

بررسی ناهنجاری‌های نمو تخمک به دانه در پسته اهلی (*Pistacia vera* L.)

نجمه حسینی^۱، فرخنده رضائزاد^{۱*} و قاسم محمدی‌نژاد^۲

^۱ گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

^۲ بخش مهندسی زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

چکیده

تولید دانه در محصولات کشاورزی از جمله پسته به دلیل ایجاد ناهنجاری در مراحل نمو تخمک محدود می‌شود. در پژوهش حاضر، مراحل نمو تخمک به دانه و ناهنجاری‌های این فرآیند با بهره‌گیری از روش‌های بافت‌شناسی بررسی شد تا بتوان در مطالعات بعدی میزان دخالت هر یک از این ناهنجاری‌ها در پوکی دانه تحت عوامل محیطی مختلف را بررسی نمود. تخمک در پسته (*Pistacia vera*) رقم کله‌قوچی، منفرد، پُر خورش، تک‌پوسته و به صورت واژگون با تمکن قاعده‌ای در تخمدان مستقر است که در آن، کیسه رویانی نوع پلی‌گونوم تا یک هفته پس از شکوفایی کامل سازمان می‌یابد. پس از گرده‌افشانی و لقاح تخم زاء، تا شش هفته پس از آن، فرایر تا رسیدن به اندازه نهایی رشد کرده، حتی چوبی شدن درون بر آغاز می‌شود. با وجود این، سلول تخم در این مدت به حالت خفته می‌ماند. دو هفته پس از رشد نهایی میوه، تقسیمات تخم همراه با افزایش تقسیمات اندوسپرم رخ می‌دهد تا این که در نهایت رویان لپه‌ای در ۱۰ تا ۱۲ هفته پس از شکوفایی کامل تشکیل می‌شود و لپه‌ها طی سه هفته بعد به اندازه نهایی خود می‌رسند و در این زمان میوه‌های پوک و پُر بر اساس اندازه تخمک به طور کامل قابل تشخیص هستند. طی مراحل نمو تخمک، برخی ناهنجاری‌ها از جمله: عدم تشکیل کیسه رویانی، تجزیه کیسه رویانی، تشکیل کیسه رویانی کوچک و ناهنجر، قطع دسته آوندی درون بند، حضور تخم بدون اندوسپرم و حضور اندوسپرم بدون تخم مشاهده شد که این ناهنجاری‌ها در نهایت باعث عدم رشد کافی تخمک و تولید میوه پوک یا نیمه‌پوک در پسته می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: *Pistacia vera*، اندوسپرم، تخمک، کیسه رویانی، میوه پوک، نیمه‌پوک

مقدمه

در تیره Anacardiaceae هستند (Al-Saghir, 2010)؛

Zamani Bahramabadi *et al.*, (2012) این در حالی

است که دانه‌های گونه‌های دیگر این جنس اغلب برای

مصارف محلی، تولید روغن و صابون استفاده می‌شوند

پسته اهلی با نام علمی *Pistacia vera* از جنس

Pistacia، تیره Anacardiaceae و راسته Sapindales

است. دانه‌های این گونه دارای اهمیت اقتصادی ویژه‌ای

رشد و نمو و پُر کردن میوه نبوده، سبب تولید میوه‌های پوک می‌شوند. Shuraki و Sedgley (۱۹۹۶) بیان کردند که بکرزایی می‌تواند به عنوان عاملی مؤثر در پوکی پسته مطرح باشد. Polito (۱۹۹۹) با بهره‌گیری از گرده‌های پرتو تابیده، نشان داد که آنها توانایی جوانه زنی و تحریک کیسه جنینی را دارند اما به لقاح نمی‌انجامند. افزایش پوکی میوه تا سه برابر در تحقیق وی نشان داد که پدیده بکرزایی در تشکیل میوه‌های پوک نقش مهمی ایفا می‌کند. تشخیص این که پوکی میوه پسته، در کدام زمان (زمان تشکیل یا پُر شدن میوه) رخ می‌دهد، بسیار دشوار است. Grundwag و Fahh (۱۹۶۹) برخی ناهنجاری‌های پس از لقاح در پسته را که همراه با نرخ بالای سقط رویان است، از دلایل ایجاد میوه‌های پوک و نیمه‌پوک دانستند. Bradley و Crane (۱۹۷۵) بیان کردند که سقط دانه پسته در آغاز مراحل نموی، پس از تجزیه بند در بن رخ می‌دهد. Liu و Thompson (۱۹۷۳)، عامل درجه حرارت، Mehlenbacher و Smith (۱۹۹۱) عامل ژنوتیپ و Stephenson (۱۹۸۱) و Guitian (۱۹۹۳)، تنظیم‌کننده‌های رشد و مواد غذایی را از عوامل ناهنجاری میوه و سقط رویان دانستند. Maggs (۱۹۷۳)، Crane و همکاران (۱۹۷۶)، Grundwag (۱۹۷۶) و Jordano (۱۹۸۹) عامل اصلی سقط رویان در پسته را کمبود گرده‌افشانی، فقر مواد غذایی، بارش در طول فصل شکوفایی و کاهش آب در طول نمو دانه می‌دانند. Shuraki و Sedgley (۱۹۹۶) وجود نسبت بالایی از تخمک‌های فاقد کیسه رویانی را گزارش کردند و زمان گرده‌افشانی گل‌ها در پسته را عامل مهم میوه‌بندی می‌دانند. با وجود همه بررسی‌های انجام شده، یافته‌های ما از ناهنجاری میوه و سقط دانه بسیار محدود

(Baninasab and Mobli, 2008). تولید میوه‌های پوک یکی از مشکلات مهم پسته‌کاری است که هر ساله سبب کاهش قابل توجهی در عملکرد درختان می‌شود. پدیده پوکی زمانی رخ می‌دهد که تخمدان رشد می‌کند و میوه تشکیل می‌شود، اما جنین از رشد باز می‌ماند. این پدیده در دو زمان رخ می‌دهد: الف) تشکیل میوه و ب) پُر شدن میوه (Ferguson *et al.*, 2005). در پوکی از نوع اول، گرده‌افشانی انجام می‌شود اما تلقیح به دلایلی از جمله: عدم رشد لوله گرده و رسیدن آن به تخمک و همچنین از بین رفتن تخمک در زمان نزدیک شدن لوله گرده با مشکل روبرو می‌شود. با این فرضیه، فرآیند گرده‌افشانی یا رشد لوله گرده در خامه، برای تشکیل میوه کافی است اما عدم انجام لقاح مانع از تشکیل جنین و باعث پُر نشدن میوه و در نتیجه تولید میوه پوک می‌شود. پدیده تشکیل میوه بدون انجام لقاح، بکرزایی یا پارتنوکاری نامیده می‌شود. برخی شواهد نشان داده است که بکرزایی تحریک شده با گرده‌افشانی، سازوکاری برای پیدایش میوه‌های پوک در پسته به شمار می‌آید. اگر چه پدیده بکرزایی در برخی گونه‌های درختان میوه که تولید میوه‌های پُر بذری می‌نمایند غیرمعمول نیست اما در میوه‌های تک‌بذر به نسبت نادر است (Ferguson *et al.*, 2005). Crane (۱۹۷۳) نشان داد که پسته رقم «کرمان» میوه پارتنوکارپ تولید می‌کند و پیشنهاد نمود که بکرزایی ممکن است در پوکی برخی میوه‌ها نقش داشته باشد. او بیان نمود که دلیل اولیه پوکی میوه در پسته بکرزایی نیست بلکه سقط جنین پس از تلقیح است (این پدیده به نام استنوسپرموکاری مشهور است و بیشتر در انگور سلطانی دیده می‌شود). بنابراین، در استنوسپرموکاری تخمک‌های حاوی جنین، قادر به

پارافین دهی شدند. ۱۵ قالب پارافینی واجد نمونه با کیفیت بالا برای برش‌گیری انتخاب شد (Rezanejad and Majd, 2012). برش‌های ۷-۱۰ میکرومتری با میکروتوم چرخشی تهیه و با سافرانین- فاست گرین رنگ آمیزی شدند. مطالعه توسط میکروسکوپ نوری Olympus مدل BH-2 انجام شد و با دوربین دیجیتال Canon مدل Ixus 120 IS عکس‌برداری شد (Fan et al., 2003).

نتایج

مراحل نمو تخمک و ناهنجاری‌های آن در مطالعه تشریحی برش‌های طولی گل‌های ماده که یک هفته پیش از شکوفایی کامل جمع‌آوری شده بودند، مشخص گردید. هر گل ماده دارای تخمدان یک‌خانه، حاوی یک تخمک وازگون به همراه یک بند حجیم است. همچنین، دیده شد که درون بند، یک دسته آوند از جفت تا قسمت بن تخمک امتداد داشته، تخمک از نوع پُر خورش و یک پوسته است (شکل ۱- A). ابتدای مراحل نمو، تخمک‌ها دارای یک پوسته بودند (شکل ۱- A) اما به تدریج در مجاورت سفت، آثاری از دو پوسته‌ای شدن را نشان دادند (شکل ۱- B و C). همچنین، در نزدیکی بن یکی از سلول‌های خورش که بزرگ‌تر از سایر سلول‌ها بود، به سلول مادر مگاسپور تمایز یافته و مگاسپورها را تولید می‌کرد (شکل ۱- D). هنگام شکوفایی کامل گل‌ها و یک هفته پس از آن، کیسه رویانی پدید آمد و لقاح رخ داد. ابتدا در سلول مادر مگاسپور و در نخستین میوز، تقسیم سیتوپلاسم عمود بر محور طولی خورش یا قطب سفتی-بنی انجام شد و سلول‌های دیاد در راستای قطب سفتی بنی پدید

است و برای مشخص کردن علل پوکی و نیمه پوکی اطلاعات بیشتری نیاز است که مطالعات مروری انجام شده در این زمینه، نتایج بیشتر و جدیدتر منتشر شده‌ای را نشان نداد. در این راستا، در پژوهش حاضر، مطالعه مراحل نمو تخمک به‌دانه در ارتباط با ناهنجاری‌های ایجاد شده طی این مسیر نموی که تولید دانه را محدود می‌کند در رقم کله قوچی انجام شد. با استفاده از این داده‌ها می‌توان در مطالعات بعدی میزان دخالت هر یک از این ناهنجاری‌ها در پوکی دانه تحت عوامل محیطی مختلف را بررسی نمود.

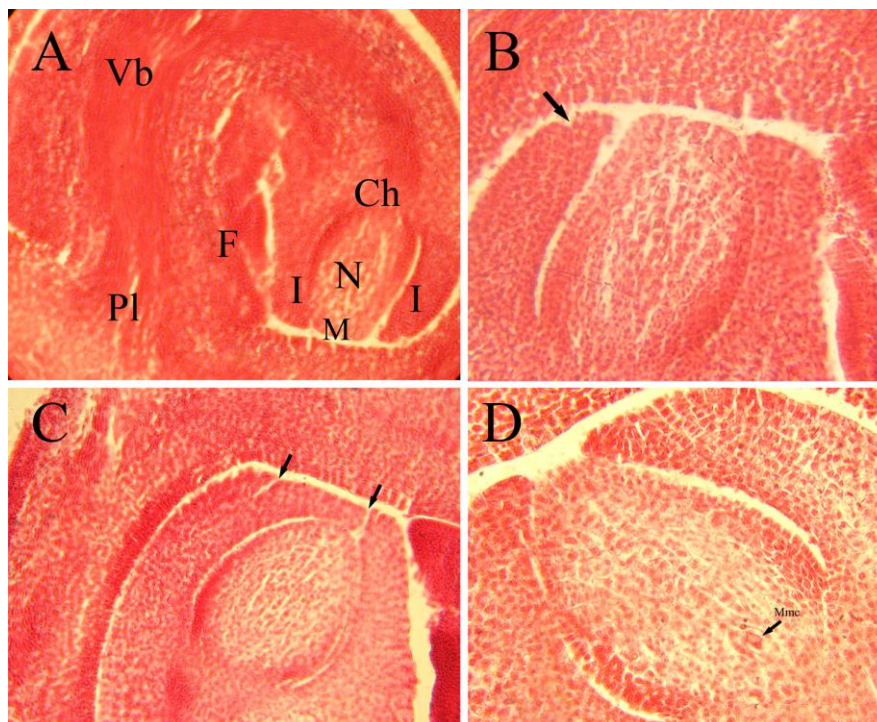
مواد و روش‌ها

پژوهش در سال ۱۳۸۹ در منطقه نوق رفسنجان (۱۶° ۵۵' تا ۲' ۵۶° طول شرقی و ۳۶° ۳۰' تا ۱۴' ۳۱° عرض شمالی) انجام شد. برای مطالعه مراحل نمو تخمک، نمونه برداری از زمان تشکیل گل تا زمان تبدیل گل به میوه و ظهور لپه‌ها (فروردین تا خرداد ماه) انجام شد (ده مرحله که چهار مرحله نخست با فاصله زمانی یک هفته و مراحل بعدی با فاصله دو هفته صورت گرفت). نمونه‌برداری برای مطالعه تشریحی میوه‌های پوک در دو زمان ۱۵ هفته پس از شکوفایی و زمان برداشت محصول انجام شد. رقم مطالعه شده، از درختان ۲۴ ساله کله قوچی نمونه‌برداری شد که همگی روی پایه بادامی‌ریز پیوند شده و با گرده پایه نر *Pistacia vera* گرده‌افشانی می‌شدند. سه درخت انتخاب و از هر درخت حدود ۱۰۰ غنچه گل برای هر مرحله نمو در مراحل نمو مختلف برداشت شد. نمونه‌های برداشت شده در محلول FAA تثبیت و در سری‌های الکل آب‌گیری و در محلول پارافین- تولوئن

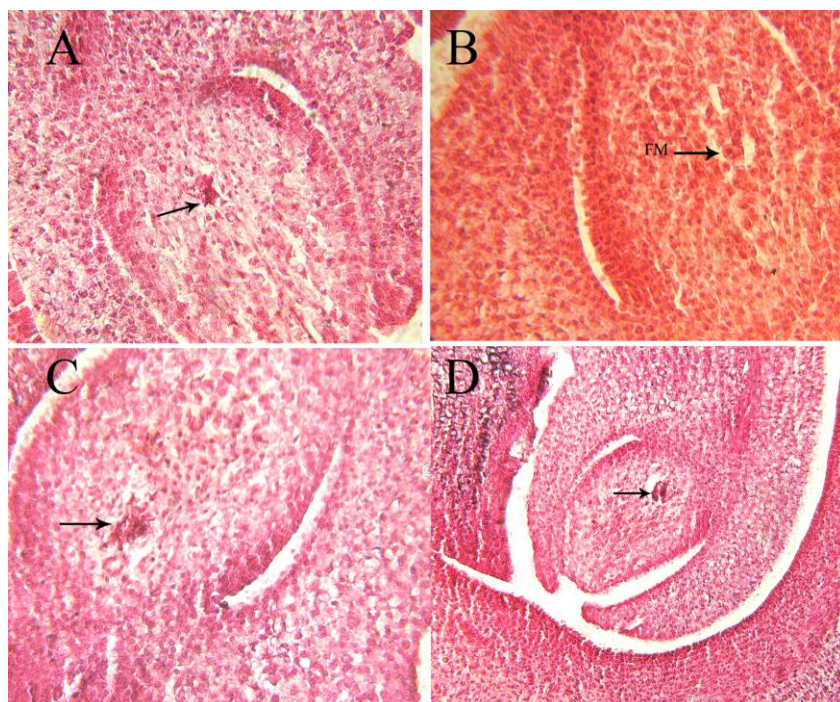
غیرفعال (خفته) می‌شود (شکل ۴-۱). هسته‌های مرکزی لقاح یافته و هسته اندوسپرم حاصل، کناری می‌شود که مشاهده نشدن آن در مرکز نیز دلیلی بر انجام لقاح است، در مطالعه حاضر، در برش‌هایی که دستگاه تخم (تخم‌زا) و دستگاه بنی دیده می‌شدند هسته اندوسپرم دیده نشد که احتمالاً به علت کناری و سطحی بودن آن است که با دستگاه تخم در یک راستا نیستند (شکل ۴-۱). این هسته با میتوزهای متوالی هاله‌ای از هسته‌های اندوسپرمی پیرامونی را ایجاد می‌کند (شکل ۴-۱ و ۲). در این مرحله نموی، ناهنجاری‌هایی نظیر: تخریب کیسه رویانی (شکل ۵-۱ و ۲) و کیسه رویانی دارای اندوسپرم ناقص (شکل ۵-۳) مشاهده شد.

آمدند (شکل ۲-۱). دومین میوز، به پیدایش سلول‌های تتراد مگاسپور انجامید که مگاسپور عملکردی، سلول مجاور بن و از سلوهای دیگر بزرگ‌تر است و سایر سلول‌های تتراد تحلیل رفتند (شکل ۲-۲). مگاسپور عملکردی با نخستین میتوز دو هسته‌ای شد (شکل ۲-۳) و هسته‌های پدید آمده و جابه‌جایی آنها به دو قطب سلول رخ داد. این مگاسپور با انجام دو میتوز دیگر چهار هسته‌ای (شکل ۳-۱ و ۲) و در نهایت ۸ هسته‌ای می‌شود (شکل ۳-۱ و ۲).

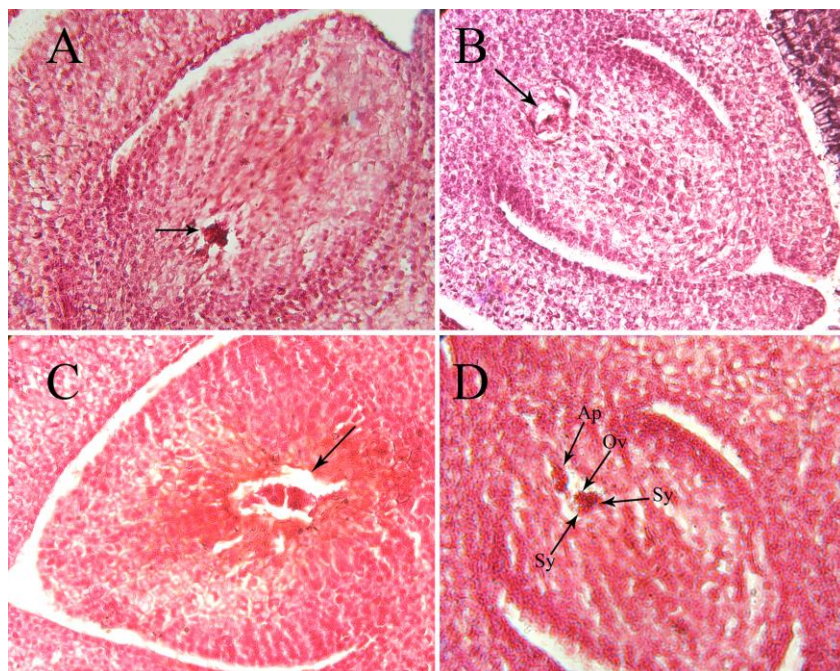
پس از لقاح در کیسه رویانی، در سمت سفیدی دو سلول (زیگوت و قرنیه) و سمت بنی متقاطرها حضور دارند که تخم اصلی (زیگوت) پس از انجام لقاح تخم،



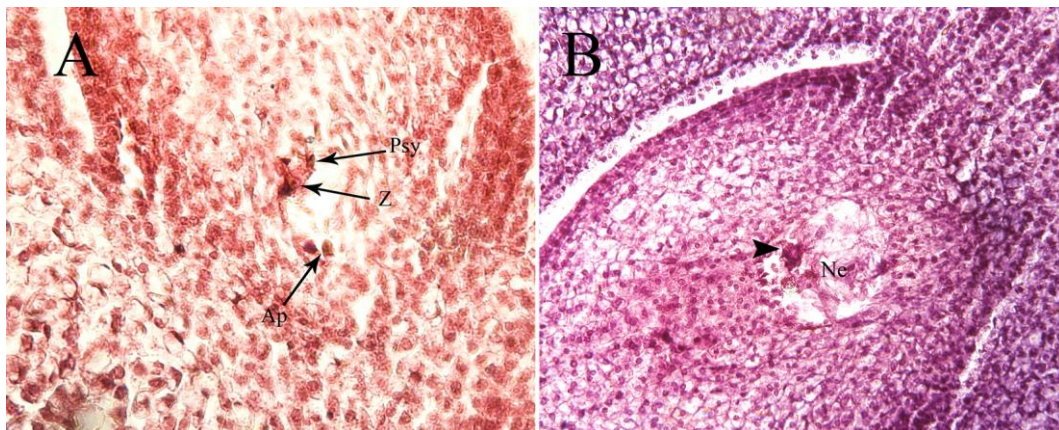
شکل ۱- ساختار تشریحی تخمک پسته کله‌قوچی (*P. vera*) یک هفته پیش از شکوفایی کامل گل‌ها در برش طولی. (A) تخمک واژگون دارای پوسته‌های یک لایه، خورش فراوان و بند حجیم همراه با یک دسته آوندی، موقعیت سفت، بن و جفت مشخص شده است، (B) $40\times$ آغاز دو پوسته‌ای شدن تخمک، (C) $50\times$ پیشروی دو پوسته‌ای شدن تخمک، (D) $50\times$ تمایز سلول مادر مگاسپور در خورش، $40\times$ PI = جفت، Vb = دسته آوندی، Ch = بن، M = سفت، N = خورش، I = پوسته تخمک، F = بند، Mmc = سلول مادر مگاسپور.



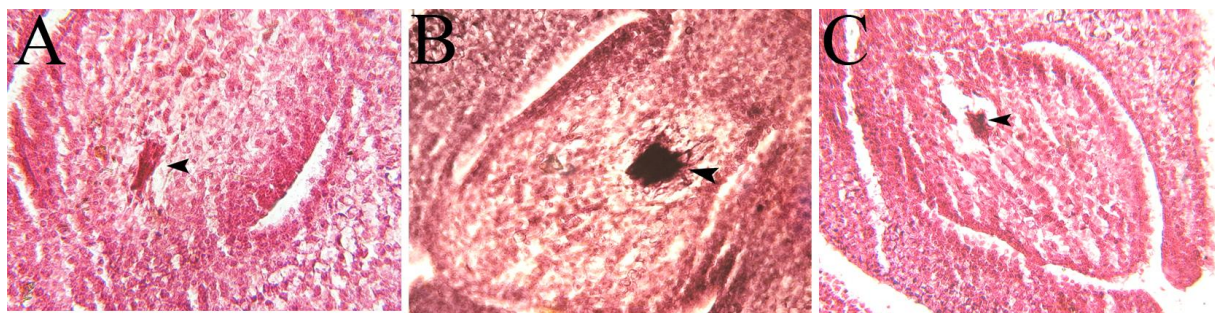
شکل ۲- ساختار تشریحی تخمک پسته کله‌قوچی (*P. vera*) در برش‌های طولی در مرحله شکوفایی کامل. (A) دیاد مگاسپور، $40\times$ ؛ (B) تتراد مگاسپور به صورت خطی، مگاسپور عملکردی و مگاسپوره‌های در حال تجزیه، $50\times$ ؛ (C) کیسه رویانی دو هسته‌ای، $40\times$ ؛ (D) فاصله گرفتن دو هسته از یکدیگر، $20\times$ FM = مگاسپور عملکردی.



شکل ۳- ساختار تشریحی تخمک پسته کله‌قوچی (*P. vera*) در برش‌های طولی و تشکیل کیسه رویانی چهار و هشت هسته‌ای و سلولی شدن آن یک هفته پس از شکوفایی کامل. (A) کیسه رویانی ۴ هسته‌ای، $30\times$ ؛ (B) فاصله گرفتن چهار هسته از یکدیگر، $30\times$ ؛ (C) کیسه رویانی هسته‌ای، $30\times$ ؛ (D) کیسه رویانی سلولی با سلول تخم‌زا، دو سلول قرینه و متقاطرها، $40\times$. Ap = سلول‌های متقاطع، Ov = تخم‌زا، Sy = سلول قرینه.



شکل ۴- ساختار تشریحی تخمک و کیسه رویانی پسته کله‌قوچی (*P. vera*) پس از انجام لقاح یک هفته پس از شکوفایی کامل در برش طولی. (A) کیسه رویانی پس از لقاح دارای سلول تخم و سلول قرینه باقی‌مانده و متقاطرها، (۶۰X؛ B) آغاز تشکیل اندوسپرم نزدیک تخم در کیسه رویانی، نوک پیکان به سلول تخم اشاره می‌کند، (۴۰X). Psy=قرینه باقی‌مانده، Z=تخم، Ap=مقاطرها، Ne=اندوسپرم هسته‌ای.



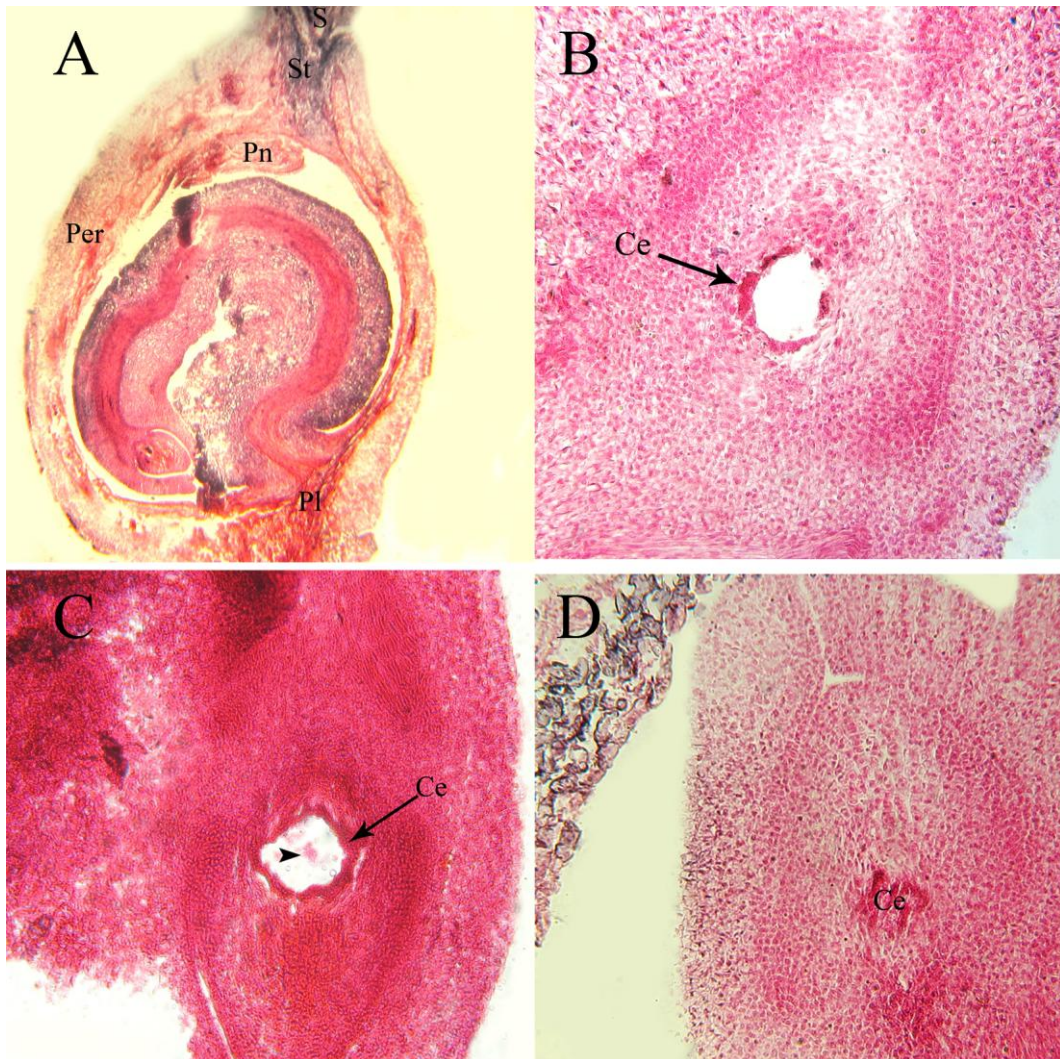
شکل ۵- برخی ناهنجاری‌های کیسه رویانی در ساختار تشریحی تخمک پسته کله‌قوچی (*P. vera*) یک هفته پس از شکوفایی کامل در برش طولی. (A) کیسه رویانی در حال تجزیه و ناهنجار در مراحل اولیه رویانی، (۵۰X؛ B) کیسه رویانی کاملاً تجزیه شده، (۴۰X؛ C) سلول تخم به همراه اندوسپرم ناهنجار در کیسه رویانی، (۳۰X).

در نهایت، در مرکز کیسه رویانی هاله‌ای از اندوسپرم هسته‌ای تشکیل گردید (شکل ۶-C و D). چهار هفته پس از گرده‌افشانی، رشد بند بدون نشانه‌ای از رشد تخمک ادامه یافت (شکل ۷-A). در این مرحله سلول تخم در سمت میکروپیلی، حلقه اندوسپرم سلولی در لبه کیسه رویانی و اندوسپرم هسته‌ای به صورت هاله‌ای کم رنگ در مرکز کیسه رویانی پدیدار شد (شکل ۷-B و C). به تدریج چند لایه سلول‌های خورش مجاور کیسه رویانی تغییر رنگ داد و حتی آثاری از تجزیه بافت خورش به ویژه در سمت سفی کیسه رویانی

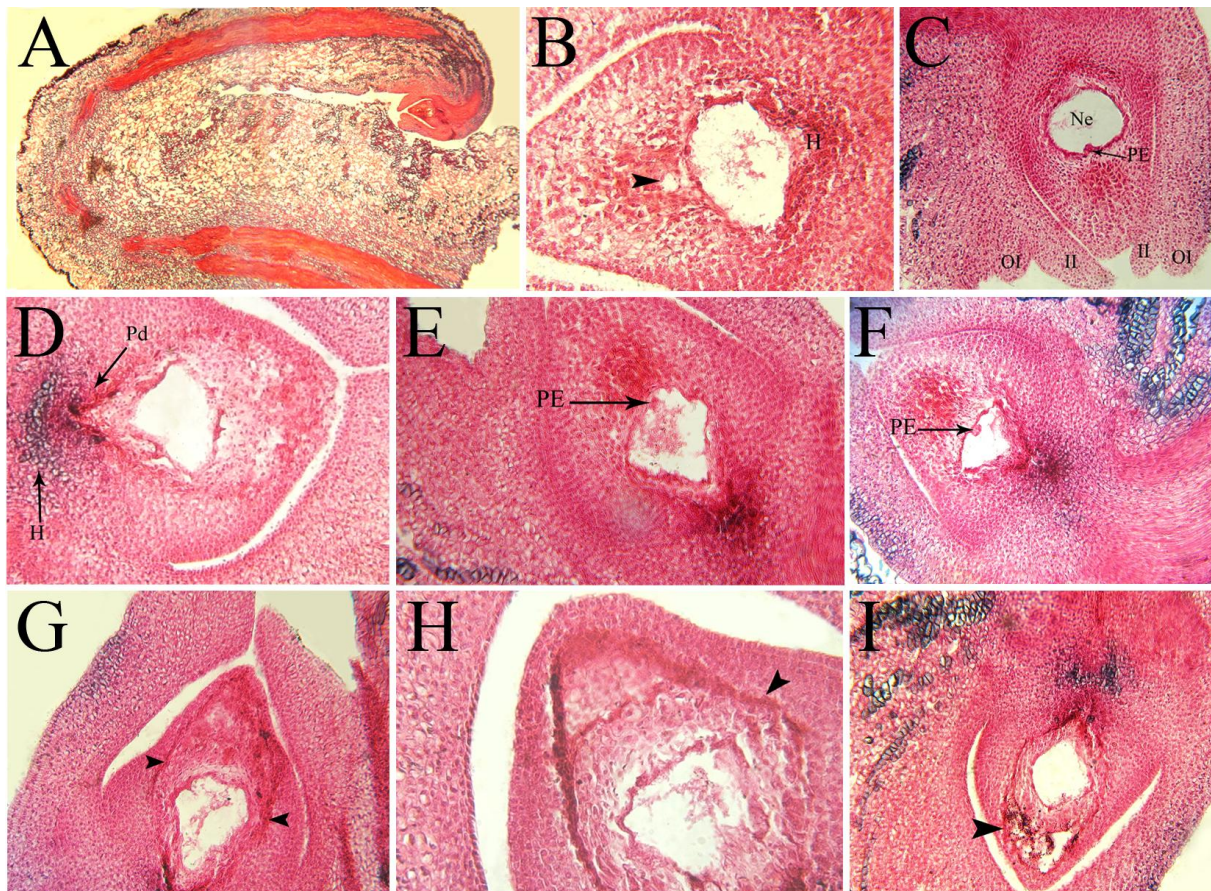
دو هفته پس از شکوفایی کامل، رشد بند در راستای رشد دیواره تخمدان بدون رشد تخمک صورت گرفت و در قسمت قاعده خامه، زایده پانتیکول در حال تحلیل دیده شد (مراحل تشکیل آن احتمالاً به علت فقدان برش‌هایی که در زمان گرده‌افشانی باشند دیده نشد) (شکل ۶-A). در این زمان حلقه‌ای از سلول‌های اندوسپرمی در حاشیه کیسه رویانی مجاور تخم ایجاد شدند (شکل ۶-B) و به تدریج این حلقه گسترده‌تر گردید به نحوی که تشخیص تخم از بقیه سلول‌های اندوسپرم مشکل شد.

در مجاورت تخم وجود دارد و افزایش حجم تخم با فراوانی پایین در برخی میوه‌ها دیده شد (شکل E-۷ و F). تغییرات ساختاری سلول‌های خورش پیرامون کیسه مرکزی و منطقه هیپوستاز و پودیوم در این مرحله شدت گرفت و گه‌گاه به تجزیه بافت به ویژه در بخش سفتی کیسه رویانی انجامید (شکل I-G-۷).

دیده شد (شکل B-۷ و C). تغییر رنگ بافت خورش در نهایت در بخش هیپوستاز و پودیوم رخ داد (شکل D-۷). هیپوستاز و پودیوم ساختارهایی هستند که در قسمت شالازی کیسه رویانی از تمایز سلول‌های خورش حاصل می‌شوند و در انتقال آب و مواد غذایی به کیسه رویانی نقش دارند. هاله هسته‌های اندوسپرمی



شکل ۶- ساختار تشریحی تخمک و کیسه رویانی پسته کله‌قوچی (*P. vera*) دو هفته پس از شکوفایی کامل در برش طولی. A) افزایش طول بند به موازات رشد دیواره تخمدان بدون رشد تخمک، باقیمانده پانتیکول (ponticulous) دیده می‌شود، (B) ایجاد حلقه اندوسپرم سلولی در لبه کیسه رویانی، (C) افزایش گستردگی حلقه اندوسپرم سلولی، نوک پیکان به اندوسپرم هسته‌ای مرکز کیسه رویانی اشاره می‌کند، (D) لایه‌های بیرونی حلقه اندوسپرم سلولی، ۲۰X. Pn= پانتیکول، Per= فرابر، Pl= جفت، Ce= اندوسپرم سلولی.



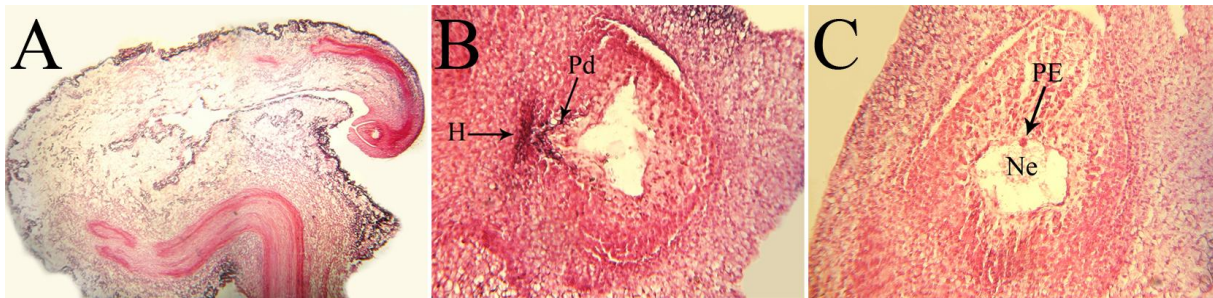
شکل ۷- ساختار تشریحی تخمک و کیسه رویانی پسته کله‌قوچی (*P. vera*) چهار هفته پس از شکوفایی کامل در برش طولی. (A) رشد بند، بدون اثری از رشد تخمک، (B؛ ۲X) سلول تخم در سمت میکروپیلی، حلقه اندوسپرم سلولی در لبه کیسه رویانی و اندوسپرم هسته‌ای به صورت هاله‌ای کم‌رنگ در مرکز کیسه رویانی، نوک پیکان به تجزیه سلول‌های خورش سمت سفتی اشاره می‌کند، (C؛ ۲۰X) سلول تخم با اندوسپرم سلولی در لبه کیسه رویانی، اندوسپرم هسته‌ای در مرکز کیسه رویانی و ایجاد دو پوسته تخمک در سمت سفتی به همراه آغاز تغییر رنگ خورش پیرامون کیسه رویانی، (D؛ ۱۰X) تغییر رنگ سلول‌های ناحیه هیپوستاز و پودیوم، (E؛ ۲۰X) افزایش اندوسپرم هسته‌ای مجاور سلول تخم، (F؛ ۲۰X) افزایش حجم سلول تخم در برخی تخمک‌ها، (G تا I؛ ۱۵X) افزایش وسعت ناحیه تغییر رنگ داده خورش به همراه آثاری از تجزیه خورش، (۱۵X، ۲۰X، ۱۵X). Ne=اندوسپرم هسته‌ای، OI=پوسته خارجی، II=پوسته داخلی، H=هیپوستاز، Pd=پودیوم، Z=تخم.

سمت سفتی و هسته‌های اندوسپرمی مجاور رویان و یک لایه اندوسپرم سلولی در لبه است (شکل ۸- C). در این مرحله چندین ناهنجاری از جمله پدیدار شدن تخم و حلقه اندوسپرم سلولی در لبه کیسه رویانی بدون نشانه‌ای از اندوسپرم هسته‌ای در مرکز کیسه رویانی (شکل ۹- A)، کیسه رویانی کوچک با اندوسپرم سلولی شده به صورت زود هنگام به همراه

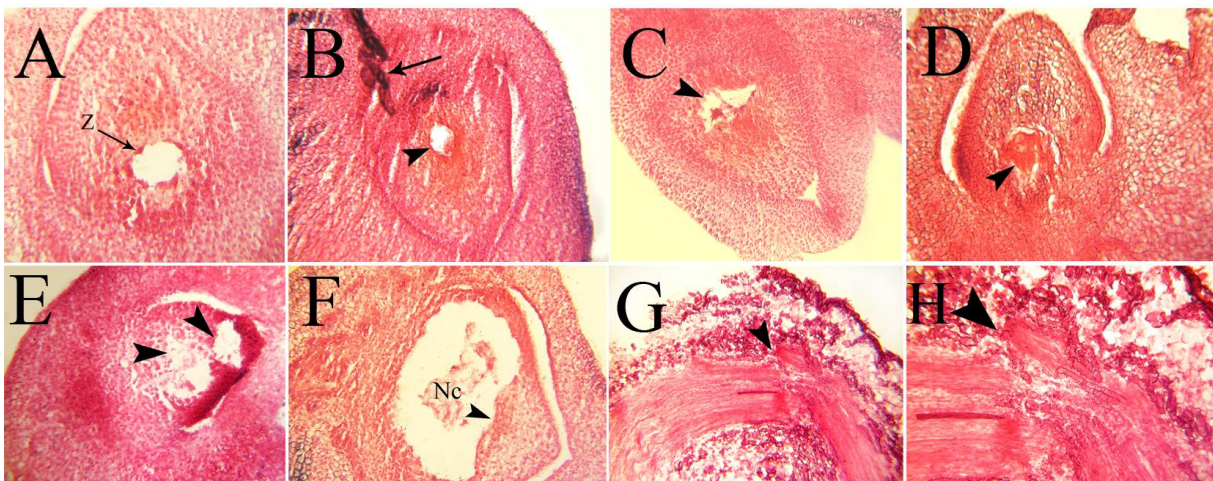
شش هفته پس از شکوفایی کامل گل‌ها، هنوز رشد تخمک انجام نشده است (شکل ۸- A) و در این مرحله برخی از کیسه‌های رویانی هنوز نشانه‌های تحلیل رفتگی و تغییر رنگ بافت خورش پیرامون کیسه رویانی را نشان می‌دهند (شکل ۸- B) همچنین در برخی دیگر، آثار تغییر رنگ سلول‌های خورش کاملاً محو شده و کیسه رویانی دارای یک سلول تخم در

(شکل ۹- E)، وجود اندوسپرم در مرکز کیسه رویانی بدون پیدایش تخم (شکل ۹- F) و تخریب دستجات آوندی موجود در بند (شکل ۹- G و H) دیده شد.

نشانه‌هایی از تحلیل بافت آوندی و هیپوستاز یا تحلیل نایافتگی آنها (شکل ۹- B و C)، نشانه‌های تحلیل کیسه رویانی (شکل ۹- D)، تحلیل بافت خورش



شکل ۸- ساختار تشریحی تخمک و کیسه رویانی پسته کله‌قوچی (*P. vera*) شش هفته پس از شکوفایی کامل در برش طولی. A) افزایش طول و حجم بند بدون نشانه‌ای از رشد تخمک، B) پایداری تغییر رنگ پودیوم و هیپوستاز، C) $20\times$ ؛ محور شدن تغییر رنگ خورش پیرامون کیسه رویانی، تخم در سمت سفتی و اندوسپرم هسته‌ای در مرکز کیسه رویانی، $20\times$. H=هیپوستاز، Pd=پودیوم، Z=تخم، Ne=اندوسپرم هسته‌ای.



شکل ۹- ناهنجاری‌های ساختار تشریحی کیسه رویانی و بند پسته کله‌قوچی (*P. vera*) شش هفته پس از شکوفایی کامل در برش طولی. A) حضور تخم و حلقه اندوسپرم سلولی در لبه کیسه رویانی بدون آثاری از اندوسپرم هسته‌ای در مرکز کیسه رویانی، $15\times$ ؛ B) کیسه رویانی کوچک با اندوسپرم سلولی شده به صورت زود هنگام به همراه آثاری از تخریب بافت آوندی و هیپوستاز، پیکان به تخریب بافت آوندی سمت بنی و نوک پیکان به کیسه رویانی کوچک و ناقص اشاره می‌کند، $10\times$ ؛ C) کیسه رویانی کوچک و ناهنجار بدون تخریب بافت آوندی و هیپوستاز، $10\times$ ؛ D) آثار تخریب کیسه رویانی، $10\times$ ؛ E) تخریب بافت خورش، $10\times$ ؛ F) وجود اندوسپرم در مرکز کیسه رویانی بدون حضور تخم، $10\times$ ؛ G و H) تخریب دستجات آوندی بند، $4\times$ و $10\times$. Z=تخم، Ne=اندوسپرم هسته‌ای.

دیده می‌شوند و از بیرون به درون شروع به سلولی شدن می‌کنند (شکل ۱۰- A) سپس تقسیمات سلول تخم آغاز شد و حلقه اندوسپرم سلولی کم کم به

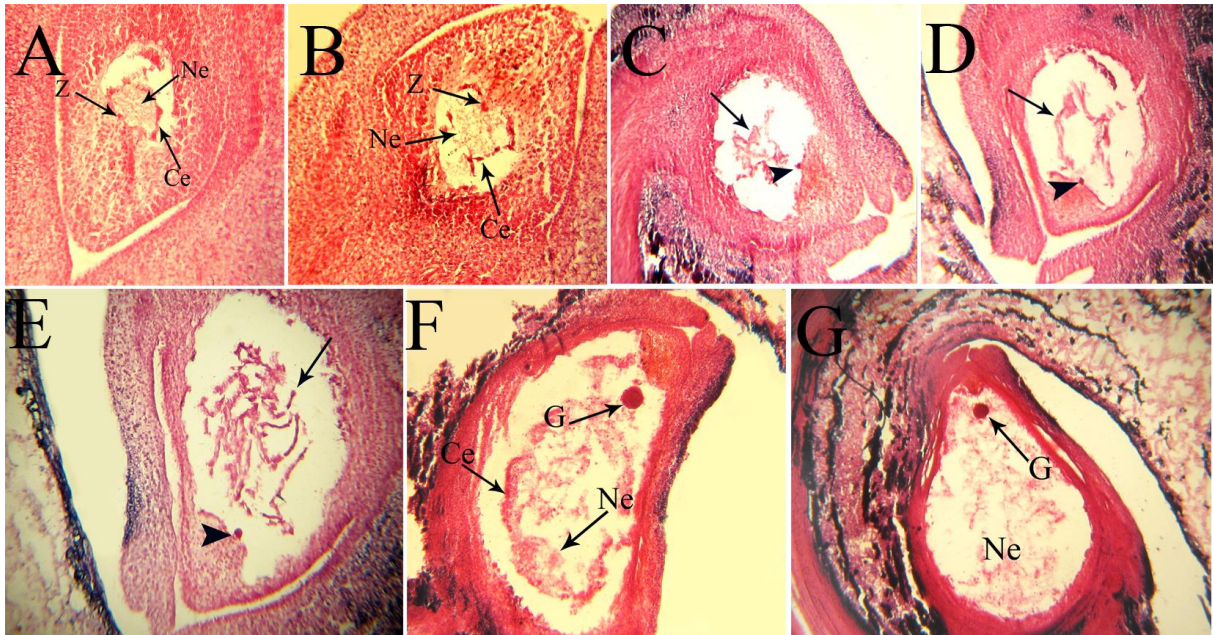
هشت هفته پس از شکوفایی کامل، تخمک و تخم رشد خود را آغاز کردند، به این صورت که هسته‌های اندوسپرم در سمت میکروپیلی و مجاور تخم بیشتر

رویوان کروری با اندوسپرم کاهش یافته (شکل E-۱۱ و F) دیده شد.

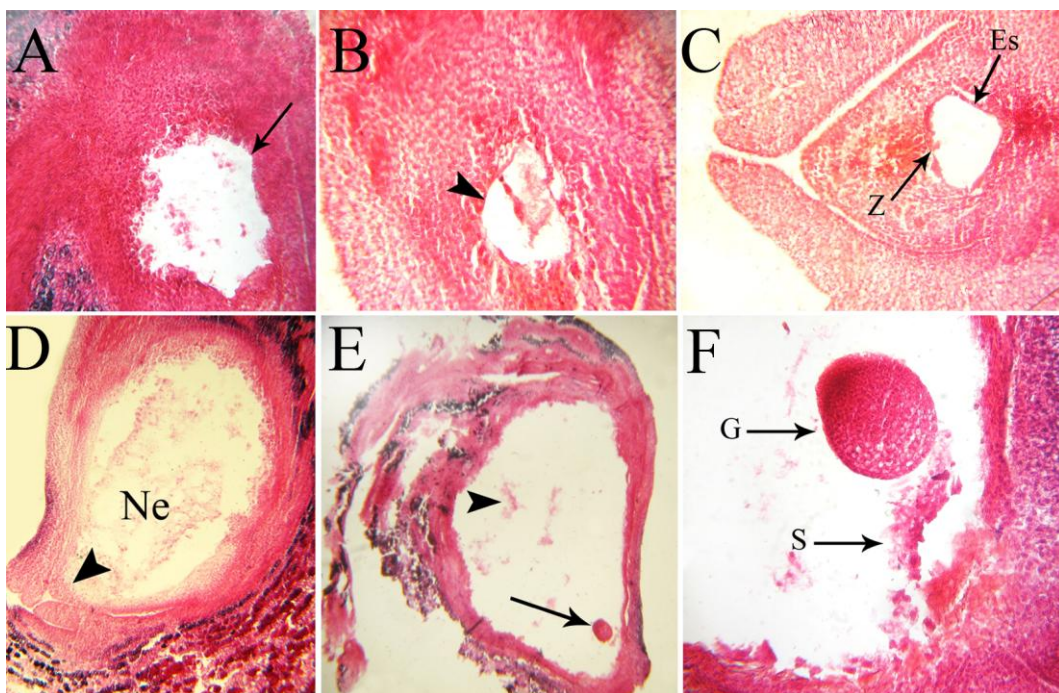
۱۰ تا ۱۲ هفته پس از شکوفایی کامل، مراحل مختلف نمو رویوان از جمله مرحله قلبی (شکل A-۱۲) و لپه‌ای (شکل B-۱۲ تا D) رخ داد و در رویوان لپه‌ای بالغ ناحیه مریستم رأس ریشه و ساقه، برگ‌های رویوانی به همراه لپه‌های بزرگ دیده شد. همزمان با رشد رویوان دارای لپه‌های بزرگ، اندوسپرم تحلیل می‌رود (شکل D-۱۲).

۱۵ هفته پس از شکوفایی کامل میوه‌های پوک و پُر کاملاً بر اساس اندازه تخمک قابل تشخیص هستند، لپه‌ها به طور کامل بزرگ شده‌اند و رویوان همه اجزای طبیعی خود را دارد (شکل A-۱۳ تا C).

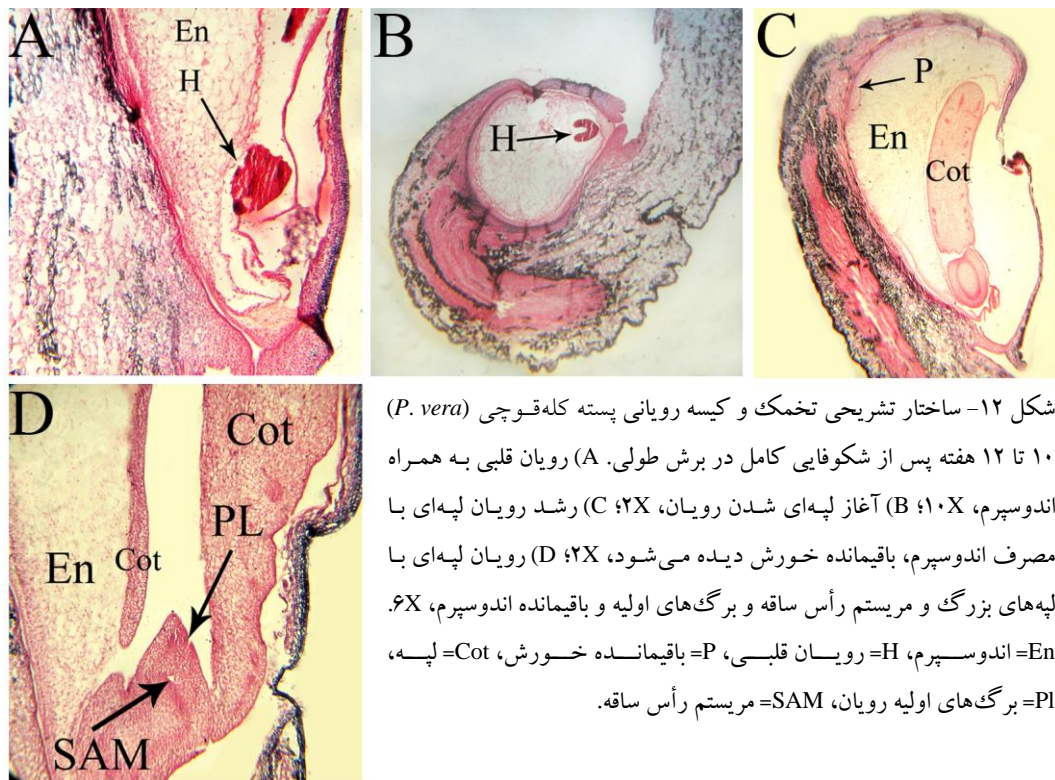
سمت لبه‌های کیسه رویوانی گسترش یافت و نشانه‌هایی از اندوسپرم هسته‌ای میان کیسه رویوانی دیده شد. همراه با این رویدادها، حجم کیسه رویوانی در حال افزایش بود (شکل B-۱۰ تا E). در نهایت، کیسه رویوانی دارای چند لایه اندوسپرم سلولی در حاشیه و اندوسپرم هسته‌ای در تمام محدوده کیسه رویوانی شد و رویوان به‌خ شکل کروری دیده شد (شکل F-۱۰ و G). در این مرحله برخی حالت‌های غیرطبیعی از جمله وجود کیسه رویوانی بدون اجزا و دارای اندکی اندوسپرم هسته‌ای (شکل A-۱۱)، کیسه رویوانی ناقص (شکل B-۱۱)، پیدایش تخم بدون نشانه‌ای از اندوسپرم هسته‌ای (شکل C-۱۱) حضور اندوسپرم بدون اثری از رویوان یا تخم (شکل D-۱۱)، حضور



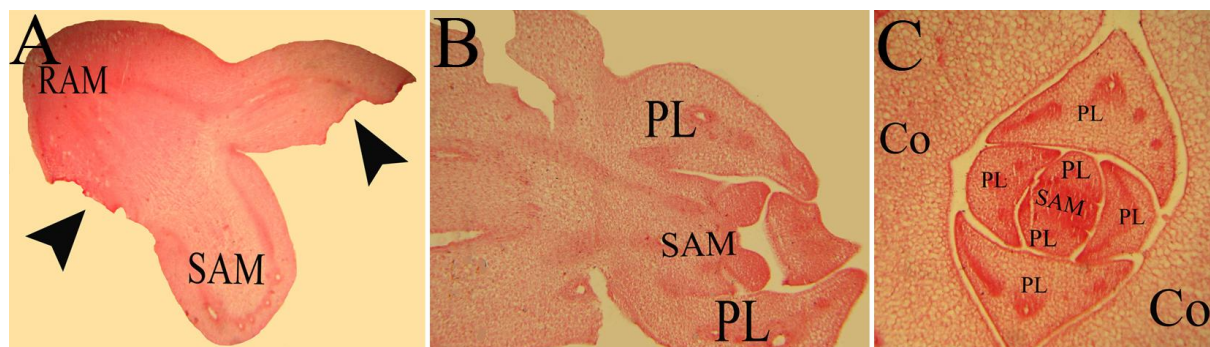
شکل ۱۰- ساختار تشریحی تخمک پسته کله‌قوچی (*P. vera*) هشت هفته پس از شکوفایی کامل در برش طولی. A) آغاز رشد تخمک و تخم همراه با تقسیمات اندوسپرم در سمت میکروبیلی و مجاور تخم و سلولی شدن هسته‌های اندوسپرمی از بیرون به سمت درون، ۱۰X؛ B تا E) آغاز تقسیم تخم و گسترش اندوسپرم از کنار تخم به سمت حاشیه کیسه رویوانی، پیکان به اندوسپرم و نوک پیکان به رویوان چند سلولی (پیش رویوان) اشاره می‌کند، ۱۰X؛ F) چند لایه اندوسپرم سلولی در حاشیه و اندوسپرم هسته‌ای در مرکز کیسه رویوانی همراه با ایجاد رویوان کروری، ۵X؛ G) گسترش اندوسپرم هسته‌ای در تمام محدوده کیسه رویوانی، ۴X. Z=تخم، Ce=اندوسپرم سلولی، Ne=اندوسپرم هسته‌ای، G=رویوان کروری.



شکل ۱۱- ناهنجاری‌های ساختار تشریحی کیسه رویانی پسته کله‌قوچی (*P. vera*) هشت هفته پس از شکوفایی کامل در برش طولی. (A) کیسه رویانی بدون اجزا، (B) کیسه رویانی ناقص، (C) حضور زیگوت بدون اثری از اندوسپرم هسته‌ای، (D) حضور اندوسپرم بدون اثری از رویان یا تخم، (E) حضور رویان کروی با اندوسپرم کاهش یافته، پیکان به رویان کروی و نوک پیکان به اندوسپرم اشاره می‌کند، (F) رویان کروی به همراه سوسپانسونور با بزرگ‌نمایی بیشتر، (G) رویان کروی، (H) سوسپانسونور، (I) اندوسپرم سلولی، (J) اندوسپرم هسته‌ای، (K) سوسپانسونور، (L) رویان کروی.



شکل ۱۲- ساختار تشریحی تخمک و کیسه رویانی پسته کله‌قوچی (*P. vera*) ۱۰ تا ۱۲ هفته پس از شکوفایی کامل در برش طولی. (A) رویان قلبی به همراه اندوسپرم، (B) آغاز لپه‌ای شدن رویان، (C) رشد رویان لپه‌ای با مصرف اندوسپرم، باقیمانده خورش دیده می‌شود، (D) رویان لپه‌ای با لپه‌های بزرگ و مریستم رأس ساقه و برگ‌های اولیه و باقیمانده اندوسپرم، (E) اندوسپرم، (F) رویان قلبی، (G) باقیمانده خورش، (H) لپه، (I) برگ‌های اولیه رویان، (J) مریستم رأس ساقه.



شکل ۱۳- ساختار تشریحی رویان دانه پسته کله‌قوچی (*P. vera*) ۱۵ هفته پس از شکوفایی کامل. (A) برش طولی رویان با مریستم رأس ریشه و مریستم رأس ساقه، نوک پیکان‌ها به محل اتصال لپه‌ها اشاره می‌کند، (B) مریستم رأس ساقه با برگ‌های اولیه، (C) برش عرضی رویان به همراه لپه‌ها، برگ‌های اولیه و مریستم رأس ساقه، (D) مریستم رأس ریشه، (E) مریستم رأس ساقه، (F) برگ اولیه، (G) لپه. Co=لپه.

مطالعه تشریحی میوه‌های پوک

مطالعه تشریحی تخمک میوه‌های پوک پیش از برداشت (۱۵ هفته پس از شکوفایی کامل) و در زمان برداشت (۲۰ هفته پس از شکوفایی کامل)، دو وضعیت کلی را نشان داد: الف) در بافت خورش اثری از کیسه رویانی دیده نشد و در قسمت مرکزی خورش درجاتی از تجزیه سلول‌ها همراه با پخش رنگ وجود داشت و سلول‌های قسمت هیپوستاز از نظر رنگ‌پذیری از سایر قسمت‌های خورش متفاوت بودند (شکل ۱۴- A). این تخمک‌ها موقع برداشت، تجزیه قسمت اعظم خورش همراه با تیرگی کامل هیپوستاز را نشان دادند (شکل ۱۴- B). در بافت خورش یک کیسه رویانی دارای رویان یا بدون آن دیده شد، به این ترتیب که کیسه‌های رویانی بدون رویان تنها اندوسپرم سلولی داشتند (شکل ۱۴- C) و در کیسه‌های رویانی دارای رویان، مراحل مختلف رویانی یعنی کروی (شکل ۱۴- E)، قلبی (شکل ۱۴- G) و رویان دارای لپه (شکل ۱۴- I) دیده شد. این چهار حالت در تخمک میوه‌های پوک زمان برداشت با درجه بالایی از تخریب بافت‌ها دیده شد (شکل ۱۴- F، H و J).

حالت اول پوکی نشان دهنده میوه‌های تلقیح نیافته (پارتوکارپ) یا میوه‌هایی است که تنها تخم‌زا در آنها تلقیح یافته اما اندوسپرم تشکیل نشده است و حالت دوم پوکی نشان دهنده سقط رویان در مراحل مختلف نمو رویان یعنی مراحل کروی، قلبی و رویان لپه‌ای است.

بحث

در مطالعه حاضر مشخص شد که تا یک هفته پیش از شکوفایی، تخمک تک پوسته است اما به تدریج در نزدیک سفت‌آثاری از دو پوسته‌ای شدن ظاهر می‌شود که در پایان مراحل نمو دو پوسته‌ای شدن کامل نمی‌شود. همچنین، در بخش بن، تمایز یکی از سلول‌های خورش به مادر مگاسپور صورت می‌گیرد که به طور معمول، محل مادر مگاسپور در قطب سفتی (میکروپیلی) است (Reiser and Fischer, 1993). در دوره زمانی یک هفته پیش از شکوفایی تا یک هفته پس از شکوفایی، کیسه رویانی تیپ علف‌بند (polygonum) تشکیل می‌گردد که در صورت فراهم بودن شرایط، لقاح انجام می‌شود. الگوی تیپ علف

رنگ داد، تجزیه می‌شود. در پسته، رشد تخمدان (فرابر) پیش از رشد بند، اندوسپرم و رویان صورت می‌گیرد به طوری که رشد آن تا حدود هفته چهارم پس از شکوفایی کامل می‌شود در حالی که رشد بند، اندوسپرم و رویان در ۴ تا ۶ هفته‌گی آغاز می‌شود. پژوهشگران مختلف، زمان نخستین تقسیم تخم را بین ۴ تا ۱۸ هفته (Grundwag, 1976)، ۶ هفته (Lin et al., 1984) و ۴ تا ۸ هفته (Shuraki and Sedgley, 1996) پس از شکوفایی گزارش کرده‌اند و در مطالعه حاضر، زمان نخستین تقسیم تخم ۶ تا ۸ هفته پس از شکوفایی کامل بود. به هر حال، تقسیم و رشد رویان تنها هنگامی رخ می‌دهد که فرابر به اندازه کافی رشد کرده باشد و چوبی شدن درون‌بر آغاز شده باشد. ۸ تا ۱۲ هفته پس از شکوفایی، مراحل مختلف رویانی از جمله: قلبی، لپه‌ای کوچک و لپه‌ای بزرگ سازمان می‌یابند. ۱۲ تا ۱۵ هفته پس از شکوفایی، بر اساس اندازه تخمک، میوه پُر و پوک قابل تشخیص هستند و رویان با همه اجزا دیده می‌شود. Durzan (۱۹۹۴) گزارش کرد که در پسته با رشد رویان، سطح آمینواسیدها در تخمک و بند به شدت بالا رفته، با افزایش پروتئین‌ها در طول رشد کلی رویان همراه می‌گردد. در زمان رشد لپه‌ها و پُر شدن حفره تخمدان، میزان پروتئین کاهش اما سطح لیپیدها و کربوهیدرات‌ها افزایش پیدا می‌کند. طی مراحل نمو تخمک، ناهنجاری‌هایی از جمله نبود کیسه رویانی، کیسه رویانی ابتدایی، کیسه رویانی تحلیل رفته، وجود اندوسپرم بدون حضور رویان، وجود رویان بدون حضور اندوسپرم و تخریب بافت آوندی بند مشاهده شد که این ناهنجاری‌ها به تولید میوه پوک یا نیمه‌پوک

هفت‌بند، یا پلی‌گونوم متداول‌ترین الگوی نموی کیسه رویانی است و در ۷۰ درصد گیاهان گل‌دار وجود دارد (Grundwag, Chehregani rad et al., 2010a). (۱۹۷۶) در مطالعه رویان‌زایی چهار گونه از جنس *Pistacia* یعنی *P. lenticus*, *P. atlantica*, *P. paleestina* و *P. saporta* و نیز Shuraki و Sedgley (۱۹۹۶) در مطالعه روی *P. vera* رقم کرمان، نیز تیپ علف هفت‌بند کیسه رویانی را گزارش کردند. در این گیاه، تقسیمات تخم ضمیمه پیش از تخم اصلی آغاز می‌شود که این حالت توسط Chehregani rad و همکاران (۲۰۱۰b) در *Inula aucheiana* از تیره مرکبان (گل ستاره) نیز گزارش شده است. یک تا دو هفته پس از شکوفایی، اندوسپرم سلولی در لبه کیسه رویانی و پانیکول در برخی تخمک‌ها دیده شد. ساختار پانیکول توسط Martinez-Palle و Herrero (۱۹۹۸) و Shuraki و Sedgley (۱۹۹۶) نیز گزارش شده است. طی بلوغ، تغییراتی در خورش، هیپوستاز و پودیوم دیده شد. مطالعات مروری ما، مورد منتشر شده‌ای درباره علت این تغییرات طی بلوغ نشان نداد. به نظر می‌رسد تغییر در محتوای بیوشیمیایی و نیز فعالیت این ساختارها ضمن بلوغ سبب این تغییرات شده است به ویژه که در پسته ترکیبات فنلی نسبتاً زیاد هستند و همچنین طی بلوغ و نیز تنش، میزان آنها افزایش می‌یابد. همچنین، احتمال داده می‌شود اندوسپرم در مراحل اولیه رشد، با استفاده از مواد تغذیه‌ای بافت خورش و هیپوستاز رشد و گسترش می‌یابد اما پس از سازمان‌یابی کامل بند و دسته آوندی آن، این ساختار نقش تغذیه‌ای را به عهده می‌گیرد و در نتیجه بخشی از خورش و هیپوستاز تغییر

بکرزایی و ویژگی رایج در ارقام مرکبات بدون دانه و استنواسپرموکاری و ویژگی برخی ارقام انگور بدون دانه است که هر دو پدیده در پسته رخ می‌دهند و سبب پوکی آن می‌شوند (Grundwag and Fahn, 1969; Bradley and Crane, 1975, 1978; Crane, 1975).

در مطالعه تخمک میوه‌های پوک، دو وضعیت کلی مشاهده شد: الف) فقدان کیسه رویانی به همراه یک ناحیه با پخش شدگی رنگ در مرکز خورش که نشان دهنده میوه‌های لقاح نابفته (پارتوکارپ) است، ب) وجود کیسه رویانی بزرگ با اندوسپرم است که ممکن است فاقد یا دارای رویان در مراحل مختلف رویانی (کروی، قلبی و لپه‌ای) باشد. در کیسه‌های رویانی اندوسپرم‌دار و فاقد رویان، ممکن است رویان در مراحل اولیه سقط شده باشد یا تنها سلول مرکزی تلقیح یافته باشد که اگر سقط رویان رخ داده باشد پوکی از نوع استنواسپرموکاری است. پس از مرور گزارش‌های پیشین، تاکنون در هیچ پژوهشی دیده نشده است که فقدان رویان به دلیل عدم تشکیل لقاح اصلی و تشکیل تخم رویانی باشد. به طور معمول، سقط دانه در مراحل مختلف نمودی باعث ریزش میوه در پسته نمی‌شود و این حالت یک وضعیت معمول در خانواده Anacardiaceae است. این ویژگی در انبه (*Mangifera indica* L.) نشان داده شده است و به میزان زیادی با عوامل محیطی به ویژه دمای بالا به هنگام گرده‌افشانی یا در اوایل نمو میوه بستگی دارد (Gonzalez and Vesprini, 2010). لقاح یگانه در برخی گیاهان مانند ذرت و گل آهار (Miyajima, 2006) گزارش شده است که ممکن است در مورد پسته هم رخ دهد.

منجر می‌گردند. Mirzaie و Dehgani Shuraki و Nadooshan (۲۰۰۶) در *P. atlantica* و Shuraki و Sedgley (۱۹۹۶) در ارقام *P. vera* و Kerman و Sirora این ناهنجاری‌ها را گزارش کرده‌اند و بر خلاف یافته‌های پژوهش حاضر، پوکی میوه را ناشی از تجزیه بند گزارش کردند. آنها به تخریب دسته‌های آوندی در بند و انجام لقاح یگانه (گاهی تنها یکی از سلول‌های زایشی درون کیسه رویانی (تخم‌زا یا سلول مرکزی) تلقیح می‌شوند) نپرداختند. اگر چه Dehgani Shuraki و Mirzaie Nadooshan (۲۰۰۶) اشاره‌ای جزئی به این پدیده در بنه داشتند. یافته‌های پژوهش حاضر در راستای یافته‌های Gonzalez و Vesprini (۲۰۱۰) است که تجزیه بافت آوندی را نخستین گام در پوکی میوه دانستند. در مطالعه حاضر نیز ناهنجاری مربوط به تخریب بافت آوندی و لقاح یگانه دیده شد. علاوه بر این، آپوپتوزیز در برگ، تخمک و دستجات آوندی در بسیاری از گیاهان در اثر فعالیت ژنی و عوام محیطی مانند درجه حرارت گزارش شده است (Shuraki and Sedgley, 1996)، تجزیه کیسه رویانی توسط Sedgley (۱۹۸۰)، در پسته، Tomer و همکاران (۱۹۸۰) در *Persea*، Catlin و Polito (۱۹۸۹) در گردو، Sedgley و Griffin (۱۹۸۹) در اوکالیپتوس و Mogensen (۱۹۷۵) در بلوط گزارش شده است. دو پدیده منجر به پوکی عبارتند از: بکرزایی (تولید میوه پوک در اثر عدم انجام لقاح) و استنواسپرموکاری یا استنواسپرمی (stenospermy یا stenospermocarpy) (تولید میوه پوک در اثر سقط رویان پس از لقاح). پژوهشگران متعددی گزارش کرده‌اند که پدیده



شکل ۱۴- ناهنجاری‌های تخمک میوه‌های پوک پسته کله‌قوچی (*P. vera*) در برش طولی. (A) تخمک فاقد کیسه رویانی و دارای هیوستاز تیره پیش از برداشت، نوک پیکان به قطع آوندهای بند اشاره می‌کند، (B) ۱۵X؛ تخمک فاقد کیسه رویانی و دارای هیوستاز تیره، زمان برداشت، پیکان به تحلیل رفتگی خورش اشاره می‌کند، (C) ۷X؛ کیسه رویانی کوچک، فاقد رویان و دارای اندوسپرم پیش از برداشت، (D) ۳X؛ کیسه رویانی فاقد رویان و دارای اندوسپرم زمان برداشت، (E) ۳X؛ کیسه رویانی دارای رویان کروی و اندوسپرم پیش از برداشت، (F) ۵X؛ کیسه رویانی دارای رویان کروی و اندوسپرم زمان برداشت با آثاری از تجزیه سلول‌های کیسه رویانی، (G) ۷X؛ کیسه رویانی دارای رویان قلبی و اندوسپرم پیش از برداشت، پیکان به اندوسپرم اشاره می‌کند، (H) ۱۰X؛ کیسه رویانی دارای رویان قلبی و اندوسپرم زمان برداشت، پیکان به نوک پیکان به رویان اشاره می‌کنند، (I) ۷X؛ کیسه رویانی دارای رویان لپه‌ای به همراه باقیمانده اندوسپرم پیش از برداشت، (J) ۳X؛ کیسه رویانی دارای رویان لپه‌ای به همراه باقیمانده اندوسپرم زمان برداشت، پیکان به تخریب رویان اشاره می‌کند، H= هیوستاز، En= اندوسپرم، RAM= مریستم رأس ریشه.

اندوسپرم بدون تخم مشاهده شد که این ناهنجاری‌ها در نهایت باعث عدم رشد کافی تخمک و تولید میوه پوک یا نیمه‌پوک در پسته می‌شوند. میوه‌های پوک پسته دو نوع کلی پوکی یعنی بکرزایی و استنواسپرموکاری را نشان می‌دهند.

سپاسگزاری

نگارندگان از همه عزیزانی که به نحوی در انجام این پژوهش یاری رساندند تشکر و قدردانی می‌نمایند.

جمع‌بندی

تخمک *Pistacia vera* منفرد، پُر خورش، تک پوسته و به صورت واژگون با تمکن قاعده‌ای در تخمدان مستقر است که در آن کیسه رویانی نوع پلی‌گونوم تا یک هفته پس از شکوفایی کامل سازمان می‌یابد. در مراحل نمو تخمک، برخی ناهنجاری‌ها از جمله: عدم تشکیل کیسه رویانی، تجزیه کیسه رویانی، تشکیل کیسه رویانی کوچک و ناهنجار، قطع دسته آوندی درون بند، حضور تخم بدون اندوسپرم و حضور

منابع

- Al-Saghir, M. G. (2010) Phylogenetic analysis of genus *Pistacia* L. (Anacardiaceae) based on morphological data. *Asian Journal of Plant Sciences* 9(1): 28-35.
- Baninasab, B. and Mobli, M. (2008) Morphological attributes of root systems and seedling growth in three species of *pistacia*. *Silva Lusitana* 16: 175-181.
- Bradley, M. V. and Crane, J. C. (1975) Abnormalities in seed development in *Pistacia vera* L. *Journal of the American Society Horticultural Science* 100: 461-464.
- Catlin, P., and Polito, V. (1989) Cell and tissue damage associated with pistillate flower abscission of Persian walnut. *HortScience* 24: 1003-1005
- Chehregani rad, A., Hajisadeghian, S. and Mohsenzadeh, F. (2010b) Study on the developmental stages of ovule and pollen grains of *Inula aucheriana* DC. *Journal of Plant Biology* 2(6): 15-28 (in Persian).
- Chehregani rad, A., Hosseini, N., Nazemi, M. and Lari Yazdi, H. (2010a) Study on pollen grain and ovule developmental properties in *Centaurea iberica* Trevir. ex Spreng. *Journal of Plant Biology* 2(5): 63-74 (in Persian).
- Crane, J. C. (1973) Parthenocarpy- a factor contributing to the production of blank pistachios. *HortScience* 8: 388-390.
- Crane, J. C. (1975) The role of seed abortion and parthenocarty in the production of blank pistachio nuts as affected by rootstock. *Journal of the American society for Horticultural Science* 100: 267-270.
- Crane, J. C. (1978) Quality of pistachio nuts as affected by time of harvest. *Journal of the American Society for Horticultural Scienc* 103(3): 332-333.
- Crane, J. C., Catlin, P. B. and Al-Shalan, I. (1976) Carbohydrate levels in the pistachio as related to alternate bearing. *Journal of American Society for Horticultural Sciences* 101: 371-374.
- Dehghani Shuraki, Y. and Mirzaie Nadooshan, H. (2006) A study of some seedlessness aspects of banah (*Pistacia atlantica* subs *mutica*). *Pajouhesh and Sazandegi* 72: 58-69 (in Persian).
- Durzan, D. J. (1994) Free amino acid and protein nitrogen in pistachio (*Pistacia vera* L. cv. Kerman): developing kernel. *Advances in Horticultural Science* 8: 115-124.
- Fan, M., Zhu, J., Richard, C., Brown, k. M. and Lynch, J. P. (2003) Physiological roles for aerenchyma in phosphors-stressed root. *Functional Plant Biology* 30: 493-506.
- Ferguson, L., Polito, V. and Kallsen, C. (2005) The pistachio tree, botany and physiology and factor that affect yield. In: *Pistachio production manual* (Ed. Ferguson, L.) 4th edition: 31-39. Division of Agriculture and Natural Resources Publisher, University of California, Berkley.
- Gonzalez, A. M. and Vesprini, J. L. (2010) Anatomy and fruit development in *Schinopsis balansae* (Anacardiaceae). *Anales del Jardin Botanico de Madrid* 67(2): 103-112.
- Grundwag, M. (1976) Embryology and fruit development in four *Pistacia* L. (Anacardaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society* 73: 355-370.
- Grundwag, M. and Fahn, A. (1969) The relation of embryology to the low seed set in *Pistacia vera* (Anacardiaceae). *Phytomorphology* 19: 225-235.
- Guitian, J. (1993) Why *Prunus mahaleb* (Rosaceae) produces more flowers than fruits?. *American Journal of Botany* 80: 1305-1309.

- Jordano, P. (1989) Pre-dispersal biology of *Pistacia lentiscus* (Anacardiaceae): cumulative effects on seed removal by birds. *Oikos* 55: 375-386.
- Lin, T. S., Crane, J. C. and Polito, V. S. (1984) Anatomical aspect of abscission in pistachio. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 109: 69-73.
- Maggs, D. H. (1973) The pistachio as in Australian crop. *Journal of Australian Institute of Agricultural* 39: 10-17.
- Martinez-Palle, M. and Herrero, M. (1998) Pollen tube pathway in chalazogamous *pistacia vera* L. *International Journal of Plant Sciences* 159(4): 566-574.
- Mehlenbacher, S. A. and Smith, D. C. (1991) Partial self-compatibility in Tombul and Mentebello hazelnut. *Euphytica* 56: 231-236.
- Miyajima, D. (2006) Ovules that failed to form seeds in zinnia (*Zinnia violacea* Cav.). *Scientia Horticulturae* 107: 176-182.
- Mogensen, H. L. (1975) Ovule abortion in *Quercus* (Fagaceae). *American Journal of Botany* 62: 160-165.
- Polito, V. S. (1999) Seedless and partenocarpy in *Pistacia vera* L. (Anacardiaceae): temporal changes in patterns of vascular transport to ovules. *Annals of Botany* 83: 363-368.
- Reiser, L. and Fischer, R. L. (1993) The ovule and the embryo sac. *The Plant Cell* 5: 1291-1301.
- Rezanejad, F and Majd A. (2012) The development of inflorescence, flower and pollen in *Tajetes patula* (Asteraceae): flower structural traits in plant-pollinator relationships. *Journal of Plant Biology* 12: 51-68 (in Persian).
- Sedgley, M. (1980) Anatomical investigation of abscised avocado flowers and fruitlets. *Annals of Botany* 46: 771-777.
- Sedgley, M. and Griffin, A. R. (1989) Sexual reproduction of tree crops. Academic Press, London.
- Shuraki, Y. D. and Sedgley, M. (1996) Fruit development of *Pistacia vera* (Anacardiaceae) in relation to embryo abortion and abnormalities at maturity. *Australian Journal of Botany* 44(1): 35-45.
- Stephenson, A. G. (1981) Flower and fruit abortion: proximate cause and ultimate function. *Annals Review of Ecology and Systematics* 12: 253-279.
- Thompson, M. M. and Liu, L. J. (1973) Temperature fruit set and embryo sac development in Italian Prune. *Journal of American Society for Horticultural Science* 98: 163-197.
- Tomer, E., Gazit, S. and Eisenstein, D. (1980) Seedless fruit in Fuerte and Ettinger avocado. *Journal of American Society for Horticultural Science* 105: 341-340.
- Zamani Bahramabadi, E., Rezanejad., F. and Sasan, H. (2012) Effects of cold and short day treatments on dehydrin gene expression in seedlings and regenerated shoots of pistachio (*Pistacia vera* L.). *Journal of Plant Biology* 14: 35-48 (in Persian).

Study of some abnormalities of ovule development to seed in *Pistacia vera* L.

Najmeh Hosseini ¹, Farkhondeh Rezanejad ^{1*} and Ghasem Mohammadinejad ²

¹ Department of Biology, Faculty of Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

² Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Abstract

Seed production in some crops like pistachio is limited by some abnormalities in ovule development stages. In this study, the ovule developmental stages as well as abnormalities of these stages were investigated. *Pistacia vera* ovule is single, fully nucleate, monolete and anatropous and is set in an ovary with axile placement and the Polygonum type embryo sac is organized in it one week after complete dehiscence. After pollination and fertilization of egg cell, after 6 weeks of complete dehiscence, the pericarp was grown to final size and even the lignifications of endocarp started but the zygote cell was in a dormant state and in 6-8 weeks after complete dehiscence the zygote cell division along with an increase in endosperm division occurred so that cotyledonary embryo was formed in 10-12 weeks after complete dehiscence and the cotyledons attained their final size in 3 weeks after that, namely 15 weeks after complete dehiscence and at this time, the seedless and filled fruits were completely distinguished. During the ovule development stages, some abnormalities were observed such as lack of embryo sac formation, embryo sac degeneration, small and abnormal embryo sac formation, vascular band collapse inside the funiculus, presence of zygote without endosperm and presence of endosperm without zygote, and these abnormalities caused lack of enough ovule growth and seedless or seedless fruit formation in pistachio.

Key words: *Pistacia vera*, Endosperm, Ovule, Embryo sac, Seedless or seedless fruit

* Corresponding Author: frezanejad@uk.ac.ir