Journal of Cell and Tissue 15(1), Spring (2024) 17 – 30

Journal of Cell and Tissue
http://jct.araku.ac.ir

Morphological and Histological Studies of Mozafati Date Fruits (*Phoenix dactylifera* L.) During Their Developmental Stages

Sheikhbahaei N[a], Rezanejad F[a*], Arvin SMJ[b]

[a] Department of Biology, Faculty of Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman, 7616913439, Iran
Tel: 03431322073 ORCID: 0000000338250913
[b] Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, 7616913439, Iran

Original Article

Use your device to scan and read the article online

Citation: Sheikhbahaei N, Rezanejad F, Arvin SMJ. Morphological and Histological Studies of Mozafati Date Fruits (Phoenix dactylifera L.) During Their Developmental Stages. Journal of Cell and Tissue . 2024;15(1): 17-30

https://10.52547/JCT/15.1.17

KEYWORDS

date fruit

Mozafati

developmental stage
tannin idioblasts

ABSTRACT

Aim: Dates are the second most important crops in Iran after pistachios, which show different structural and textural adaptations to drought and high temperatures. Acquiring the necessary knowledge about various structural and physiological changes from flowering to fruit ripening plays a significant role in obtaining high-quality and marketable fruit. Date fruit is a berry characterized by exocarp, fleshy mesocarp and membrane endocarp around the seed. This berry is formed from a fertilized carpel present in the female flower, while the other two carpels do not grow and decay. The fruit development period is long and lasts about 7 months. The sweetness and texture of date fruit is closely related to the maturity stage of the fruit. During the growth period of date fruit, several changes in the color and chemical composition of the fruit are observed. Mozafati is one of the most important commercial varieties of dates in Iran especially in Bam city. In the present study, the morphology and histology of the date fruit (*Phoenix dactylifera* L.) of the Mozafati cultivar were investigated during the developmental stages.

Material and Methods: Samples were collected from a commercial garden located in Bam city. Five adult 17-year-old date palms of Mozafati cultivar derived from offshoots grown in similar environmental conditions were used as female parents. The pollen used in this experiment is the same pollen that is normally used by local gardeners for pollination. Sample collection was done in five different developmental stages including Hababouk, Kimri, Khalal, Sarkhal and Rutab (4, 12, 19, 24 and 25 weeks after pollination, respectively). In this research, the local Iranian names such as Sarkhal and Rutb were used for the last two stages. The collected fruits, after cleaning and sorting, were packed and stored at 4ºC. The hand sections prepared from the fresh samples at each developmental stage were studied with an optical microscope after staining and then photographed.

* Corresponding author. Tel.: 03431322090; Fax: 03431322060
E-mail address: frezanejad@uk.ac.ir
DOI: https://10.52547/JCT/15.1. 17
Received: Nov. 10, 2023; Received in revised form: Mar. 5, 2024; Accepted: Apr. 9, 2024

Original Article
© Author

Results: An anatomical study of fruits in different stages of development revealed several general characteristics in their pericarp structure: 1) Pericarp differentiation starts in the early stages of development (immediately after pollination) and its development continues progressively and regularly. 2) The exocarp contains four differentiated layers in all developmental stages, from outside to inside, includes layers of the epidermis, hypodermis, skin parenchyma, and layer of stone cells. 3) The mesocarp (which is the largest region forming the pericarp) has a large number of layers consisting of parenchymal cells and is divided into two outer and inner regions, which are separated by a layer of parenchymal cells specialized to store tannins (idioblast). Vascular vessels with different sizes are distributed in the outer and inner mesocarp, which are less abundant in the inner parts. 4) The endocarp can be recognized as an unspecialized single-layered epidermis only in the early stages of development and eventually forms the seed coat together with the inner layers of the mesocarp.

Conclusion: Organized protection and defense mechanisms, including the presence of thick cuticle, stone layer, and specialized tannin layer (tannin idioblasts) in all stages of pericarp development, were among the interesting histological features of this cultivar, which showed its adaptive and evolutionary role in specific habitats

سلول و بافت، دوره ۱۵، شماره ۱، سال ۱۴۰۳، صفحات تا ۳۰

سلول و بافت

بررسی بافت شناختی میوه خرما (*Phoenix dactylifera* L.) رقم مضافتی طی مراحل نموی

نفیسه شیخ بهائی[۱]، فرخنده رضانژاد[۱]*، سید محمد جواد آروین[۲]

[۱] گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران، nafisehsheikhbahaei@yahoo.com
[۱] استاد، گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران، frezanejad@uk.ac.ir
[۲] استاد، گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران، mjarvin@uk.ac.ir

واژگان کلیدی

میوه خرما
رقم مضافتی
مرحله نموی
ایدیوبلاست‌های تانینی

تاریخ دریافت:۱۴۰۲/۰۸/۱۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۱

چکیده

هدف: خرما دومین محصول زراعی مهم ایران پس از پسته است که سازگاری‌های مختلف ساختاری و بافتی را نسبت به خشکی و دمای بالا نشان می‌دهد. کسب دانش لازم در مورد تغییرات مختلف ساختاری و فیزیولوژیکی از زمان گل‌دهی تا رسیدن میوه، در به‌دست آوردن میوه با کیفیت بالا و بازارپسند، نقش بسزایی دارد. مضافتی یکی از مهم‌ترین ارقام تجاری خرمای ایران و بویژه، شهرستان بم است. در پژوهش حاضر، ریخت‌شناسی و بافت‌شناسی میوه خرما(*Phoenix dactylifera* L)رقم مضافتی (Mozafati) طی مراحل نموی بررسی شد. **مواد و روش‌ها:** جمع‌آوری نمونه از یک باغ تجاری واقع در شهرستان بم انجام شد و برش‌های دستی تهیه شده از نمونه‌های تازه در هر مرحله نموی، پس از رنگ‌آمیزی با میکروسکوپ نوری مطالعه و سپس عکس‌برداری شدند. **نتایج:** تمایز ساختاری فرابر در مراحل اولیه نموی (بلافاصله بعد از گرده‌افشانی) شروع می شود، برون‌بر (اگزوکارپ) در همه مراحل نموی حاوی چهار لایه تمایزیافته می‌باشد و میان‌بر (مزوکارپ) توسط لایه‌ی ایدیوبلاست‌های تانینی، به دو ناحیه بیرونی و درونی تقسیم می‌شود. درون‌بر، تک لایه است و تنها در مراحل نموی اولیه، قابل تشخیص می‌باشد. **نتیجه گیری:** مکانیزم‌های حفاظتی و دفاعی سازمان یافته شامل وجود کوتیکول ضخیم، لایه سنگی و لایه تانینی ویژه شده (ایدیوبلاست‌های تانینی) در همه مراحل نموی فرابر (پریکارپ)، از ویژگی‌های بافت شناختی جالب توجه این رقم بود که نقش سازشی و تکاملی آن را در زیستگاه‌های خاص، نشان می‌دهد.

* نویسنده مسئول؛ تلفن:۰۳۴-۳۱۳۲۲۰۹۰، فکس: ۰۳۴۳۱۳۳۳۰۶۰
آدرس پست الکترونیک: frezanejad@uk.ir

۱- مقدمه

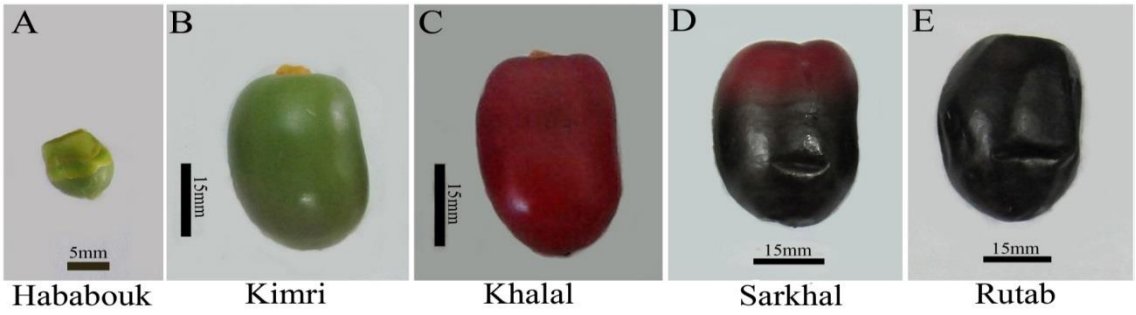
بدون تردید یکی از زیباترین و با شکوه‌ترین آفریده‌های پروردگار حکیم که انسان، پیوسته به آن با دیده احترام می‌نگرد، آفرینش درختان و گیاهان است. در میان آن دسته از درختانی که در قرآن از آن‌ها یاد شده، خرما از جایگاه خاصی برخوردار است و به ساختار ویژه و میوه آن نیز اشاره شده است (۱). نخل خرما با نام علمی Phoenix dactylifera L .گیاهی تک‌لپه و دوپایه متعلق به خانوادهArecaceae (با نام قبلیPalmaceae)، زیرخانواده Coryphoideae و تبار Phoeniceae است که شامل ۲۰۰ جنس و بیش از ۲۵۰۰ گونه می‌باشد (۲). جنس Phoenix یکی از جنس های با تقریبا ۱۴ گونه است که گونه Phoenix dactylifera به خاطر میوه‌های خوراکی، بسیار کاشت می‌شود (۳). خرما دومین محصول زراعی مهم ایران پس از پسته است. این گیاه به خوبی با آب و هوای گرم و خشک و خاک فقیر در کمربند جنوبی ایران سازگار است. از این‌رو خرماها نقش عمده‌ای را در توسعه و پایداری محیطی منظره‌های واحه‌ای (آبادی در میان کویر، oasis) ایفا می‌کنند و می‌توانند به احیای بیابان‌ها کمک کنند (۴). کشور ایران به‌دلیل برخورداری از خصوصیات آب و هوایی متنوع، طیف وسیعی از گونه‌های گیاهان آوندی (حدود ۸۲۰۰ گونه) را در بر می‌گیرد که بیش از یک چهارم آن‌ها، اهمیت زیادی را به‌عنوان منابع غذایی، دارویی و گیاهان معطر در زندگی مردم ایران، ایفا می‌کنند (۵). بر طبق گزارش های فائو، ایران با نرخ تولید سالیانه ۱۱۸۵۱۶۵ تن در سال ۲۰۱۷ و صادرات سالیانه ۱۳۸۸۴۴ تن در سال ۲۰۱۶ دومین تولیدکننده و چهارمین صادر کننده خرما در جهان است (۶). یکی از مهم‌ترین عواملی که میتواند در بهبود کیفیت محصول و در نتیجه رونق دادن به صنعت خرما در جهان موثر باشد، استفاده از ارقام برتر و تجاری است. در میان ارقام تولیدشده‌ی خرما در ایران، رقم مضافتی بعد از استعمران و شاهانی، مهم‌ترین رقم اقتصادی کشور محسوب می‌شود (۷). یکی از قطب‌های مهم تولید رقم مضافتی در ایران، شهرستان بم است که با تولید ۹۰۳۱۳ تن خرمای مضافتی در سال، رتبه نخست تولید این رقم را در کشور به خود اختصاص داده است (۸).

میوه خرما سته‌ای (berry) است که با برون‌بر (exocarp یا epicarp)، میان‌بر (mesocarp) گوشتی و درون بر (endocarp) غشایی پیرامون دانه مشخص می‌شود (۹). این سته از یک برچه بارور شده موجود درگل ماده به‌وجود می‌آید، در حالی‌که دو برچه دیگر، رشد نکرده و تحلیل می‌روند (۱۰). دوره‌ی نمو میوه، طولانی بوده و حدود ۷ ماه طول می‌کشد (۱۱). شیرینی و بافت میوه خرما رابطه نزدیکی با مرحله‌ی بلوغ میوه دارد (۱۱). در طول دوره‌ی رشد و نمو میوه خرما، تغییرات متعددی در رنگ و ترکیب شیمیایی میوه مشاهده می‌گردد. بر اساس یکی از مهم‌ترین تقسیم‌بندی‌های انجام گرفته روی مراحل مختلف نمو میوه خرما که از لحاظ بین المللی نیز مورد قبول واقع شده، داوسون دوره رشد و نمو میوه خرما را به پنج مرحله حبابوک، کیمری، خلال، رطب و تمر تقسیم نموده است (۱۱،۱۲،۱۳). مرحله حبابوک (Hababouk) از یک تا سه هفته پس از گرده افشانی طول می‌کشد و میوه، کوچک، نابالغ و به رنگ سبز کم‌رنگ می‌باشد. در مرحله کیمری (Kimri) که تا نه هفته به‌طول می‌انجامد، میوه رشد کرده و به رنگ سبز روشن در می‌آید. با افزایش سریع وزن و حجم، قندهای احیا شونده و مواد جامد محلول، بیشتر می شوند و میوه از بالاترین اسیدیته و مقدار رطوبت بافت برخوردار است. میوه در مرحله خلال (Khalal) از سبز به زرد یا قرمز تغییر رنگ می‌دهد، کند شدن روند افزایش حجم، افزایش تجمع قندهای احیا یا غیراحیا مثل ساکارز و کاهش تدریجی اسیدیته و رطوبت میوه نیز از ویژگی‌های این مرحله است. در مرحله رطب (Rutab)، بافت میوه، نرم شده و رنگ آن به قهوه‌ای روشن یا تیره تغییر می‌یابد. در این مرحله، تانن‌های باقیمانده در زیر پوست میوه به فرم نامحلول، در آمده و میوه خرما طعم گس خود را از دست می‌دهد. در آخرین مرحله نمو (Tamar)، میوه بخش زیادی از رطوبت خود را از دست داده و نسبت قند به آب، افزایش قابل توجهی می‌یابد. رقم های مختلف خرما را میتوان در سه مرحله نموی آخر (که میوه‌ها در نتیجه کاهش تلخی، افزایش شیرینی میوه و بهبود حالت نرمی و گوشتی میوه، قابل خوردن می‌شوند)، برداشت و بازاریابی نمود که انتخاب مرحله برداشت بستگی به ویژگی‌های رقم، شرایط اقلیمی و تقاضای بازار دارد (۱۴،۱۵).

با وجود جایگاه ویژه ای که محصول خرما می‌تواند در اقتصاد ایران و مناطق خرماخیز جنوب داشته باشد تا کنون مطالعه‌ای در مورد تغییرات بافت شناختی میوه ارقام مختلف خرمای ایرانی طی مراحل رشد و نمو میوه انجام نشده همچنین مطالعات سلول-بافت‌شناختی میوه خرما در جهان نیز بسیار کم گزارش شده است. داشتن دانش لازم درباره چگونگی رشد و نمو میوه، در موفقیت تولید میوه نقش به‌سزایی دارد. در حقیقت، به‌دست آوردن میوه با کیفیت بالا و بازارپسند به داشتن دانش لازم در مورد تغییرات مختلف از زمان گلدهی تا رسیدن میوه بستگی دارد (۱۶). بنابراین هدف این مطالعه بررسی ویژگی‌های بافت شناختی میوه خرمای رقم مضافتی طی پنج مرحله نموی است. نتایج حاصل از انجام این پژوهش، منجر به ایجاد بستری از اطلاعات بنیادین و قابل استفاده برای پژوهش های تکمیلی می‌شود که بسیاری از آن‌ها ارزش اقتصادی زیادی دارند.

۲- مواد و روش‌ها

جمع‌آوری نمونه‌ها از یک باغ تجاری واقع در شهرستان بم انجام شد. پنج نخل خرمای بالغ ۱۷ ساله رقم مضافتی مشتق از پاجوش های رشدیافته در شرایط محیطی مشابه به‌عنوان والد ماده استفاده شدند. گرده مورد استفاده در این آزمایش، همان گرده‌ای است که به‌طور معمول توسط باغداران محلی برای گرده افشانی استفاده می‌شود. هنگامی‌که اولین علائم شکوفایی اسپات‌های ماده مشاهده شد، گرده افشانی دستی توسط قراردادن گل‌آذین‌های نر بین گل‌آذین‌های ماده انجام شد. جمع آوری نمونه در پنج مرحله نموی مختلف شامل Hababouk، Kimri، Khalal، Sarkhal و Rutab (به‌ترتیب ۴، ۱۲، ۱۹، ۲۴ و ۲۵ هفته پس از گرده افشانی) انجام شد (شکل ۱). در این پژوهش، نام‌های ایرانی محلی یعنی سرخال و رطب برای دو مرحله آخر استفاده شدند (۱۷). میوه‌های جمع آوری شده، پس از تمیز کردن و مرتب سازی، در کیسه‌های پلی اتیلن، بسته بندی شده و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شدند.



شکل ۱: میوه‌های خرمای رقم مضافتی. A-E مراحل نموی مختلف

برای انجام این مطالعات از روش برش‌گیری دستی استفاده شد به این‌صورت که با استفاده از تیغ‌های تیز اصلاح، برش‌هایی با ضخامت بسیار کم از فرابر (پریکارپ) در هر مرحله نموی تهیه شد و برش‌ها به پتری دیش‌های حاوی آب مقطر، منتقل شدند. دو روش رنگ آمیزی برای مطالعه بافت‌ها و وضوح بهتر قسمت‌های مد نظر، مورد استفاده قرار گرفتند:

رنگ آمیزی تولوئیدین بلو (TBO): برای انجام این رنگ‌آمیزی، برش های تهیه شده از نمونه‌ها ابتدا به‌مدت ۱۰ دقیقه در آب ژاول ۵ درصد به‌منظور رنگ زدایی، قرار گرفتند و سپس با آب مقطر شستشو داده شدند. در مرحله بعد محلول تولوئیدین بلو یک درصد در آب مقطر به نمونه‌ها اضافه شد. بعد از حدود ۱۵ دقیقه (بسته به‌میزان رنگ پذیری نمونه)، شستشوی نمونه‌ها انجام شد و بلافاصله، نمونه‌های تهیه شده، توسط میکروسکوپ نوری معمولی، مطالعه و عکس‌برداری شدند (۱۸). تولوئیدین بلو یک رنگ پلی کروماتیک است و هر بافتی را با توجه به ترکیبات تشکیل دهنده دیواره آن به رنگ خاصی در می‌آورد (۱۸). جدول ۱، رنگ‌های اختصاصی ایجاد شده توسط تولوئیدین بلو برای هر بافت را نشان می‌دهد.

جدول ۱: واکنش رنگی تولوئیدین بلو در رنگ‌آمیزی بافت‌های مختلف (ترکیبات اصلی هر بافت، واکنش رنگی متفاوتی با این رنگ نشان می‌دهد)

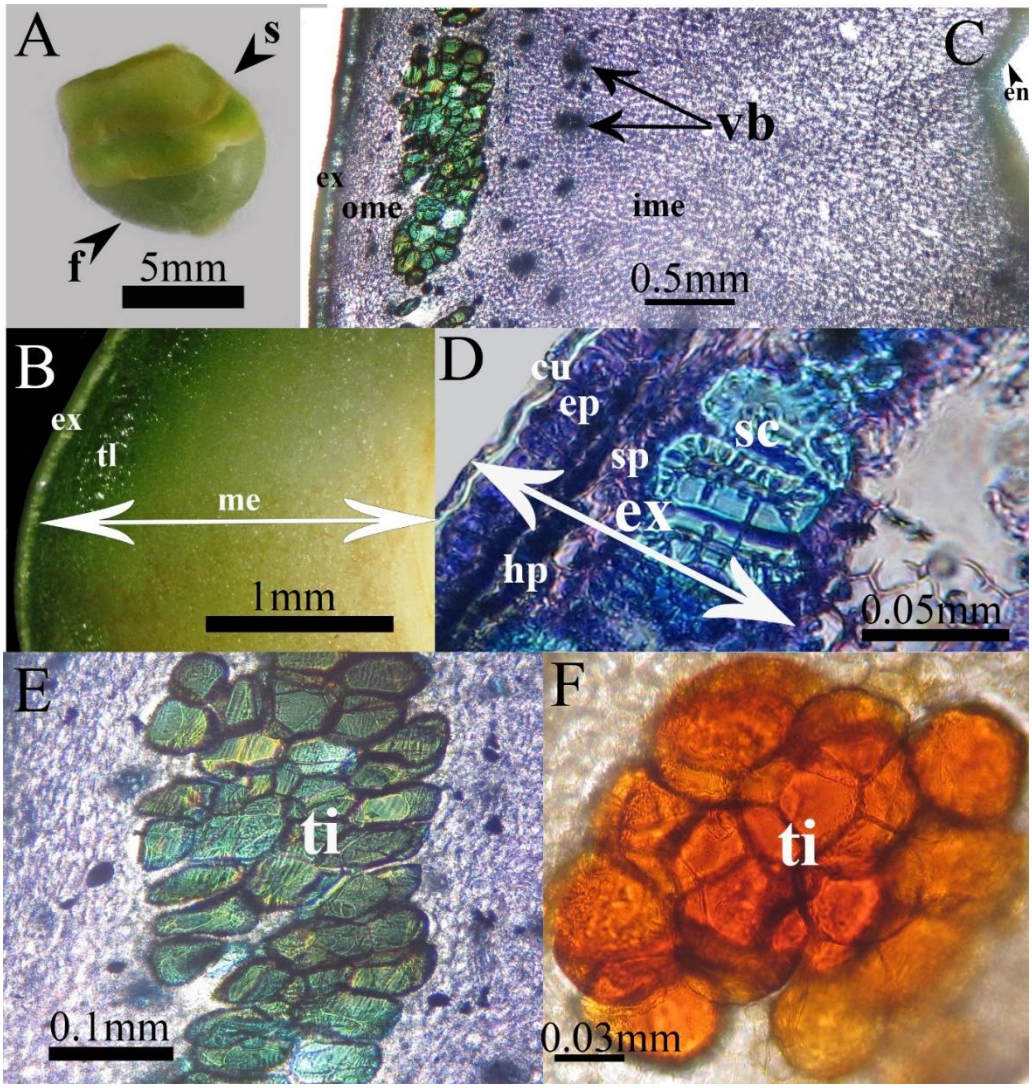
انواع سلول ها	رنگ ایجاد شده توسط تولوئیدین بلو
عناصر تراکئیدی (دیواره های چوبی شده)	سبز یا سبز مایل به آبی
اسکلرانشیم چوبی شده	سبز آبی یا گاهی اوقات سبز
کلانشیم	بنفش مایل به قرمز
پارانشیم	بنفش مایل به قرمز
لوله های غربالی و سلول های همراه	قرمز
تیغه میانی بدون ترکیبات چوبی	بنفش مایل به قرمز یا قرمز
کالوز و نشاسته	بدون رنگ

رنگ آمیزی اختصاصی تانن‌ها: در این روش، برش‌های تهیه شده از نمونه مورد نظر، بلافاصله در محلول وانیلین الکلی اشباع به‌مدت حدود ۵ دقیقه قرار گرفتند. سپس چند قطره هیدروکلریک اسید غلیظ به آن‌ها اضافه شد و بلافاصله، حضور تانن متراکم در بافت موردنظر به‌صورت ظاهرشدن رنگ قرمز روشن مشاهده شد (۱۹). نمونه‌های تهیه شده، بلافاصله توسط میکروسکوپ نوری، مطالعه و عکس‌برداری شدند.

۴- نتایج

مرحله اول نمو میوه (Hababouk)

میوه‌های برداشت شده در این مرحله تقریبا به اندازه یک نخود هستند و به‌رنگ سبز کم‌رنگ مایل به کرم دیده می‌شوند (شکل۲-A). تقریبا نیمی از طول میوه در این مرحله توسط کاسبرگ‌های گل پوشانده شده است (شکل۲-A). در برش‌های مطالعه شده با میکروسکوپ نوری و استرئومیکروسکوپ، سه لایه برون بر (اگزوکارپ یا اپی کارپ)، میان بر (مزوکارپ) و درون بر (اندوکارپ) مشاهده می‌شوند (شکل۲-B و C). برون بر (که اصطلاحا پوست نیز نامیده می‌شود)، چهار لایه‌ی مشخص را شامل می‌شود که به‌ترتیب از بیرون به درون عبارتند از: اپی‌درم (یک لایه) پوشیده‌شده با کوتیکول، هیپودرم (یک تا دو لایه)، پارانشیم پوستی (یک تا دو لایه)، سلول‌های اسکلرئید (سنگی) با دیواره‌های سلولی ضخیم (به رنگ سبز آبی) و حفره سلولی (لومن) کوچک (یک لایه) (شکل۲-D). سلول‌های اسکلرئیدی که آخرین لایه‌ی پوست را تشکیل می‌دهند دارای محور طولی بلند موازی با شعاع میوه می‌باشند (شکل۲-D). میان‌بر شامل دو ناحیه‌ی بیرونی و درونی متمایز از لحاظ ظاهری است (شکل۲-C). این دو ناحیه توسط لایه‌ی سلول‌های ذخیره کننده تانن (ایدیوبلاست‌های تاننی) با ضخامت حدود ۵ سلول از یکدیگر جدا می‌شوند (شکل۲-B و C). سلول‌های پارانشیمی نسبتا فشرده با ابعاد متفاوت و با دستجات آوندی پراکنده در بین آن‌ها، ساختار میان‌بر را تشکیل می‌دهند (شکل۲-C). داخلی‌ترین لایه‌ی فرابر یعنی درون بر (اندوکارپ) به‌صورت یک لایه سلول‌های فشرده احاطه کننده دانه دیده می‌شود (شکل۲-C). در این مرحله، سلول‌های پارانشیمی در نواحی مختلف مزوکارپ به رنگ بنفش تیره، ایدیوبلاست‌های تاننی رنگ شده با تولوئیدین بلو به رنگ سبز آبی و ایدیوبلاست‌های رنگ شده با رنگ اختصاصی (وانیلین) به رنگ قرمز، قابل مشاهده هستند (شکل۲-E و F).

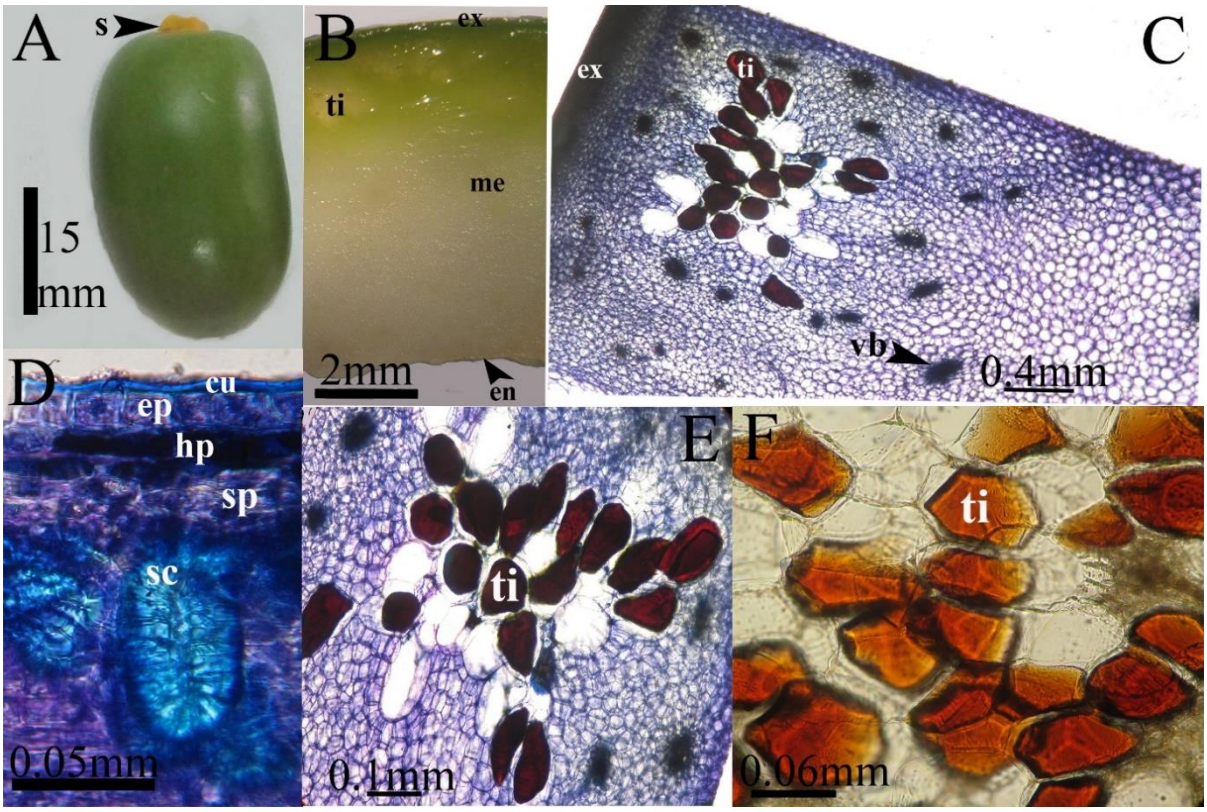


شکل۲: ساختار ظاهری و بافتی میوه خرما (*Phoenix dactylifera* L.) رقم مضافتی در مرحله نموی اول (Hababouk). A: میوه کامل، B: برش عرضی پریکارپ بدون رنگ‌آمیزی، C: برش عرضی پریکارپ رنگ شده با TBO. D: لایه های مختلف برون بر، E: ایدیوبلاست‌های تانینی با رنگ‌آمیزی TBO، F: ایدیوبلاست‌های تانینی با رنگ آمیزی اختصاصی تانن. s: کاسبرگ، f: میوه، ex: اگزوکارپ، me: مزوکارپ، en: اندوکارپ، ome: مزوکارپ بیرونی، ime: مزوکارپ درونی، tl: لایه تانینی، ti: ایدیوبلاست تانینی، vb: دسته آوندی، cu: کوتیکول، ep: اپیدرم، hp: هیپودرم، sp: پارانشیم پوستی، sc: سلول سنگی

مرحله دوم نمو میوه (Kimri)

در این مرحله، میوه نسبت به مرحله قبل، توسعه زیادی می‌یابد و به رنگ سبز تیره‌تر، تبدیل می‌شود (شکل۳-A). کاسبرگ‌ها به‌صورت یک کلاهک کوچک در قسمت قاعده‌ای میوه، قابل رویت و پایا هستند (شکل۳-A). سلول‌های لایه تانینی که در مرحله قبل به‌صورت یک لایه تقریبا پیوسته قرار گرفته بودند در این مرحله گروه‌بندی می‌شوند و در فواصل بین گروه‌ها، اشعه‌های سلول‌های پارانشیمی میان‌بر قرار می‌گیرند (شکل۳-B و C). ایدیوبلاست‌های تانینی رنگ شده با TBO نسبت به مرحله قبل، رنگ متفاوتی را نشان می‌دهند و به رنگ قرمز تیره دیده می‌شوند. ایدیوبلاست‌های رنگ شده با وانیلین همانند مرحله قبل،

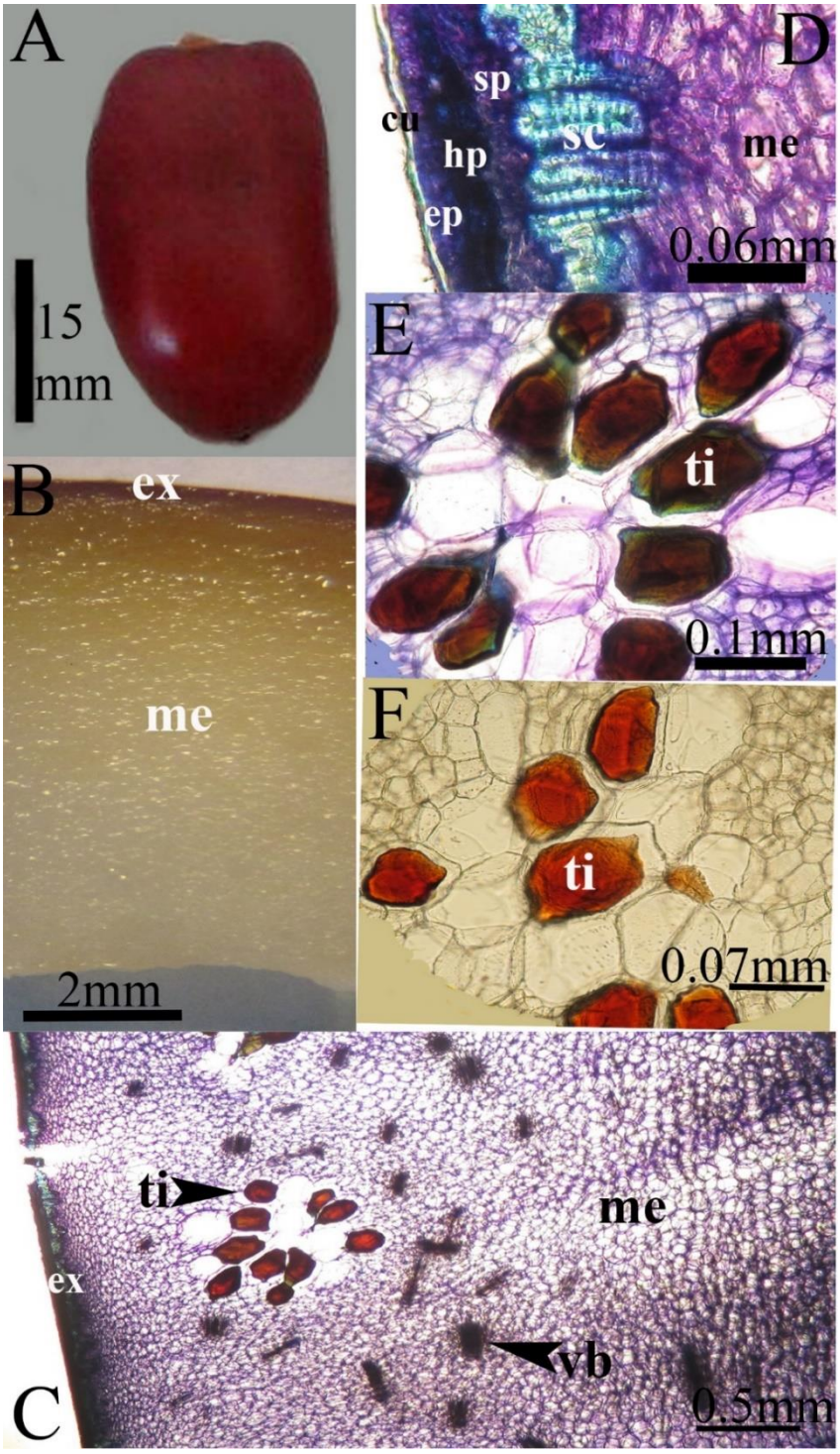
رنگ قرمز روشن را نشان می‌دهند (شکل۳-E و F). در بقیه لایه‌های پریکارپ به جز افزایش قابل توجه ابعاد سلول‌ها، تغییر قابل ملاحظه ای نسبت به مرحله قبل دیده نمی‌شود.



شکل۳: ساختار ظاهری و بافتی میوه خرما (*Phoenix dactylifera* L.) رقم مضافتی در مرحله نموی دوم (Kimri). A: میوه کامل، B: برش عرضی پریکارپ بدون رنگ‌آمیزی، C: برش عرضی پریکارپ رنگ شده با TBO. D: لایه های مختلف برون بر، E: ایدیوبلاست‌های تانینی با رنگ آمیزی TBO، F: ایدیوبلاست‌های تانینی با رنگ آمیزی اختصاصی تانن. s: کاسبرگ، ex: اگزوکارپ، me: مزوکارپ، en : اندوکارپ، ti: ایدیوبلاست تانینی، vb: دسته آوندی، cu: کوتیکول، ep: اپیدرم، hp: هیپودرم، sp: پارانشیم پوستی، sc: سلول سنگی

مرحله سوم نمو میوه (Khalal)

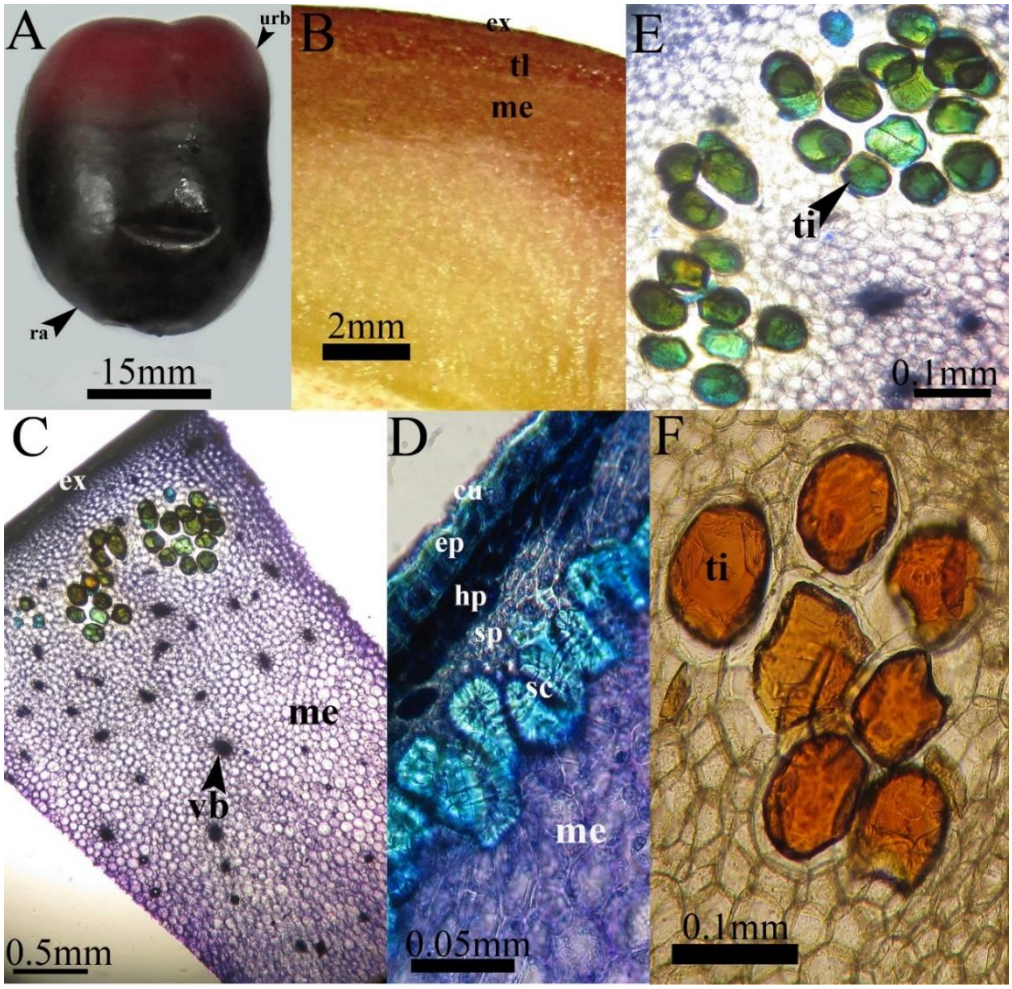
ویژگی بارز میوه در این مرحله (که با نام Bisir نیز شناخته می شود)، تغییر رنگ از سبز به قرمز است (شکل۴-A). تغییر کمی در پریکارپ نسبت به مرحله قبل دیده می‌شود که این تغییر عمدتا ناشی از کشیدگی دیواره‌های مماسی سلول‌های لایه‌های مختلف طی رشد میوه می‌باشد. لایه‌های مختلف پریکارپ پس از فرآیند رنگ آمیزی با همان رنگ‌های مشاهده شده در مرحله قبل در این مرحله نیز قابل تشخیص هستند (شکل۴-C). در انتهای این دوره، فرآیند رسیدگی با سست شدن دیواره‌های سلولی پریکارپ و تغییر رنگ پوست به قهوه‌ای تیره در ناحیه راسی میوه آغاز می‌شود.



شکل۴: ساختار ظاهری و بافتی میوه خرما (*Phoenix dactylifera* L.) رقم مضافتی در مرحله نموی سوم (Khalal). A: میوه کامل، B: برش عرضی پریکارپ بدون رنگ‌آمیزی، C: برش عرضی پریکارپ رنگ شده با TBO. D: لایه‌های مختلف برون بر، E: ایدیوبلاست‌های تانن با رنگ آمیزی TBO، F: ایدیوبلاست‌های تانن با رنگ آمیزی اختصاصی تانن. ex: اگزوکارپ، me: مزوکارپ، ti: ایدیوبلاست تانن، vb: دسته آوندی، cu: کوتیکول، ep: اپیدرم، hp: هیپودرم، sp: پارانشیم پوستی، sc: سلول سنگی

مرحله چهارم نمو میوه (Sarkhal)

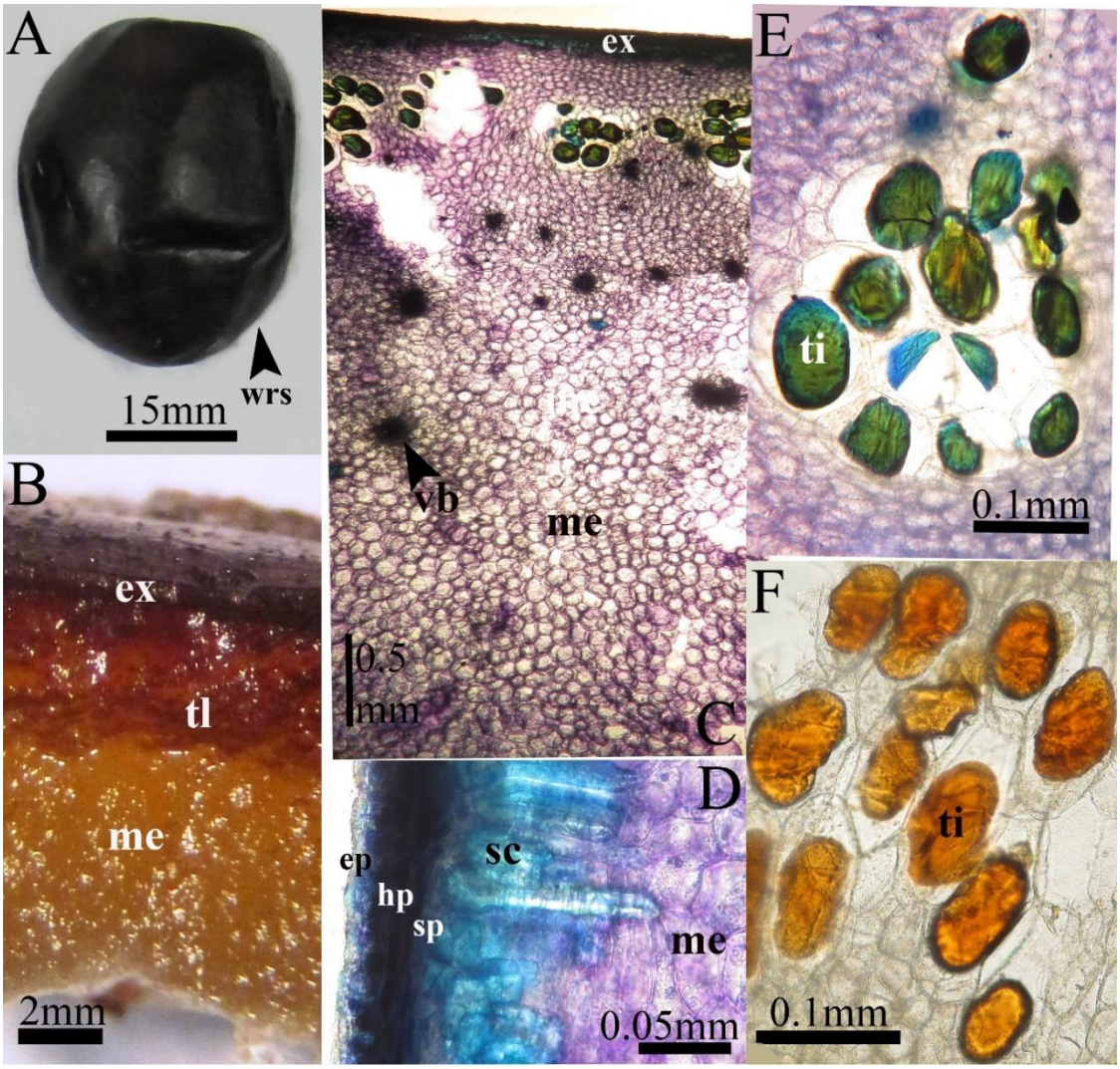
در این مرحله، فرآیند نرم شدن میوه که از انتهای مرحله قبل، آغاز شده بود گسترش یافته و کاملا آشکار می‌شود (شکل۵-A). نرم شدن و رسیدگی میوه در طول مرحله چهارم نمو، به تدریج از راس به‌سمت قاعده و از پیرامون برون‌بر به سمت درون‌بر پیش می رود (شکل۵-A و B). تغییرات ذکر شده منجر به تغییرات قابل توجهی در ظاهر میوه نسبت به مرحله قبل شده و در نتیجه، میوه به‌صورت دو رنگ (قسمت راسی مشکی و قسمت قاعده‌ای متمایل به سیاه) و دارای دو ساختار بافتی متفاوت دیده می‌شود (شکل۵-A). چنین به‌نظر می‌رسد که توده‌های تانن موجود در سلول‌های لایه تانن پریکارپ، نسبت به مرحله قبل، کوچک تر شده‌اند (شکل۵-C). توده‌های تانن با رنگ آمیزی TBO مشابه مرحله اول به رنگ سبز آبی یا سبز زرد کدر، دیده می‌شوند (شکل۵-E). همچنین در رنگ آمیزی اختصاصی تانن‌ها، شدت رنگ پذیری توده‌های تانن نسبت به مرحله قبل، کاسته می‌شود (شکل۵-F).



شکل۵: ساختار ظاهری و بافتی میوه خرما (*Phoenix dactylifera* L.) رقم مضافتی در مرحله نموی چهارم (Sarkhal). A: میوه کامل، B: برش عرضی پریکارپ بدون رنگ‌آمیزی، C: برش عرضی پریکارپ رنگ شده با TBO. D: لایه‌های مختلف برون بر، E: ایدیوبلاست‌های تانن با رنگ آمیزی TBO، F: ایدیوبلاست‌های تانن با رنگ آمیزی اختصاصی تانن. ra: ناحیه راسی رسیده، urb: ناحیه قاعده ای نارس، ex: اگزوکارپ، me: مزوکارپ، tl: لایه تانن، ti: ایدیوبلاست تانن، vb: دسته آوندی، cu: کوتیکول، ep: اپی‌درم، hp: هیپودرم، sp: پارانشیم پوستی، sc: سلول سنگی

مرحله پنجم نمو میوه (Rutab)

این مرحله، نشان‌دهنده میوه‌های کاملا رسیده است و به‌عنوان مرحله نهایی تمایز برون‌بر در نظر گرفته می‌شود (شکل۶-A). میوه به‌رنگ متمایل به سیاه و به‌صورت کاملا نرم ناشی از تکمیل فرآیند رسیدگی، دیده می‌شود (شکل۶-A). پوست میوه به‌دلیل از دست دادن بخشی از آب سلول‌ها طی فرآیند نرم شدن، نسبت به مرحله قبل تا حدودی حالت چروکیده پیدا می‌کند (شکل۶-A). در بررسی ساختار بافتی برون‌بر چنین به‌نظر می‌رسد که دیواره‌های سلولی سلول‌های موجود در نواحی مختلف میان‌بر در حال ضعیف شدن هستند (شکل۶-B و C و E). توده‌های تانینی در هر دو نوع رنگ آمیزی نسبت به مرحله قبل، رنگ پذیری کمتری را نشان می‌دهند (شکل۶-E و F).



شکل۶: ساختار ظاهری و بافتی میوه خرما (*Phoenix dactylifera* L.) رقم مضافتی در مرحله نموی پنجم (Rutab). A: میوه کامل، B: برش عرضی پریکارپ بدون رنگ‌آمیزی، C: برش عرضی پریکارپ رنگ شده با TBO. D: لایه های مختلف برون بر، E: ایدیوبلاست‌های تانینی با رنگ آمیزی TBO، F: ایدیوبلاست‌های تانینی با رنگ آمیزی اختصاصی تانن. wrs: پوست چروکیده، ex: اگزوکارپ، me: مزوکارپ، tl: لایه تانینی، ti: ایدیوبلاست تانینی، vb: دسته آوندی، ep: اپیدرم، hp: هیپودرم، sp: پارانشیم پوستی، sc: سلول سنگی

۵- بحث

مطالعه تشریحی میوه‌ها در مراحل مختلف نموی چندین ویژگی عمومی را در ساختار پریکارپ آن‌ها آشکار کرد: ۱) تمایز فرابر (پریکارپ) در مراحل اولیه نموی (بلافاصله بعد از گرده افشانی) شروع می‌شود و نمو آن به‌صورت پیش رونده و منظم ادامه می‌یابد. ۲) برون بر (اگزوکارپ) در همه مراحل نموی به‌ترتیب از بیرون به‌درون شامل لایه‌های اپی‌درم، هیپودرم، پارانشیم پوستی و لایه سلول‌های سنگی می‌باشد. ۳) میان بر یا مزوکارپ (که وسیعترین ناحیه تشکیل دهنده پریکارپ است) دارای تعداد لایه‌های بسیار زیاد متشکل از سلول‌های پارانشیمی است و به دو ناحیه بیرونی و درونی تقسیم می‌شود که این دو ناحیه توسط لایه‌ای از سلول‌های پارانشیمی ویژه شده برای ذخیره تانن ها (ایدیوبلاست‌های تانینی) از یکدیگر جدا می‌شوند. دستجات آوندی با اندازه‌های متفاوت در مزوکارپ بیرونی و درونی پخش می‌شوند که فراوانی کمتری در قسمت‌های داخلی‌تر دارند. ۴) درون بر (اندوکارپ) به‌صورت یک اپی‌درم تک لایه ویژه نشده، تنها در مراحل نموی اولیه، قابل تشخیص است و در نهایت به‌همراه لایه‌های داخلی مزوکارپ، پوسته دانه را تشکیل می‌دهد.

با توجه به زیستگاه سخت خرما (*Phoenix dactylifera* L.) مکانیزم‌های حفاظتی و دفاعی سازمان‌یافته‌ای در ساختار بافتی میوه خرمای مضافتی دیده شد. وجود کوتیکول ضخیم، لایه سنگی و لایه تانینی ویژه شده در همه مراحل نموی فرابر (پریکارپ)، از ویژگی‌های بافت شناختی جالب توجه این رقم بود که نقش سازشی و تکاملی آن را در زیستگاه‌های خاص، نشان می دهد.

لایه پوست بیرونی یا اپیدرم اندام‌های هوایی همه گیاهان آوندی توسط یک کوتیکول مومی پوشیده می‌شود. این لایه، میوه را در برابر ازدست دادن بیش از حد رطوبت و همچنین در برابر عوامل بیرونی مانند حشرات، بیماری‌ها و شرایط هوایی متفاوت، محافظت می‌کند (۲۰). تصور بر این است که پلی ساکاریدهای فرورفته در ماتریکس کوتیکولی، دارای نقشی در حفظ تمامیت ساختاری کوتیکول و هم‌راستا با آن در حفظ ساختار میوه باشند (۲۰). همچنین از دیدگاه اقتصادی، نتایج پژوهش‌های انجام شده در سال های اخیر نشان می‌دهند که کوتیکول انواع مختلف میوه‌ها، نقش بسیار مهمی را در افزایش دوره نگه‌داری این محصولات تجاری ارزشمند، ایفا می‌کند (۲۰). محیط بیرونی اغلب اندام‌های گیاهی، که ممکن است در معرض تنش مکانیکی باشند، حاوی سلول‌های اسکلرانشیمی در زیر لایه کوتیکول است. همچنین لایه‌های پوستی بیرونی میوه ممکن است شامل سلول‌های اسکلرئید باشند که دیواره سلولی آن‌ها با رسوب لیگنین طی بلوغ، ضخیم می‌شود (۲۱). احتمالا این لایه، یک نقش ضروری را در حفظ شکل میوه به‌ویژه در میوه‌های نرم وغنی از قند مانند خرما ایفا می‌کند (۲۱).

میان‌بر میوه معمولا حاوی سلول‌های پارانشیم است که حجم زیادی از آن‌ها توسط واکوئل سلولی، اشغال می‌شود (۲۱). واکوئل شامل قندها، نشاسته، صمغ‌ها، رزین‌ها، شیره گیاهی یا ترکیبات فنولی مانند تانن‌های متراکم و آنتوسیانین بر اساس مکان قرارگیری گیاه، مرحله رشد و نوع میوه است. بنابراین سلول‌های پارانشیمی، بافت ذخیره‌ی اولیه در میوه‌ها هستند (۲۱). Monselise (۲۲) گزارش کرد که مزوکارپ (میان بر) خرما شامل دو بخش بیرونی و درونی (هر دو متشکل از سلول های پارانشیمی) است که این دو بخش توسط یک بخش شش تا هفت لایه ای از سلول‌های بزرگ حاوی تانن از یکدیگر جدا می شوند. به این سلول‌های بزرگ که به صورت ویژه برای ذخیره تانن، تخصص یافته‌اند ایدیوبلاست‌های تانینی گفته می‌شود. لایه ایدیوبلاست‌های تانینی در مراحل بسیار اولیه نمو میوه و حتی قبل از گرده افشانی، ظاهر می‌شود. این لایه، همتای بافت‌های مشابه در برچه است. بر اساس گزارش Lloyd (۲۳) ، تانن موجود در ایدیوبلاست‌ها، طی فرآیند رسیدن به فرم نامحلول تبدیل می‌شود و بنابراین طعم خود را ازدست می‌دهد. بر اساس نتایج ارائه شده توسط Barros (۲۴)، تجمع تانن در ایدیوبلاست‌های تانینی منجر به ایجاد سلولی بزرگ با یک واکوئل تانینی بزرگ می‌شود که تقریبا تمام حجم سلول را اشغال می‌کند و سیتوپلاسم

به‌صورت یک لایه نازک و کاهش یافته بین دیواره سلولی و واکوئل تانني قرار می‌گیرد. Hammouda (۲۵) نیز بر اساس یافته‌های به‌دست آمده با میکروسکوپ نوری و الکترونی روی خرماهای تونسی گزارش کرد که تانن‌ها در واکوئل‌های سلول‌های مزوکارپی خیلی بزرگ، جایابی می‌شوند که این سلول‌ها در فاصله ۱۵۰۰ میکرومتری از سطح میوه قرار می‌گیرند. این سازمان یابی بسیار ویژه تانن‌ها احتمالا در ارتباط با نقش فیزیولوژیک آن‌ها به‌عنوان ترکیبات فعال قادر به حفاظت میوه در برابر اثر عوامل مضر مانند اشعه UV و حمله های پاتوژن‌ها است (۲۵،۲۶).

بر اساس مطالعات Monselise (۲۲)، سلول‌های میانی میان‌بر داخلی، بزرگ‌تر از سلول‌های نزدیک به لایه درون‌بر هستند و سلول‌های نزدیک درون‌بر نیز بزرگتر از سلول‌های نزدیک به لایه تانني می‌باشند. سلول‌های موجود در میان‌بر بیرونی نیز کوچک هستند و اغلب آن‌ها از نواحی تقسیم سلولی موجود درامتداد ماکرواسکلرئیدها به‌سمت میان‌بر منشا می‌گیرند. این نواحی تقسیم سلولی به‌عنوان مریستم‌های میان‌بر نامیده می‌شوند. او همچنین گزارش کرد که سیستم آوندی در هر میوه خرما شامل یک دسته پشتی و دو دسته شکمی مهم و قابل تشخیص است. دستجات کوچک‌تر در پیرامون میان‌بر داخلی و متصل به لایه تانني، وجود دارند (۲۲).

Omar (۲۷) با مطالعه روی میوه خرما رقم Zaghloul، گزارش کرد که ا درون‌بر شامل یک لایه سلول‌های کوچک می‌باشد و تنها در مراحل اولیه نمو میوه، تشخیص داده می‌شود. در مراحل بعدی، این لایه با تعداد کمی از لایه‌های مزوکارپ داخلی، ادغام می‌شود و پوشش کاغذی دانه بالغ را تشکیل می‌دهند.

بافت میوه، یک ویژگی کیفی مفید برای تعیین پذیرش میوه توسط مصرف کننده و به‌کارگیری آن برای فرآیندهای پردازشی متفاوت است. این ویژگی به‌میزان زیادی، متاثر از ترکیب شیمیایی و ساختار سلولی میوه می‌باشد. مطالعه کمی روی ساختار میوه و روش نمو پریکارپ در خرما وجود دارد. به‌هرحال، میوه‌های خرمای رقم مضافتی، کم و بیش مشابه سایر ارقام مطالعه شده گونه *Phoenix dactylifera* مانند ارقام خرمای تونسی، رقم Deglet Nour و رقم Hayany است (۲۲،۲۵،۲۸).

۶- نتیجه‌گیری

مکانیزم‌های حفاظتی و دفاعی سازمان‌یافته شامل وجود کوتیکول ضخیم، لایه سنگی و لایه تانني ویژه شده (ایدیوبلاست‌های تانني) در همه مراحل نموی فرابر (پریکارپ)، از ویژگی‌های بافت شناختی جالب توجه رقم مضافتی بود که نقش سازشی و تکاملی آن را در زیستگاه‌های خاص، نشان می‌دهد.

۷- تشکر و قدردانی

نگارندگان از دانشگاه شهید باهنر کرمان برای پشتیبانی انجام این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

۸- منابع

1. Holy Quran, Usman Taha manuscript, Surah Maryam, verse 25, page 306.
2. Al-alawi RA, Al-mashiqri JH, Al-nadabi JSM, Al-shihi BI. Date Palm Tree (Phoenix dactylifera L.): Natural Products and Therapeutic Options. Frontires in Plant Science. 2017;8(845):1–12.
3. Ashraf Z, Hamidi-esfahani Z. Date and Date Processing : A Review. Food reviews international. 2011;27:101-133.

4. Hajian S, Hamidi-Esfahani Z. Date Palm Status and Perspective in Iran. In: Al-Khayri JM, Jain SM, Johnson D V, editors. Date Palm Genetic Resources and Utilization: Volume 2: Asia and Europe. Springer Science & Business Media; 2015.
5. Ghahremaninejad F, Hoseini E, Jalali S. The cultivation and domestication of wheat and barley in Iran, brief review of a long history. Botanical Review. 2021; 87(1): 1-22.
6. FAOSTAT (Internet). (cited 2018 Dec 30). Available from: http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity
7. Asadabadi E, Abdpour A. An Evaluation of Production Factors Productivity in Agricultural Holdings Producing Mazafati Dates: A case study. International Journal of Scientific & Engineering Research. 2014;5(1):1409–1418.
8. Abdpour A, Asadabadi E, Shaabanali H. Analysis Factors Affecting Date Production Efficiency in Bam County: With DEA Approach. Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research. 2017;48(3):507-518.
9. Al-khayri JM, Mohan S, Dennis J. Date Palm Genetic Resources and Utilization. Springer Science & Business Media; 2015.
10. Manickavasagan A, Essa MM, Sukumar E. Dates Production, Processing, Food, and Medicinal Values. CRC press; 2012.
11. Baliga MS, Baliga BRV, Kandathil SM, Bhat HP, Vayalil PK. A review of the chemistry and pharmacology of the date fruits (Phoenix dactylifera L.). Food Research International. 2011;44(7):1812–1822.
12. Al-shahib W, Marshall RJ. The fruit of the date palm: its possible use as the best food for the future? International Journal of Food Sciences and Nutrition. 2003;54(4):247–59.
13. Fadel M, Kurmestegy L, Rashed M, Rashed Z. Fruit color properties of different cultivars of dates (Phoenix dactylifera L.). Agricultural Engineering International: CIGR Journal. 2006;1-9.
14. Amira EA, Behija SE, Beligh M, Lamia L, Manel I, Mohamed H, et al. Effects of the Ripening Stage on Phenolic Profile, Phytochemical Composition and Antioxidant Activity of Date Palm Fruit. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2012;60:10896-10902.
15. Ghnimi S, Umer S, Karim A, Kamal-Eldin A. Date fruit (Phoenix dactylifera L.): An underutilized food seeking industrial valorization. NFS Journal. 2017;6:1–10.
16. Rastegar S, Rahemi M. Sugars, Organic Acids and Phenolic Compunds in Shahani, Piarom and Deiry Date Palm. Journal of Horticultural Science. 2016;30(2):217-223.
17. Sheikhbahaei N, Rezanejad F, Arvin SMJ. Mozafati date as a potential treasure of calcium and antioxidant compounds: assessment of these phytochemicals during development. Journal of Food Measurement and Characterization. 2020;1-13.
18. O'Brien TP, Feder N, McCully ME. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. Protoplasma. 1964;59(2):368–373.
19. Gardner RO. Vanillin-hydrochloric acid as a histochemical test for tannin. Biotechnic and Histochemistry. 1975;50(5):315–317.
20. Lara I, Heredia A, Dominguez E. Shelf life potential and the fruit cuticle: the onexpected player. Frontiers in Plant Science. 2019;1-18.
21. George N. 2021, Date Fruit Fiber Variability in Composition, Tissue Distribution, and Contribution to Hardness of Date Fruits (Phoenix dactylifera L.), College of Food and Agriculture, United Arab Emirates University.
22. Monselise SP. Handbook of fruit set and development. CRC press; 1986.
23. Lloyd FE. Development and Nutrition of The Embryo, Seed and Carpel in The Date, Phoenix dactylifera L. Missouri Botanical Garden Annual Report, 1910; 1910:103-164
24. Barros TC de, Teixeira SP. Morphology and ontogeny of tannin-producing structures in two Tropical legume trees. botany. 2018;1–27.
25. Hammouda H, Alvarado C, Bouchet B, Kalthoum-Chérif J, Trabelsi-Ayadi M, Guyot S. Tissue and cellular localization of tannins in tunisian dates (Phoenix dactylifera L.) by light and transmission electron microscopy. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2014;62(28):6650–6654.
26. Beckman CH, Mueller WC, McHardy WE. The localization of stored phenols in plant hairs. Physiological Plant Pathology. 1972;2(1):69–74.
27. Omar A. Effect of Pollen Quantity on The Anatomy and The Quality of Zaghloul Date Palm Fruit (Phoenix dactylifera L.). Acta Adnances in Agricultural Sciences, 2014;2;1-8
28. Long EM. Developmental anatomy of the fruit of the Deglet Noor date. Botanical Gazette. 1943;104(3):426–436.