدت دو ساعت، گرده‌ها به منظور بررسی درصد جوانه زنی و جهت رشد لوله گرده مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که درصد یا نرخ رویش دانه‌های گرده تحت شرایط میکروگراویتی نسبت به شرایط کنترل زمینی تمایل رو به افزایش را نشان می‌دهد. به هر حال، طول لوله‌های گرده تحت شرایط میکروگراویتی کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: دانهٔ گرده، بی‌وزنی، کلینواستت، سیستم پشتیبان حیات، لیلیوم

Effects of Simulated Microgravity on Pollen Germination and Growth of Lily

Basic plant research under complex space conditions is required. this is frequently quoted by the world's space agencies, such as NASA. The aim of the present research is to investigate the effects of simulated microgravity on pollen germination and tube growth of Lily. Pollen viability was ascertained by staining with acetocarmine stain. Pollen grains were germinated on the growing media containing 10% sucrose, 1.6 mM H3BO3, 1 mM Kcl, 0.1 mM CaCl2 (pH=5.7), and were incubated both in 1g and on the clinostat. After incubating for 2 h, pollen grains were studied to count for germinated grains and to determine percent germination and pollen tube length. The germination rate of pollen grains showed a tendency to increase under microgravity condition. However, pollen tube length showed a decrease when incubation was performed in simulated microgravity.

Keywords: Pollen, Microgravity, Clinostat, Life Support System, Lily

F. Mosavi*, Assistant Professor, Aerospace Research Institute, Ministry of Science, Research and Technology

*Corresponding Author, Postal Code: 1465774111, Tehran, IRAN

moosavi@ari.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

برخلاف اکثریت تنش‌های زیستی و غیرزیستی که گیاهان در معرض آن ها قرار می گیرند، جاذبه تنها عامل ثابت از لحاظ جهت و بزرگی می‌باشد که گیاهان به طور دائم در معرض آن قرار دارند [۱]. میدان گرانشی روی زمین اشیا را با نیرویی که شدت آن نسبت معکوس با مربع فاصله بین مرکز شی و مرکز زمین دارد، جذب می‌نماید. این شتاب روی زمین ۹/۸ متر بر مجذور ثانیه است. با توجه به فاصله از سطح زمین، این نیرو با مقادیر مختلف فرضی کاهش می‌یابد. میکروگراویتی معمولاً اشاره به شرایط 10^{-6}g تا 10^{-3}g دارد که در ارتفاع ۳۰۰ تا ۴۰۰ کیلومتری (مدارهای پایینی زمین[1]) رخ می‌دهد. درصورتی‌که، کسری از مقادیر g نیز در ماه و مریخ (به ترتیب ۰/۱۷ و ۰/۳۸) گزارش شده است [۲]. در میکروگراویتی، یک شی در حالت سقوط آزاد قرار می‌گیرد و در حالت بی‌وزنی شناور می‌شود. برای بررسی اثرات میکروگراویتی واقعی، برنامه‌های تحقیقاتی مختلفی از قبیل پروازهای هوایی پارابولیک[2]، موشک‌های پرتاب به فضا[3] و وسائل نقلیه فضایی مداری[4] در دسترس می‌باشد [۳]. در حالی‌که بر روی سطح زمین، بسیاری از شبیه‌سازها بر اساس اصول فیزیکی برای انجام آزمایشات توسعه یافته‌اند [۴]. از مهمترین شبیه‌سازهای حالت بی‌وزنی بر روی زمین کلینواستت‌ها می‌باشد. این دستگاه‌ها دارای صفحه‌ای هستند که به آرامی می‌چرخد و معمولاً توسط چرخ‌دنده‌ای کنترل می‌شود. در واقع کلینواستت از چرخش برای کاهش نیروی جاذبه بر روی نمونه‌های زیستی استفاده می‌نماید [۵].

در میان سلول‌های گیاهی، لوله‌های گرده دارای سریع‌ترین میزان رشد می‌باشد و در تماس با کلاله پذیرنده ایجاد می‌شود. لوله گرده مسئول لقاح در گیاهان عالی است و از این رو، برای تشکیل دانه و میوه ضروری است. لوله‌های گرده به مانند پروتونما، ریزوئیدها، تارهای کشنده، هیف‌های قارچی و نورون‌ها، سلول‌هایی با رشد راسی می‌باشد. نرخ رشد لوله گرده می‌تواند تا صد میکرومتر در دقیقه برسد و حفظ این فرآیند نیاز به رسوب مداوم ماده دیوارهٔ سلولی در یک روش بسیار کنترل شده دارد تا ریخت‌زایی شکل کاملاً استوانه‌ای لوله گرده تضمین شود. مطالعات میکروسکوپ نوری و الکترونی نشان داده است که دانه‌های گرده‌ای نمو یافته در شرایط میکروگراویتی، اختلافاتی را در اندازه، شکل، تعداد میتوکندری‌ها و به‌علاوه حضور فراوان دانه‌های بزرگ نشاسته نشان می‌دهد که در دانه‌های گرده‌ای نمویافته روی زمین وجود ندارند [۶-۷]. وقتی‌که شرایط محیطی میکروگراویتی از قبیل دی اکسیدکربن، نور و دما با دقت بیشتری کنترل می‌شود، حصول رویان و دانه‌های زیست‌پذیر در آرابیدوپسیس و کلزا امکان‌پذیر می‌باشد. این امر ثابت می‌کند رشد لوله گرده در شرایط میکروگراویتی امکان‌پذیر می‌باشد [۸-۹].

سوسن یا لیلیوم[5] از تیره لیلیاسه، گیاهی تک لپه می‌باشد که شامل حدود ۸۵ گونه زینتی است. این گیاه به دلیل داشتن گل‌های بزرگ و جذاب از نظر اقتصادی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. سوسن یکی از مهمترین محصولات پیازی به شمار می‌رود و هفتمین رتبه را بین گل‌های شاخه بریده دنیا به خود اختصاص می‌دهد [۱۰]. لیلیوم‌ها دارای واریته‌ها و ارقام مختلفی می‌باشد. رقم مورد مطالعه در پژوهش حاضر از گروه آسیاتک‌ها با نام لیلیوم لانگیفلروم×لیلیوم آسیاتیک[6] می‌باشد که از تلاقی گونه‌های لانگیفلروم[7] و آسیاتیک[8] ایجاد شده است [۱۱].

لقاح از فرایندهای بنیادی برای تولید محصول و بقای نسل در گیاهان است که به شدت به سلامت دانه‌های گرده، قابلیت زیست و رویش آنها وابسته است. تنش‌های زیستی و غیرزیستی که سلامت، توان رویش و رشد لوله‌های گرده را مختل می‌سازد موجب کاهش شدید محصول و عملکرد گیاهان می‌شود [۱۲]. از سوی دیگر، کشت گیاهان در فضا برای بقای انسان در ایستگاه‌های مداری و مأموریت‌های طولانی‌مدت فضایی به سیارات دیگر ضروری می‌باشد. اهمیت کاشت گونه‌های زینتی به دلیل جنبه‌های روانشناختی و همچنین مسائل فنی مرتبط با پرورش گیاهان در فضا می‌باشد. مطالعات نشان داده است حضور گیاهان در حال رشد در فضاپیما یا ایستگاه‌های فضایی تأثیرات مثبتی در ارتقا روحیه فضانوردان دارد و در کاهش تنش‌های ماموریت و شرایط انزوا حاکم بر آن مؤثر است. تاکنون گونه‌های زراعی و زینتی مختلفی در اتاقک‌های رشد گیاهی فضایی روسی و آمریکایی پرورش یافته‌اند. عوامل مهمی از قبیل شرایط بی‌وزنی و تشعشعات فضایی می‌تواند بر روی جنبه‌های مختلف متابولیسم گیاه از جمله روند تولید مثل جنسی و کامل نمودن چرخهٔ زندگی آن از بذر به بذر تأثیرگذار باشند. لوله‌های گرده به عنوان بخشی از گامتوفیت نر گیاهان دانه‌دار، مدل‌های عالی برای درک رفتار سلول گیاهی تحت شرایط تنشی مختلف می‌باشد. در همین راستا، لوله گرده جنس لیلیوم به عنوان یک لوله گرده مدل مطرح می‌باشد و تاکنون گزارش‌های متعددی در رابطه با فرآیند

1. Low Earth Orbit (LEO)
2. Airplane Flights
3. Sounding Rockets
4. Orbiting Space Vehicles

5. Lilium
6. Lilium Longiflorum×Lilium Asiatic
7. Longiflorum
8. Asiatic

www.SID.ir

Archive of SID

رشد و رویش لوله گرده آن تحت تیمارهای مختلف انجام شده است. با این حال، در رابطه با تأثیر شرایط تنشی میکروگراویتی بر روی نمو گامتوفیت (رویش دانه‌های گرده و رشد لوله‌های گرده) گونه مذکور پژوهشی صورت نگرفته و یا گزارشی منتشر نشده است. بنابراین، در پروژه حاضر به بررسی قابلیت رویش و رشد لوله گرده رقم سوسن پرویی لیلیوم لانگیفلروم×لیلیوم آسیاتیک تحت شرایط بی‌وزنی القایی پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

دانه‌های گردهٔ بالغ و دهیدراتهٔ لیلیوم از بساک‌های کاملاً شکوفا برداشت شد. از آنجاکه قدرت زیست‌پذیری دانه‌های گرده لیلیوم به سرعت ظرف چند روز کاهش می‌یابد، دانه‌های گردهٔ بالغ بلافاصله و یا حداکثر یک الی دو روز پس از شکوفایی بساک‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. برای ذخیرهٔ طولانی مدت، دانه‌های گرده بلافاصله پس از برداشت در ازت مایع منجمد و در منهای ۸۰ درجه سانتی‌گراد ذخیره شدند.

زیست‌پذیری دانه‌های گرده توسط محلول استوکارمن ۱ درصد سنجش شد. محیط کشتی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت برگرفته از محیط کشت بهینه شده برای دانهٔ گردهٔ لیلیوم (۱۰ درصد سوکروز، ۱/۶ میلی مول H3BO3، ۱ میلی مول KCl، ۰/۱ میلی مول CaCl2 و تنظیم پی اچ روی ۵/۷) بود [۱۳]. پتری‌دیش‌ها در دمای ۲۵-۲۲ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت قرار داده شدند. برای تهیهٔ محیط کشت جامد، محیط کشت مایع مذکور تهیه شد و سپس به منظور جامدکردن محیط از غلظت ۰/۵ درصد آگار استفاده شد.

برای شبیه‌سازی حالت بی‌وزنی در پروژه حاضر از دستگاه کلینواستت یک محوره استفاده شد. بدین منظور، مقدار دو میلی‌لیتر محیط کشت مایع درون یک کرایوتیوپ ۲ میلی‌لیتری ریخته شد و دانه‌های گرده تازه با استفاده از یک سوزن به درون محیط رها شدند. به منظور جلوگیری از تشکیل حباب‌های هوا درون محیط کشت، کرایوتیوپ‌ها کاملاً با محیط کشت مایع پر شد و سطح مایع با پارافیلم مسدود شده و در نهایت درب کرایوتیوپ‌ها گذاشته شد. در مرحلهٔ بعد، کرایوتیوپ حاوی محیط کشت مایع با استفاده از چسب قطره‌ای به کف یک پتری دیش ۳/۵ سانتی متری ثابت شد و سپس به وسیلهٔ چسب دو طرفه روی دستگاه کلینواستت سوار شد. در این مرحله برای اعمال کامل شرایط بی‌وزنی سعی شد که کرایوتیوپ حاوی نمونه دقیقاً در مرکز دوران قرار گیرند، این وضعیت باعث می‌شود که نیروی گریز از مرکز کاهش یافته و حالت بی‌وزنی بهتر اعمال شود. در واقع، مرکز دوران یا چرخش قادر به ایجاد حالت کامل میکروگراویتی است. برای گروه شاهد یا شرایط ۱g، کرایوتیوپ‌های حاوی محیط کشت و نمونه به صورت افقی روی زمین قرار داده شد. سرعت دستگاه روی ۳۰ rpm تنظیم شد. مدت زمان رویش دانه‌های گرده تحت تیمار بی‌وزنی و ۱g دو ساعت بود (شکل **۱**). پس از اتمام مدت زمان اینکوباسیون، برای توقف فرآیندهای زیستی و جلوگیری از پاسخ لوله‌های گرده به جاذبه، نمونه‌ها بلافاصله پس از جدا شدن از دستگاه در محلول فیکساتور استیک: اتانول با حجم برابر با محیط کشت قرار داده شد. نمونه‌های تحت شرایط ۱g نیز به منظور توقف فرآیندهای زیستی درون محلول فیکساتور قرار داده شد.

شکل ۱– نحوهٔ سوارکردن کرایوتیوپ حاوی نمونه روی دستگاه.

پاسخ دانه‌های گردهٔ کشت شده به صورت درصد رویش و طول متوسط لوله‌های گرده ارزیابی می‌شود. زمانی دانهٔ گرده به عنوان رویش یافته تلقی می‌شود که طول لوله گرده ایجاد شده بیشتر از قطر آن باشد. به منظور بررسی نرخ رویش دانه‌های گرده برای هر تیمار، دانه‌های گرده در ۶ تا ۱۰ میدان میکروسکوپی دلخواه مورد مطالعه قرار گرفتند. در هر میدان تعداد کل دانه‌های گرده و تعداد دانه‌های گرده رویش یافته ثبت شد و بدین ترتیب درصد رویش دانه‌های گرده در هر میدان محاسبه شد. برای سنجش طول لوله‌های گرده از ابزار اکولر چشمی مدرج استفاده شد و در هر تکرار تعداد ۲۰ لوله گرده بر حسب میکرومتر اندازه‌گیری شد. هر تجربه و آزمایش ۴ بار تکرار شد. نتایج با استفاده از برنامهٔ آماری گراف پد ۸[9] در سطح معنی‌داری $P < ۰/۰۵$ بررسی شد و نمودارهای مربوطه ترسیم شد.

نتایج و بحث

یکی از ویژگی‌های مهم دانه‌های گرده، سهولت کشت آن‌ها در شرایط داخل شیشه و به دنبال آن مشاهده و مطالعهٔ میکروسکوپی لوله‌های گرده با کیفیت بالا می‌باشد. همچنین، سرعت رشد بالای لوله‌های گرده تضمین‌کنندهٔ پاسخ‌های سریع

9. GraphPad 8

www.SID.ir

Archive of SID

و قابل مشاهده در هنگام دستکاری‌های شیمیایی و مکانیکی است. پاسخ‌های لوله‌های گرده در شرایط داخل شیشه تحت شرایط میکروگراویتی یا در طول چرخش کلینواستت بین گونه‌های گیاهی متفاوت می‌باشد. در لوله‌های گرده پرونوس پرسیکا[10] که بر روی یک کلینواستت رشد یافت، سرپوش‌های کالوزی نسبت به لوله‌های گرده کنترل ۱g زمینی ۴ برابر بلندتر بودند و کالوز در سرتاسر لوله گسترش یافته بود [۱۵-۱۴]. این پدیده نشان می‌دهد که سنتز دیوارهٔ سلولی طی شرایط جاذبه تغییر یافته تحت تأثیر قرار می گیرد. برخلاف سلول‌های سوماتیک گیاهی که در آن تغییر در فرآیند سنتز دیواره سلولی موجب تقویت دیواره سلولی در برابر فشارهای مکانیکی وارد بر آن می‌شود، عملکرد لوله گرده در واقع با یک دیوارهٔ سلولی مستحکم‌تر بهبود نمی‌یابد. بنابراین، پاسخ سلولی احتمالاً اختصاصی نیست و این امر امکان مطالعهٔ منحصر به فرد تأثیر شرایط گرانشی تغییر یافته را بر متابولیسم سلول گیاهی ارائه می‌دهد [۱۶].

در پژوهش حاضراثرات میکروگراویتی القایی بر رشد و رویش لوله گردهٔ لیلیوم مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی توان زیستی دانه‌های گرده از محلول استوکارمن یک درصد استفاده شد. در این روش دانه‌های گردهٔ زیست‌پذیر رنگ گرفته و به رنگ قرمز در می‌آیند. البته تنها روش سنجش واقعی و دقیق زیست‌پذیری دانه‌های گرده، رویش آن‌ها در محیط کشت می‌باشد و رنگ‌آمیزی با استوکارمن و یا فلوئورسین دی استات[11] تعداد حقیقی دانه‌های گردهٔ زیست‌پذیر را نمی‌تواند نشان دهد. محیط کشتی که برای رشد و رویش لوله‌های گردهٔ این گونه به کار رفت، برگرفته از محیط کشت بهینه شده برای دانه گردهٔ لیلیوم (۱۰ درصد سوکروز، ۱/۶ میلی مول H3BO3، ۱ میلی مول KCl، ۰/۱ میلی مول CaCl2 و تنظیم پی اچ روی ۵/۷) بود [۱۷]. لازم به ذکر است دانه‌های گردهٔ گونهٔ مورد نظر در محیط کشت جامد رشد و رویش بسیار کمی را نشان دادند. این امر کاملاً طبیعی است چراکه این گونه دارای بافت کلاله‌ای مرطوب می‌باشد و در نتیجه دانه‌های گردهٔ آن در محیط های مایع بهتر رویش خواهند نمود. این در حالی است که برخی از گونه‌های گیاهی دیگر مانند آرابیدوپسس[12] و کلزا[13] که دارای کلاله‌های خشک می‌باشد، دانه‌های گرده محیطهای جامد را ترجیح می‌دهند و در این‌گونه محیطها رشد و رویش بهتری را نشان می دهند [۱۷]. بنابراین، از محیط کشت مایع شامل ۱۰ درصد سوکروز، ۱/۶ میلی مول H3BO3، ۱ میلی مول KCl، ۰/۱ میلی مول CaCl2 و تنظیم پی اچ روی ۵/۷، برای رشد و رویش لوله‌های گرده این گونه استفاده شد که پس از مدت زمان شش ساعت حدود ۹۰ درصد لوله‌های گرده رویش نمودند. مشاهدات میکروسکوپی از لحاظ مورفولوژی یا ریخت‌شناسی لوله گرده تفاوت آشکاری را بین نمونه‌های کنترل ۱g و میکروگراویتی نشان نداد (شکل **۲**).

شکل ۲- (A) رشد و رویش لوله‌های گرده در محیط کشت مایع (شامل) پس از مدت زمان شش ساعت تحت شرایط کنترل زمینی ۱g، (B) رشد و رویش لوله‌های گرده تحت شرایط کنترل زمینی ۱g و (C) رشد و رویش لوله‌های گرده تحت شرایط میکروگراویتی القایی (کلینواستت).

مطالعه تأثیر میکروگراویتی القایی بر روی رویش و رشد لوله گردهٔ لیلوم نشان داد که درصد یا نرخ رویش دانه‌های گرده تحت شرایط میکروگراویتی نسبت به شرایط کنترل زمینی ۱g در سطح احتمال $P<0.05$ یک تمایل رو به افزایش را نشان می‌دهد. هر چند این اختلاف معنی‌دار نمی‌باشد. نرخ متوسط رویش دانه‌های گرده در گروه های کنترل و میکروگراویتی به ترتیب ۲۵/۷۰ و ۲۱/۲۸ درصد بود (شکل **۳**). به هر حال، طول لوله‌های گرده تحت شرایط میکروگراویتی نسبت به شرایط کنترل زمینی ۱g یک تمایل رو به کاهش را تحت شرایط میکروگراویتی نشان داد که در سطح احتمال $P<0.05$، این اختلاف معنی‌دار نبود. میانگین لوله‌های گرده در گروه‌های کنترل و میکروگراویتی به ترتیب ۵۰۳/۸ و ۴۴۸/۸ میکرومتر ثبت شد (شکل **۴**).

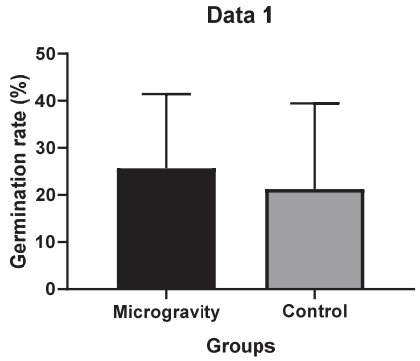
10. Prunus Persica
11. Fluorescein Diacetate
12. Arabidopsis
13. Brassica

www.SID.ir

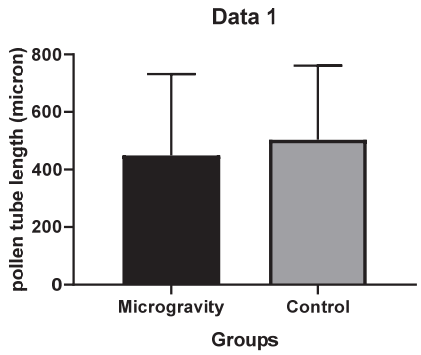
Archive of SID

مطالعات د میکو[14] و همکاران [۱۴] بر روی چندین گونهٔ علفی و چوبی نیز تأثیر میکروگراویتی القایی را بر نمو لوله گرده به اثبات رساند. نتایج مطالعه این محققان نشان داد که درصد رویش لوله‌های گردهٔ سیب، زردآلو و بادام تحت شرایط میکروگراویتی یک تمایل رو به کاهش را نشان می‌دهد. درحالی‌که در باقلا، افزایش معنادار درصد رویش لوله گرده تحت شرایط میکروگراویتی در مقایسه با کنترل زمینی ۱g مشاهده می‌شود. بنابراین به نظر می رسد اثرات میکروگراویتی بر رشد و رویش لوله‌های گرده یکسان نیست و وابسته به گونه می‌باشد. در همین راستا، اثرات هایپرگراویتی نیز بر دانه‌های گرده و فرآیند لقاح در برخی از گونه‌ها از جمله آرابیدوپسیس و کلزا مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج این گونه مطالعات نشان داده است گیاه کلزا تحت شرایط هایپرگراویتی 4g متأثر نمی‌شود [۱۸]. در حالی که فرآیند تشکیل بساک در آرابیدوپسیس تحت شرایط مذکور به شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرد. محققان این امر را به دلیل کاهش توانایی لوله‌های گرده آرابیدوپسیس تحت شرایط 4g نسبت می‌دهند. در واقع، افزایش نیروی g موجب می‌شود سیتوپلاسم فشار بیشتری را به دیوارهٔ سلولی اعمال نماید، این امر در فرآیند رشد راسی اختلال ایجاد می‌نماید [۱۹].

تنظیم زمانی و مکانی تجمع وزیکول‌های مسئول سنتز دیواره سلولی در راس در حال رشد برای تعیین میزان و جهت رشد لوله گرده ضروری است. اگزوسیتوز در ناحیه راسی لوله گرده همراه با اندوسیتوز غشایی می‌باشد تا تعادل میزان رسوب مواد بر روی دیواره سلولی و غشا برقرار شود. تعادل بین اگزوسیتوز و اندوسیتوز زمانی مختل می‌شود که لوله‌های گرده در حال رشد در شرایط داخل شیشه در معرض شرایط میکرو و هایپرگراویتی قرار بگیرند. در شرایط میکروگراویتی میزان اندوسیتوز به درون لوله گرده افزایش می‌یابد. درحالی‌که تحت شرایط هایپرگراویتی میزان آن کاهش می‌یابد [۲۰]. به هر حال به نظر می رسد لوله گردهٔ گونه‌های مختلف پاسخ‌های متفاوتی را تحت شرایط میکروگراویتی و هایپرگراویتی به نمایش می‌گذارند و انجام مطالعات دقیق‌تر در رابطه با مکانیسم‌های کنترلی پیچیده که در طول فرآیند رشد و رویش لوله گرده نقش ایفا می‌نماید، ضروری باشد.



شکل۳– مقایسه نرخ رویش لوله‌های گرده لیلیوم تحت شرایط میکروگراویتی و کنترل زمینی g.۱ (میانگین چهار تکرار).



شکل ۴– مقایسه طول لوله‌های گرده لیلیوم تحت شرایط کنترل زمینی ۱g و میکروگراویتی القایی (کلینواستت) (میانگین چهار تکرار).

نتیجه‌گیری

لوله‌های گرده به دلیل رشد سریعشان در شرایط داخل شیشه و امکان بررسی و مطالعهٔ تأثیر عوامل مختلف زیستی و غیرزیستی بر روی رشد و رویش لوله‌های گرده همواره به عنوان مدلی با ارزش در تحقیقات زیست‌شناسی گیاهی مورد توجه بوده‌اند. در مطالعات زیست‌فضا می‌توان از دانه‌های گرده به عنوان سیستم‌های تک سلولی برای درک جاذبه مستقل از استیتولیت‌ها، سلول‌های درک‌کننده جاذبه، بهره برد. در مطالعه حاضر، پاسخ لوله‌های گردهٔ لیلیوم به شرایط میکروگراویتی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که دانه‌های گردهٔ لیلیوم در محیط کشت مایع شامل ۱۰ درصد سوکروز، ۱/۶ میلی مول H3BO3، ۱ میلی مول KCl، ۰/۱ میلی مول CaCl2 و تنظیم پی اچ روی ۵/۷ نرخ رشد و رویش بالایی را نشان می‌دهد و همچنین مشخص شد نرخ رویش دانه‌های گرده تحت شرایط میکروگراویتی یک تمایل رو به افزایش را نشان می‌دهد. هر چند طول لوله‌های گرده تحت شرایط میکروگراویتی روند کاهشی را نشان داد. بنابراین، به نظر می رسد مطالعات تکمیلی در آینده برای بررسی

14. De Micco

www.SID.ir

Archive of SID

ساختار لوله گرده تشکیل شونده تحت این شرایط ضروری باشد. به طور کلی، استفاده از این روش مطالعاتی می‌تواند در جهت انتخاب گیاه و غربالگری ارقامی که به شرایط میکروگراویتی سازگاری بیشتری را نشان می‌دهند مورد استفاده قرار گیرد.

مراجع

[1] Volkmann, D. and Baluska, F., "Gravity: One of the Driving Forces for Evolution", *Protoplasma*, Vol. 229, pp. 143–148, 2006.

[2] Garshnek, V., "The Lunar Environment as a Fractional-gravity Biological Laboratory", *Acta Astronaut*., Vol. 33, pp. 211–215, 1994.

[3] Clément, G. and Slenzka, K., *Fundamentals of Space Biology — Research on Cells, Animals, and Plants in Space*, Space Technology Library, 18, Springer-Verlag, New York, 2006.

[4] Klaus, D.M., "Clinostats and Bioreactors", *Gravitational and Space Biology Bulletin*, Vol. 14, pp. 55–64, 2001.

[5] Hajebrahimi, Z., "3-D Clinostat for Microgravity Simulation in Cellular and Molecular Studies", *J. Technology in Aerospace Engineering*, Vol. 1, pp. 27–33, 2017.

[6] Kuang, A., Musgrave, M.E., Matthews, S.W., Cummins, D.B., and Tucker, S.C., "Pollen and Ovule Development in *Arabidopsis Thaliana* Under Space Flight Condition". *American J. Botany,* Vol. 82, pp. 585–595, 1995 .

[7] Kuang, A., Popova, A., Mc Clure, G., and Musgrave, M.E., "Dynamics of Storage Reserve Deposition During *Brassicarapa*L. Pollen and Seed Development in Microgravity". *International J. Plant Sciences,* Vol. 166, pp. 85–96, 2005.

[8] Musgrave, M.E., Kuang, A., and Matthews, S.W., "Plant Reproduction During Space Flight: Importance of the Gaseous Environment", *Planta,* Vol. 203, pp. 177–184, 1997.

[9] Popova, A., Musgrave, M., and Kuang, A., "The Development of Embryos in *Brassicarapa*L. in Microgravity", *Cytology and Genetics,* Vol. 43, pp. 89–93, 2009.

[10] Anushri, V., Dhawan, V., and Srivastava, P. S., "A Protocol for in Vitro Mass Propagation of Asiatic Hybrids of Lily Through Liquid Stationary Culture.", *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, Vol. 36, No. 5, pp. 383, 2000.

[11] Brickell, C. and Marc Cathey, H., *The American Horticultural Society AZ Encyclopedia of Garden Plants*. DK Pub., 2004.

[12] Germana, M., Chianone, B., Melati, M.R., and Firetto, A., "Preliminary Results on the Effect of Magnetic Field on another Culture and Pollen Germination of Citrus Clementina Hort. ex Tan". In: ISHS *Acta Horticulturae*, Vol. 625, pp. 411 – 418.

[13] Pertl-Obermeyer, H. and Obermeyer, G., "Pollen Cultivation and Preparation for Proteomic Studies", *Methods in Molecular Biology*, Vol. 1072, pp. 435-49, 2014.

[14] De Micco, V., Scala, M., and Aronne, G., "Evaluation of the Effect of Clinostat Rotation on Pollen Germination and Tube Development as a Tool for Selection of Plants in Space", *Acta Astronautica*, Vol. 58, No. 9, pp. 464-470, 2006.

[15] De Micco, V., Scala, M., and Aronne, G., "Effects of Simulated Micro- gravity on Male Gametophyte of *Prunus*, *Pyrus*, and *Brassica* Species", *Protoplasma*, Vol. 228, pp. 121–126, 2006.

[16] Chebli, Y. and Geitmann, A., "Gravity Research on Plants: Use of Single-cell Experimental Models.", *Frontiers in plant science,* Vol. 2, pp. 56, 2011.

[17] Pertl-Obermeyer, H. and Obermeyer, G., "Pollen Cultivation and Preparation for Proteomic Studies", *Methods in molecular biology*, Vol. 1072, pp. 435-49, 2014.

[18] Musgrave, M. E., Kuang, A., Allen, J., Blasiak, J., and van Loon, J.J.W.A., "Brassica rapa L. Seed Development in Hyper Gravity.", *Seed Science Research,* Vol. 19, No. 2, pp. 63-72, 2009.

[19] Musgrave, M., Kuang, A., Allen, J., and van Loon, J.J.W.A., "Hyper Gravity Prevents Seed Production in Arabidopsis by Disrupting Pollen Tube Growth.", *Planta,* Vol. 230, No. 5, pp. 863-870, 2009.

[20] Lisboa, Y.S., Scherer, G.E.F., and Quader, H., "Endocytosis in Tobacco Pollen Tubes: Visualization and Measurement of Plasma Membrane Retrieval During Different Gravity Conditions Indicates Gravity-Dependence of Endocytosis.", *Life in Space for Life on Earth*, Vol. 501, pp. 397-398, 2002.

www.SID.ir