

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

ترویجیسم های گیاهی

Plant Tropism

ترجمہ:

فاطمہ فرضی۔ امیر حسین فرقانی

انتشارات بہتا پڑوہش

گیاهان بعنوان ارگانسیم های ساکن، تمامی حیات خود را در محل جوانه زنی پذیر سپری می کنند. در نتیجه، آنها مجموعه ای از راهکارها را برای عبور از تنش های بسیار متنوع محیطی بکار می گیرند. بخشی از این انعطاف به توانایی بیشتر اندام های گیاهی برای رشد در جهاتی متکی است که توسط سیگنال های ویژه حاصل از محیط دیکته شده، شرایط بهتری برای انجام عملکردهای اولیه شان جستجو می کنند. جهت گیری معمولی رشد اندام های گیاه توسط جاذبه، نور، تماس، شیب های موجود در رطوبت، یون ها، اکسیژن و دما فراهم می شود. چنین رشد جهت داری، توسط محرک های برداری تعریف شده، تروپسیم نامیده می شود و گمان می رود که بطور قابل ملاحظه ای در بقای گیاه نقش دارند.

مفهوم تروپسیم ۲۰۰ سال پیش زمانی مطرح شد که Knight (۱۸۰۶) پیشنهاد کرد که درک جاذبه توسط گیاد می تواند توانایی آن را در هدایت رشد رو به بالای بخش هوایی و راهنمایی رو به پایین ریشه ها تعدیل کند. هشتاد سال بعد، Darwin (۱۸۸۰) با مستند کردن طیف گسترده ای از پاسخ های تروپیک و شناسایی نواحی تخصص یافته ریشه و ساقه برای دریافت نور و جاذبه، مشارکت اصلی را در این زمینه بعمل آورد، او همچنین موجودیت اکسین را با پیشنهاد وجود یک تنظیم کننده رشد گیاهی (هورمون) پیش بینی کرد که توزیع دوباره آن در میان راس یک اندام در اثر القا جاذبه می تواند رشد افتراقی را علامت رسانی کند.

از زمان این کشف ها، آنالیز ما از رشد تروپیک گسترش یافته است. اندازه گیری های پاسخ های صورت گرفته نسبت به نور، تماس، و شیب های موجود در رطوبت، یون ها، مواد شیمیایی، و اکسیژن را شامل می شود. با این وجود، داده ها بتازگی همکاری یافته اند تا تصویری از فرایندهای فیزیولوژیکی، ملکولی و بیولوژیکی سلول که زمینه تروپسیم های گیاه می باشند، فراهم شود. بنابراین، چند سال اخیر شاهد رنسانس واقعی در آنالیز پاسخ تروپیک بوده است که عمدتاً توسط ادغام ابزارها و راهکارهای مدرن در زمینه های ژنتیک، بیوشیمی، بیولوژی سلول و پروتئومیکس، تا آنالیز بسیار دقیق خود فرایند رشد براه افتاده است.

زمانی چنین آنالیزهایی با استفاده از سیستم های مدلی از قبیل آرکیدوپسیس تالیانا و برنج توام شدند که ژنوم آنها بتمامی تعیین توانی شده بود. این استراتژی ها قدرت بی سابقه ای از دقت ما در آنالیز رفتارهای رشد را فراهم ساختند. در نتیجه، تصور ما را از تروپسیم ها از کنجکاوای های آزمایشگاهی ساده به ابزارهای فوقتپ های مهم جهت کشف فرایندهای اساسی و لازم بیولوژیکی سلول برای رشد و نمو گیاه، تبدیل کرده است. بنابراین، بینش فعلی ما درباره تروپسیم ها بصورت تنگانی در فهم ما از انتقال و پاسخ اکسین، سازماندهی اسکلت سلولی و دخالت آن در کنترل گسترش آنزوتروپیک سلول؛ دریافت و ترانسسانی محرک هایی از قبیل نور، تماس، رطوبت، یون ها، یا اکسیژن؛ بیوزنر و عملکرد اندامک هایی از قبیل پلاستیدها و واکوئل ها؛ و حتی کنترل حرکات وزیکولی دخیل می باشد (Blancaflor & Masson 2003).

از میان محرک های تروپیک، درک ما از مکانسیم های پاسخ گراوی تروپیک و فوتوتروپیک در چند سال اخیر پیشرفت های شدت سریعی ایجاد شده است و در فصل ۱، Blancaflor و Valster مدل های فعلی ما از دریافت گراوی تروپیک در گیاهان را شرح می دهند. موضوعی که در فصل ۲ بیشتر بسط می یابد که Harrisori و همکاران مکانسیم های ملکولی ترانسسانی سیگنال جاذبه را بحث می کنند. در فصل ۳، Braun و Hemmersbach دریافت و علامت رسانی در گیاهان را با مقایسه گنجینه ای از داده ها درباره اینکه چگونه ارگانسیم های تک سلول جاذبه را تشخیص داده و پاسخ می دهند، مورد کاوش بیشتر قرار می گیرد. بهمین نحو، در فصل ۴، Kiss و Mullen دانش بطور قابل ملاحظه ای مفصل را شرح می دهند که در حال حاضر ما از مکانسیم هایی داریم که بموجب آن گیاهان نور را دریافت می کنند و آن سیگنال را بصورت یک رشد فوتوتروپیک ترجمه می کنند.

علیرغم پیش بینی داروین از عملکرد اکسین در پاسخ تروپیک در همان ۱۸۸۰، بتازگی مکانسیم های انتقال و عملکرد اکسین در سطح ملکولی تعریف شده است. مثلاً، ما اکنون می دانیم که جایگیری دوباره ترانسپورتهای اکسین یک جزء محوری تنظیم کننده مسیرهای پاسخ تروپیک می باشد و اجزاء حیاتی مسیر انتقال اکسین یا دقت ملکولی تعیین شده اند. در فصل ۳، Muday و Rahman مرور کلی از این زمینه را فراهم می کنند.

اگرچه محرک های تروپیک انفرادی اغلب در یک محیط آزمایشگاهی کنترل شده مطالعه می شوند، طبیعت یک محیط سخت فراهم می کند که محرک های برداری متعددی اغلب برای یک اندام گیاهی اطلاعات مغایری را علامت رسانی می کند. یک گام مهم در ادراک ما از پاسخ های گیاهی در چنین محیط پیچیده ای این است که اندام ها نه تنها هریک از این پارامترها را دریافت کرده و پاسخ می دهند بلکه مجبور می باشند که اطلاعات محیطی مربوطه را نیز بصورت "تصمیم" کلی منسجم ساخته و تفسیر کنند که خودشان را بصورت رفتارهای رشدی پیچیده آشکار می کنند.

انسجام سایر محرک های تروپیک با پاسخ گراوی تروپیک اخیراً مورد تجزیه و تحلیل فراوانی قرار گرفته است و در فصل ۵ و ۶، Manshausen و همکاران و Gladys Cassab گنجینه ای از پاسخ های تروپیک در گیاهان را شرح می دهند و اینکه بطور ویژه ای چگونه پاسخ های داده شده به تماس و رطوبت پاسخ گراوی تروپیک را تغییر می دهند. بنظر می رسد که چنین پاسخ های انسجام یافته ای به ترکیبی از سیگنال های محیطی، ارتباطات پیچیده درون سلولی و بین سلولی را شامل می شوند. آنالیزهای اخیر برخی از این وقایع علامت رسانی جذاب را کشف کرده اند (Fasano et al, 2002) و این احتمال را پیش می آورند که روزی، توانا به مهندسی گیاهانی باشیم که قادر هستند مجموعه تعریف شده ای از سیگنال های جهت دار را برای هدایت رشد بکار برند در حالیکه نسبت به سایر سیگنال های بی توجه هستند. انجام چنین مهندسی ای می تواند در کشاورزی و در تلاش های دورتر از قبیل اکتشاف فضایی کاربردهایی بیابد.

در واقع، پرواز فضایی فرصت منحصر بفردی برای تشریح پاسخ گراوی تروپیک در غیاب تاثیرات جاذبه را بوجود می آورد. با این وجود در فضا، علاوه بر قرار گرفتن در معرض میکروگراویته، ارگانیسم ها از فقدان همرفت (انتقال گرما)، محدودیت های رشد در فضا، قرار گرفتن در معرض نور پایین، و سطوح تشعشع افزایش یافته نیز رنج می برند. بنابراین، به نظر می رسد که محیط پرواز فضایی برای موفقیت گیاه نامساعد باشد و پاسخ های تروپیک احتمالات بر این اساس تغییر می یابند. از آنجایی که گیاهان بعنوان یک گزینه ایده آل برای استفاده در سیستم های حامی حیات احیاء کننده زیستی در طی مأموریت های اکتشاف فضایی طولانی مدت شناسایی شده اند، نیاز روشنی برای فهم بهتر رفتار رشدی و تحمل آنها در طی سفرهای اکتشافی طولانی مدت برای ممانعت یا غلبه بر از کار افتادگی های بالقوه در طی یک مأموریت وجود دارد.

شناسایی این نیاز اخیراً کوشش هایی را در ایجاد تجارب مبتنی بر فضا روی رفتار رشد گیاه و حساسیت گراوی تروپیک برانگیخته، در واقع به طراحی و ساخت ایستگاه فضایی بین المللی منجر شده است که چنین بررسی هایی را می توان انجام داد. تجارب فضایی اطلاعات جدیدی درباره پاسخ های رشد گیاه به سیگنال های جهت دار از قبیل جاذبه، نور، یا شب های اکسیژن اضافه کرده و در فصل ۸، Correll و Kiss فرصت هایی که پرواز فضایی برای درک چگونگی عمل طیفی از چنین پاسخ های تروپیک را فراهم کرده است، شرح می دهند.

با این وجود، تجربیات پرواز فضایی با انواع محدودیت ها نیز روبرو بوده که ارزش علمی بالقوه آنها را کاهش داده است. بنابراین یک پژوهش ترکیبی، شامل پژوهش مبتنی بر زمین و فضا، برای کسب فهم بهتری از رفتار گیاهان و اندام های آنها تحت محیط های میکرو و هیپرگراویته لازم است به امید اینکه روزی قادر به مهندسی کولتورهای باشیم که در شرایطی که احتمالاً در طی مأموریت های اکتشافی فضایی پیش می آیند، بهتر سازش می یابند.

از این رو تروپسم های گیاهی در چند سال اخیر بدلیل تاثیر آن هم بدلیل درک اساسی رشد و نمو گیاه و هم جنبه های کاربردی از قبیل پاسخ محصول زراعی یا کاربرد در پرواز فضایی توجه قابل ملاحظه ای را بخود جلب کرده است. ما امیدواریم که این کتاب پوشش جامع در عین حال منسجم وضعیت فعلی آگاهی ما درباره فرایندهای مولکولی و بیولوژی سلولی را فراهم کند که بر تروپسم های گیاهی، با تاکید اصلی بر روی گراوی تروپسم (یکی از تروپسم های گیاهی که بطور گسترده ای بررسی شده) حاکم می باشند. فهم ما از پاسخ های تروپیک سرعت در حال افزایش است، با هر بینش جدید پتانسیل مهندسی صفات جدید در میان گیاهان دقیق تر می شود. بنابراین، برای فصل آخر کتاب ما از Chris Brown و همکاران درخواست کردیم که تصویری درباره چگونگی فهم تفصیلی فزاینده ما از این پاسخ های رشدی گیاه که می تواند بصورت طراحی گیاهانی برای حفظ تلاش های بشر، احتمالاً در نامساعدترین ترین محیط، برای فضای قابل تصور حیات ارائه کنند.

Simon Gilroy
Patrick H. Masson

فصل اول: مکانیسم های درک جاذبه در گیاهان عالی.....	۱۱
۱-۱ مقدمه.....	۱۱
۱-۲ تشخیص و توصیف جایگاه های درک جاذبه در اندام های گیاه.....	۱۲
۱-۲-۱ ریشه ها.....	۱۳
۱-۲-۲ هیپوکوتیل ها و ساقه های گل آذین (دولپه ای ها).....	۱۵
۱-۲-۳ بالشتک های غلات (تک لپه ای ها).....	۱۸
۱-۳ فرضیه نشانه-استاتولیت.....	۱۹
۱-۳-۱ اندام های مختلف گیاه از آمیلوپلاست های رسوب کننده برای درک جاذبه استفاده می کنند.....	۱۹
۱-۳-۲ رسوب آمیلوپلاست از محیط و مرحله نمو گیاه اثر می پذیرد.....	۲۲
۱-۴ مدل فشار جاذبه ای برای ادراک جاذبه.....	۲۳
۱-۵ اسکلت سلولی در ادراک جاذبه.....	۲۴
۱-۶ ملاحظات آخر و چشم اندازهای آتی.....	۲۷
منابع فصل ۱.....	۲۹
فصل ۲: ترارسانی علامت در جاذبه گرایی.....	۳۳
۲-۱ مقدمه.....	۳۳
۲-۲ ترارسانی سیگنال جاذبه در ریشه ها و اندام های بالای خاک.....	۳۵
۲-۲-۱ آیا کانال های یونی حساس به نیروهای مکانیکی به عنوان گیرنده های جاذبه عمل می کنند؟.....	۳۶
۲-۲-۲ بنظر می رسد اینوزیتول ۱، ۴، ۵-تری فسفات در ترارسانی سیگنال جاذبه عمل می کند.....	۴۰
۲-۲-۳ آیا تغییرات pH در ترارسانی سیگنال جاذبه مشارکت دارد؟.....	۴۱
۲-۲-۴ پروتئین هایی که در ترارسانی سیگنال جاذبه نقش دارند.....	۴۳
۲-۲-۵ پژوهش های 'omic'-جهانی برای مطالعه جاذبه گرایی ریشه.....	۴۹
۲-۲-۶ جایگیری مجدد یا تنظیم فعالیت تسهیل کننده های انتقال اکسین؟.....	۵۶
۲-۲-۷ آیا سینوکینین نیز می تواند در سیگنال گراوی تروییک مشارکت داشته باشد؟.....	۵۷
۲-۳ ترارسانی سیگنال جاذبه در اندام هایی که بصورت عمودی رشد نمی کنند.....	۵۹

منابع فصل ۲.....	۶۱
فصل ۳: انتقال اکسین یکپارچگی رشد گراوی تروپیک.....	۶۶
۳-۱ مقدمه ای درباره اکسین ها.....	۶۶
۳-۲ انتقال اکسین و نقش آن در پاسخ گیاه به جاذبه.....	۶۶
۳-۳ پژوهش هایی برای تشخیص پروتئین هایی که برون شارش IAA را واسطه می کنند.....	۷۰
۳-۴ پروتئین هایی که برون شارش اکسین را واسطه می کنند.....	۷۱
۳-۵ کریرهای درون شارش IAA و نقش آنها در جاذبه گرایی.....	۷۴
۳-۶ تنظیم جایگاه و فعالیت پروتئین برون شارش اکسین در طی پاسخ جاذبه.....	۷۷
۳-۶-۱ مکانیسم هایی که می توانند جایگیری کریرهای برون شارش IAA را کنترل کنند.....	۷۷
۳-۶-۲ تنظیم برون شارش IAA بواسطه سنتز و تجزیه کریرهای برون شارش.....	۸۱
۳-۶-۳ تنظیم انتقال اکسین توسط فسفوتیلایسون برگشت پذیر پروتئین.....	۸۲
۳-۶-۴ تنظیم انتقال اکسین توسط فلاوونوئیدها.....	۸۵
۳-۶-۵ تنظیم انتقال اکسین توسط سایر مسیرهای علامت رسانی.....	۸۶
۳-۶-۶ تنظیم پاسخ جاذبه توسط اتیلن.....	۸۸
۳-۷ مروری کلی بر مکانیسم های رشد الفاء شده با اکسین.....	۹۱
۳-۸ نتیجه گیری ها.....	۹۴
منابع فصل ۳.....	۹۵
فصل ۴: نور گرایی و ارتباطش با جاذبه گرایی.....	۱۰۵
۴-۱ نور گرایی: توصیف و توزیع کلی.....	۱۰۵
۴-۲ درک نور.....	۱۰۶
۴-۳ ترانسانی سیگنال و پاسخ رشدی.....	۱۰۹
۴-۴ برهمکنش ها با جاذبه گرایی.....	۱۱۰
۴-۵ اهمیت برای شکل و عملکرد گیاه.....	۱۱۲
۴-۶ نتیجه گیری ها و چشم انداز.....	۱۱۳
منابع فصل ۴.....	۱۱۵
فصل ۵: درک تماس و تماس گرایی.....	۱۲۰
۵-۱ مقدمه.....	۱۲۰
۵-۲ پاسخ های مکانیکی گیاه.....	۱۲۲

۵-۲-۱	پاسخ های تخصص یافته تماس	۱۲۲
۵-۲-۲	تیگمومورفوزیز و تماس گرایی	۱۲۴
۵-۳	اصول کلی درک تماس	۱۲۵
۵-۳-۱	باز و بسته شدن از طریق کشش غشاء: MscL، گیرنده مکانیکی تنش هیپواسمزی در باکتری ها	۱۳۰
۵-۳-۲	باز و بسته شدن از طریق افسارها: گیرنده مکانیکی تماس ملایم در <i>Caenorhabditis elegans</i>	۱۳۲
۵-۳-۳	شواهد مبنی بر وجود کانال های یونی دروازه دار در گیاهان	۱۳۳
۵-۴	نراسانی سیگنال در دریافت تماس و جاذبه	۱۳۵
۵-۴-۱	علامت رسانی یونی	۱۳۵
۵-۴-۲	علامت رسانی Ca^{2+} در پاسخ به تماس و جاذبه	۱۳۵
۵-۵	بینش های حاصل از پروفایل رونویسی	۱۴۱
۵-۶	برهمکنش علامت رسانی/پاسخ تماس و جاذبه	۱۴۶
۵-۷	نتیجه گیری و چشم اندازها	۱۵۰
	منابع فصل ۵	۱۵۲
	فصل ۶: تروپیسهای دیگر و ارتباط با جاذبه گرایی	۱۶۱
۶-۱	مقدمه	۱۶۱
۶-۲	هیدروتروپسم	۱۶۱
۶-۲-۱	مطالعات اولیه هیدروتروپسم	۱۶۳
۶-۲-۲	آنالیز ژنتیکی هیدروتروپسم	۱۶۴
۶-۲-۳	درک محرک گرادبان رطوبت و جاذبه گرایی از طریق کلامک و خمیلگی ریشه	۱۶۵
۶-۲-۴	آبسزیک اسید و پاسخ آبگرایی	۱۶۸
۶-۲-۵	آزمایشات آینده	۱۶۹
۶-۳	الکتروتروپسم	۱۶۹
۶-۴	شیموتروپسم	۱۷۱
۶-۵	گرماگرایی و اکسی تروپسم	۱۷۴
۶-۶	تراماتروپسم (زخم گرایی)	۱۷۵
	منابع فصل ۶	۱۷۷
	فصل ۷: زمین گرایی و جاذبه گرایی سلول منفرد	۱۸۱
۷-۱	مقدمه	۱۸۱

۷-۲ تعریف پاسخ ها به محرک محیطی که سازگاری بوم شناختی سیستم های تک سلولی را بهینه می کند	۱۸۲
۷-۳ وقوع و اهمیت گرایش به جاذبه در سیستم های تک سلولی	۱۸۳
۷-۴ اهمیت گرایش به سمت جاذبه در سیستم های تک سلولی	۱۸۵
۷-۵ چه چیزی باعث می شود سلول یک حسگر جاذبه ای زیستی گردد؟	۱۸۵
۷-۶ درک جاذبه - مرحله فیزیکی اولیه درک جاذبه	۱۸۶
۷-۷ پذیرش در سیستم های مبتنی بر استاتولیت Chara	۱۸۷
۷-۸ پذیرش در سیستم استاتولیتی loxodes	۱۹۳
۷-۹ پذیرش در سیستم های پروتوپلاستی اوگلنا و پارامسی	۱۹۴
۷-۱۰ درک جاذبه در سیستم های استاتولیتی Chara	۱۹۴
۷-۱۱ درک جاذبه در سیستم استاتولیتی loxodes	۱۹۵
۷-۱۲ درک جاذبه در سیستم های پروتوپلاستی اوگلنا و پارامسی	۱۹۶
۷-۱۳ مسیر های هدایت سیگنال و مکانیسم های پاسخ جاذبه ای در سیستم های استاتولیتی Chara	۱۹۸
۷-۱۴ مسیر های هدایت سیگنال و مکانیسم های پاسخ جاذبه ای در اوگلنا و پارامسی	۲۰۰
۷-۱۵ نتیجه	۲۰۲
منابع فصل ۷	۲۰۳
فصل ۸: پژوهش فضایی بر روی تروپسم های گیاهی	۲۰۸
۸-۱ مقدمه: انواع جنبش های گیاهی	۲۰۸
۸-۲ محیط ریز جاذبه	۲۱۰
۸-۳ بررسی های مبتنی بر زمین: کاهش اثرات جاذبه	۲۱۲
۸-۴ زمین گرایی	۲۱۳
۸-۴-۱ زمین گرایی: درک جاذبه	۲۱۴
۸-۴-۲ جاذبه گرایی: انتقال سیگنال	۲۱۶
۸-۴-۳ جاذبه گرایی: پاسخ خمیدگی	۲۱۹
۸-۵ فتوتروپسم	۲۲۲
۸-۶ هیدروتروپسم، اوتوتروپسم، اکسی تروپسم	۲۲۳
۸-۷ بررسی های دیگر جنبش های گیاهی در میکرو گراوینه	۲۲۵
۸-۸ سخت افزار سفرفضایی استفاده شده به منظور مطالعه تروپسم ها	۲۲۶
۸-۹ نگرش و چشم انداز های آتی	۲۲۸

منابع فصل ۸.....	۲۲۹
فصل ۹: گیاهانی (طرح هایی) برای اکتشاف فضایی.....	۲۳۵
۹-۱ مقدمه.....	۲۳۵
۹-۲ مأموریت های انسان در فضا.....	۲۳۶
۹-۳ حامی حیات.....	۲۳۷
۹-۴ ژنومیکس و اکتشاف فضایی.....	۲۳۸
۹-۵ نانو تکنولوژی.....	۲۴۱
۹-۶ حسگرها، حسگرهای زیستی و ماشین های هوشمند.....	۲۴۱
۹-۷ گیاهانی (طرح هایی) برای اکتشاف فضایی.....	۲۴۲
منابع فصل ۹.....	۲۴۸
بخش رنگی.....	۲۵۱
شکل ۱-۱. برش طولی کلاهک ریشه گیاه <i>Medicago truncatula</i>	۲۵۱
شکل ۲-۱ تفاوت های بافتی بین ریشه ها و ساقه گل آذین، در گیاه <i>Arabidopsis thaliana</i>	۲۵۲
شکل ۴-۱ کیفیت نور و پاسخ نور گرایی.....	۲۵۴
شکل ۵-۴ ساختارهای کانال های حساس مکانیکی باز شده از طریق کشش غشایی.....	۲۵۵
شکل ۵-۵ القاء سیگنال کلسیم در سلول های کلاهک ریشه با تماس و سرما.....	۲۵۶
شکل ۶-۲ ریشه های ژنتیکی برای آزمایش آبگرایی در آراییدوپیس.....	۲۵۶
شکل ۶-۴ شیمو تروپسم در لوله های گرده.....	۲۵۷
شکل ۸-۱ روش های بالقوه به منظور ایجاد شرایط ریز جاذبه پرواز فضایی در مدار پایین.....	۲۵۸
شکل ۸-۴ تصاویری از سخت افزار TROP1.....	۲۵۹
شکل ۹-۱ گیاهان قابل برنامه نویسی مفهومی برای حمایت از حیات انسان در فضا.....	۲۶۰

فهرست تصاویر

- شکل ۱-۱. برش طولی کلاهک ریشه گیاه *Medicago truncatula* ۲۵۱
- شکل ۱-۲. تصویرهایی از میکروسکوپ زمینه روشن و ریزنگار فلونورسانس مرتبط با کلاهک ریشه ۱۴
- شکل ۲-۱. تفاوت های بافتی بین ریشه ها و ساقه گل آذین، در گیاه *Arabidopsis thaliana* ۲۵۲
- شکل ۲-۲. مدل های خطی و منشعب انتقال سیگنال جاذبه در استاتوسیت های ریشه ۵۵
- شکل ۳-۱. انتقال اکسین در آراییدوپسیس و دیگر گیاهان قطبی است. ۶۷
- شکل ۳-۲. بیان گزارشگرهای پاسخ دهنده به اکسین در سمت پایینی ریشه های نوع وحشی تحریک شده با جاذبه بالا می رود که با توزیع مجدد اکسین در رأس ریشه همخوانی دارد. ۲۵۳
- شکل ۳-۳. یک مدل از شامل BFA و بازدارنده های اکسین با چرخه PIN1 و جریان اکسین. ۷۸
- شکل ۳-۴. یک های تجمع فلاونوئید در حین تحریک جاذبه گرای در در ریشه های وحشی آراییدوپسیس ۸۷
- شکل ۴-۱. کیفیت نور و پاسخ نور گرای. ۲۵۴
- شکل ۵-۱. گیاهان یک مجموعه از محیط مکانیکی که بطور معنی داری در بالا و زیر زمین با هم تفاوت دارد را تجربه می کند. ۱۲۱
- شکل ۵-۲. نیروهای وارد شده در سر تاسر غشای می تواند کانال های یونی را باز کند. ۱۲۶
- شکل ۵-۳. نیروی مکانیکی قادر به فراخوانی تغییرات نیمبایی بواسطه القاء تغییرات شکلی در پروتئین هدف است. ۱۲۸
- شکل ۵-۴. ساختارهای کانال های حساس مکانیکی باز شده از طریق کشش غشایی. ۲۵۵
- شکل ۵-۵. القاء سیگنال کلسیم در سلول های کلاهک ریشه با تماس و سرما. ۲۵۶
- شکل ۵-۶. پاسخ یک ریشه همچنان که به سمت مانع رشد مینماید. ۱۴۶
- شکل ۶-۱. هیدروتروپیسم در ریشه ها. ۱۶۲
- شکل ۶-۲. یافته های ژنتیکی برای آزمایش آبرگری در آراییدوپسیس. ۲۵۶
- شکل ۶-۳. آبرگری ریشه در برابر زمین گرای در آراییدوپسیس. ۱۷۱
- شکل ۶-۴. شیموتروپیسم در لوله های گرده. ۲۵۷
- شکل ۷-۱. سیستم های تک یاخته ای برای مطالعه جاذبه استفاده می شود. ۱۸۴
- شکل ۷-۲. قسمت راسی و ریزوئید *Chara*. ۱۸۸
- شکل ۷-۳. مرحله زمین گرای در ریزوئید و پروتوتما *Spitzenkorper*. ۱۹۰
- شکل ۷-۴. مدل هایی از درک جاذبه در تک آغازیان مختلف. ۱۹۲
- شکل ۸-۱. روش های بالقوه به منظور ایجاد شرایط ریز جاذبه پرواز فضایی در مدار پایین. ۲۵۸
- شکل ۸-۲. ریز نگار الکترونی از کلاهک ریشه ازدانه رست های آراییدوپسیس طی پروازهای فضایی. ۲۱۵
- شکل ۸-۳. تصاویری از ریشه های عدس رشد یافته در شرایط شاهد *ig* و در ریز جاذبه در حین پرواز فضایی. ۲۱۸
- شکل ۸-۴. تصاویری از سخت افزار TROP1 ۲۵۹
- شکل ۹-۱. گیاهان قابل برنامه نویسی مفهومی برای حمایت از حیات انسان در فضا ۲۶۰
- شکل ۹-۲. یک طرح برای گیاهان قابل برنامه نویسی جهت حمایت از حیات انسان در سیاره مریخ. ۲۴۶