الفصل الأول

فيزيولوجيا النمو الخضري

مقدمة:

ما يهمنا في هذا الفصـــل معرفة العوامل التي تحكم عمليات النمو والتطور، كيف يمكن للبيضـــة الملقحة أن تكون الجنين؟ كيف يتطور الجنين إلى بادرة؟ كيف تتكشـــف الخلايا لأداء وظيفة معينة؟ ماذا يحدث على المستوى البيوكيميائي والفيزيولوجي والمورفولوجي والجزيئي خلال مراحل التطور المختلفة؟

يبدأ طور النمو الخضـــري في النبات بدءاً من خلية البيضـــة المخصـــبة الملقحة (zygote) ثم تتطور هذه البيضة المخصبة خلال عدة مراحل هي:

1- الانقسام الخلوي Cell Denison
2- الاستطالة الخلوية Cell expansion
3- التمايز الخلوي Cell differentiation

وهنا نميز احتمالين لمراحل تطور هذه البيضة المخصبة:

أ- إذا حدثت المراحل الثلاث لتطور البيضة الملقحة بشكل عشوائي تام فستكون النتيجة تشكل مجموعة هائلة من الخلايا غير المنتظمة غير المتخصـصـــة، غير المتمايزة، وهذا ما يلاحظ غالباً في مزارع الأنسجة النباتية (Tissue culture) ويطلق على النسيج الناتج اسم كالس (Callus).

ب- إذا حدثت المراحل الثلاث لتطور البيضـــة المخصـــبة بشـــكل منتظم حيث يحدث انقســـام خلوي ثم اســـتطالة فتكشـــف (وهذا ما يحدث غالباً في الطبيعة) فســـتكون النتيجة تكون الجنين كامل التكوين (Embryogenesis).

في المملكة النباتية (وعلى عكس المملكة الحيوانية) يحدث تكون الأعضـــاء (Organogenesis) في مناطق النمو وهي القمم النامية Shoot tips أو القمم الميرســـتيمية Meristem tips ويكون النمو في الأعضاء الخضرية غير محدود Indeterminate growth.

تكون الجنين هو مرحلة البدء في تطور النبات وهو النواة الأســاســية لتكوين كامل أعضــاء النبات اليافع بما يحويه من أنسجة ميرستيمية قمية وقمم نامية وأعضاء نمو.

هناك سلسلة مستمرة من عمليات الإصطناع لجزيئات معقدة بدءاً من الأيونات والجزيئات الأصغر والتي تعتبر المادة الخام للنمو.

يؤدي الانقســـام الخلوي إلى تكوين خلايا جديدة، هذه الخلايا ليس بالضـــرورة أن تكون أكبر حجماً إنما هي أكثر تعقيداً.

- النمو والتطور والتكشف: Growth, Development and differentiation

هناك ثلاثة مصطلحات هامة تستخدم لوصف الحالات والتغيرات التي تحدث في النبات خلال الدورة الخلوية Cell life cycle هي النمو والتطور والتكشف.

- النمو:Growth

هو مصـطلح كمي Quantitative يشـير إلى الزيادة في الحجم والكتلة .يمكن أن يقاس نمو الخلايا أحياناً بحســب زيادة عدد الخلايا – أو حجمها – أو بتقدير الوزن الجاف حيث لا يمكن اعتماد الوزن الرطب في أشــجار الفاكهة لأن تقدير الوزن الرطب هو طريقة غير دقيقة حيث أن الماء يشــكل أكثر من 80% من محتوى أنسجة النبات.وبشكل عام فإن النمو عملية غير عكوسة.

- التكشف:Differentiation

هو مصطلح نوعي Qualitative يشير إلى تمايز الخلايا إلى أنسجة وأعضاء. عندما يبدأ التكشف تبدأ معه حدوث تغيرات تشريحية وبالتالي وظيفية في الخلية حيث ينتج عن ذلك تكوين الأعضاء المختلفة في النبات والتي تختلف عن بعضها وظيفياً (جذور – سوق.....) وعلى عكس النمو فإن التكشف هو عملية عكوسة حيث يمكن نزع تكشف الخلايا المتكشفة المتمايزة.

- التطور:Development

هو مجموع عمليتي النمو والتكشف حيث يشير إلى كافة التغيرات التي تحدث خلال دورة النمو الخلوي بدءاً من إنبات البذور – تكوين البادرة – نمو البادرة – النضج – الإزهار – الإثمار – الشيخوخة.

يشير التطور إلى:

- تكوين الخلايا للأنسجة والأعضاء كاملة التخصص في النبات الكامل .
- انتقال النبات من مرحلة النمو الخضري إلى مرحلة الإزهار.

تترافق عمليات التطور مع تغيرات تشريحية – بيوكيميائية – فيزيولوجية ومورفولوجية في النبات.

يطلق على التطور أيضــاً مصــطلح آخر هو التكون الشــكلي (Morphogenesis) والذي يشــير إلى الاختلافات الشــكلية المورفولوجية التي تطرأ على خلية النبات بدءاً من مرحلة البيضــة الملقحة وانتهاءً بتكوين النبات الكامل.وهناك العديد من العوامل التي تحكم هذا التكون الشكلي:

1- عوامل وراثية: فالجينات هي التي تحكم إصطناع الأنزيمات والتي بدورها تتحكم بكيمياء الخلية كلها خلال مراحل النمو والتكشف والتطور.
2- تأثير المواد الكيميائية: وخاصــة منظمات النمو أو الهرمونات النباتية التي لها دور هام وفاعل في معظم عمليات النمو.
3- تأثير العوامل البيئية: خاصة:
أ- الضوء: والذي له دور هام في التركيب الضوئي.
ب- الحرارة: خاصة المنخفضة.

من أهم الأمثلة على الخلق الشــكلي في النبات هو التحول من مرحلة النمو الخضــري Vegetative Stage إلى مرحلة النمو التكاثري Reproductive Stage وهنا يجب أن يحدث الانقســام والتمايز

بصورة مختلفة بحيث تتشكل الأعضاء التكاثرية في النبات وإن الهرمونات النباتية لها دور هام جداً في هذه المرحلة.

يحدث النمو في النباتات في المناطق الميرستيمية والقمم النامية ويكون النمو:

- غير محدود: بالنسبة للمجموع الخضري والجذري حيث تمتلك الجذور والسوق تركيب خلوي غير محدود النمو.
- محدود: في الأوراق – الأزهار – البراعم – الثمار – حيث هذه الأعضاء ذات تركيب خلوي محدود النمو.

تكون الجنين Embryogenesis بدءاً من خلية البيضة إلى جنين.

يعتبر تكون الجنين جزء هام من مراحل تطور النبات ويحدث داخل الكيس الجنيني للبويضة أو للبذرة غير الناضجة.

يتطور الجنين إلى نبات بالغ نتيجة عمليات التطور المختلفة التي تتبع ثلاثة نماذج (Jurgens, 1995) :

- النمو القطري الشعاعي للأنسجة.
- النمو القمي الطولي.
- تشكل الميرستيمات الأولية التي لها الدور الأساسي في تكوين كامل للنبات.
-

الأطوار الفينولوجية في حياة شجرة الفاكهة:

تمر شجرة الفاكهة بدءاً من تكوين الخلية المفردة وحتى الشجرة البالغة بعدة مراحل حيث تتكون أولاً البيضة الملقحة فالجنين ثم البادرة فالشجرة الفتية فالناضجة (البالغة) وانتهاءً بالشيخوخة والموت.

وتتميز شجرة الفاكهة في كل مرحلة من هذه المراحل بخصائص مورفولوجية وفيزيولوجية وتشريحية تختلف عن المرحلة الأخرى، وبشكل عام يقسم علماء الفيزيولوجيا الأطوار الحياتية لشجرة الفاكهة إلى ثلاثة أطوار هي:

- طور الفتوة: Juvenility phase
- طور النضج: Maturity phase
- طور الشيخوخة: Senescence phase

يبدأ طور الفتوة مع تكون البادرة الفتية ويستمر حتى يبدأ النبات بتكوين الأعضاء التكاثرية.

تتميز البادرات الفتية بمعدل انقسام عالي وكذلك ارتفاع معدل النشاط الإستقلابي بينما في مرحلة الشجرة الناضجة فيقل معدل النمو الخضري بشكل عام ويزيد معدل النمو الإعاشي أما النشاط الاستقلابي فيكون غير مستقر زيادة أو نقصان (معدل البناء = معدل الهدم نظرياً).

وعند بدء مرحلة الشيخوخة يزيد معدل الهدم عن معدل البناء – يتوقف النمو – تبدأ معظم الأعضاء بالتساقط.

تختلف مدة كل مرحلة من هذه المراحل بحسب النوع النباتي، فبالنسبة لشجرة الفاكهة والتي تبدأ بالإزهار والإثمار بعد عدة سنوات من النمو الخضري وبالتالي يتأخر طور الشيخوخة، ومن المهم هنا أن شجرة الفاكهة قد لا تدخل بطور الشيخوخة بشكل مطلق (بعض الأعضاء تدخل في هذا الطور بينما أعضاء أخرى لا تزال في مرحلة النضج)، ففي أشجار الفاكهة متساقطة الأوراق تصل الأوراق لمرحلة الشيخوخة ثم تتساقط كل خريف، أما في أشجار الفاكهة مستديمة الخضرة تتأخر في الدخول بطور الشيخوخة عدة سنين، وهناك بعض أشجار الفاكهة عشبية النمو (مثل الموز) تدخل تدخل الساق الكاذبة فيها بمرحلة الشيخوخة ثم الموت رغم بقاء الكورمة (الساق الحقيقية) حية وقوية تحت سطح التربة لعدة سنوات.

البتلات والأسدية في الأزهار تدخل مرحلة الشيخوخة وتتساقط بعد تفتح الزهرة وكذلك الأزهار غير الملقحة – وتدخل الثمار بطور الشيخوخة بعد نضجها .

هناك عدة عوامل تحكم هذه المراحل:

1- عوامل بيئية: الضوء والحرارة خاصة.
2- عوامل وراثية تتعلق بنوع شجرة الفاكهة (متساقطة الأوراق أم مستديمة الخضرة).
3- عوامل كيميائية: خاصة محتوى الهرمونات و توازنها.

1- طور الفتوة: Juvenility, Juvenile phase

هو عبارة عن أول طور من أطوار النمو في شجرة الفاكهة حيث يبدأ تكون الشكل المورفولوجي للأوراق وفي هذا الطور لا يمكن دفع النبات للإزهار تحت تأثير أي معاملة من المعاملات،.وهنا نميز نوعين من أشجار الفاكهة:

1- النوع الأول: ينتقل فيه النبات للإزهار بعد الانتهاء الكامل من طور الفتوة بدون حاجة إلى أي معاملات أو محرضات Inducers للدفع الزهري (الفاكهة المستديمة)
2- النوع الثاني: في هذا النوع تحتاج شجرة الفاكهة إلى ظروف بيئية معينة حتى تنقل لمرحلة الدفع الزهري وبالتالي فإن انتهاء طور الطفولة فيها ليس شرطاً لبدء الإزهار، وفي هذا النوع يشير مصطلح النضج لبدء الإزهار Ripe – to – flower إلى اكتمال طور الطفولة والدخول في طور النضج مع عدم الإزهار بسبب عدم توفر الظروف المناسبة. (الفاكهة المتساقطة).

تختلف مدة طور الفتوة بحسب النوع النباتي:

ففي أشجار الفاكهة العشبية (مثل الموز) فإن طور الفتوة قصير جداً بينما في أشجار الفاكهة الخشبية (مثل معظم الأشجار المستديمة الخضرة والمتساقطة الأوراق) فإن هذا الطور طويل جداً قد يستمر عدة سنوات ويعتبر العامل المشترك لهذا الطور (سواء كانت شجرة الفاكهة عشبية herbaceous أو خشبية woody) هو عدم حدوث الإزهار خلال طور الطفولة.

يرتبط الانتقال من طور الطفولة إلى طور النضج ثم النضج الكامل فالإزهار بحدوث تغيرات عديدة في الخصائص المورفولوجية و الفيزيولوجية خاصة على مستوى :

1. الأوراق (شـكل الورقة- مسـاحتها- ثخانتها- نظام التعريق- نظام التوضـع على السـاق- تركيبها الكيميائي- ومحتوى الأصبغة) .
2. القدرة على التجذير.
3. حدوث تغيرات في المناطق القمية هذه التغيرات تؤدي إلى انتقال الميرسـتيمات القمية إلى طور النضج بينما تبقى الأجزاء القاعدية بطور الطفولة وبهذه المرحلة تكتسب الأفرع خصائص الطورين معاً (المسافة بين القاعدة والقمة) حتى تنتقل لاحقاً إلى مرحلة النضج التام.
4. حدوث تغيرات في النشاط الاستقلابي حيث يزيد معدل الاستقلاب Metablism rate مع استمرار النمو ويبدأ تكشف الأعضاء في المراحل المتقدمة أو النهائية من طور الفتوة.
5. تكوين طبقات الانفصـال Abscission layers وهذه الخاصـية تميز الأوراق في فترة الطفولة عنها في فترة النضـج حيث في طور الفتوة لا تستطيع الأوراق تكوين طبقة انفصـال وتبقى الأوراق على السوق حتى استئناف النمو والنشاط في الربيع. بينما في طور النضـج فإن الأوراق قادرة على تكوين طبقة الانفصـال وبالتالي تسقط ورقة الشجرة الناضـجة في الخريف "وهذا ما يحدث في جميع الأشجار متساقطة الأوراق" .
6. تختلف الأعضـاء الفتية Juvenile organs عن الأعضـاء الناضـجة adult or mature organs بالتركيب البنائي الداخلي والخارجي مثال على ذلك يختلف تركيب الورقة الفتية عنها في الورقة الناضجة.
7. يفترض علماء الفيزيولوجيا أن الأعضـاء الفتية تحتوي محتوى اكبر من حمض الجبريليك بالمقارنة مع الأعضاء الناضـجة وكذلك بالنسبة للمحتوى الأوكسيني وهذا ما يفسر استجابة البادرة الصغيرة للسيادة القمية أو للانجذاب الأرضي أو لتكوين الجذور بشكل أكبر من الشجرة الناضجة.
8. حدوث تغيرات على المستوى الأنزيمي سواء من حيث إصطناع أنزيمات جديدة أو تنشيط أنزيمات كانت موجودة سابقاً تترافق هذه التغيرات مع انتقال العضو النباتي الفتي لطور النضج.
9. العوامل البيئية لها تأثير مباشر في انتقال النبات من الطفولة إلى النضج.

تستعيد أشجار الفاكهة متساقطة الأوراق أوراقها خلال فصل الربيع (خاصية من خصائص طور الفتوة) .

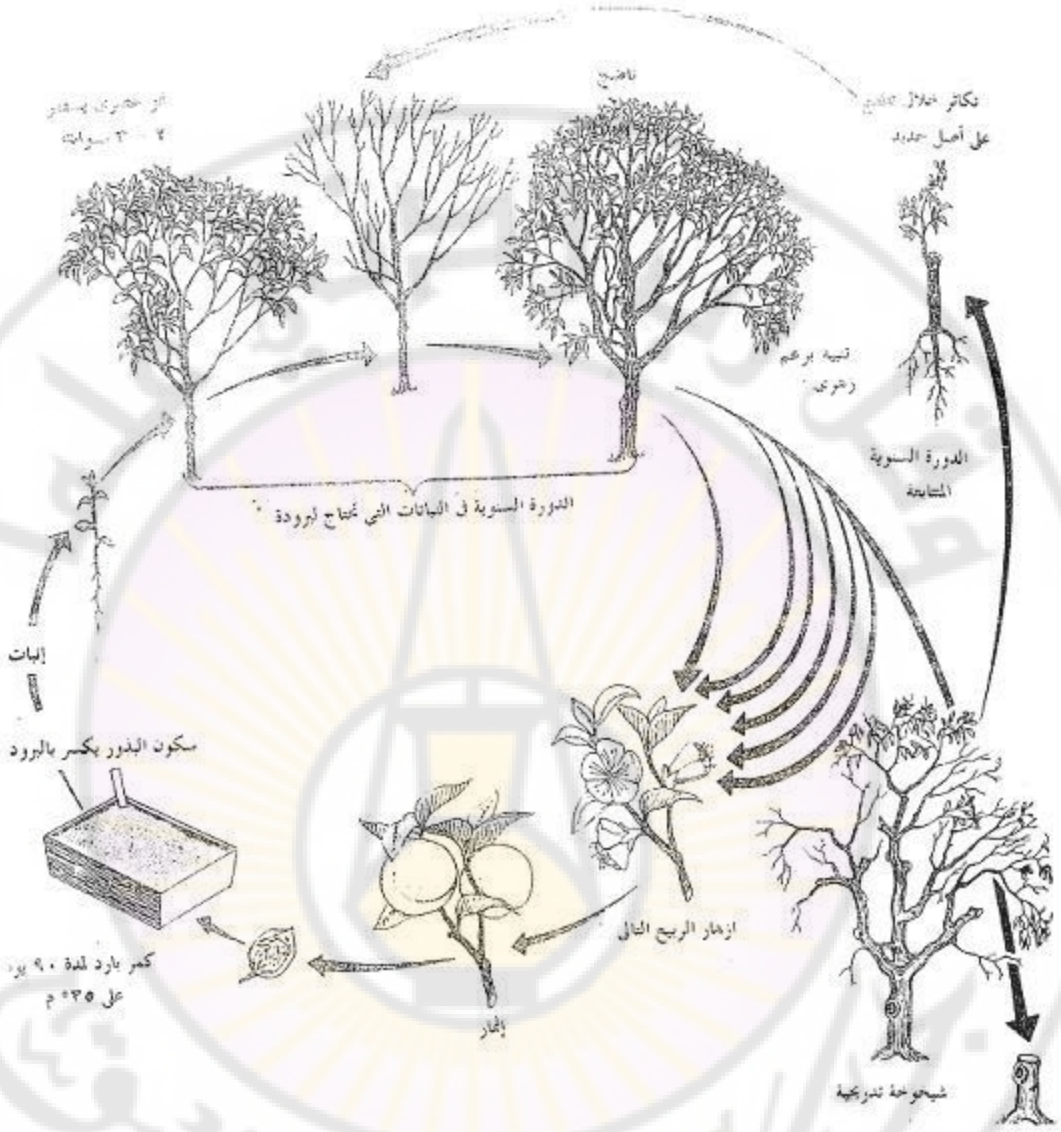
بعد الانتهاء من طور الفتوة والدخول في طور النضـج فلا يحدث عودة لطور الفتوة مرة ثانية ما عدا حالات تكون الأبومكسيس Apomictic والإكثار الجنسي (حيث في هذه الحالة يتم استعادة ظروف طور الفتوة من جديد). ويكون الثبات نسبياً بين الطورين (الفتوة والنضج) واضحاً أكثر في حالات الإكثار الخضري.

ويبقى السؤال من الناحية الفيزيولوجية أنه:

- ما هو السبب الأساسي في انتقال الشجرة من طور الفتوة إلى طور النضج.
- ما هو سبب الاختلاف في معدل الانقسام الخلوي بين الطورين.

هناك تفسير يفترض حدوث توازن معين بين حمض الجبريليك وحمض الأبسيسيك بحيث تنتقل الشجرة من طور إلى آخر وهنا تجب الإشـارة إلى أن الجبريلين له دور هام وفاعل في الدفع الزهري وبالتالي قد يؤثر بشكل مباشر في خروج النبات من طور الفتوة.

في مجال زراعة الأنسـجة النباتية تعتبر الأعضـاء التكاثرية /حبوب الطلع والبويضـات/ مميزة لطور الفتوة أكثر من الجنين الناضـج وبالتالي ورغم أن طور الطفولة يشير إلى عدم قدرة الشـجرة على الانتقال للإزهار إلا أن الأزهار نفسها "الأعضاء الزهرية التكاثرية" هي مثال هام جداً عن أعضاء بطور الفتوة.



شكل (1) : الأطوار الفينولوجية في حياة شجرة الفاكهة (الدراق) .

2 - طور النضج

يأتي هذا الطور بعد طور الفتوة ويتداخل معه ويتميز بانخفاض معدل النمو الخضـــري وتطور الأزهار والأعضـاء التكاثرية الأخرى وتسـتمر فيه عمليات الاسـتقلاب للمركبات العضـوية والمعادن وتنتقل نواتج الاستقلاب إلى الأعضاء التكاثرية بشكل عام والثمار والبذور بشكل خاص.

إن اللإزهار يثبط النمو الخضري و يسرع من دخول الشجرة في طور النضج ويمكن تفسير ذلك فيزيولوجياً بأن الأعضاء التكاثرية ربما تفرز مواد مثبطة للنمو الخضري.

في النباتات الناضـــجة كما هو في الفتية تكون عمليات البناء Anabolic أســـرع من عمليات الهدم Catabolic فمثلاً – يزيد معدل بناء البروتينات وتكوين الأحماض النووية عن معدل الهدم – ويزيد معدل

التركيب الضـــوئي / التنفس – يزيد معدل تراكم المركبات المعقدة "كربوهيدرات – بروتينات – لبيدات" والمركبات الأخرى والتي تعتبر ضرورية لتطور الأعضاء التكاثرية /خاصة البذور والثمار/.

- يقل المحتوى الأوكسيني مع تطور الأعضاء من طور الفتوة وحتى النضج ويفترض أن انخفاض المحتوى الأوكسيني يرتبط مع بدء تطور الأعضاء التكاثرية.

تختلف مدة طور النضج حسب النبات فبينما يستمر عدة أشهر في أشجار الفاكهة العشبية (مثل الموز)يستمر سنوات في أشجار الفاكهة الخشبية حتى تصل إلى طور الشيخوخة.

إن دخول الشـــجرة بطور النضـــج لا يعني ذلك انتقالها إلى مرحلة الإزهار فإن فيزيولوجيا الإزهار يكون محكوماً بعوامل أخرى كثيرة وبالتالي هناك العديد من أنواع أشـجار الفاكهة التي تصـل إلى مرحلة النضـج الكامل ولا تزهر أو تزهر بصـورة غير منتظمة / مثل biennial bearing in apples / وبنفس الآلية فإن انخفاض معدل الإزهار أو عدم انتظامه لا يشير بالضرورة إلى استمرارية طور الفتوة أو طور الطفولة.

وبشكل عام مع انتقال النبات للنضـج يزيد حجم العضـو النباتي بشـكل عام (زيادة النمو) وبالتالي فإن كل ما يحفز النمو يؤدي إلى اختزال طور الطفولة والانتقال إلى طور النضـج، وعلى العكس فإن كل ما يبطئ النمو ويحفز الإزهار في الشجرة الناضجة (مثل مثبطات النمو، الأصول القزمية المقصرة) تؤدي إلى زيادة طور الفتوة.

وتعتبر الظروف المثالية أســاســاً لمرور الشـــجرة بأطوارها المميزة، فطور الفتوة (في مرحلة البادرة) ثم النضج (النمو الخضري – الزهري – الثمري) فالشيخوخة.

يعتبر حجم الشجرة من أهم العوامل المؤثرة في الدخول بطور النضج:

1- لأن الحجم الكافي للأشجار يساعد على نقل إشارة أو أكثر إلى القمم (إشارة النمو).

2- لأن الميرستيم القمي يستجيب بصورة فردية.

هناك شواهد على كلا الاحتمالين:

1- تأثير عوامل التغذية والمحتوى الهرموني:
تعتبر القمم النامية مكاناً هاماً لتجمع المواد الغذائية ومواد النمو إلى أن تنتقل من كامل أجزاء االنبات لتتجمع في القمم، وتختزن فيها.

ولكن أي من هذه المواد لا يعتبر محفزاً أو مثبطاً لبقاء الذبات بطور الطفولة، أو الانتقال لمرحلة النضـــج، رغم أن الحرارة المرتفعة مثلاً مع الإضـــاءة المنخفضـــة تؤدي إلى انخفاض معدل تراكم الكربوهيدرات وبالتالي انخفاض تركيزها في المناطق القمية مما يؤدي إلى امتداد طور الفتوة و عدم دخول النبات في طور النضج.

يعتقد أن محتوى حمض الجبرلين لـه دور هام في انتقال النبات من طور إلى آخر، وقد وجد أن إضـــافة الجبرلين GA_3 خارجياً كان له دور هام في الإسراع من الإزهار في نباتات فصيلة Pinaceae بينما كان له دور في اســتمرارية فتوة النباتات في الحمضــياتCitrus واللوزيات Prunus أو بعودة النبات لطور الفتوة.

يؤدي إضـــافة بعض مثبطات النمو مثل Amo1618 إلى انخفاض المحتوى الجبرليني في القمم وبالتالي عدم الانتقال إلى مرحلة النضج في بعض النباتات.

إضـــافة مثبط نمو آخر (Ancymidol) الذي يثبط التخليق الحيوي للجبرلين قد منع من الانتقال التلقائي من طور إلى أخر وبالعكس. وبالتالي رغم وجود عوامل كثيرة تسـبب الاسـتمرار في طور الفتوة أو العودة إليه ولكن يعتبر عاملي الزمن و الحجم من أهم العوامل المســـاعد على الانتقال لمرحلة النضـــج، وفي بعض الحالات قد تعتبر مواد النمو من العوامل الهامة المســـاعدة على الإزهار، فالجبرلين مثلاً من الهرمونات الهامة جداً والتي تثبت دورها الفاعل في إزهار العديد من أشـــجار الفاكهة (بينما الإيتيفون كان له تأثير منخفض في إزهار أشـجار المانجو) ومع ذلك لا يمكن افتراض أن الهرمون GA_3 هو المسـؤول المباشـر عن الانتقال الحقيقي من طور إلى آخر.

يؤثر حجم القمة النامية نفســه في الانتقال إلى النضـــج فالقمم النامية القديمة أكبر من حجماً (تحتجز كميات أكبر من الغذاء) والقمم النامية الناضجة تتميز بوجود ميرستيمات قمية بشكل أكبر من القمم النامية الفتية.

وعلى العموم فإن تحول العضو الفتي إلى عضو ناضج ما يزال غامضاً من الناحية الوراثية والجزيئية ولكن يفترض بعض علمـاء البيولوجيـا الجزيئيـة حـدوث تغيرات نوعيـة في الحمض النووي الريبي RNA بين النبات الفتي والناضـج وهذا يشير إلى أن الانتقال من طور إلى آخر يتضـمن حدوث تغيرات في معدل نسخ جينات نوعية متخصصة وتغيرات أخرى في تعبير الجين عن نفسه، وبالتالي فإن بعض التتابعات في شريط الحمض النووي DNA قد تؤدي إلى نسـخ مادة وراثية جديدة في النبات الفتي قد تكون غير فعالة في النبات البالغ والعكس بالعكس.

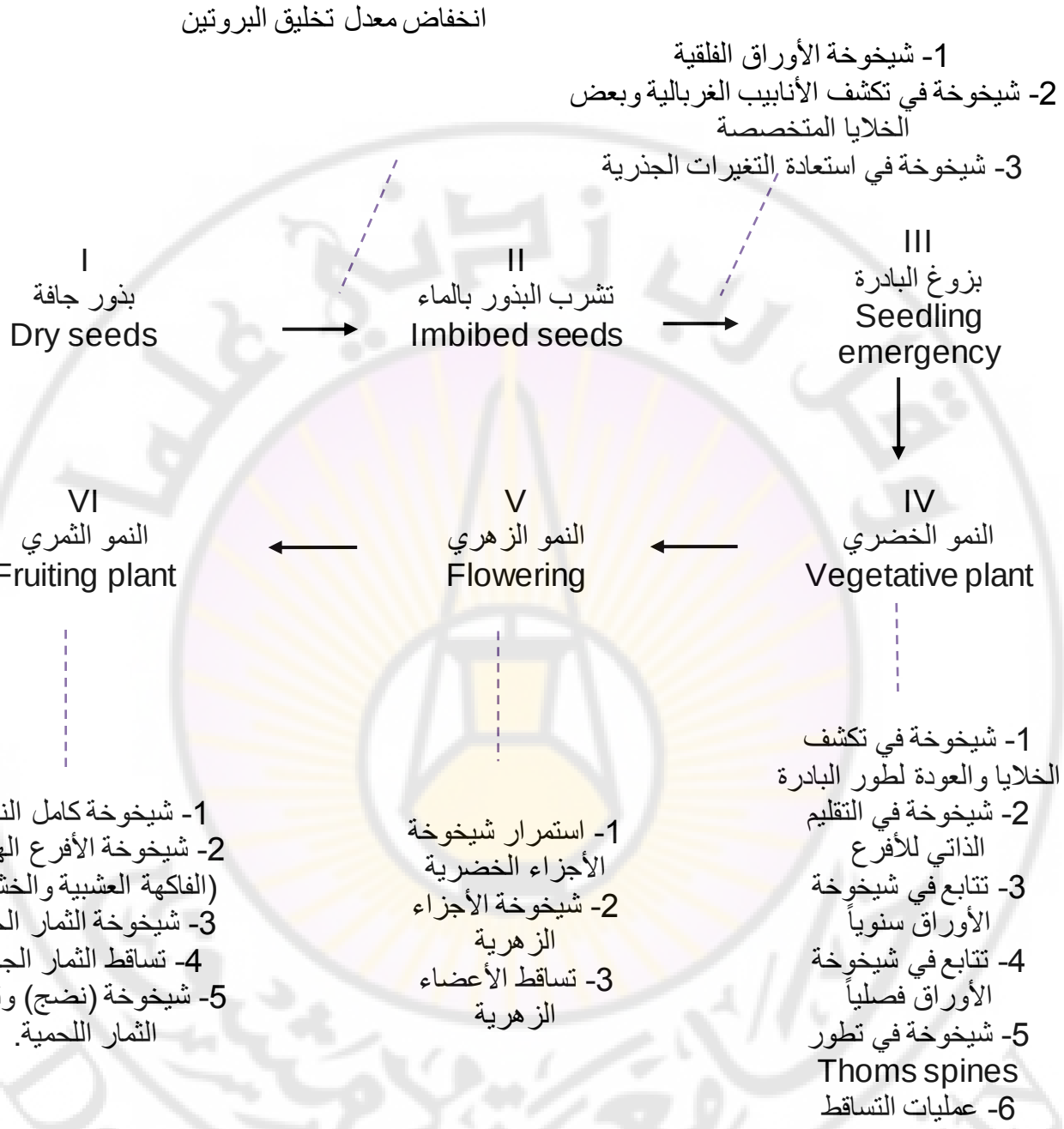
وفي النهاية فإن انتقال المنطقة القمية إلى طور النضج هو مؤشر هام على ثبات هذه المرحلة.

3- طور الشيخوخة:Senescence

يقصـــد بهذا الطور حدوث تغيرات في شـــجرة الفاكهة (مورفولوجية وفيزيولوجية) هذه التغيرات ســـتؤدي عاجلاً أو آجلاً إلى موت الشجرة (بشكل مطلق مباشر أو بشكل جزئي غير مباشر).

ترتبط الشـــيخوخة Senescence أحياناً بالتســـاقط Abscission كما يحدث في أشـــجار الفاكهة عندما تتساقط الأوراق في الخريف Autumnal senescence and shedding of leaf

يوضح المخطط التالي دورة حياة نبات مزهر حيث تلاحظ فترة الشيخوخة مترافقة مع أكثر من طور.



مخطط (2) : تداخل طور الشيخوخة مع أكثر من طور في أطوار حياة شجرة الفاكهة

التحكم في طور الشيخوخة:

تمر شجرة الفاكهة بأطوار مختلفة حيث تمر الأعضاء الفتية بطور النضج والشيخوخة والحقيقة أن طور الشيخوخة غير محدد Un determined ببداية أو نهاية حيث يتداخل مع طور النضج ومع مرحلة التساقط.

هناك العديد من الدراسات التي تثبت دور منظمات النمو في جميع مراحل نمو وتطور النبات بدءاً من طور الفتوة وحتى الشيخوخة والتساقط وهناك عوامل أخرى تحكم هذه الأطوار ولكن من الصعب جداً حصرها وتحديدها لأن كل نوع نباتي يختلف في سلوكه الوراثي والفيزيولوجي عن نبات آخر.

أ- تختلف ظاهرة الشيخوخة في أشجار الفاكهة مستديمة الخضرة عنها في متساقطة الأوراق ففي الأشجار المتساقطة ولو افترضنا أن شيخوخة الأوراق يسبق تساقطها فبالتالي ستلاحظ ظاهرة الشيخوخة بشكل سنوي في كل موسم تساقط (بداية الخريف والخريف المتأخر) وهذا ما يفسر التداخل بين طور الشيخوخة مع طوري النضج والتساقط، بينما في أشجار الفاكهة المستديمة والتي ستبقى أوراقها في فصل الخريف وذلك لعدة سنوات فيقتصر التساقط على الأوراق المريضة والتي بها خلل فيزيولوجي.

ب- على مستوى الشجرة نفسها نلاحظ أن الشيخوخة ليست طوراً واحداً يسود كامل أعضاء الشجرة بشكل واحد فقد تدخل الأجزاء السفلية من شجرة الفاكهة بطور الشيخوخة قبل الأجزاء العلوية التي ما تزال فتية.

هناك العديد من المؤشرات التي تسبق حدوث الشيخوخة و تدل عليه:

1- * تؤكد الدراسات على المستوى الجزيئي أن التعبير الجيني في هذا الطور يختلف عنه في الأطوار الأخرى وبالتالي فإن طور الشيخوخة هو طور مستقل عن باقي أطوار نمو وتطور شجرة الفاكهة حيث يتم نسخ المادة الوراثية وترجمتها بما يتوافق مع تخليق بروتينات وأنزيمات خاصة بهذه المرحلة (وبالتالي فقد اختلف تعبير الجين عن نفسه في طور الشيخوخة عنه في الأطوار الأخرى).

2- * هدم اليخضور: مع اقتراب الأوراق الناضجة من طور الشيخوخة تأخذ بالاصفرار وهذا ما يشير إلى ارتباط الشيخوخة بيو- كيميائياً مع هدم أو فقد الكلوروفيل Chlorophyll lost, degradation هذا ما يقترن فيزيولوجياً بحدوث خلل في معظم العمليات الفيزيولوجية والبيو- كيميائية التي تحدث في النبات.

3- * هدم البروتين: هناك العديد من الدراسات التي تشير إلى حدوث تغيرات كبيرة بين معدل بناء Synthesis وهدم Degradation البروتين عند بدء الدخول بطور الشيخوخة، وتشير معظم هذه الدراسات إلى انخفاض ملحوظ ومباشر ومستمر في المحتوى البروتيني مع تقدم الأوراق الناضجة بالنضج ودخولها بمرحلة الشيخوخة.

تتميز دورة البروتين بالخلية النباتية بالثبات والديناميكية حيث هناك حالة مستمرة من تحول البروتين ألى أحماض أمينية (هدم) وتحول الأحماض الأمينية إلى بروتين (بناء) وعند اقتراب الشجرة من طور الشيخوخة تفقد دورة البروتين هذا الثبات ولا يتحقق التوازن بين معدل البناء ومعدل الهدم حيث يزيد معدل الهدم بشكل مستمر ويتناقص بالمقابل معدل البناء حيث نصل في النهاية إلى مرحلة فقد البروتين Protein lost وهنا نجد تساؤلين هامين:

أ- كيف يمكن تحديد عمليات التحول المستمرة للبروتين (Protein turn over) من بروتين إلى أحماض أمينية وبالعكس؟

ب- ما هي العمليات الفيزيولوجية الأخرى التي ترتبط مع الصبغيات المختلفة للبروتين في الخلية؟

وعموماً هناك العديد من الدراسات التي أجريت بهدف تقدير البروتين (محتوى البروتين وصورة وجوده) في مرحلة التساقط وما قبلها وجميعها تشير إلى هدم البروتين وفقده في هذه المرحلة.

4- * يلاحظ زيادة معدل التنفس مع اقتراب الشجرة من مرحلة الهرم وبدء الاصفرار وفقد الكلوروفيل ويظهر الفحص المجهري للخلايا في مرحلة الشيخوخة أن الميتوكوندريا في الأوراق الهرمة تكون سليمة حتى في المراحل المتطورة من الهرم والتي تترافق مع هدم البروتين وهدم الكلوروفيل.

5- * على الرغم من انخفاض المحتوى الكلي من البروتينات في الأشجار الهرمة إلا أنه تحدث زيادة مستمرة وملحوظة في معدل تكوين الريبوزوم السيتوبلاسمي.

6- * ينخفض محتوى RNA في الأوراق الهرمة كذلك يقل معدل تكوينه بينما يزيد محتوى مثبطات تكوين RNA مثل Actinomycin. D (أكتينومايسين د) وهناك العديد من الدراسات التي أجريت باستخدام الـ Cordycepin (مادة مثبطة لهدم الـ RNA) والتي كانت نتيجتها تأخير الشيخوخة وبنفس الآلية استخدمت مواد مثبطة لتكوين الرايبوزوم والتي كان من شأنها تثبيط مرحلة الشيخوخة مثل: Cycloheximide + MDMP

2,4-methyle- 2,4-dinitroanilroanilino- N-methyl- propionamide

7- * يزيد محتوى الأنزيمات المسؤولة عن هدم البروتين (مثل Hyrolytic E- protenase)

8- * المحتوى الهرموني: هناك دور هام جداً وفاعل للهرمونات النباتية في هرم أشجار الفاكهة أو في المحافظة على فتوتها، وقد أجريت دراسات عديدة بهدف تقدير المحتوى الهرموني أثناء بدء هدم البروتين وهدم الكلوروفيل واصفرار الأوراق (بدء الهرم) ودراسات أخرى بهدف تقدير تأثير المعاملة ببعض الهرمونات على المحافظة على فتوة النباتات.

دور هرمونات النمو النباتية في طور الشيخوخة في أشجار الفاكهة :

- الأوكسين:

اختلفت الاستجابة بحسب النوع النباتي ففي الأشجار ذات النواة الحجرية Stone fruit لوحظ أن IAA يؤخر من دخول النباتات بمرحلة الشيخوخة، بينما في أشجار أخرى لوحظ تأثير للسيتوكينين وفي أنواع أخرى لم يلاحظ أي تأثير للسيتوكينين، بينما لوحظ تأثير الجبرلين في المحافظة على فتوة النباتات. وعموماً تختلف الاستجابة للهرمون بحسب النوع النباتي- نوع الهرمون وتركيزه- التفاعل مع الهرمونات الأخرى- مدة المعاملة- التركيز المستخدم- عدد مرات المعاملة.

- الجبرلين:

بشكل عام يلاحظ انخفاض المحتوى الجبريلي مع هرم النباتات، كذلك بالنسبة للمحتوى الستوكينيني (والذي له دور مباشر في تأخير هرم النباتات والمحافظة على فتوتها). ومعروف فيزيولوجياً أن السيتوكينين ينتقل في النبات بشكل قطبي قاعدي- قمي مع تيار النتح ويكون معدل الاستقلاب عالياً في أنسجة الأوراق وبالتالي

هناك احتمالية أن دور هرمون ما في تأخير الشيخوخة عند إضافته خارجياً على الأوراق المفصولة من بعض أشجار الفاكهة ربما يتوقف على درجة ومعدل استقلاب (تحول) الهرمونات الداخلية (hormones Endogenus) خاصة السيتوكينين.

حمض الابسيسيك:

من جهة أخرى لوحظ أن المعاملة بحمض الأبسيسيك تسرع من شيخوخة النباتات وهرمها في العديد من أشجار الفاكهة، ولكن لم يتم حتى الآن دراسة العلاقة بين المحتوى الكلي لحمض الأبسيسيك ومعدل الهرم أو درجة شيخوخة النبات ولكن بشكل عام لوحظ أن محتوى الأوراق الهرمة من حمض الأبسيسيك يفوق عدة مرات من محتوى الأوراق الفتية والناضجة (بحسب النوع النباتي).

هناك العديد من الأبحاث التي تشير إلى الدور المباشر للسيتوكينين في تأخير الشيخوخة وذلك ربما يعزى إلى:

- دور السيتوكينين في زيادة معدل بناء البروتين (وبالتالي تأخير الشيخوخة).
- أو ربما يعزى إلى دوره في تنشيط الأنزيمات المسؤولة عن تخليق وبناء البروتين مثل بروتين كينيز Protien kinases.
- أو ربما لدوره في نقل الأيونات الضرورية أثناء عمليات الفسفرة Phsphorylation.

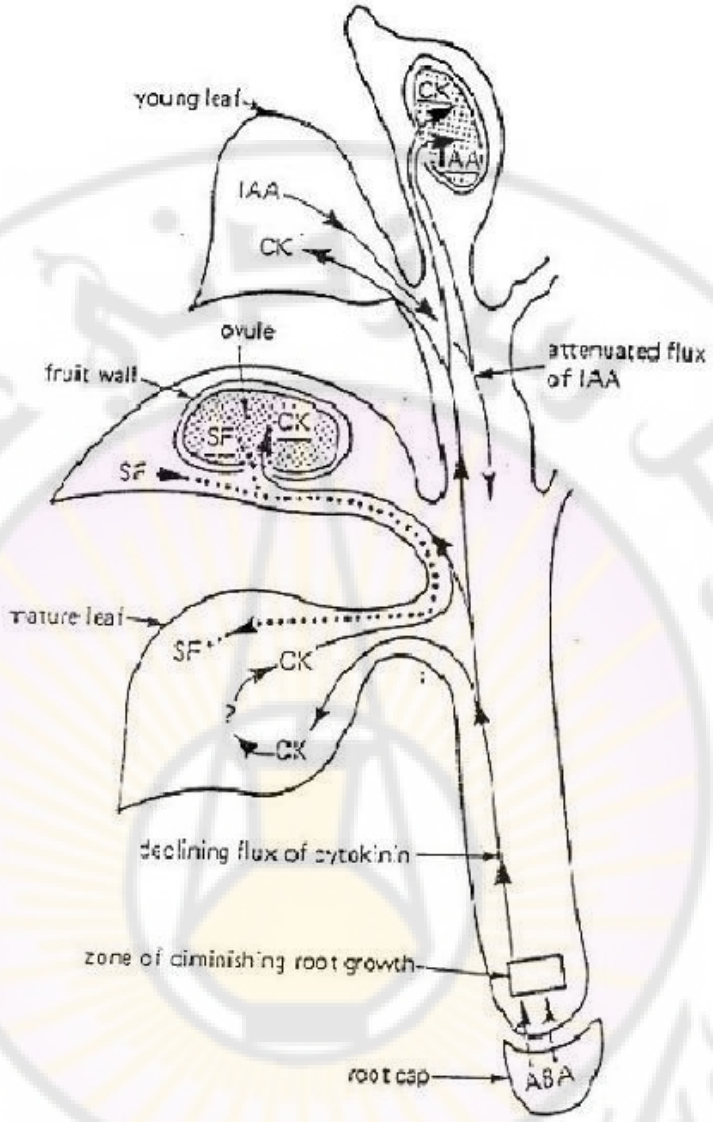
-الإيتلين

هناك عدة أدلة على ارتباط شيخوخة الأوراق بارتفاع محتوى الإيتلين وربما في بعض الأنواع النباتية لا يكون له أي دور في الشيخوخة إنما من المؤكد أن الإيتلين لا يحافظ على الفتوة.

كذلك لوحظ مع هرم الأوراق أنه بالإضافة إلى ارتفاع محتوى الإيتلين فقد زاد أيضاً محتوى بعض المركبات الوسطية التي تدخل بالتخليق الحيوي للإيتلين بدءاً من الميثونين (مثل سادينوسيل ميثونين Sadenosyl methionine (SAM) و 1-أمينو سيكلو بروبان -1- كربوكسيليك أسيد 1-aminocyclo propane-1-carboxylic acid (ACC).

كذلك فقد لوحظ أن المعاملة بأحد هذه المركبات الوسطية مثل ACC أدى إلى هدم الكلوروفيل- فقد البروتين- اصفرار وهرم الأوراق.

من المهم هنا معرفة أن المعاملة **بالأوكسين** تؤدي إلى زيادة محتوى الإيتلين حيث له دور مباشر في زيادة نشاط الأنزيمات المسؤولة عن تحول SAM إلى ACC و بشكل عام يعتبر نظام الشيخوخة في أشجار الفاكهة متكرر أومتعدد Polycarpic وذلك تمييزاً لها عن نباتات Monocarpic والتي تموت بعد الإثمار حيث تدخل بطور الشيخوخة فالموت، أما في أشجار الفاكهة فتستمر عدة سنوات من النمو الخضري والتكاثري بعد دخولها بطور الشيخوخة.


young leaf
CK
IAA
IAA
CK
ovule
fruit wall
attenuated flux
of IAA
SF
CK
SF
mature leaf
SF
CK
?
CK
declining flux of cytokinin
zone of diminishing root growth
root cap
ABA

الشكل (3): دور منظمات النمو في تنظيم طور الشيخوخة في النبات

يوضح هذا المخطط:

أ- انخفاض تركيز الأوكسين (IAA elimination) مع بدء تحول القمم الخضرية إلى مرحلة التكشف والإزهار ونضج الأوراق الفتية.
ب- العوامل المسؤولة عن الشيخوخة Senescence factors (SF) والتي تزيد بعد تكون الثمار في أنواع عديدة وتحرض الشيخوخة في الأنسجة.

دور الهرمونات النباتية في النمو والتطور:

1- الأوكسين

***- نمو وتكشف الخلايا:**

من المعروف فيزيولوجياً أن الأوكسين من أهم الهرمونات المسؤولة عن نمو الخلايا والاستطالة الخلوية.

تختلف استجابة النبات للأوكسين بحسب:

أ- تركيز الهرمون حيث قد تؤدي التراكيز المنخفضة جداً إلى تحريض النمو بينما تثبط التراكيز المرتفعة نمو الخلية وتطورها.
ب- إضافة إلى ذلك تختلف الاستجابة بحسب مصدر الهرمون حيث تعمل الأوكسينات الطبيعية Endogenous auxin على استطالة خلايا شجرة الفاكهة بينما لا يكون للأوكسينات الخارجية Exogenous auxin أي تأثير يذكر على شجرة الفاكهة الناضجة البالغة وينحصر تأثيرها على الخلايا المفصولة من النبات الأم والمزروعة مخبرياً In vitro.
ت- يعتبر الأوكسين هرمون النمو والاستطالة لخلايا الأوراق- الأزهار- السوق سواء بشكل مباشر وغير مباشر.

- يعتبر الأوكسين هرمون التكشف حيث يساعد على تكشف الأوعية الناقلة للأفرع (الخشب واللحاء) في مزارع الأنسجة النباتية حيث تتحول الخلايا البرانشيمية لنسيج الكالس إلى خلايا متمايزة تحت تأثير الأوكسين.

***- تطور الأفرع والجذور:**

- نمو البراعم الجانبية:

من المعروف ومن أهم التطبيقات في بساتين الفاكهة أن إزالة البرعم القمي يحرض على نمو البراعم الجانبية وذلك بسبب سيادة البرعم القمي على نمو البراعم الجانبية و انقسام خلاياها و استطالتها ومن أجل ذلك سميت هذه الظاهرة بالسيادة القمية Apical dominace.

ولكن كيف يثبط البرعم القمي نمو البراعم الجانبية؟

إن التركيز الأمثل للأوكسين والذي يساعد على نمو البراعم الجانبية هو أقل من التركيز اللازم للاستطالة الخلوية (خلايا السوق) وإن انتقال الأوكسين القطبي القاعدي يساعد على بقاء التركيز بالصورة المثبطة بالنسبة

للبراعم الجانبية وبالتالي فإن إزالة مصدر الأوكسين (بإزالة القمم النامية De- capitation) يقلل من تزويد الأوكسين إلى مناطق نمو البراعم الجانبية وبالتالي يتثبط نموها.

هناك تفسير آخر أن بعض المركبات الكيماوية مثل Triiodo benzoic acid (TIBA) و Naphthyl phthalamic acid (NPA) (تراي- أيودوبنزويك أسيد ونفتيل فثالاميك أسيد) تثبط انتقال الأوكسين وبالتالي تحرر البراعم الجانبية من ظاهرة السيادة عند إضافتها في المنطقة بين البرعم القمي والقمة النامية والبراعم الجانبية.

أيضاً هناك معاملة أخرى يمكن أن تحرر القمم الجانبية من سيادة البرعم القمي وهي المعاملة بالسيتوكينين الذي يعتبر مضاد أكسين كذلك فإن هناك علاقة بين تثبيط ننمو البراعم مع محتوى حمض الأبسيسيك حيث لوحظ أن محتوى ABA في البراعم الجانبية يقل عند نزع القمم النامية ولم يعرف بعد تأثير ABA هل هو موضعي في موضع البرعم أو عام فيما لو تمت إضافته في أماكن أخرى من الشجرة.

إن إضافة ABA في القمة النامية تثبط نمو البراعم الجانبية، والإيتلين أيضاً له دور في تثبيط نمو البراعم الجانبية ومعروف أن الأوكسين يحفز من إنتاج الإيتلين وما تزال هذه النقطة غامضة وبالتالي فإن الأكسين هو هرمون السيادة القمية والسبب انتقاله القطبي القاعدي وبالتالي اختلاف التركيز وبالتالي تثبيط نمو البراعم الجانبية، ويؤثر السيتوكسينين وحمض الأبسيسيك بصورة غير مباشرة على هذه النقطة (ABA يثبط نمو البراعم والسيتوكينين يشجع نمو البراعم أما الإيتلين فما يزال دوره غامضاً ؟؟).

***- استطالة الجذور وتطورها:**

يؤثر الأوكسين في نمو واستطالة خلايا الجذر ولكن عند إضافته بتراكيز منخفضة جداً جداً ومن المهم هنا معرفة أن التركيز المرتفع من الأوكسين والذي قد ينشط نمو خلايا الساق يثبط نمو خلايا الجذر ويعزى التأثير المثبط لارتفاع تركيز الأوكسين إلى إنتاج الإيتلين حيث يفترض بعض العلماء أن الإيتلين لا ينتج إلا بارتفاع تراكيز الأوكسين.

بشكل عام تؤدي إزالة القمة النامية الجذرية أو إضافة الأوكسين خارجياً بتركيز مرتفع إلى تثبيط نمو الجذور حيث يفترض أساساً أن التركيز الداخلي للأوكسين في قمم الجذور مرتفع لدرجة مثبطة لنمو خلايا الجذور..

التركيز المرتفع للأوكسين والذي يثبط نمو خلايا الجذر الرئيس يعتبر تركيز منشط لنمو الجذور الثانوية وبالتالي فإنه بشكل عام تؤدي إزالة البراعم والأوراق الفتية (أهم مصادر الأوكسين) إلى انخفاض عدد الجذور الجانبية المتكونة في النبات.

الإزهار :

تؤدي المعاملة بالأوكسين إلى تثبيط الإزهار، السبب يعود إلى دور الأوكسين في إنتاج الإتيلين ولكن بعد بدء الدفع الزهري Flowers- initiation يصبح دور الأوكسين مباشر في تطور الأزهار والثمار .

يعتبر التلقيح والإخصاب شرطان لعقد الثمار، وقد لوحظ أن حبوب الطلع تعتبر مصدراً هاماً للأوكسين وأن مستخلص الطلع يمكن أن يحرض عقد الثمار في الأشجار غير الملقحة (عقد بكري) يستخدم الأوكسين الصناعي (4- كلوروفينوكسي أسيتيك أسيد 4- chlorophenoxy acetic acid) لتحريض العقد البكري في أشجار الحمضيات (والتي تميل وراثياً إلى العقد البكري).

يستخدم الأوكسين أيضاً للتحكم بتساقط الثمار وذلك بحسب التركيز المستخدم وزمن المعاملة.ويستخدم أيضاً في تساقط الثمار وكذلك خف الثمار الناضجة Fruit drop كذلك يمنع تساقط الثمار في مرحلة ما قبل النضج Pre-mature fruit drop.

تحفيز تساقط الثمار مباشرة بعد العقد يختلف عن الخف الكيماوي للثمار وكلاهما يهدف إلى زيادة حجم الثمار المتبقية بعد الخف.

إضافة الأوكسين بشكل متأخر يؤخر التساقط الثمار في مرحلة الـ Pre-mature وهذا يساعد على بقاء الثمار على الأشجار إلى وقت الحصاد.

هناك تفاعل هام بين الأوكسين والإيتلين حيث ارتفاع تركيز الأوكسين يؤدي إلى إنتاج الإيتلين وبالتالي عندما يعزى الفعل المثبط للأوكسين هو بالحقيقة نتيجة إنتاج الإيتلين وتعزى معظم التفاسير حول تأثير الأوكسين في الثمار والبراعم إلى الإيتلين.

الجبرلين:

***- هرمون الاستطالة الخلوية:**

على عكس الأوكسين فإن الجبرلين يعمل على استطالة الخلايا في النبات الكامل بينما يعمل الأكسين على استطالة الأنسجة المفصولة عن النبات الأم (والمزروعة مخبرياً).

هناك علاقة مباشرة بين الجبرلين والجينات المسؤولة عن التقزم الوراثي حيث لوحظ أن الجبرلين يساعد على استطالة الطافرات القزمية وعودتها إلى الصورة الطبيعية بينما لم يكن له أي دور يذكر في استطالة النباتات الطبيعية.

إن انخفاض طول الساق والذي يعزى إلى انخفاض معدل الانقسام الخلوي وانخفاض معدل الاستطالة الخلوية يمكن التغلب عليه بالمعاملة خارجياً بحمض الجبريليك.

***- تثبيط نمو الساق Inhibition of stem length**

إن إضافة أي مادة كيميائية تمنع مضادة للجبرلين و مثبطة للنمو Growth retardants antigiberellins (مثل: Alar- Ancymidol- Phosphor-D – Cycocel-ccc- AMO-1618) تمنع تكوين الجبرلين وبالتالي تمنع الاستطالة الخلوية.

***- إنبات البذور Seed germination**

يتضمن إنبات البذور إماهة مجموعة كبيرة من الأنزيمات من ضمنها α أميليز وبروتييز والتي تعتبر ضرورية جداً لهضم الكربوهيدرات والبروتينات، يفرز جنين البذرة أنزيم α أميليز الذي يحول النشاء إلى سكر (أو الأندوسبيرم النشوي) بحيث يحدث الإنبات، فلو تم نزع الجنين من البذور لا يحدث الإنبات لغياب الأنزيمات الهاضمة وعندما تمت معاملة البذور منزوعة الجنين بالجبرلين أدى ذلك إلى إفراز أنزيمات الأميليز والبروتييز.

يؤدي إضافة بعض المثبطات مثل أكتينومايسين د- سيكلو هيكزاميد Cycloheximide Actinomycin0D + إلى تثبط تخليق الـ RNA والبروتين.

تؤدي المعاملة بالجبرلين إلى إنبات البذور وقد ثبت دوره المباشر في كسر سكون بذور أشجار الفاكهة المتساقطة حيث يحل جزئياً محل احتياجات البرودة و قد استخدم على نطاق واسع في كسر سكون بذور المشمش _ الخوخ _ الدراق .....

***- الإزهار Flowering**

من الصعوبة التمييز بين التحكم باستطالة الساق من جهة والتحكم بالإزهار من جهة أخرى.

بالحالة العادية استطالة الساق ضرورية للإزهار، بنفس الوقت لوحظ أن الجبرلين يحل جزئياً محل احتياجات البرودة أو طول النهار.

استخدام مثبطات النمو والتي تمنع الإصطناع الحيوي للجبرلين تؤدي إلى تثبيط الاستطالة الخلوية وبالتالي عدم الإزهار.

الاستطالة الخلوية والإزهار عمليتان منفصلتان وإن دور الجبرلين المباشر هو بالاستطالة وليس بالإزهار.

السيتوكينين Cytokinin

1- الانقسام الخلوي والتخلق الشكلي Cell division and morphogenesis:

يحرض السيتوكينين على الانقسام الخلوي في مزارع الأنسجة حيث أنه من المعروف أن الخلايا البالغة الناضجة المتكشفة ينخفض معدل الانقسام فيها أو ينعدم مع اكتمال التكشف والتمايز ويمكن إعادة تحفيز انقسام هذه الخلايا عند زراعتها ضمن شروط معقمة على بيئة مغذية صناعية ومعقمة تحوي أملاح- فيتامينات- مصدر طاقة- وتركيز مثالي لهرمونات النمو النباتية مما يشجع انقسام هذه الخلايا مهما كان مصدر العضو النباتي المأخوذة منه (ورقة- ساق- زهرة...) حيث تنقسم هذه الخلايا بمعدل سريع مشكلة ما يعرف بنسيج الكالس.

يمكن نقل هذا الكالس إلى بيئة سائلة لا تحوي مادة مهلمة مع إجراء رج مستمر بحيث نصل إلى مزارع المعلقات Cell suspension culture.

إن هذا الانقسام لا يمكن أن يحدث بدون إضافة السيتوكينين.

استمرار النقل على بيئة مغذية ومعقمة يزيد معدل الانقسام وتميل الخلايا إلى الاستفادة من السيتوكينين الداخلي (الموجود أو المخلق) وبالتالي يستمر الانقسام حتى لو تم النقل إلى بيئة لا تحوي سيتوكينين.

مرحلة الإكثار هذه (التضاعف) هي مرحلة ثابتة تستمر عدة نقلات بحسب النوع النباتي.

أيضاً للسيتوكينين دور هام في التخلق الشكلي حيث بعد تكون نسيج الكالس (كتلة غير متمايزة من الخلايا البرانشيمية) وعند الرغبة بإعادة تكشفه يجب إضافة السيتوكينين من جديد وبتوازن معين مع هرمون الأكسين، حيث يؤدي ارتفاع تركيز السيتوكينين إلى زيادة معدل النمو الخضري.

2- الشيخوخة Senescence

هناك ثلاثة أدلة على أن السيتوكينين يتحكم بعملية الشيخوخة:

1- إضافة السيتوكينين خارجياً إلى الأوراق:

- يؤخر من شيخوختها.

- يمنع هدم الكلوروفيل.

- يحافظ على محتوى البروتين.

كذلك فإن السيتوكينين يؤخر الشيخوخة الطبيعية للنباتات الكاملة.

2- الدليل الثاني هو العلاقة بين محتوى السيتوكينين الداخلي والشيخوخة، مثلاً معاملة قاعدة العقل المفصولة من شجرة الفاكهة بهرمون الأكسين بهدف تشجيع التجذير يلاحظ أن العقل تبقى سليمة عدة أسابيع.

بهذه الحالة يعزى التفسير إلى أن الجذور المتكونة هي مصدر لإنتاج السيتوكينين داخلياً وبالتالي ينتقل الهرمون قطبياً نحو القمة عبر الخشب ليصل إلى الأوراق وقد لوحظ بالتجربة ضرر الأوراق السريع فيما لو أزيلت الجذور المتكونة، إضافة إلى ذلك لوحظ انخفاض حاد في تركيز السيتوكينين الداخلي مع حدوث الشيخوخة الطبيعية.

3- تجارب الـ DNA المعاد تطعيمه Recombinant DNA تشير إلى الدور المباشر للسيتوكينين في تأخير الشيخوخة .

3- الاستقلاب Metabolism

السيتوكينين له دور هام في تحريض عمليات الاستقلاب وبحركة نواتج الاستقلاب وذلك في موضع المعاملة الخارجية بالسيتوكينين.

حيث لوحظ أن السيتوكينين يحرض تخليق البروتين وذلك عن طريق تشجيع حركة المواد غير المستقلة مثل α- أمينو حمض البيوتريك.

حمض الأبسيسيك:

يتوقف النمو في معظم أشجار الفاكهة في المناطق المعتدلة Temperature zone fruit trees في فترة معينة خلال موسم النمو ويطبق ذلك على البراعم الجانبية والقمية بنفس الفترة وبعد توقف نمو الأفرع والذي يحدث غالباً في الصنف المتأخر وبداية الخريف تتساقط الأوراق وتدخل البراعم القمية والجانبية Terminal and axillary buds بفترة سكون فيزيولوجي Physiological dormancy وعلى العكس من ظاهرة السيادة القمية نتيجة وجود الأوكسين فإن إزالة تأثير الأوكسين عن طريق التقليم Pruning لن يكون له أي دور في استعادة نمو البراعم الساكنة.

يبلغ السكون أقصى درجة عندما ينتصف الشتاء (سكون عميق Deep dormancy) تستجيب البراعم خلاله لدرجات الحرارة المنخفضة حيث تستأنف نموها ونشاطها عند بدء فصل الربيع.

إرتبط كسر سكون البراعم مع اكتشاف هرمون الأبسيسيك وأجريت دراسات عديدة تربط بين علاقة سكون البراعم مع حمض الأبسيسيك واحتياجات البرودة ABA, Chilling and dormancy ومعظم الدراسات تشير إلى العلاقة الوثيقة بين تركيز حمض الأبسيسيك وسكون البراعم وأن ABA عامل أساسي لتحريض السكون حبث يلعب ABA دوراً هاماً في عمليتين منفصلتين تماماً:

- نضج البذور
- آلية فتح وغلق الثغور

يرتبط تطور نضج البذور غالباً مع تغيرات بمعدلات الهرمونات بشكل عام في معظم بذور أشجار الفاكهة.

- يكون محتوى السيتوكينين أعلى ما يمكن في المراحل المبكرة جداً من تطور الجنين وبنفس الوقت يكون معدل الانقسام الخلوي أعلى ما يمكن.

- في مرحلة النمو السريع للبذرة Rapid growth ينخفض محتوى السيتوكينين ويزيد معدل الأوكسين والجبرلين.

- في المراحل المبكرة جداً من تكون الجنين يكون محتوى ABA قليل جداً أو معدوم، بينما في المراحل المتأخرة من تطور الجنين يبدأ محتوى الأوكسين والجبرلين بالانخفاض بينما يزيد محتوى حمض الأبسيسيك. إن محتوى ABA يبلغ ذروته في البذور عند مرحلة النضج الكامل ويرتبط ذلك مع زيادة الوزن الجاف.

بشكل عام يرتبط نضج الجنين مع:

- توقف نمو البذرة
- تراكم مخزون الغذاء
- زيادة المقاومة لظروف الجفاف

وبالتالي فإن حمض الأبسيسيك له دور فيزيولوجي هام جداً في عمليات النضج Maturation processes حيث يؤدي ABA إلى تراكم البروتين في المراحل الأخيرة من تطور الجنين وهذا ما سيمنع من تخليق أنزيمات α- أميليز من قبل هرمون الجبرلين.وبهذا فإن للـ ABA دور هام في نضج البذور ومنع الإنبات المبكر.

والدور الآخر لحمض الأبسيسيك (إضافة إلى نضج البذور) هو منع أو تثبيط فتح الثغور حيث لوحظ أن إضافة الحمض خارجياً إلى بعض الأنواع النباتية تؤدي إلى غلق الثغور بشكل كامل Complete stomatal closure وبالتالي فإن غلق الثغور له دور هام في تنظيم التوازن المائي في النبات حيث أن محتوى ABA الداخلي في الأوراق يكون غالباً منخفضاً جداً إذا كانت النباتات مروية بشكل كبير Well watered.

تعريض النبات إلى إجهاد مائي يؤدي إلى تضاعف نسبة ABA بمعدل Fortyfold وذلك خلال مدة بسيطة لا تزيد عن 30 دقيقة.

***- الإيتلين Ethylene**

يعتبر الإيتلين هرمون غازي وبالتالي يتميز بالانتشار السريع من مكان إصطناعه إلى الأماكن الأخرى وهذه المشكلة الوحيدة في دراسة تأثيرات الإيتلين الفيزيولوجية.

الإيتلين له دور فيزيولوجي هام جداً في:

- نضج الثمار
- زيادة تحمل النباتات لظروف الإجهاد
- له تأثير في النمو القطري بشكل مباشر أو غير مباشر في معظم عمليات النمو والتطور.

يمكن تقدير كمية الإيتلين في ثمرة الفاكهة حتى لو كانت بتراكيز منخفضة جداً وذلك باستخدام جهاز Gas-chromatograph.

الإيتيفون (2- كلورو إيثيل فوسفونيك أسيد 2-Chloroethylephosphonic acid) هو عبارة عن مركب ينتج الإيتلين عند درجة PH معينة ويعتبر استخدامه هام جداً وذو مزايا عديدة عند استخدامه بالتجارب المخبرية لأن التحكم بطريقة إضافته وتركيزه أكبر بكثير من هرمون الإيتلين الغازي Gaseous E .

1- التطور الخضري Vegetative development:

يحرض الإيتلين على إنتاج هرمون الجبرلين وبالتالي يخفف الجبرلين من تأثير الإيتلين (حسب عمر النبات) وتكن الاستجابة للجبرلين بزيادة معدل الاستطالة.

بشكل عام للإيتلين دور هام في:

- تنشيط إنبات البذور Seed germination
- تثبيط سكون البراعم الساكنة وتثبيط السيادة القمية Apical dominance.
- الدفع الجذري Roots initiation

2- نضج الثمار وتطورها Fruit development

من أهم التأثيرات الفيزيولوجية للإيتلين أنه يساعد على نضج الثمار غير الناضجة Maturity of immature fruit ومن أهم أشجار الفاكهة التي يلعب الإيتلين دوراً هاماً في نضج ثمارها (أو إنضاجها

صناعياً) الموز والتفاح والكيوي والأفوغادو، حيث تحرر ثمار هذه الأشجار الإيتلين (أو تطلقه) في المراحل المتأخرة من عمليات النضج.

وفي معظم الحالات يرتبط انطلاق الإيتلين مع زيادة حادة في معدل التنفس والذي يمكن تقديره عن طريق قياس معدل غاز ثاني أكسيد الكربون المنطلق (زيادة الكليماكتريك Climacteric).

الثمار الناضجة تفرز الإيتلين مما يؤدي إلى تحريض الثمار غير الناضجة للوصول لمرحلة الكليماكتريك.

ونتيجة لعمليات الكليماكتريك وإنتاج الإيتلين تحدث عدة تغيرات استقلابية نوعية (لها دور بتجديد نوعية ثمرة الفاكهة) تشمل هذه العمليات على:

- إماهة النشاء وتحوله إلى سكريات بسيطة.
- تهتك أنسجة الثمرة نتيجة هدم الجدر الخلوية بفعل النشاط الأنزيمي.
- تخليق الأصبغة Pigments biosynthesis
- تكوين المواد المكسبة للطعم Taste والنكهة Flavor.

هناك بعض الثمار والتي يطلق عليها ثمار غير كليماكتيرية Non-climacteric fruits مثل ثمار الحمضيات حيث أن ثمرة الحمضيات لا يرتبط نضجها مع ارتفاع الكليماكتريك سواء في معدل التنفس أو في إنتاج الإيتلين، وهذه الثمار سوف يزيد معدل نضجها فيما لو تم تعريضها لغاز الإيتلين.

يحرض الإيتلين نضج الثمار بصورة تجارية واقتصادية، فمثلاً في ثمار الموز غالباً ما يتم جمع السباطات غير الناضجة (الأصابع الخضراء) وهذا ما يسهل عمليات الشحن ثم يتم تعريضها إلى غاز الإيتلين قبل البيع مباشرة حيث يعمل هذا الغاز على إنضاج الثمار غير الناضجة.

من أجل التخزين الطويل للثمار (مثل التفاح) Long-term storage فيجب في شروط التخزين أن يتم خفض معدل إنتاج وتراكم غاز الإيتلين وهذا ما يقترن عادة مع خفض درجة الحرارة- زيادة غاز ثاني أكسيد الكربون مما يثبط من معدل التنفس أو من معدل التبادل الغازي المستمر وبالتالي منع إنتاج الإيتلين.

3- الإزهار Flowering

يؤخر الإيتلين من الإزهار بشكل عام , ولكنه يحرض على إزهار بعض نباتات الفصيلة Bromeliaceae مثل الأناناس (Pineapple) وبشكل عام يعزى التأثير في الأزهار إلى الأكسين وهناك تفسيرات أخرى بأن الأكسين يحرض على إنتاج الإيتلين وبالتالي دوره في الإزهار.

عموماً يستخدم الإيتلين بشكل تجاري (أو المواد المطلقة للإيتلين كالإيتيفون والإيتريل) في توحيد وقت الإزهار في حقول الأناناس.

البولي أمين Polyamine

يشير مصطلح البولي أمين إلى مجموعة المركبات عديدة التكافؤ والتي تحوي على مجموعتين أو أكثر من مجموعات الأمين وقد شغلت اهتمام علماء الفيزيولوجيا مع بداية السبعينيات.

تشتق مركبات البولي أمين من الحمض الأميني آرجينين وليسين ويشمل التخليق الحيوي لأهم مركبات البولي أمين (سبيرمين وسبيرميدين) على مركب وسطي وهو سانيدوسيل ميثونين Sadenosylmethionine وهو مركب وسطي في خط التخليق الحيوي للإيتلين بدءاً من الميثونين.

بشكل عام ترتبط مركبات البولي أمين في النبات مع المركبات الفينولية مثل (سينناميك أسيد- كوماريك أسيد- كافييك أسيد) وتعتبر مركبات البولي أمين منشطات منظمة لنمو النبات Active regulator of plant growth.

في الحالة الطبيعية للخلية ترتبط مركبات البولي أمين (موجبة الشحنة) مع الأحماض النووية (سالبة الشحنة) والفوسفوليبيدات في الغشاء البلاسمي، وبالتالي لها دور هام جداً في الاصطفائية للأغشية الخلوية ولكن هل تعتبر مركبات البولي أمين من ضمن منظمات فإن هذا الأمر ما يزال غير مثبت Un profilable.

***- الفلورجين والفيرنالين Florgine- Vernalin**

تشير دراسات الإزهار إلى انتقال إشارات كيميائية معينة من الأوراق إلى القمم، وقد ثبت وجود هرمون الإزهار (الفلوروجين) وتأثيره بشكل نظري ولكن لم يتم عزله Have never been isolated وبشكل مشابه هرمون (الفيرنالين) والذي له دور مثل تأثير الحرارة المنخفضة على الإزهار في نباتات الحبوب وثنائيات الحول.

أما سبب فشل عزل هذه الهرمونات:

- ربما Labile الجزئ ويتهدم خلال الاستخلاص.
- صعوبة فحص النشاط البيولوجي للهرمون.
- الفلوروجين ربما هو معقد من عدة جزيئات منظمة أكثر من كونه هرمون تلقي إشارة لبدء الإزهار.

تطبيقات هرمونات النمو النباتية في بساتين الفاكهة:

تستخدم هرمونات النمو النباتية في مزارع بساتين الفاكهة على نطاق تجاري.

استخدمت الأوكسينات الصناعية على نطاق واسع حيث أنها:

1- تقاوم الأكسدة الأنزيمية التي تهدم الأوكسين الطبيعي (IAA).
2- كذلك فهي أكثر فعالية من الأوكسين الطبيعي في بعض الاستخدامات حيث استخدم 2.4-D كمبيد أعشاب واستخدم 2,4,5-T و الديكامبا Dicamba لاستحداث الكالس في مزارع الأنسجة في العديد من أشجار الفاكهة مثل المانجو، كذلك استخدم 4- Chlorophenoxy acetic acid (4-CPA) كمبيد أعشاب.

3- إضافة إلى أن المنظمات الصناعية أقل تكلفة وأكثر ثباتاً وقد استخدم أندول حمض البيوتريك Indole butyric acid ونفتالين حمض الخليك Naphthalene acetic acid للنمو الخضري ولإكثار النباتات مخبرياً بدءاً من القمم النامية وكذلك لاستحداث التجذير.

4- تعتبر الأوكسينات هرمونات التجذير خاصة NAA-IBA حيث استخدمت في تجذير عقل العديد من أشجار الفاكهة مثل الزيتون والتفاح، وقد استخدم NAA في خف الثمار الحديثة العقد Fruit set ومنع تساقط الثمار في مرحلة ما قبل الحصاد في التفاح والأجاص.

وكما تلاحظ فقد كان للأوكسين تأثير عكسي على نفس الأنواع النباتية والسبب اختلاف زمن المعاملة بحسب مرحلة الإزهار وبدء تطور الثمار حيث : .

أ- يؤدي الرش في مرحلة بدء العقد وذلك بعد فترة قصيرة من تفتح الأزهار Early fruitset, shortly after flowers bloom إلى تساقط الثمار الفتية حديثة العقد (يعزى ذلك إلى دور الأوكسين في إنتاج الإيتلين).

يعتبر خف الثمار من العمليات الفيزيولوجية الهامة جداً حيث يؤدي إلى تقليل العدد الكلي للثمار على الشجرة وبالتالي الحصول على ثمار ذات نوعية أفضل.

ب - بينما يؤدي الرش في مرحلة الثمار الناضجة إلى تأثير معاكس حيث يمنع هذه الثمار من التساقط ويحافظ على الثمرة على الشجرة حتى تصل إلى مرحلة النضج الكامل Fully mature والذي يعتبر مؤشراً لبدء الحصاد.

بالنسبة لبعض الأوكسينات (خاصة تلك المحتوية على مجموعة كلور مثل 2,4-D – 4-CPA و 2,4,5-T) والتي استخدمت كمبيدات حشائش فإن لها محاذير أمنية نتيجة أضرارها المباشرة على الصحة نتيجة احتوائها على نسبة عالية من الداي أكسين Dioxin والذي يعتبر كيميائياً عامل مسرطن Carcinogenic chemical.

5-أيضاً يستخدم الجبرلين بصورة تجارية في شجرة العنب حيث :

- يؤدي الرش بالجبرلين في المراحل المبكرة من الإزهار إلى خف النموات Thin cluster نتيجة تحريض استطالة الأفرع الزهرية Floral stem وهذا يؤدي إلى خف النموات الزهرية مما يساعد على تطور الثمار المتبقية بصورة أفضل.

الرش الثاني للحصول على ثمار أكبر حجماً أو ثمار بدون بذور يمكن إجراؤه عند وقت التلقيح والعقد.

- استخدم الجبرلين لتحريض إنبات البذور وتشجيع وزيادة سرعة معدل بزوغ البادرات في العنب- الحمضيات- الكرز- التفاح- الخوخ.

التفاعل بين العوامل المؤثرة في النمو والتطور:

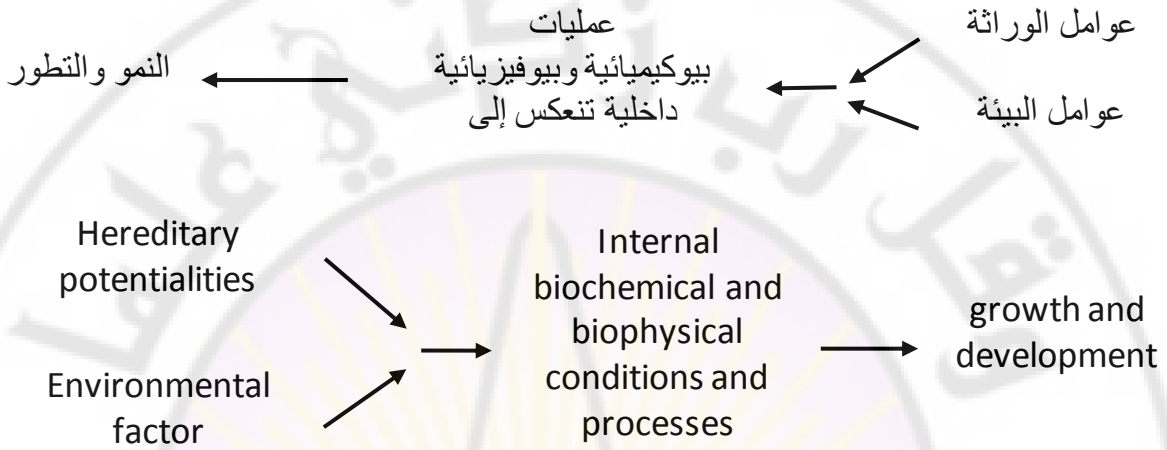
Interaction between factors affect the growth and development :

يتحدد نموذج تطور ونمو أي شجرة فاكهة بعاملين هامين أساسيين:

1- عامل الوراثة Hereditary factor

2- عامل البيئة Environmental factor

حيث يؤدي التفاعل بين هذين العاملين إلى حدوث عمليات داخلية كيميائية حيوية وفيزيائية حيوية تنعكس بمجملها بحدوث النمو والتطور لشجرة الفاكهة وطبعاً كلا العاملين يؤثر في الآخر .



مخطط (4) : التفاعل بين العوامل المؤثرة في نمو و تطور شجرة الفاكهة

عوامل الوراثة تحدد وظيفة كل عضو، فمثلاً البرعم الزهري يختلف وراثياً عن البرعم الخضري وبالتالي لكل منهما دور مختلف في النبات (كالمثل في اختلاف وظيفة الخشب- اللحاء- الجذر- الساق- الأوراق).

عوامل البيئة تحدد ما يفعله العضو بالفعل The organism actually does وإلى أي درجة يمكن لهذا العضو أن يقوم بوظيفته في شجرة الفاكهة، مثال على ذلك: في بذور أشجار الفاكهة متساقطة الأوراق يعتبر الجنين وراثياً هو العضو المسؤول عن تكوين نبات كامل (هو النبات نفسه) هذا العضو يبقى Worthless بدون قيمة ما لم تسمح الظروف البيئية الخارجية (حرارة منخفضة لكسر طور السكون عن طريق الكمر البارد) بإنبات هذا الجنين وتكوين البادرة الكاملة المكونة من جذر- ساق- أوراق والتي ستتطور بدورها إلى نبات فتي ثم شجرة ناضجة بالغة.

مثال آخر: بادرات أصول الحمضيات والتي عندها قدرة وراثية Hereditary potentialities على تخليق صبغة الكلوروفيل بالضوء Chlorophyll لا يمكنها أن تخلق الكلوروفيل في الظلام. وتدعى النباتات التي فقدت قدرتها الوراثية على تخليق الكلوروفيل باسم ألبينو (Albino)، إعادة هذه النباتات أو البادرات إلى ظروف بيئة مغايرة (بالضوء) ستعود مرة ثانية إلى تخليق الكلوروفيل.

1- عوامل الوراثة Hereditary potentialities

تشير دراسات البيولوجيا الجزيئية "Molecular biology" والوراثية البيو-كيميائية "Biochemical genetic" أن وظيفة كل عضو تتحدد بوجود جينات معينة في شريط المادة الوراثية DNA هذه الجينات تنسخ إلى شيفرة (كودون) متممة هي mRNA والذي يحمل بدوره التعليمات الوراثية الخاصة بتخليق

البروتينات من النواة إلى الريبوزوم في السيتوبلاسم حيث وبالتعاون مع tRNA يتم ترجمة هذه الشيفرة إلى سلسلة متتابعة من الأحماض الأمينية والتي تدخل في تخليق البروتين .

وبالتالي تؤدي كل شيفرة وراثية إلى تخليق بروتينات (وبالتالي أنزيمات) مختلفة عن الشيفرة الأخرى مما ينعكس بأداء تفاعلات بيوكيميائية معينة تنعكس في قيام كل عضو بوظيفة معينة يختلف عن العضو الآخر.

من المهم الإشارة هنا إلى أن كل خلية خضرية تمتلك كامل ونفس المجموعة الجينومية التي تمتلكها الخلية الخضرية الأخرى بينما mRNA يتم نسخه بحسب مرحلة النمو والتطور لشجرة الفاكهة وبالتالي لا تمتلك كل خلية خضرية بوقت معين كل أشكال mRNA (وبالتالي لا تمتلك كل البروتينات وكل الأنزيمات) التي تحملها شيفرة المادة الوراثية الأساسية DNA إنما تختلف mRNA بحسب مرحلة النمو والتطور من خلية إلى أخرى ومن وقت إلى آخر وبالتالي تمتلك الخلايا المختلفة mRNA مختلف وبالتالي أنزيمات مختلفة وبروتينات مختلفة وبالتالي تفاعلات كيميائية حيوية مختلفة.

مثال: خلية ميزوفيل الورقة يمكن أن تخلق الكلوروفيل دون الأنثوسيانين، وخلية البتلة يمكن أن تخلق الأنثوسيانين دون الكلوروفيل.

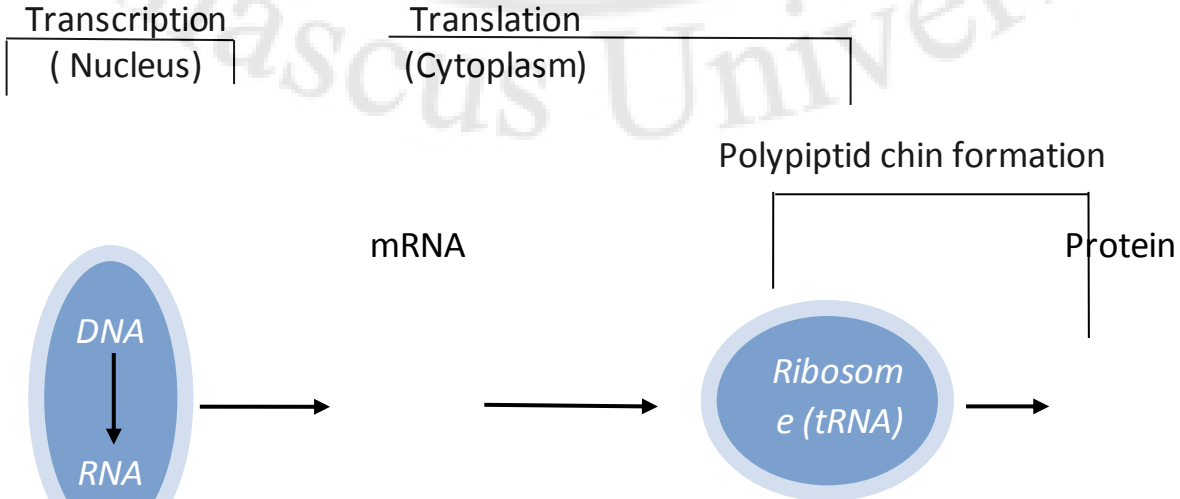
على الرغم من أن كلا الخليتين (خلية الورقة وخلية البتلة) تحويان على كامل المعلومات الوراثية وكامل الجينوم "DNA set" لتخليق الأنثوسيانين والكلوروفيل إنما يتم نسخ mRNA خاص لتخليق الكلوروفيل في خلية الورقة و mRNA آخر مختلف خاص لتخليق الأنثوسيانين في خلية البتلة.

السؤال المهم هو ما الذي يحدد نسخ نوع معين من mRNA في خلية معينة وبوقت معين؟

هناك فرضية أن الجينات أحياناً تكون مثبطة Depressed or repressed نتيجة ارتباطها ببروتينات الهيستون (الموجودة في الكروموسومات) حيث يتكون معقد بين الـ RNA الكروموسومي مع الهيستونات وبالتالي تحرير قالب الـ DNA أو الجينات الأساسية والتي ستشفر إلى mRNA معين وبالتالي بروتين معين.

بعض الهرمونات النباتية لها دور هام في إزالة تثبيط الجينات المثبطة نتيجة ارتباطها بالهيستونات حيث ترتبط هذه الهرمونات (الأكسينات) مع الهيستونات محررة المادة الوراثية وبالتالي انتهاء التثبيط.

كذلك فإن الجبرلين والذي له دور هام في إنبات البذور حيث يشجع على إنتاج أنزيم α- أميليز وهذا لا يحدث إلا عن طريق تحريض نسخ mRNA معين يشفر لأنزيم معين هو أنزيم الألفا- أميليز.



Amino acid- tRNA

Amino acid activation tRNA

Amino acid

مخطط (5) : دور عوامل الوراثة في النمو و التطور

2- عوامل البيئة Environmental factors

حتى لو امتلكت الخلية كامل الأنزيمات الضرورية لعمليات الاستقلاب فإن الاستقلاب لا يحدث بدون توفر الظروف البيئية المناسبة.

فمثلاً عملية التركيب الضوئي Photosynthesis لا تحدث بدون وجود عوامل بيئية معينة مثل الضوء وغاز ثاني أكسيد الكربون، وبالتالي فلا يمكن لعوامل الوراثة أن تنفصل عن عوامل البيئة.

تمتلك العوامل الحيوية والفيزيائية والكيميائية دوراً هاماً من العوامل البيئية في تأثيرها في النمو والتطور.

- عوامل حيوية Biological factors

لن يتم التركيز على العوامل الحيوية حيث أنها من العوامل البيئية الهامة ولكن ليس ضمن هذا المقرر.

ولكن يمكن إيجازه أن العوامل الحيوية تؤثر في النمو والتطور حيث عندما لوحظ تأثير فطر Gibberella fujikuroi في إحداث استطالة غير طبيعية في نباتات الرز والتي أصيبت من جراء هذا الفطر بمرض البادرة السخيفة تم على إثر ذلك اكتشاف هرمون الجبرلين وتحديد أدواره الفيزيولوجية المختلفة ومن بينها استطالة الخلايا في النباتات الكاملة وليس في الخلايا المفصولة والمزروعة مخبرياً.

مثال آخر في بعض أشجار الفاكهة خلطية التلقيح والتي تحتاج إلى وجود ملقحات حيوية (مثل النخيل).أيضاً يلاحظ تأثير أشجار الفاكهة كبيرة الحجم على النباتات الأصغر والمزروعة معها في نفس الحقل.وكما ذكرنا فإن الحديث عن هذه العوامل يفرد لها جزءاً هاماً في مقررات أخرى.

- عوامل كيميائية Chemical factors

حيث تحتاج كل شجرة فاكهة وخلال مراحل النمو والتطور المختلفة إلى المعادن (الصغرى والكبرى) وبعض الغازات (O_2-CO_2) والماء والمركبات العضوية، حيث هذه المواد لها دور مباشر في نمو وتطور شجرة الفاكهة فلا يمكن أن تتم عملية التنفس الهوائي بدون أكسجين ولا تتم عملية التركيب الضوئي بدون CO_2. كذلك دور العناصر المغذية المباشر في النمو الخضري والزهري والثمري .

هناك مواد أخرى تصنف مع الملوثات ويعتبر أن لها أحياناً دور في النمو والتطور مثل دي أوكسيد الكبريت Sulfur dioxid وأحادي أكسيد الكربون Carbon monoxide ومركبات أخرى من مشتقات Hydrocarbons والمعادن السامة Toxic elements مثل Lead و Arsenic والمعادن الأساسية مثل النحاس والبورون عند زيادة تركيزها، إضافة إلى بعض المواد الكيماوية المستخدمة في الزراعة مثل مبيدات الأعشاب والحشرات والفطور (Herbicides, Insecticides, Fungicides) كل هذه المواد يمكن أن تؤثر في نمو وتطور شجرة الفاكهة إن لم يكن بشكل مباشر فبشكل غير مباشر.

- عوامل فيزيائية Physical factors

على الرغم من أن العوامل الفيزيائية تشمل: الحرارة والضوء والأشعة الممغنطة والكهرباء والحقول المغناطيسية والجاذبية والأمواج الصوتية والطاقة، إلا أن الحرارة هي من أهم العوامل الفيزيائية المؤثرة في نمو وتطور شجرة الفاكهة.

- تؤثر الجاذبية بشكل مباشر في النمو والتطور حيث تختلف استجابة أنواع معينة للجاذبية الأرضية عن أنواع أخرى وهذا ما يدعى بـ Geotropic responses حيث عند زراعة جنين البذرة لشجرة فاكهة معينة نجد بعد فترة قد تطول أو تقصر تكون البادرة الكاملة والتي تتجه سوقها وأوراقها نحو الأعلى وبالتالي انتحاء سالب للجاذبية الأرضية وهذه الاستجابات المختلفة للجاذبية الأرضية لها دور هام في بقاء البادرة ومن ثم نموها وتطورها.

ويعتبر التوزيع غير المتساوي لهرمون الأكسين ذو دور مباشر في الانتحاء الأرضي الموجب للجذور والسالب للسوق والأوراق.

تؤثر أشكال الطاقة في نمو وتطور شجرة الفاكهة بشكل غير مباشر نتيجة تأثيرها في حركة الماء والهواء وبالتالي تأثيرها على معدلات التركيب الضوئي Photosynthesis والنتح Transpiration.

إن حركة الهواء في منطقة المجموع الخضري ستقلل من معدل تبخر الماء وتزيد من معدل تراكم CO_2 وبالتالي غلق الثغور (أما حركة الهواء فلها دور فقط في النباتات المائية حيث يزيد تركيز CO_2, O_2 – المعادن- الأملاح).

1- الحرارة Tempeature

يعتبر تأثير الحرارة على نمو وتطور شجرة الفاكهة تأثيراً مباشراً وذلك نتيجة :

*- تأثيرها على معدلات جميع التفاعلات الفيزيائية الحيوية والكيميائية الحيوية (Bio physical, Bio chemical) التي تحدث في عمليات الاستقلاب (عدا التفاعلات الكيميائية الضوئية "Photo chemical").

*- إضافة إلى ذلك تؤثر الحرارة في معظم عمليات الإصطناع الضوئي Photosynthesis والتخليق الحيوي Biosynthesis والتنفس Respiration .

*- تؤثر الحرارة على الأنشطة الأنزيمية والتي تحكم كافة التفاعلات الحيوية حيث بشكل عام يؤدي ارتفاع درجة الحرارة عن 40 ْم إلى انخفاض معدل النشاط الأنزيمي Enzyme inactivation وتتغير طبيعة الأنزيم أو معظم الأنزيمات بارتفاع الحرارة عن 60 ْم حيث يبدأ الضرر الفعلي للأشجار والذي قد يؤدي إلى الموت فيما لو ترافق مع الاستمرار في ارتفاع الحرارة.

بذور أشجار الفاكهة (والتي تتميز بارتفاع محتوى المادة الجافة فيها بالمقارنة مع باقي الأعضاء) يمكن أن تتحمل ارتفاع درجة الحرارة أكثر من باقي الأعضاء الهوائية والأرضية.

*- تؤثر الحرارة في اتجاه التفاعل العكوس للنشاء إلى سكرجلوكوز-1- فوسفات.

*- إن تأثير الحرارة في معظم عمليات الاستقلاب ستؤثر بالتالي في معدل النمو نتيجة تأثيرها على:

- تحديد نوعية الغذاء الذي سيستخدم في عمليات التمثيل.
- معدل انتقال الغذاء.
- كمية الطاقة المتاحة لعمليات التنفس.
- معدلات التخليق الحيوي لهرمونات النمو النباتية.
- درجة الإماهة (والمحتوى المائي في الخلايا).

وبشكل عام ليس من الضرورة أن يترافق معدل النمو مع زيادة معدل الاستقلاب ولكن تحت ظروف الحرارة المثالية سيترافق معدل النمو مع زيادة معدل البناء الضوئي Photosynthesis بينما يؤدي ارتفاع الحرارة عن الحرارة المثالية Optimal temperature إلى انخفاض معدل البناء وبدء الجفاف Desiccation نتيجة ارتفاع معدل النتح Transpiration وتثبت جميع الدراسات أن ارتفاع الحرارة يرتبط مع زيادة معدل الهدم (التنفس) Respiration عن معدل البناء Photosynthesis.

وبشكل عام فإن درجة الحرارة المثالية لنمو أي شجرة فاكهة تتوقف على:

-1- التركيب الوراثي.
-2- درجة التطور (بادرة فتية- شجرة ناضجة- شجرة هرمة).
-3- مدة التعرض لدرجة الحرارة وزمن التعرض لها.
-4- مرحلة النمو (خضري- زهري- ثمري).

وبناء على ذلك تتحمل شجرة الفاكهة في المناطق المعتدلة حرارة أعلى بالمقارنة مع أشجار الفاكهة في المناطق الباردة Arctic بينما أشجار الفاكهة الاستوائية Tropical species فإنها تتحمل ارتفاع الحرارة أكثر من أشجار الفاكهة في المناطق المعتدلة Temperate zone fruit.

مثال على ذلك تتحمل أشجار نباتات المناطق Arctic plants الحرارة المنخفضة وتعتبر درجة الحرارة 10˚م مثالية للنمو وتتحمل حتى الصفر المئوي وتحت الصفر لفترات قصيرة بينما أشجار الفاكهة المعتدلة لا تنمو عند انخفاض درجة الحرارة عن 5˚م وتعتبر الحرارة المثالية 25-35˚م وتستمر بالنمو عند ارتفاع الحرارة إلى 35-40˚م أما أشجار الفاكهة الاستوائية فتبدأ بالنمو عند حرارة 10˚م وتعتبر الحرارة المثالية للنمو 30-35˚م وتتحمل ارتفاع الحرارة حتى 45˚م.

	الحرارة المثالية للنمو Optimum temp	بدء النمو	تتحمل الحرارة حتى
أشجار المناطق الباردة Arctic plants	10		0
أشجار فاكهة المناطق المعتدلة Temperate zone fruit trees	25-35	5	35-40
أشجار الفاكهة الاستوائية Tropical fruit trees	30-35	10	45

مخطط (6) : درجات الحرارة المثالية لنمو أشجار الفاكهة في المناطق الباردة و المعتدلة و الاستوائية.

و بشكل عام فإن درجة الحرارة التي تحدث فيها معظم العمليات الحيوية Biological processes تنحصر فيما درجة الحرارة التي يتهدم فيها البروتين (هدم- تخثر- ....) ودرجة التجمد: لأن عند هذه الدرجة يتجمد جزيء الماء.

وبالتالي يجب ألا تنخفض درجة الحرارة إلى درجة التجمد ولا ترتفع إلى الدرجة التي يبدأ عندها البروتين بالهدم Denaturation.

بين هاتين المنطقتين تنحصر درجات الحرارة العظمى والصغرى والمثلى (Optimum- Minimum- Maximum) المناسبة لنمو وتطور شجرة الفاكهة.

معظم البذور تتحمل الارتفاع أو الانخفاض في درجة الحرارة مقارنة مع باقب أجزاء النبات بسب ارتفاع محتوى المادة الجافة.

تعتبر الحرارة عمل أساسي في توزيع وانتشار النباتات وذلك لأن لها دور مباشر مع عمليات الاستقلاب وبالتالي على انتشار النبات في منطقة دون منطقة أخرى.

بشكل عام تتميز درجات الحرارة في المناطق الاستوائية بالثبات بينما في المناطق المعتدلة نجد تقلبات فصلية في درجات الحرارة (ربيع- صيف- خريف- شتاء) وبالتالي نجد أن أشجار فاكهة المناطق المعتدلة لها استراتيجية معينة للبقاء والاستمرار وتحمل التباينات الحرارية المختلفة عبر فصول السنة فهناك فترات نشاط وفترات سكون (سكون البذور- سكون البراعم- الأزهار) كل هذه هي عبارة عن طرق لتجاوز المراحل الحرجة في حياة شجرة الفاكهة والتي قد تطول أو تقصر بحسب المنطقة وحسب نوع الشجرة.

هناك تفاعل بين درجة الحرارة وتأثير الفترة الضوئية، حيث هناك العديد من النباتات التي يجب أن تتعرض إلى درجات حرارة منخفضة حتى تزهر، ويطلق على هذه العملية أو الظاهرة اسم الإرتباع.

ولا بد من الإشارة جزئياً إلى أن المعاملة بالجبرلين تساعد على إزهار النباتات ولكن لا تحل كلياً محل ظروف الحرارة المنخفضة أو الاحتياجات الضوئية إنما يمكن للجبرلين أن يحل جزئياً محل ظروف النهار أو درجة الحرارة.

هناك فرضيات تثبت وجود مواقع للاستجابة لدرجات الحرارة المنخفضة في المناطق القمية والميرستيمية نتيجة وجود هرمون الفيرنالين (وكما في الفلورجين فكلاهما هرمونان غير معزولان كيميائياً وما تزال فرضية الفيرنالين والفلورجين نظرية) ومن أجل ذلك لا يمكن اعتبار الجبرلين مثل الفيرنالين.

إن ظاهرة الارتباع كما ذكرنا تخص الحوليات وثنائيات الحول فلن نطيل الشرح عنها أكثر في هذا المقرر.

2- الإشعاع أو الضوء:

يتراوح طيف الإشعاع من أشعة الكوزميك (طول موجي 10^{14} cm) وحتى أمواج الراديو (طول موجي 10^{6}cm).

الضوء جزء من الأشعة المرئية والذي له دور هام في نمو وتطور النبات في مراحل مختلفة بالمقارنة مع باقي الإشعاعات.

يؤدي امتصاص الأشعة الحمراء البعيدة Infrared من قبل النبات إلى زيادة درجات الحرارة في النبات نفسه بينما لا تمتص النباتات أشعة الراديو ذات طول الموجة الأكبر.

الأشعة قصيرة الموجة (بالمقارنة مع الضوء) مثل uv -x- r وأشعة الكوزميك وجزيئات α و β كلها لها دور هام في احداث طفرات في أشجار الفاكهة وبالتالي حدوث تغيرات في التخليق الشكلي.

أشعة uv (والتي تملك جزئياً أقل طول موجي) تمتص من الفضاء الخارجي حيث تعتبر مميتة للأحياء الدقيقة ولكنها مؤثرة في النباتات الراقية خاصة على الأنسجة السطحية.

ثبت في العديد من الدراسات أن أشعة UV ليس لها أي دور يذكر في نمو وتطور أشجار الفاكهة النامية بمراحل مختلفة تحت ظروف البيت الزجاجي والبلاستيكي الذي يمتص كامل الـ UV.

هناك مواد كيميائية معينة في النبات تمتص الضوء بأطوال مختلفة هذه المواد هي الأصبغة.

مثلاً يمتص الكلوروفيل الضوء في المنطقة الحمراء والزرقاء من الطيف ويقل الامتصاص في المنطقة الخضراء من الطيف وبسبب انعكاس الضوء الأحمر أو نفاذه تبدو الكلوروفيل لنا على أنها بلون أخضر.

تتراوح ألوان الأصبغة النباتية بدءاً من أول لون في الطيف المرئي إلى آخر لون من بنفسجي- أزرق- أخضر- أصفر- أورانج- أحمر.

عملية التركيب الضوئي تشمل على عدة أصبغة إضافة للكلوروفيل مثل الكاروتين- الكزانثوفيل- الفيكوسيانين- الفيكورثيرين.

تعتبر عملية التركيب الضوئي من أهم العمليات التي تحدث في النبات وهي مؤشر هام للنمو في النبات حيث يؤدي قيام النبات بالتركيب الضوئي إلى تكوين الغذاء الأساسي لقيام النبات بعملية التنفس وبالتالي انخفاض معدل التركيب الضوئي هو مؤشر هام لانخفاض معدل النمو ويقترن التركيب الضوئي بوجود عامل بيئي هام جداً هو الضوء المسؤول عن تحول البروتو- كلوروفيل إلى كلوروفيل، بينما باقي الأصبغة (أنثوسيانين، أنثوكزانثين- بيتاسيانين) فهي ذوابة في الماء وتظهر في العصير الخلوي للفجوات.

يتراوح لون الأنثوسيانين من البنفسجي- الأزرق- الوردي- الأحمر حسب درجة PH المحلول، أما الأنثوكزانثين فيتميز باللون الأصفر.

هذه الأصبغة مسؤولة عن ألوان الأزهار ولها دور هام في جذب الحشرات في أشجار الفاكهة خلطية التلقيح.

هناك صبغة نباتية لها دور هام في النمو والتطور هي الفيتوكروم Phytochrome (ذات لون أزرق شاحب) تنتشر في خلايا النبات بتراكيز منخفضة جدا و هي المسؤولة عن تكوينً أي لون مرئي حيث يعتبر الفيتوكروم مستقبل ضوئي Photoreceptor في النبات.

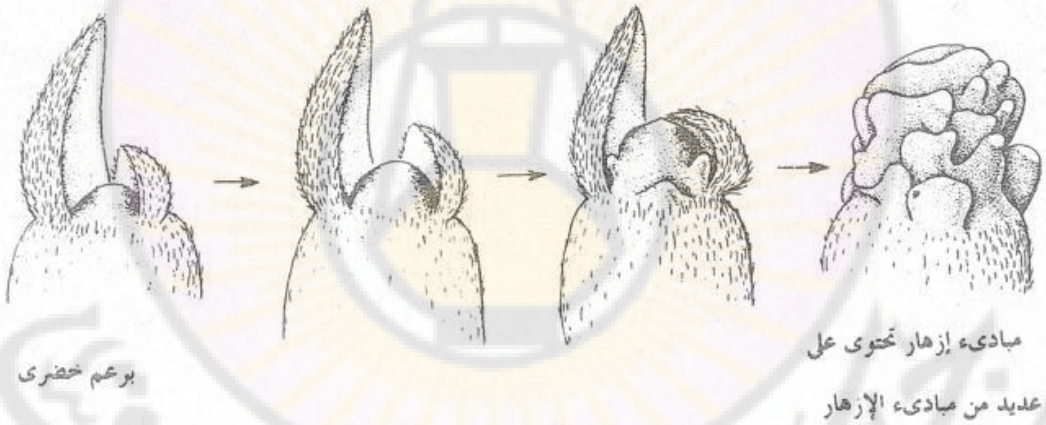
الفصل الثاني
فيزيولوجيا الإزهار و الإثمار

الإزهار: Flowering

تحمل عملية الإزهار في طياتها مدى واسع من التغيرات المورفولوجية والفيزيولوجية، وأول هذه التغيرات وأكثرها خطورة هو تحول المناشئ الخضرية للساق إلى المناشئ الزهرية، ومع مرور الوقت تحدث تغيرات بيو-كيميائية تؤدي إلى تغير في طرز التكشف الخاصة بأنسجة الورقة، البرعم والساق إلى الأنسجة التي تنتج الأعضاء التكاثرية، الكرابل، والأسدية مع الأجزاء الزهرية مثل السبلات والبتلات.

ويتبع عملية الدفع الزهري أو التنبيه الزهري Flower induction or initiation تطور الأجزاء الزهرية الفردية ثم النضج الزهري فالتفتح.

وإذا حدث تنبيه بيوكيميائي للميرستيم كي يتحول من الحالة الخضرية إلى الحالة التكاثرية فيكون نتيجة ذلك حدوث تغيرات ميكروسكوبية متناسقة حيث يبدأ شكل البرعم بالتغير حيث يقل نمو الجزء المركزي من البرعم ويصبح شكل البرعم مفلطحاً على عكس الشكل المخروطي المميز له وهو في الحالة الخضرية، ثم تتكون نتوءات صغيرة حول الميرستيم بترتيب حلزوني.



شكل (7) : تحول البرعم الخضري إلى برعم زهري.

على الرغم من أن مرحلة التكشف الزهري تماثل إلى حد كبير التكشف الخضري إلا أن الاختلاف الأساسي بينهما هو عدم استطالة المحاور بين مبادئ الأزهار المتعاقبة كما هو الحال بين مبادئ الأوراق.

وتعتبر عملية تحول البرعم الخضري إلى زهري غير عكوسة في معظم النباتات حيث تستمر الأجزاء الزهرية بالتطور حتى مرحلة تفتح الزهرة حتى ولو تغيرت الظروف البيئية القائمة خلال فترة التنبيه الزهري، وأثناء تفتح الزهرة تكون عملية الانقسام الإختزالي قد انتهت وتم تكوين حبوب اللقاح والكيس الجنيني ويصبح النبات في هذه المرحلة مهيئاً للخطوة التالية في التطور وهي الإثمار.

دور C/N في الإزهار

هناك اعتقاد بأن جميع عمليات النمو والتطور في النبات يمكن تفسيرها أو تنظيمها من خلال ضبط عمليات التغذية، وكذلك الأمر بالنسبة للعملية الهامة المتعلقة بالدفع الزهري حيث ثبت أنه يتم تنظيم التنبيه الزهري من خلال النسبة بين الكربوهيدرات/النتروجين.

معروف فيزيولوجياً أن النتروجين يساعد على النمو الخضري ومنع الإزهار (أو خفض معدل الإزهار) وعلى العكس يؤدي انخفاض معدل النتروجين مع بقاء معدل التركيب الضوئي ضمن الحدود الطبيعية إلى انخفاض معدل النمو الخضري وبدء النشوء الزهري.
أما لو ترافق انخفاض معدل النتروجين مع انخفاض معدل التركيب الضوئي فإن ذلك يؤدي إلى انخفاض معدل النمو الخضري والزهري.
ومن هنا جاءت دراسات عديدة تثبت دور الكربوهيدرات الهام والمباشر في النشوء الزهري ودور النتروجين الهام والمباشر في النمو الخضري.
وتجدر الإشارة إلى أن توفر الحالة الغذائية للنبات بالصورة المثالية لا يعني حدوث الدفع الزهري دون أن يسبق ذلك مؤشرات تتعلق بحدوث التنبيه الزهري فكثير من أشجار الفاكهة تبدأ في تنبيه مناشئ الأزهار قبل إزهارها بعدة شهور ففي التفاح مثلاً يتم تنبيه البراعم الزهرية بدءاً من حزيران وحتى آب بحسب الصنف إلا أن عملية الإزهار نفسها تحدث في الربيع التالي. وفي الفريز يتم تنبيه الإزهار في آب وأيلول ويكون الحمل الغزير في حزيران.

دور هرمونات النمو

حيث يتم استخدام العديد من منظمات النمو بشكل خارجي لدفع الإزهار فقد استخدم الأوكسين لدفع الإزهار في الأناناس وعزي ذلك إلى دور الأوكسين في إنتاج الإيتلين وتمت الاستعاضة عنه باستخدام مركبات منتجة للإيتلين مثل الإيتيفون.

نشوء الأزهار:Flower induction

ما زالت الأسس الكيماوية الحيوية لعملية الإزهار غير معروفة على وجه الدقة حيث يلعب العامل الهرموني دوراً هاماً وفاعلاً (هرمون الفلوريجين) كذلك تأثير درجة الحرارة (والفترة الضوئية المرافقة لها) على الدفع الزهري وتطور الأزهار.
وعلى الرغم من أنه لم يتم عزل هرمون الفلوريجين إلا أنه ثبت بالدراسات العديدة أن الفلوريجين ليس هو الأكسين على الرغم من أن الأوكسين له دور هام في نشوء الأزهار فقد لوحظ أنه يمكن تنشيط إزهار نبات الأناناس بالمعاملة بالإيتلين والأوكسين ودور الأوكسين هو زيادة معدل إنتاج الإيتلين.
كذلك تم التحكم بمشكلة تبادل الحمل Alternative bearing في التفاح باستعمال بعض المواد المثبطة للنمو مثل الألار- SADH (Succinic acid 2,2- dimethyl hydrazid) حيث تعمل هذه المواد على تثبيط إنتاج الجبرلين وانخفاض معدل النمو الخضري مما يشجع الدفع الزهري بالموسم التالي.

تنشيط العقد:Promotion of fruit set

تمت دراسة العلاقة بين الأوكسينات الطبيعية والإثمار حيث أدى استخدام بعض مشتقات الأوكسين تجارياً إلى تنشيط عقد الثمار بدون عملية التلقيح (العقد البكري) كما في العنب، ولكن أدى استخدام الأوكسين إلى إلحاق الضرر ببعض ثمار الفاكهة مثل التين حيث زادت ليونة الثمرة وزاد معدل التشوه عن الشكل الطبيعي المعروف لثمار التين.
كذلك لوحظ دور الجبرلين في إنتاج أصناف عنب لا بذرية (كما في صنف Delaware)

و بشكل عام و كما هو معروف فإن طور النمو التكاثري في النبات يبدأ من خلية البيضة الملقحة و التي تمر بثلاث مراحل تطورية هي :

1- الإنقسام الخلوي .
2- الإستطالة الخلوية .
3- التكشف .

يعتبر تكوين الجنين هو نواة النبات الكامل بما يحويه من ميريستيمات جاهزة لتكوين الأعضاء في النبات البالغ .

و بشكل عام يختلف الميريستيم الخضري عن الزهري في أن :

1- الميريستيم الخضري غير محدود في نموه و تطوره بينما يتميز الميريستيم الزهري بأنه محدود النمو حيث يتوقف عن النمو بعد تكوين الأعضاء الزهرية .

2- يمكن للميريستيم الخضري أن يتحول إلى زهري عند مرحلة الدفع الزهري و نشوء الإزهار.

3- يحتوي الميريستيم الخضري على مبادئ نشوء الأوراق الخضرية بينما يحتوي الميريستيم الزهري على نشوء مبادئ الأعضاء الزهرية (السبلات – البتلات – الأسدية و الكرابل) .

مراحل تكوين البرعم الزهري :

1- الميريستيم القمي Apical meristem .
2- القمة النامية Shoot tip.
3- السبلات و البتلات Sepals and petals.
4- خلية الكيس الجنيني Embryogenic sac cell.
5- المئبر و المبيض Anthers and ovary.
6- حبوب اللقاح و البويضة Microspores and ovule.

العوامل المؤثرة في تكشف البرعم الزهري :

1- عوامل فيزيا – كيميائية .
2- عوامل بيئية .
3- عوامل وراثية .

1- **العوامل الفيزيا- كيميائية :**

وتشمل :

1- تراكم السكريات في العصير الخلوي .
2- تكوين المواد الكربوهيدراتية الذائبة الكلية (TSS) .
3- انخفاض المحتوى النتروجيني له دور منشط و محفز في الدفع الزهري و تكوين الأزهار.
4- نسبة الكربون / النتروجين (C/N): حيث تؤدي زيادة هذه النسبة إلى نشوء و تطور الأزهار بينما يؤدي انخفاضها إلى النمو الخضري .
5- تركيز البوتاسيوم + الفوسفور (P+K) : حيث تحتوي البراعم الزهرية تركيزاً أكبر من هذين العنصرين مقارنة مع البراعم الخضرية .
6- محتوى البروتين : تؤدي الزيادة في المحتوى البروتيني الكلي إلى زيادة معدل الدفع الزهري و تكون الأزهار .
7- التغذية المائية و المعدنية بالصورة الجيدة لها دور مباشر في الدفع الزهري .
8- الحالة الفيزيولوجية للنبات الأم لها دور هام و فاعل في هذه المرحلة (نبات سليم و غير مصاب أو مجهد) .
9- العمر الفيزيولوجي : و بالتالي فإن البادرات الصغيرة لا تزهر :
   - لأنها لم تصل إلى العمر الفيزيولوجي المناسب للإزهار (ما زالت في طور الفتوة) .
   - إنخفاض حجم المجموع الورقي (مساحة الأوراق و عددها) اللازم لبدء الإزهار .

- ‘نخفاض نسبة المحتوى الكيماوي (سكريات و بروتينات .....) .

2- العوامل البيئية :

1- الضوء :

يؤثر الضوء بشكل مباشر في عملية التركيب الضوئي و تراكم السكريات و بالتالي في الدفع الزهري و نشوء الأزهار .

وبشكل عام تختلف الشدة الضوئية:

- من مكان إلى آخر (باختلاف منطقة الزراعة) .
- كذلك ضمن الشجرة الواحدة حيث تحصل الأجزاء الخارجية و العليا من الشجرة على كمية إضاءة أكبر من الأجزاء السفلى و الداخلية .
- كما تؤثر طريقة الزراعة و الكثافة الزراعية و طريقة التربية المتبعة على الشدة الضوئية.

2- الرطوبة :

الأرضية أو الجوية حيث يؤدي زيادة معدل الهطول المطري إلى تثبيط الدفع الزهري لأن هذا العامل يزيد من طور النمو الخضري و يؤخر بالتالي من بلوغ الطور التكاثري .

يؤدي الري المنتظم بالصورة المثالية إلى بلوغ الطور التكاثري في الوقت المحدد .

3 - التربة :

يؤدي زيادة معدل التسميد النتروجيني إلى زيادة معدل النمو الخضري بينما يتم تثبيط النمو الخضري و تحريض الدفع الزهري عند خفض معدل التسميد النتروجيني.

الإزهار والتلقيح والإخصاب وعقد الثمار
Flowering , pollination , fertilization and fruit set

تطور الثمار Fruits development

تقسم مراحل تطور الثمرة إلى:

1- تنبيه تكوين أنسجة الثمرة Stimulation of fruit tissue formation
2- تطور ما قبل التلقيح Pre-pollination development
3- نمو ما بعد التلقيح After-pollination growth
4- النضج- البلوغ- الشيخوخة Maturity and senescence

1- التنبيه:

تنشأ الثمرة من خلال تنبيه المناشئ الزهرية والتي تتطور عادة ملازمة لتطور الزهرة، وترجع الزيادة في حجم الثمرة خلال مرحلة ما قبل التلقيح إلى انقسام الخلايا، أما في مرحلة ما بعد التلقيح فترجع الزيادة بالحجم إلى تمدد الخلايا.

تأتي المواد الغذائية والمنبهات اللازمة للنمو في مرحلة ما قبل التلقيح عن طريق الجسم الرئيسي للنبات. وبشكل عام تتكشف مناشئ الأسدية قبل مناشئ المبايض في الزهرة الكاملة ويعتقد أنهما مرتبطان ببعضهما حيث لوحظ أن إزالة الأسدية غير مكتملة النمو يؤثر تأثيراً عكسياً على نمو المبيض.

لوحظ أن مستخلصات المآبر تحتوي على الأوكسين وثبت أنه يمكن الاستعاضة عن إزالة المآبر بالمعاملة بالأوكسين.

2- التلقيح:Pollination

تعتبر هذه المرحلة من العمليات الحرجة والهامة في تكون ونمو وتطور ثمرة الفاكهة، ولعملية التلقيح وظيفتين منفصلتين:

1- تنبيه العمليات الفيزيولوجية المرتبطة بعقد الثمار وتثبيط تساقط الأزهار والثمار.
2- إمداد الأعراس المذكرة اللازمة لعملية الإخصاب.

ولتأكيد أن العمليتين منفصلتين يتم استخدام حبوب لقاح ميتة وهذا أدى إلى عقد الثمار إلا أن عملية الإخصاب كانت مستحيلة.

تقوم حبوب اللقاح بوظيفة مركبة حيث ثبت بالتجربة أن المستخلص المائي لحبوب اللقاح يعمل على عقد الثمار نتيجة احتواء المستخلص على الأوكسين ولكن الكمية الضئيلة من الأوكسين المتواجد في حبوب اللقاح والتي تسقط على الميسم لا يمكن اعتمادها كمصدر أساسي للأوكسين الفعلي الضروري للعقد، وهنا يبدو أن حبوب اللقاح تقوم بوظيفة مركبة حيث أنها :

1- تعمل كأنزيم منشط لمبادئ الأوكسين (التربتوفان) حيث تنشط تحويل التربيتوفان إلى أكسين.
2- أو أنها تعمل كعامل منشط للأوكسين الموجود أصلاً.

وحتى إذا ما تمت عملية التلقيح فإن عملية الإخصاب لا يشترط أن تتم، حيث لا تنبت حبوب اللقاح أحياناً، وحتى وإن نبتت فقد لا تخترق الأنبوبة اللقاحية الميسم ولا تصل إلى المبيض.

ويعتمد إنبات حبوب اللقاح على:

1- وجود وسط أوسموزي مناسب، ويتم تنشيطها عن طريق توفر مواد غير عضوية معينة مثل كبريتات المنجنيز وعناصر الكالسيوم والبورون.
2- وجود مواد تعمل بطريقة كيماوية معينة تساعد على نمو أنبوبة اللقاح حيث لوحظ في تجربة بسيطة أن وضع ميسم زهرة على بيئة آجار تحتوي على السكر والبورون وأحيط الميسم بحلقة من حبوب اللقاح موضوعة على بعد معين منه أدى إلى نمو جميع أنابيب اللقاح باتجاه الميسم.

وإذا كان نمو الأنبوبة اللقاحية بطيء جداً فإن ذلك سوف يؤدي إلى سقوط الميسم وربما سقوط كامل الزهرة.

إن تأثير عملية التلقيح على عقد الثمار وكذلك تأثير البذور المتكونة على نمو الثمرة يجعل التلقيح عملية هامة جداً في إنتاج الكثير من المحاصيل الثمرية، ففي التفاح والأجاص حيث يمنع عدم التوافق الوراثي من التلقيح الذاتي داخل نفس السلالة وبالتالي فإن وجود أكثر من ملقح بحيث يتميز كل ملقح بوجود حبوب لقاح خصبة يصبح ضرورياً لتأمين إتمام عملية التلقيح (عن طريق وسيط حشري غالباً).

و عموماً تقوم عملية التلقيح بعدة وظائف:

1. عقد الثمار.
2. الإخصاب.
3. نمو أنسجة الثمرة، حيث لوحظ في نخيل البلح (وهو نبات ثنائي الجنس) أن إضافة إلى دور حبوب اللقاح بوظيفة عقد الثمار والإخصاب فإن لها دوراً هاماً جداً في نمو نسيج ثمرة البلح، وفي حجم الثمرة وموعد نضجها. يعرف هذا الدور الخاص جداً لحبوب اللقاح باسم ميتاكسينا Metaxenia.

3- تطور ما بعد الإخصاب Post fertilization development

يدخل النبات عقب عملية الإخصاب في مرحلة نشاط فيزيولوجي أقصاها بعد مرحلة إنبات حبوب اللقاح مباشرة، وبهذه المرحلة يصبح البذور داخل الثمار وهي مصدر المنبهات والمواد الغذائية وفي كثير من الثمار ينشأ ارتباط مباشر أو علاقة وثيقة بين وزن الثمرة وعدد البذور فيها.

إن تأثير البذور في تطور الثمار يتم عن طريق مواد كيميائية معينة ومثال على ذلك فإن مستخلص البذور غير تامة النضج يمكنه تنبيه نمو الثمار غير الملقحة.

إضافة إلى ذلك هناك علاقة مباشرة بين التغيرات الفيزيولوجية التي تحدث في الثمرة ووجود منظمات النمو حيث لوحظ أن مستوى الأوكسينات يصل إلى معدل منخفض جداً في وقت التساقط خاصة عند حدوث التساقط الطبيعي للثمار والذي يحدث عادة للثمار المتطورة جزئياً ويعرف هذا التساقط بستانياً باسم تساقط حزيران.
إضافة إلى دور الأوكسين بشكل مباشر في عقد الثمار ونموها وتطورها فأحياناً تشترك هرمونات نمو نباتية أخرى في نمو وتطور الثمار، حيث لوحظ وجود قمتين لنمو ثمرة العنب:

1- ترتبط القمة الأولى بزيادة معدل إنتاج الأوكسين.
2- ترتبط القمة الثانية بزيادة التمثيل الحيوي للجبرلين.

إضافة إلى ذلك فإن هرمون الستوكينين له دور مباشر وهام في مرحلة انقسام الخلايا، وهذه المرحلة ضرورية وهامة من أجل زيادة حجم الثمرة في مرحلة هامة من مراحل نمو وتطور الثمار يعقبها دور الأوكسين والجبرلين في المراحل التالية للنمو والتطور الثمري.
ومن الاستخدامات التطبيقية لهرمونات النمو النباتية أن استخدام هرمون الجبرلين بتركيز 20 جزء بالمليون أدى إلى مضاعفة حجم ثمار عنب المائدة المعد للتصنيع من صنف "Thompson seedless".

4- التغذية ونمو الثمار Nutrition and fruit growth

على الرغم من أن التحكم المركزي في نمو الثمرة يتركز أساساً في البذور إلا أن المواد الخام اللازمة لتطورها يأتي من أجزاء النبات الأخرى، وعلى ذلك فإن ظروف الرطوبة والتغذية تؤثر بشكل مباشر على حجم الثمرة، حيث لوحظ أنه لإنتاج ثمرة تفاح واحدة يلزم على الأقل وجود 40 ورقة على شجرة التفاح البالغة، وإذا اختلت هذه النسبة 40:1 نتيجة الحمل الزائد والعقد المرتفع للثمار فإن حجم الثمرة الواحدة سيقل، وكذلك مواصفاتها النوعية، ومن هنا تأتي أهمية عملية الخف.

5- النضج Maturity

تعتبر مرحلة الكليماكتريك من العمليات الفيزيولوجية النهائية التي تدل على نهاية مرحلة البلوغ والنضج وبدء شيخوخة الثمار حيث تتميز بارتفاع حاد ومفاجئ في معدل تنفس الثمار وتحدث تلقائياً بدون مؤثر خارجي، ثم يعود معدل التنفس إلى ما كان عليه (أو أقل مما كان عليه) قبل الوصول إلى هذه المرحلة.
ترتبط مرحلة نضج الثمار مع عدة تغيرات مثل تغير اللون حيث تكتسب الثمار اللون المميز للصنف كذلك تتحول المواد المعقدة إلى مواد بسيطة ويتم هذا التحول مباشرة بعد هذا الارتفاع المفاجئ بعملية التنفس وبدء الهدم (كما في التفاح والكمثرى والموز).
تتغير مدة ودرجة استمرار ذروة التنفس فقد تكون مدة قصيرة كما في الأفوغادو أو طويلة كما في التفاح.
تحدث عدة تغيرات فيزيولوجية أثناء هذا الارتفاع بمعدل التنفس:
*- تنخفض درجة حموضة محلول السيتوبلاسم وتزيد معدل النفاذية في الأغشية الخلوية وبالتالي ينتقل سكر الفركتوز المتراكم سابقاً في الفجوات إلى داخل السيتوبلاسم ويصبح مادة مناسبة لارتفاع معدل التنفس.
*- هناك دور هام لمركبات الطاقة في السيتوبلاسم حيث يتم تخزين جزء من الطاقة المنطلقة بعملية التنفس تساعد في تحول ADP إلى ATP وذلك بإضافة جزيء فوسفات إلى الـ ADP ثم يتم بعد ذلك تكسير هذه الرابطة لإطلاق الطاقة التي تستخدم في عمليات التمثيل المختلفة، وعلى ذلك يعتقد أنه خلال بلوغ الثمار يزيد حجم الخلايا مع زيادة معدل التمثيل البروتيني ويطرأ نقص في كمية ADP ولكن مع إتمام عملية البلوغ الثمري تتزايد كمية ADP ويزيد معدل التنفس.
وجد أن إضافة ADP إلى أنسجة ثمار غير بالغة تسبب في زيادة معدل التنفس، إلا أنه مع اكتمال البلوغ يقل هذا التأثير حتى يفقد تماماً عند حدوث هذا الارتفاع الحاد المفاجئ في شدة التنفس.
*- لوحظ ارتفاع معدل RNA في الثمار يعقبه زيادة في الأنزيمات (أنزيمات التمثيل Synthetase وأنزيمات التحلل Hydrolases وأنزيمات الأكسدة Oxidases).

وبالتالي تمر ثمرة الفاكهة بعدة مراحل من بدء تكوينها وحتى تمام النضج:

1- مرحلة عقد الثمار: Fruit set stage

حيث تتحول الزهرة إلى ثمرة صغيرة وذلك بعد التلقيح والإخصاب ويترافق ذلك مع ذبول باقي أجزاء الزهرة وتساقط البتلات ومعظم الأجزاء الزهرية الأخرى.

2- مرحلة نمو الثمار: Fruit growth stage

حيث يبدأ المبيض بالنمو بعد تمام العقد وذلك لتكوين الثمرة، وعادة ما يتم النمو عن طريق نمو أنسجة المبيض والتي تنشط بعد التلقيح ويتكون الجنين والإندوسبيرم، أما زيادة الثمرة بالحجم فيكون نتيجة عدة عوامل حيث تمر الثمرة بعدة أطوار تكون محصلتها تكوين الثمرة الناضجة المميزة للصنف من حيث اللون والنكهة والرائحة وتشمل هذه الأطوار:

أ- طور الانقسام الخلوي: Cell division phase

يتميز هذا الطور بارتفاع معدل نشاط الخلايا حيث تنقسم بصورة مستمرة، كذلك يتميز بارتفاع معدل التنفس والهدم في الخلايا، ويختلف طول الفترة التي يستغرقها هذا الطور من نوع نباتي إلى آخر، ففي ثمار الفريز والأجاص قد يستمر حتى اكتمال النمو.

ب- طور الاستطالة الخلوية: Cell elongation phase

وفي هذا الطور تتحول الخلايا الميرستيمية من ميرستيمات نشطة إلى نسيج بارانشيمي، ويزيد حجم الخلايا نتيجة تراكم السكر والماء في الفجوات العصارية، وتتصلب جدر الخلايا نتيجة تراكم وترسب المواد البكتينية و تصل الثمار بنهاية هذا الطور إلى الحجم النهائي والمميز للصنف.

3- مرحلة اكتمال النمو: Growth stage

يكتمل حجم الثمرة ولا تلاحظ تغيرات ملحوظة في الحجم بعد ذلك يكتمل التكوين الداخلي للثمرة من حيث السكريات-النشاء-الأحماض....

ملاحظة: (في بعض الثمار يمكن أن تفصل الثمرة عن الشجرة بعد انتهاء هذا الطور ويمكن للثمرة أن تستمر بالنضج بحالة طبيعية كما لو كانت على النبات الأم، كما في الموز)

4- مرحلة النضج: Maturity stage

هي المرحلة التي تصبح فيها ثمرة الفاكهة صالحة للأكل بالصورة المميزة للصنف من حيث الشكل-الحجم-اللون-النكهة-الرائحة. وفي هذه المرحلة تكتسب الثمرة اللون المميز –يتحول النشاء إلى سكر- تقل نسبة المواد القابضة- يلين جدار الثمرة- تبقى الثمرة بحالة جيدة وتقوم بكافة العمليات الفيزيولوجية بحالة طبيعية.

5- مرحلة الشيخوخة: Scinesence stage

تقل فيه حيوية الخلايا، وتفقد الخلايا قدرتها على القيام بالعمليات الفيزيولوجية المختلفة، وفي نهاية هذا الطور تتحول الثمرة إلى مجموعة من الأنسجة اللينة غير الحية، وتتحلل محتوياتها من سكريات وأحماض إلى H_2O + CO_2 وتصبح عرضة للإصابة بالأمراض الفيزيولوجية.

تختلف ثمار الفاكهة بمراحل نموها: - Double sigmoid – Simple sigmoid.

1. ففي الحمضيات-التفاح-الفريز تسلك الثمار منحنى نمو ذو دورة واحدة Simple sigmoid

2. أما بعض الثمار الأخرى مثل الخوخ-الدراق-المشمش-العنب-الزيتون-التين فتسلك المنحنى ذو الدورتين Double sigmoid
3. وتجدر الإشارة هنا إلى أن هناك ثمار لبعض أشجار الفاكهة ذات النواة الحجرية ذات منحنى متعدد الدورات Multi sigmoid حيث يتوقف النمو في فترات تكوين الخلايا الحجرية.

ملاحظة:

يمكن استخدام بعض الهرمونات النباتية للتحكم في شكل منحني النمو، فمثلاً يمكن اختصار الدورة الثانية في نمو ثمار التين عن طريق المعاملة بالأوكسينات، ويؤدي ذلك إلى الإسراع من اكتمال نمو الثمار.

ملخص عام لمراحل تكون الثمار:

- نشوء وتكون البرعم الزهري Flower induction and formation
- التلقيح Pollination
- الإخصاب Fertilization
- المبيض ____ ثمرة Ovary_____ Fruit
- البويضة_____ بذرة Ovule _____ Seed
- غلاف البويضة___ غلاف البذرة Integument _____ Testa
- النوسيل____ النسيج المغذي Nucellus____ Perisperm

النواة الذكرية الأولى + النواتين القطبيتين _____ نسيج مغذي (أندوسبيرم 3 ن)

Sperm nuclei (1n) + 2 polar nuclei (2n) __Nutrition tissue (Endosperm)

النواة الذكرة الثانية + نواة البيضة _____ البضة الملقحة

Sperm nuclei (1n) + Egg nuclei (1n) _____ Zygote (2n)

البيضة الملقحة _____ جنين _____ نبات كامل.

Zygote (2n) ⟶ Embryo(2n) ⟶ Whole plant (2n)

التغيرات التي تحدث أثناء نمو ونضج الثمار:

1- التغيرات الطبيعية والكيماوية .
2- التغيرات المورفولوجية و الفيزيولوجية و التشريحية .

1- التغيرات الطبيعية و الكيماوية :

هناك العديد من التغيرات الطبيعية والكيماوية التي تحدث أثناء نمو وتطور ثمرة الفاكهة منها:

أولاً: التغيرات الطبيعية:

أ- تغير في الحجم: حيث يزيد حجم الثمار خلال مراحل النمو، والسبب الرئيسي لزيادة حجم الثمار هو عمليتي الانقسام والاستطالة وبالتالي يتأثر حجم الثمرة النهائية بعدد من العوامل المتعلقة بعمليات الخدمة وعوامل بيئية مثل:

أ- الرطوبة والري: حيث يؤدي توفر الماء بالصورة المثالية إلى تكوين ثمار عصيرية جيدة وذات حجم جيد، وعلى العكس تؤدي ظروف الجفاف إلى انخفاض معدل الانقسام والاستطالة وتكوين ثمار صغيرة.

ب- التسميد: من أهم العوامل التي تتحكم بحجم ثمرة الفاكهة وذلك خلال الأطوار المختلفة لنمو الشجرة (الخضري والزهري والثمري) فالنمو الخضري الجيد يؤدي إلى تكوين ثمار جيدة كبيرة الحجم، بينما تفقد الأشجار ذات النمو الخضري المتضرر قدرتها على الإزهار الجيد والعقد الجيد.

ومن الجدير بالذكر أنه يجب مراعاة نوعية السماد وكمية السماد المضاف بحسب كل مرحلة من مراحل نمو شجرة الفاكهة، وبشكل عام يؤدي عدم التسميد الجيد إلى تكوين ثمار صغيرة الحجم.

ج- درجة الحرارة: يؤدي الإجهاد الحراري (حرارة مرتفعة جداً أو منخفضة جداً عن الحد الأمثل) إلى تكوين ثمار صغيرة الحجم مقارنة مع الظروف الحرارية المثالية.

د- كمية الثمار على الأشجار: حيث كلما زاد عدد الثمار على الشجرة الواحدة كلما زاد معدل التنافس على الماء والغذاء وكلما أدى ذلك إلى تكوين ثمار صغيرة الحجم وبالتالي فإن الشروط المثالية هي التي تحقق توازن بين المجموع الخضري والمجموع الزهري والثمري.

ب- تغير في الوزن: تترافق الزيادة في الحجم في المراحل الأولى من نمو الثمرة (حيث يزيد معدل الانقسام والاستطالة) مع الزيادة في الوزن، أما في المراحل الأخيرة لنضج الثمار فترجع الزيادة في الوزن إلى مخزون الثمرة من الماء والمواد المختلفة المخزنة فيها.

جـ- تغير في الشكل: تحدث تغيرات ملحوظة في شكل الثمار خلال مراحل النمو المختلفة، فمثلاً تأخذ ثمار الأجاص الشكل الكروي في بداية العقد ومع تقدم النمو تكتسب الشكل الكمثري، كذلك في ثمار الموز حيث تكون في بداية العقد مثلثية الشكل ثم كروية ثم تكتسب الشكل المنحني في المراحل الأخيرة.

ثانياً: التغيرات الكيميائية:

يختلف التركيب الكيماوي لثمرة فاكهة عن ثمرة فاكهة أخرى بسبب اختلاف عوامل الوراثة والبيئة، ومن الهام جداً معرفة التركيب الكيماوي لثمرة الفاكهة لأنه يرتبط بصفات الثمرة حيث تؤثر السكريات والفينولات والأحماض على الطعم بينما تؤثر البكتينات على درجة الصلابة وتؤثر نوعية الأصبغة وتركيزها على اللون.
ويختلف التركيب الكيماوي لثمرة الفاكهة باختلاف مراحل نمو الثمرة، ومن أهم المكونات الكيماوية في الثمار:

1- الماء:Water

تحتوي معظم ثمار الفاكهة على أكثر من 75% ماء (حيث يبلغ المحتوى المائي 76% في الموز و90% في الفراولة و81% في العنب و89% في الليمون و85% في التفاح و89% في الخوخ و86% في الدراق و83% في الأجاص و85% في التفاح والمشمش).

ومن الجدير بالذكر أن المحتوى المائي يختلف إلى درجة كبيرة بحسب موعد جني الثمار (بعد النضج الكامل أو جمعها في مرحلة ما قبل النضج).

2- المواد الكربوهيدراتية Carbohydrates:

من أهم المواد الكيماوية بعد الماء، حيث تعتبر مصدراً للطاقة ومكسباً هاماً للطعم ولها دور في صلابة الثمار، وبشكل عام يتراوح تركيز السكريات في ثمار الفاكهة بين 2-25% (22% في الموز و8,4% في الفراولة و9,5% في الليمون و17% في العنب و14% في التفاح و15% في الكمثرى و13% في المشمش و10% في الخوخ و12,3% في الدراق).

وتشمل المواد الكربوهيدراتية على:

- السكريات الأحادية: ثلاثية (مثل ألدهايد جليسرين) – خماسية (زيلوز – رايبوز) – سداسية (جلوكوز وفركتوز).
- السكريات الثنائية (السكروز – المالتوز) والثلاثية (رافينوز)
- السكريات العديدة من عدد كبير من جزيئات السكر الأحادية (أهمها السداسية) مثل النشاء والسكر.
- مشتقات السكر مثل السكريات الكحولية – الأحماض السكرية – الإسترات والجلوكوزيدات.

وعادة ما تخزن المواد الكربوهيدراتية بصورة نشاء ويتحول إلى سكريات بسيطة أثناء النضج (وبشكل عام تتميز فاكهة المناطق الإستوائية بنسبة سكر أكثر من فاكهة المناطق المعتدلة) ويتم تحلل النشاء إلى مكوناته البسيطة نتيجة نشاط عدة أنزيمات مثل: (أنزيم الأميليز: α أمليز يحول النشاء إلى ديكسترين و β أمليز يحول النشاء إلى ديكسترين ومالتوز و أنزيم المالتيز: يحول المالتوز إلى جلوكوز).

وبشكل عام يزيد تركيز المواد السكرية في الثمار مع النضج نتيجة تحلل المواد المعقدة إلى مواد بسيطة.

3- الأحماض العضوية: Organic acids

مثل:الأحماض العضوية عديدة الكربوكسيل: (مثل حمض الستريك – حمض الماليك) و الأحماض السكرية(حمض الجلوكونيك والجالاكتونيك) و الأحماض الأمينية (حمض الجلوماتيك والأسبارتيك).

وتختلف نوعية الأحماض بحسب اختلاف نوع الثمرة حيث تحتوي ثمار الحمضيات على حمض الستريك، أما ثمار العنب فتحتوي على حمض الطرطريك، ويوجد حمض الماليك في ثمار التفاح والموز والدراق.

كذلك تختلف نسبة الحموضة بحسب اختلاف الثمار حيث تتراوح من 0,1-0,4% في ثمار المانجو ومن 0,2 – 0,3% في الموز و 0,7 – 1% في البرتقال وتصل إلى 7% في الليمون.

وعموماً يقل الطعم الحامض مع تطور نضج الثمرة ماعدا الثمار الحامضية كالليمون، وتجدر الإشارة هنا إلى انخفاض الحموضة ليس بالضرورة أن يترافق مع انخفاض كمية الحمض، فقد تبقى كمية الحمض ثابتة أو تزيد ولكن قد تترافق هذه الزيادة مع زيادة في تركيز السكر مما يؤدي إلى انخفاض معدل الحموضة.

تعتبر درجة الحلاوة والحموضة مؤشران هامان لتحديد موعد نضج الثمار وبالتالي جني المحصول، وأحياناً تستخدم نسبة السكر/الحمض كمؤشر هام لتحديد الموعد الأمثل للجني (كما في ثمار الحمضيات والعنب).

4- المواد البكتينية:Pectins

وحدات متعددة من حمض الجالاكتورينك ترتبط ببعضها بروابط جليكوزيدية ومجموعات ميثانول و يدخل بتركيبها مواد أخرى مثل الجالاكتوز – الزايلوز – الأرابينوز وتشمل حمض البكتيك (لا يحوي مجموعة ميثيل) – حمض البكتينيك والبكتين (كلاهما ذواب في الماء ويحوي مجموعات ميثيل) – البروبكتين (غير ذواب في الماء).

تلعب المواد البكتينية دوراً هاماً في تركيب الجدر الخلوية (إضافة إلى السللوز والهيمي سللوز) كذلك تدخل في تركيب الصفيحة الوسطى للخلية، وتختلف نسبة المواد البكتينية بحسب ثمرة الفاكهة حيث تصل إلى 30 – 35% في قشرة ثمار البرتقال والليمون و17% في التفاح.

وتزيد نسبة المواد البكتينية بالصورة غير الذوابة في الثمار غير الناضجة ومع تقدم تطور ونضج الثمرة تتحول المواد البكتينية إلى الصورة الذوابة مما يفقد الثمرة صلابتها ويكسبها الليونة المرغوبة.
تتحد المواد البكتينية أحياناً مع عنصر الكالسيوم وتكون بكتات الكالسيوم غير الذوابة في الماء والتي لها دور كبير في المحافظة على الصلابة.
تختلف سرعة تحلل المواد البكتينية أثناء النضج بحسب نشاط الأنزيمات المحللة مثل (البروتوبكتينيز: تحلل البروتوبكتين إلى حمض بكتينيك و بكتين ميثيل أستيراز: يحول حمض البكتينيك إلى حمض بكتيك) .
وإن النشاط الأنزيمي يزيد مع استمرار نضج الثمار، وهناك من يعتقد أن تركيز الأنزيم يبقى ثابتاً لا يتغير إنما يكون غير نشط وغير فعال في بداية العقد ويزيد نشاطه مع تطور الثمار ونضجها.
وهناك فريق آخر يعتقد أن الأنزيمات تكون مثبطة في بداية العقد نتيجة ارتباطها بمواد أخرى مثل الفينولات والتانينات ثم مع نضج الثمار تقل نسبة هذه المثبطات مما يزيد نشاط الأنزيم.

5- الصبغات النباتية:Plant pigment

ويعزى إليها اللون المميز لثمرة الفاكهة، وتقسم إلى:

1- صبغات غير ذوابة في الماء: وتشمل:

- الكلوروفيل (Clorophylh): المسؤول عن اللون الأخضر والموجود في البلاستيدات الخضراء، ويقل تركيزه مع تقدم الثمار نحو النضج الكامل بينما يزيد نشاط الأنزيم المحلل له (كلوروفيليز).
- الكاروتين (Carotenoids): المسؤول عن اللون الأصفر والبرتقالي، ويوجد في البلاستيدات الملونة، ويزيد تركيزه مع تقدم الثمار نحو النضج الكامل وتضم أصبغة الكاروتين: α – β كاروتين، والزانثوفيل Xanthophylls، والليكوبين.

2- صبغات ذوابة في الماء: وتشمل:

- الفلافونويدس Flavonoids: في الفجوات الخلوية ويتوقف اللون الذي تعطيه هذه الصبغة على درجة تركيزها ودرجة الحموضة في العصير الخلوي.
- الأنثوسيانين Anthocyanin: يعزى إليها اللون الأحمر والأحمر كما في ثمار العنب-التفاح-الخوخ-الدراق-المشمش-الرمان-الفريز. ويختلف لونها حسب درجة الحموضة حيث تكتسب اللون الأحمر في الوسط الحامضي واللون البنفسجي بالوسط المتعادل واللون الأزرق بالوسط القلوي.

العوامل المؤثرة في تلون الثمار في شجرة الفاكهة:

1- **درجة الحرارة:** حيث يمنع الانخفاض الشديد في درجة الحرارة من تكوين اللون بالشكل النهائي، بينما يؤدي توفر الحرارة المثلى للنمو والإزهار والعقد والنضج إلى تلون الثمرة بالشكل المثالي.
كذلك هناك دور هام للتفاوت الحراري بين الليل والنهار حيث يشجع هذا التفاوت على اكتمال تكوين اللون.

2- **الضوء:** يساعد على ظهور الألوان المميزة للثمار عند النضج ويلاحظ أن الثمار الموجودة في المحيط الخارجي للشجرة قد تلونت واكتسبت اللون المميز للصنف بصورة أفضل من الثمار الموجودة في المحيط الداخلي للشجرة.

3- **التسميد والتغذية:** وذلك من حيث التوازن بين كمية السماد ونوعه مع مرحلة نمو الشجرة فمثلاً تؤدي زيادة التسميد النتروجيني والإفراط فيه إلى زيادة غير مرغوبة في معدل النمو الخضري وبالتالي

حجب كمية كبيرة من الضوء الضروري لتلون الثمار، كذلك لوحظ أن السماد البوتاسي له دور هام وفاعل في تلون معظم ثمار أشجار الفاكهة (مثل الدراق والتفاح).

4- عدد الأوراق على الشجرة (قوة المجموع الخضري):

هناك عدد معين من الأوراق يعتبر ضرورياً لنمو الثمار فمثلاً كل ثمرة تفاح تحتاج إلى 20-30 ورقة كاملة النمو ليكتمل نموها وتتلون بالصورة الجيدة، ويحتاج عنقود عنب وزنه 600غ إلى 22-26 ورقة ليتكون ويتلون بالشكل الجيد.

6- المركبات الفينولية:

عديدة جداً ومتعددة الوظائف، فمنها له وظيفة دفاعية ضد الأمراض، وبعضها مسؤول عن اللون أو الطعم و تحتوي الثمار على كمية كبيرة من المركبات الفينولية ويقل تركيز هذه المركبات مع تقدم الثمار بالنضج. من أهم المواد الفينولية هي التانينات المسؤولة عن الطعم القابض في الثمار غير الناضجة ويزيد تركيز التانينات في قشرة الثمار.تتأكسد المواد الفينولية بفعل أنزيم بولي فينول أكسيديز، ويتراوح تركيزها في ثمار التفاح والعنب والبلح والخوخ والأجاص حوالي 0,5-1غ/100غ وزن رطب، وتصل في بعض الثمار مثل الكاكي إلى 1غ/غ وزن جاف.

يختلف نوع المادة الفينولية بحسب نوع الثمرة حيث يوجد حمض الكلوروجينيك Chlorogenic acid في التفاح والأجاص وحمض الكوينيك Quinic في الخوخ والنارنجين Naringin في قشور الحمضيات.

7- البروتينات: Proteins

تعتبر ثمار الفاكهة بصورة عامة فقيرة في محتواها من البروتين حيث لاتتجاوز نسبة البروتين في معظم ثمار الفاكهة بنسبة 1,1% (0,6% في العنب والخوخ – 0,7% في الليمون والأجاص والفريز – 1,1% في المشمش والموز – 0,2 في التفاح) وتعتبر ثمار الزيتون مصدراً غنياً بالبروتين.

8- الدهون: Fats

مواد الطاقة، وتدخل في تكوين الأغشية الخلوية، وتختلف نسبتها في ثمار الفاكهة حيث تتراوح من 12-20% في ثمار الزيتون بينما لا تزيد عن 1% في معظم ثمار الفاكهة (0,2% في البرتقال – الليمون – الموز – المشمش – الدراق – 0,3% في العنب – 0,1% في الخوخ – 0,4% في الأجاص) و تتكون الدهون من اتحاد أحماض دهنية مع الجليسرول و تتحلل بفعل أنزيم الليباز. وتجدر الإشارة إلى دور الشموع (مواد تشبه الدهن باحتوائها على أحماض دهنية ولكن تحوي كحولات بدلاً من الجليسرين) في تكوين قشور بعض الثمار، ويعزى لها دور التقليل من معدل فقد الماء بالنتح، وتعطي الثمار البريق واللمعان ويزيد سماكة الطبقة الشمعية مع تقدم الثمار بالنضج.

9- الفيتامينات: Vitamins

ثمار الفاكهة مصدر هام للفيتامينات ويختلف نوع الفيتامين وتركيزه بحسب نوع الثمرة وبحسب درجة نضجها:

- حمض الأسكوربيك Ascorbic acid: (فيتامين جـ) يوجد بثمار الحمضيات-الفريز-المشمش-التفاح-الموزو يصل تركيزه إلى 40-55مغ/100غ في الحمضيات و10مغ/100غ في التفاح والعنب والخوخ و20مغ/100غ في الموز، ويتأثر الفيتامين بالحرارة المرتفعة والرطوبة المنخفضة والأضرار الميكانيكية.
- فيتامين أ: في ثمار العنب والمشمش والخوخ (أقل من 5000 وحدة دولية/100غ).

10- الأملاح المعدنية: Minerals
مثل الصوديوم-المغنسيوم-الفوسفور-البوتاسيوم-الكالسيوم-الحديد، وتحوي معظم الثمار على أكثر من 200مغ/100غ وزن رطب.

11- المركبات الطيارة:
يعزى إليها رائحة الثمار، وهي تشمل التربينات-الإسترات-الكحولات-الألدهيدات-الكيتونات-الأحماض، ويزيد إنتاجها في الثمار مع تقدم الثمار في النضج.
تحوي ثمار الفاكهة أكثر من 100 مركب طيار، لكن بعضها أو بعض منها هو المسؤول عن الرائحة بشكل مباشر مثل الستيرال في الليمون والفالنسين في البرتقال واليوجينول في الموز.

2- التغيرات المورفولوجية و الفيزيولوجية و التشريحية :
1- زيادة معدل تراكم السكريات في المبيض.
2- تراكم النشاء في الثمار غير الناضجة (يزيد معدل التراكم من الطبقات الخارجية وباتجاه الطبقات الداخلية في الثمرة)
3- تراكم السكريات البسيطة في الثمار الناضجة (بدءاً من الطبقات الداخلية وباتجاه الطبقات الخارجية للثمرة)
4- انخفاض تركيز الأحماض
5- ارتفاع معدل التنفس
6- يختلف تركيز بعض المواد الكيميائية الأخرى (مثل التانينات- البكتينات- المواد القابضة) زيادة أو نقصاً بحسب الصنف النباتي.
7- خلال نضج الثمار يزيد تركيز السكروز على حساب الفركتوز وهذا الأخير يزيد على حساب تركيز الجلوكوز.
8- زيادة تركيز الكاروتين والأنثوسيانين
9- تتحول مركبات البرو-بكتين إلى بكتين (يتميز بقابلية عالية للذوبان مقارنة مع مركبات البرو-بكتين)
10- تفقد الثمار صلابتها شيئاً فشيئاً مع الاقتراب من النضج.
11- زيادة تركيز المركبات العطرية
12- ظهور الخصائص المكسبة للنكهة والرائحة و اللون المميز للصنف .

العوامل المؤثرة في نمو الثمار:
1- عدد البذور ودرجة تطورها.
2- شروط التغذية.

1- عدد البذور:
- يؤدي انخفاض عدد البذور/الثمرة إلى زيادة معدل التساقط.
- تؤثر البذور في الشكل النهائي للثمرة.
- تؤثر البذور في التركيب الكيميائي للثمرة حيث أن زيادة محتوى المادة الجافة في البذور يؤدي إلى زيادة حجم الثمرة.

- تؤثر البذور في نضج الثمار حيث الثمار الطبيعية الناتجة عن عملية تلقيح وإخصاب تنضج قبل الثمار البكرية مثال على ذلك في الأجاص.

2- التغذية:

2- نسبة C/N وتحوي الثمار الموجودة على النبات الأم تركيزاً أعلى من C و N مقارنة مع الثمار المتساقطة.

3- يؤدي انخفاض تركيز C و N إلى زيادة معدل التناقص.

4- يؤدي زيادة حجم المجموع الخضري إلى:

- زيادة معدل تراكم السكر
- زيادة حجم الثمار
- تحسين نوعية الثمار وذلك لزيادة تركيز الأصبغة.

ويمكن تحديد علامات النضج (مقاييس النضج) في بعض ثمار الفاكهة:
(Kader *et al.*,1985)

1- درجة الصلابة: تقل درجة الصلابة Firmness مع اكتمال النمو والنضج، وتعتبر مؤشراً هاماً لتحديد موعد الجني وقطف الثمار في معظم ثمار الفاكهة مثل التفاح-الكمثرى-الدراق.
تختلف درجة الصلابة بحسب الصنف والنوع والظروف البيئية وعمليات الخدمة.

2- عدد الأيام من التزهير الكامل: وغالباً ما يعتبر هذا المؤشر ثابتاً للصنف الواحد مع استثناء حدوث اختلافات في درجات الحرارة أثناء نمو الثمار: التفاح والكمثرى..

3- اكتساب الثمرة اللون و الحجم المميز للصنف، ويتأثر اللون أيضاً بالظروف البيئية خاصة الإضاءة والحرارة وكذلك بمدى الاهتمام بعمليات الخدمة كالري والتسميد والتقليم.

4- تقدير نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية، ويعتبر مؤشراً هاماً لتحديد درجة نضج الثمرة مثل العنب والحمضيات و التفاحيات.

5- حجم الثمار: يزيد حجم الثمار تدريجياً مع نمو الثمرة حتى تكتسب حجمها النهائي، ويتأثر الحجم بعمليات الخدمة خاصة الري والتسميد، كذلك يتأثر بعدد الثمار الموجودة على الشجرة، وبالتوازن ما بين المجموع الخضري والمجموع الزهري والثمري.

6- نسبة الحموضة: تقل درجة الحموضة مع اقتراب الثمار من النضج الكامل.

7- النشاء: مع نضج الثمار يتحول النشاء إلى سكريات.

8- لون البذور: يتغير لون البذور مع اكتمال نضج الثمرة ويكتسب اللون المميز للصنف، فمثلاً يتغير لون بذور التفاح والأجاص من الأخضر إلى البني الغامق عند النضج.

9- سهولة فصل الثمرة عن النبات الأم مع الاقتراب من النضج.

10- نسبة الزيت مؤشر هام لنضج ثمار الزيتون حيث تزيد مع نضج الثمرة.

11- كمية العصير كما في الحمضيات و العنب و الرمان .

12- تزيد نسبة السكر/الحمض مع نضج الثمار كما في العنب و البرتقال .

13- تكتسب الثمرة النكهة والرائحة المميزة للصنف.

14-سهولة فصل النواة عن اللب في الثمار الناضجة.
15-يزداد معدل إنتاج الإيتلين وتزداد سرعة التنفس.
16- نسبة التانينات: البلح- الكاكي.
17- اللون الداخلي للثمرة: الثمار ذات النواة الحجرية (الخوخ- المشمش- الدراق).
18-متوسط وحدات الحرارة خلال موسم النمو: التفاح والكمثرى.
19-تكوين طبقة الانفصال: التفاح
20-تركيز غاز الإيتلين- إنتاج CO_2: التفاح- الكمثرى.

تأثير هرمونات النمو النباتية في نمو ونضج الثمار في أشجار الفاكهة :

يعتبر غاز الإيتلين هو هرمون النضج الثمري حيث تؤدي زيادة تركيز الإيتلين في أنسجة الثمرة إلى:
1- زيادة معدل التنفس والهدم في الثمار حيث تتحول المركبات المعقدة إلى مواد بسيطة.
2- زيادة معدل تركيز الأصبغة المسؤولة عن اللون النهائي المميز للصنف.
3- زيادة معدل تركيز المواد العطرية المسؤولة عن الرائحة.

وبشكل عام يختلف تأثير المعاملة بالإيتلين بحسب:

1- النوع النباتي: تشير جميع الدراسات إلى أن إنتاج الإيتلين يختلف بحسب نوعية ثمرة الفاكهة حيث تنتج الثمار الكليماكتيرية (مثل التفاح-الخوخ-الموز-المانجو) معدل أكبر من غاز الإيتلين مقارنة مع الثمار غير الكليماكتيرية (مثل العنب-الأناناس-الحمضيات).
2- معدل إنتاج الإيتلين: والذي يتوقف أساساً على النوع النباتي (الناحية الوراثية) وطبيعة الثمرة ومراحل نموها.
3- طبيعة المعاملة بالإيتلين: تختلف الاستجابة للمعاملة بالإيتلين بحسب التركيز المستخدم- مدة المعاملة- زمن إضافة الهرمونات أو مرحلة نمو ثمرة الفاكهة وعدد مرات المعاملة، حيث لوحظ مثلاً أن:
أ- *- إضافة الإيتلين بعد اكتمال طور النمو يسرع من الوصول إلى أقصى درجة للتنفس والهدم (إسراع حاد في معدل التنفس).
*- أما إذا أضيف بعد وصول الثمار طبيعياً إلى ذروة معدل التنفس المفروض فإن الإيتلين لن يكون له أي دور يذكر على تنفس الثمار وبالتالي على جميع عمليات الهدم.
ب- وجد في معاملة بعض الثمار (مثل الحمضيات) أن الإيتلين له تأثير وقتي محدود حيث يزيد سرعة التنفس مباشرة بعد المعاملة ثم يعود مستوى التنفس إلى ما كان عليه تماماً قبل المعاملة بالإيتلين.
4- درجة اكتمال نضج الثمرة (مدة المعاملة)
5- تركيز الإيتلين المستخدم
6- عدد مرات المعاملة
7- طول مدة تعرض الثمار للإتيلين
8- درجة الحرارة والرطوبة النسبية حول الثمار المعاملة وكذلك التهوية.

وتشير العديد من الدراسات أن الإيتلين ينتج طبيعياً في الثمار ويتوقف إنتاجه على عدة عوامل:

1- **العمر الفيزيولوجي Physiological age:** حيث يزيد معدل إنتاج الإيتلين مع نضج الثمار، وتشير العديد من الدراسات إلى عدم وجود الإيتلين في الثمار غير الناضجة نتيجة عدم وجود الأنزيمات المخلقة للهرمون Ethelyne synsethisers.

2- **درجة الحرارة Temperature:** يزيد معدل إنتاج الإيتلين مع ارتفاع درجة الحرارة إلى حد معين (الدرجة الحرجة) ثم يقل أو ينعدم بعد هذه الدرجة، وقد لوحظ أن أنزيمات تخليق الإيتلين تكون نشطة وفعالة عند درجات الحرارة المقاربة لـ 35 ْم بينما ينعدم نشاط الأنزيم عند درجات الحرارة المنخفضة وهذا ما يفسر انخفاض تركيز الإيتلين في الثمار المتضررة بالبرودة.

3- **التبادل الغازي Gas exchange:** خاصة الأكسجين وثاني أكسيد الكربون حيث أن وجود الأكسجين ضروري لإنتاج الإيتلين وكلما قل تركيز الغاز حول محيط الشجرة كلما انخفض معدل إنتاج الإيتلين وعلى العكس فإن وجود غاز ثاني أكسيد الكربون حول الثمار يؤدي إلى انخفاض معدل إنتاج الإيتلين.

4- **الضوء Light:** حيث كلما زادت كثافة الزراعة و عدد الثمار على الشجرة الواحدة زاد حجم المجموع الخضري كلما أدى ذلك إلى انخفاض معدل إنتاج الإيتلين، ومن الجدير بالذكر أن تأثير الكثافة العالية لا ينعكس فقط على انخفاض تركيز الضوء بل أيضاً على التبادل الغازي.

5- **الإصابات والأضرار Injuries:** حيث تؤدي الأضرار الميكانيكية والإصابات المرضية والأمراض الفيزيولوجية والإجهادات البيئية إلى خلل في معدل إنتاج الإيتلين الطبيعي، ولكن بشكل عام يزيد معدل إنتاج الإيتلين في الثمار المتضررة.

6- **تركيز المثبطات**: تعمل بعض المثبطات (مثل نترات الفضة- أمينو فينيل- - ثيو سلفات الفضة) على منع تحول المركب الوسطي أمينو سيكلو بروبان حمض الكربوكسيليك إلى إيتلين وبالتالي تقلل من معدل إنتاج الإيتلين وبشكل عام استخدم الإيتلين لإنضاج العديد من الثمار مثل التفاح والموز والمانجو.

وعلى الرغم من المزايا العديدة التي يحققها الإيتلين في التبكير بالنضج أو في توحيد زمن الحصاد إلا أن المعاملة به لها عدة سلبيات مثل:

- الشيخوخة المبكرة للثمار.
- انخفاض قدرة الثمار على التخزين الطويل فيما بعد الحصاد وببعض الأحيان لن يكون هناك أي إمكانية للتخزين.
- يساعد على ظهور بعض الأمراض الفيزولوجية.
- يساعد على زيادة معدل تكون طبقة الانفصال وبالتالي زيادة معدل تساقط الأوراق والأزهار والثمار.

الفصل الثالث
فيزيولوجيا التساقط

1- تساقط الأوراق :

التساقط Abscission

يشير مصطلح التساقط إلى انفصال بعض الأعضاء النباتية عن النبات الأم بما يشمل من هدم للجدر الخلوية في أماكن حدوث الانفصال وزيادة نشاط الأنزيمات (أنزيمات الإماهة) المحللة لهذه المناطق أو الطبقات من أجل فصل عضو معين عن النبات الأم.

منطقة التساقط (الانفصال) Abscission zones

هناك أمثلة كثيرة على حدوث التساقط سواء في أشجار الفاكهة المستديمة الخضرة أو متساقطة الأوراق حيث يشمل التساقط انفصال الثمار – الأوراق – البراعم – التراكيب الزهرية (سبلات - بتلات – مآبر – مياسم .....) ويمكن الافتراض نظرياً أن التساقط قد يشمل أي جزء هوائي في الشجرة "Arial parts" .

تختلف الأعضاء النباتية عن بعضها البعض بالحجم (مثلاً الاختلاف بين حجم ووزن الثمرة عن حجم ووزن الأوراق) وبالتالي تختلف سرعة حدوث التساقط.

وعموماً يطلق مصطلح طبقة الانفصال أو طبقات الانفصال"Separation layers" على طبقة الخلايا التي تمزقت فيها الجدر الخلوية Cell wall breakdown.

هناك بعض النباتات التي يحدث فيها التساقط دون أن تتكون طبقات الانفصال وهذه خاصية وراثية تميز أنواع نباتية عن أنواع أخرى (مثل بعض الطافرات المحدثة من نباتات الخضار).

من الناحية التشريحية لا يوجد خصائص مميزة لخلايا طبقة الانفصال هي نفس تركيب باقي خلايا النسيج بشكل عام ولكن تتميز بأنها أكثر رقة "Subtle" ولكن الأمر الثابت عند تكوني طبقات الانفصال هو حدوث هدم للجدر الخلوية في منطقة الانفصال والمناطق المجاورة (طبقة خلايا من 5- 50 خلية عرضياً بحسب الصنف والنوع).

بشكل عام تتميز الخلايا في طبقة الانفصال :

1- أنها أصغر حجماً من باقي الخلايا في النسج المجاورة ويعزى ذلك إلى انخفاض معدل الاستطالة الخلوية "Cell enlargement" و انخفاض معدل النشاط المريستيمي "Meristematic activity".
2- زيادة معدل الانقسام الخلوي في مناطق الانفصال ويبدو أن هذه الخاصية شرط أساسي لتبدأ الخلايا بالاستجابة لحدوث التساقط.
3- انخفاض محتوى الليغنين والألياف.
4- زيادة تطور الخلايا الكولانشيمية، حيث لوحظ أن الجدر الخلوية الملجننة كانت مقاومتها مرتفعة للإماهة من قبل الأنزيمات Enzymatic hydrolysis بنفس الوقت نجد الجدر الكولانشيمية قد تهدمت بفعل هذه الأنزيمات.
5- زيادة كثافة السيتوبلاسم في خلايا طبقات الانفصال.
6- زيادة معدل وسرعة التنفس في خلايا منطقة التساقط عنه في الخلايا الأخرى والذي يترافق مع زيادة معدل تخليق طلائع الحمض النووي RNA والبروتين وبالتالي فقد لوحظ أن استخدام أي مثبط لعمليات التنفس أو لعمليات تخليق البروتين أو RNA يكون لها دور مباشر في تثبيط تكوين طبقة الانفصال.
7- زيادة معدل تخليق mRNA

8- ارتفاع معدل الاستقلاب Metabolism rate
9- انخفاض محتوى البكتين وحمض البكتيك.
10- تشير الفحوص المجهرية الدقيقة أنه يحدث إنحلال للصفيحة الوسطى والجدر الخلوية الأولية هذا الانحلال لا يشمل الخلايا البارانشيمية فقط بل يشمل على كامل الخلايا في منطقة الانفصال بغض النظر عن طبيعتها التشريحية ويقل معدل الضرر بعد طبقة الانفصال فالطبقة التي تليها فالتي تليها.
11- زيادة النشاط الأنزيمي المسؤول عن إماهة الجدر الخلوية وهدمها.
12- تستبقي الجدر الخلوية في طبقة الانفصال خاصيتها الهامة في الاصطفاء والنفاذية Selective permeability.
13- المحافظة على امتلاء الخلية هو أمر هام جداً في ميكانيكية حدوث الانفصال ولكن يحدث تهتك Cellular collapse عام في كامل خلايا طبقة الانفصال مع انتهاء التساقط .

بشكل عام ومن أجل دراسة خصائص منطقة التساقط يجب نزع خلايا من طبقة الانفصال ومن المناطق المجاورة وبالتالي يتم دراسة الفعل المثبط من قبل الأعضاء الأخرى على مناطق الانفصال وهنا تجدر الإشارة إلى أنه في مثل هذا النوع من الدراسات يمكن إضافة الإيتلين الذي يسرع من عملية التساقط (1-50 ppm وذلك بحسب النوع النباتي).

تحريض التساقط Induction of abscission

هناك العديد من العوامل التي تحرض حدوث التساقط:

1- عوامل مناخية: من أهم العوامل التي لها دور مباشر في حدوث هذه الظاهرة. ويختلف تأثير هذه العوامل (حرارة- إضاءة- رطوبة) بشكل كبير بحسب النوع النباتي.
2- عوامل تتعلق بالتربة: انخفاض معدل التغذية المعدنية يسرع من حدوث التساقط.
3- ظروف الإجهاد: (ملحي- مائي- حراري- إشعاعي) كلها لها دور في الإسراع من التساقط.
4- عملية التلقيح تسرع من تساقط البتلات.
5- عدم تطور الأجنة بشكل جيد يرتبط مع تساقط الثمار.
6- فشل التلقيح والإخصاب يرتبط مع تساقط الأزهار.
7- الهرمونات النباتية لها دور هام في حدوث التساقط وبدأت دراسة تأثير الهرمونات من ملاحظة أن إزالة صفيحة الورقة Leaf blade يؤدي إلى تساقط عنق الورقة وبالتالي فإن الأوراق تفرز مواد كيميائية معينة يكون لها دور مباشر في تثبيط تساقط الأعناق وتثبيط تكوين منطقة انفصال في الأعناق.

الأوكسين Auxin

- يترافق حدوث التساقط مع انخفاض تركيز الأوكسين، ومن جهة أخرى تؤدي إضافة الأوكسين خارجياً إلى تأخير أو تقليل معدل التساقط. كذلك فإنه من المعروف أن الأوكسين ينتقل قطبياً بالاتجاه القمي- القاعدي "Acro and basipital" ومع اقتراب حدوث التساقط يقل معدل انتقال الأوكسين بالاتجاه الطبيعي له كذلك يقل معدل انتقاله من صفيحة نصل الورقة وباتجاه السويقة (الحامل) (Petiole) وبالتالي يقل تركيزه تدريجياً كلما اقتربنا من منطقة الانفصال.
- من جانب آخر هناك فريق آخر من العلماء أثبت أن التساقط يترافق مع ارتفاع تركيز الأوكسين وأن الأوراق الهرمة هي أحد المصادر الهامة والرئيسية للوأكسين.

- هناك تفسيرات عديدة تثبت صحة الفرضيتين السابقتين حيث يمكن أن يعزى التساقط إلى تركيز الأوكسين في المنطقة القريبة من الساق "Proximal- stem end" والمنطقة البعيدة عن الساق والقريبة من نصل الورقة "Distal- lamina end" حيث تم إثبات أنه:

إذا كان تركيز الأوكسين في المنطقة القريبة من الساق أكبر من تركيزه في المنطقة البعيدة فسوف_يحدث التساقط.

إذا كان تركيز الأوكسين في المنطقة القريبة من الساق أقل من تركيزه في المنطقة البعيدة فلا يحدث التساقط.

إذا كان تركيز الأوكسين متساوياً في المنطقتين فلا يحدث تساقط.

وبالتالي فإن التدرج في تركيز الأوكسين أمر هام جداً لحدوث أو منع حدوث التساقط.

بالإضافة إلى أهمية التركيز فهناك عامل آخر لا يقل أهمية وهو زمن المعاملة حيث لوحظ أنه لتأخير التساقط يمكن المعاملة بالأوكسين مباشرة بعد نزع صفيحة الورقة وأن تأخير المعاملة بالأوكسين يفقد فعله المثبط لتأكيد هذه الفرضية تم افتراض أن النبات يمر بمرحلتين:

1- مرحلة I: إضافة الأوكسين فيها يثبط من حدوث التساقط.

2- مرحلة II: إضافة الأوكسين فيها ينشط ويسرع من حدوث التساقط

وهنا تجدر الإشارة إلى أن:

*- إضافة الأوكسين في المنطقة البعيدة عن الساق "Distal" سينتج عنه حركة سريعة للأوكسين نتيجة عاملي الانتشار والانتقال القطبي الطبيعي للأوكسين بينما إضافة الأوكسين في المنطقة القريبة من الساق "proximal" سينتج عنه انتقال بطيء أو حركة بطيئة للأوكسين لأن الانتشار سيكون عكسي بعكس الانتقال القاعدي للأوكسين.

*- وبالتالي نتيجة الاختلاف في سرعة انتقال الأوكسين فإن:

عند إضافة الأوكسين بالمنطقة البعيدة عن الساق_سيصل الأوكسين لمنطقة التساقط في المرحلة I و بالتالي تثبيط التساقط.

عند إضافة الأوكسين بالمنطقة القريبة من الساق سيصل الأوكسين لمنطقة التساقط متأخراً في المرحلة II و بالتالي حدوث التساقط.

وبالتالي يمكن أن يعزى تأثير الأوكسين في حدوث التساقط إلى:

1- اختلاف تركيز الأوكسين وتدرجه.

2- زمن المعاملة بالأوكسين.

هناك عدة تفسيرات تشرح سبب اختلاف تأثير الأوكسين في تنشيط أو تثبيط التساقط، أهم هذه التفسيرات أن الأكسين (NAA+IAA) يزيد معدل انتاج الإيتلين.

ومعروف أن غاز الإيتلين يسرع من حدوث التساقط وأن إضافة هذا الغاز في المرحلة I أو II يؤدي إلى حدوث التساقط، إنما يكون تأثيره الفيزيولوجي أكبر فيما لو تمت إضافته في المرحلة II.

وبالتالي: تأخير المعاملة بالإيتلين حتى نهاية المرحلة II لم يتم التثبيط نتيجة إضافة الأوكسين إنما نتيجة حدوث الاستجابة للإيتلين المنتج بعد المعاملة بالأوكسين.

المعاملة المبكرة بالأوكسين خلال المرحلة I تكون استجابة الأنسجة لإنتاج الإيتلين قليلة (انخفاض معدل إنتاج الإيتلين) و بالتالي عدم حدوث تساقط.

الإيتلين

يعتبر الإيتلين هرمون التساقط، ويعتبر علماء الفيزيولوجيا أن الإيتلين يمكن أن يحدث التساقط بتراكيز منخفضة جداً.

معروف أن النبات ينتج الإيتلين بشكل طبيعي، وهناك فرضيات أن الأوراق الحديثة الفتية تنتج كميات أكبر من الإيتلين مقارنة مع الأوراق البالغة وهذا قد يتعارض مع دور الإيتلين في حدوث التساقط للأوراق الهرمة.
إن تأثير الإيتلين (بدراسة مخبرية) في الإسراع من عملية التساقط يقل مع المعاملة بالأوكسين وذلك إذا كان تركيز الإيتلين منخفضاً أما المعاملة بالإيتلين بتركيز مرتفع فيؤدي ذلك إلى حدوث التساقط سواء أضيف الأوكسين أم لا.
تم افتراض أن هناك توازن معين بين الأوكسين والإيتلين ويجب أن يتحقق هذا التوازن لكي يحدث التساقط، حيث أنه في الأوراق الحديثة هناك كمية كافية من الأوكسين والتي تثبط من تأثير الإيتلين في إحداث التساقط وعلى العكس ينخفض تركيز الأوكسين بالأوراق القديمة مما يسرع من حدوث التساقط.
من جهة أخرى يؤدي الأوكسين إلى زيادة معدل إنتاج الإيتلين مما يؤدي إلى تسريع التساقط (ولكن حسب فترة المعاملة) حيث:

- إضافة الأوكسين بالمرحلة I لا يحدث التساقط وذلك لأن أنسجة النبات تكون غير حساسة للمعاملة بالإيتلين (أو لإنتاج الإيتلين نتيجة المعاملة بالأوكسين)
- إضافة الأوكسين بالمرحلة II يتم التساقط نتيجة الاستجابة السريعة لأنسجة النبات للإيتلين (الناتج بعد المعاملة بالأوكسين أو للإتيلين المضاف خارجياً).

تؤدي المعاملة بالإيتلين إلى زيادة معدل تخليق الحمض النووي الريبي (RNA) كذلك إلى زيادة معدل تخليق البروتين وذلك عندما تتم المعاملة المتأخرة (II) بينما ليس له أي تأثير فيما لو تمت المعاملة بصورة مبكرة (I).
تؤدي المعاملة ببعض المركبات (مثل أكتينومايسين د Actinomycin D) إلى تثبيط عمل الإيتلين في إحداث التساقط وذلك عن طريق تثبيط نسخ mRNA اللازم لتخليق الأنزيمات الضرورية لهدم الجدر الخلوية في منطقة التساقط.
لكن يبقى العامل الهام هو زمن المعاملة حيث أن الأنسجة الفتية في المرحلة (I) غير حساسة ولا تستجيب لهذه المعاملات أو تقترن هذه الأنسجة بعوامل الفتوة "Juvenility factors" بينما المعاملة في مرحلة النضج (II) فتكون الأنسجة عالية الحساسية والاستجابة لهذا النوع من المعاملات.
تم تحديد نسبة الإيتلين أثناء حدوث التساقط الطبيعي وبدون أي إضافة خارجية للهرمون ولوحظ أنه يصل إلى أعلى التراكيز قبل حدوث التساقط هذه التراكيز المرتفعة تثبط من انتقال الأوكسين من الأوراق وبالتالي فيمكن أن يعزى تأثير الإيتلين إلى أنه يقلل من معدلات الأوكسين في مناطق التساقط وبالتالي فإن:
1- تثبيط انتقال الأوكسين + 2- وجود الإيتلين في منطقة الانفصال يؤدي إلى حدوث التساقط.
من جهة أخرى أجريت عدة دراسات بهدف معرفة العلاقة بين تركيز الإيتلين وحدوث التساقط ولوحظ أن ثمار البرتقال (صنف فالنسيا Valencia orange) المتساقطة نتيجة الصقيع تحتوي نسبة مرتفعة من الإيتلين.
وعموماً في العديد من أشجار الفاكهة لوحظ أن تركيز الإيتلين يزيد في الأوراق الهرمة وفي الثمار والأزهار المتساقطة.
أخيراً فإن المعاملة بمثبطات الإيتلين تؤخر من حدوث التساقط.

حمض الأبسيسيك

تؤدي المعاملة بحمض الأبسيسيك (وبعض مثبطات النمو الأخرى) إلى الإسراع من حدوث التساقط وكذلك إلى زيادة معدل التساقط سواء تمت المعاملة للأوراق أو للثمار.
لوحظ أن ABA يحدث دوراً هاماً في التساقط وبتراكيز منخفضة جداً ومن المعروف فيزيولوجياً أنه مع تقدم النباتات بالعمر يقترن هرم النبات مع عوامل عديدة يطلق عليها اسم عوامل الشيخوخة Senescence factors وأن ABA يمتلك نفس الخصائص التي تميز هذه العوامل.
هناك العديد من الدراسات التي تشير إلى أن تساقط الأوراق والثمار يقترن مع زيادة ملحوظة في محتوى هذا الحمض أما بالنسبة لحساسية النبات للمعاملة الخارجية بحمض الأبسيسيك واستجابته لحدوث التساقط فتختلف

بحسب النوع النباتي ولكن لوحظ أن أفضل وقت للمعاملة هو الوقت الذي يترافق مع قدرة النبات على إنتاج الإيتلين وبالتالي يحدث التساقط ويرى فريق من العلماء أن المعاملة بحمض الأبسيسيك لها دور مباشر في إنتاج الإيتلين ربما يعزى ذلك إلى دور الحمض في هرم الأشجار وشيخوختها وبالتالي زيادة إنتاج الإيتلين.
لوحظ في عدة دراسات أن حمض الأبسيسيك يفقد تأثيره تماماً فيما لو ترافقت المعاملة به مع المعاملة بمواد مثبطة لتخليق الإيتلين Ethylene- synthesis inhibitor AVG.
أما بالنسبة للتأثير الفيزيولوجي لحمض ABA فهو يؤثر بشكل مباشر في هدم الجدر الخلوية مما يساعد في حدوث التساقط.

حمض الجبريليك والسيتوكينين

كلاهما ليس له دور في حدوث التساقط.

أ- ربما يمتلك الجبرلين دور غير مباشر في حدوث التساقط عن طريق
- إما زيادة معدل إنتاج الإيتلين
- أو أن الجبرلين يعتبر مضاد أوكسيني بالنسبة لظاهرة التساقط "Auxin antagonist" عند إضافته مع الأوكسين حيث يقل التأثير المثبط للأوكسين بإضافة الجبرلين ويقل تأثير الجبرلين المنشط بإضافة الأوكسين.

ب- أما بالنسبة للسيتوكينين ليس له دور في حدوث التساقط بل على العكس تؤدي المعاملة بالسيتوكينين إلى المحافظة على فتوة النباتات وتأخير الهرم والشيخوخة وعندما حللت الأوراق والثمار المتساقطة كان هناك انخفاض ملحوظ في تركيز السيتوكينين.

ما الذي يحرض التساقط الطبيعي:

هناك عوامل داخلية تتحكم بحدوث التساقط Internal factors منها:

1- حدوث توازن بين المواد الكيميائية المنتجة طبيعياً في النبات مع بدء حدوث التساقط.
2- يختلف استجابة النبات للتساقط بحسب المحتوى الهرموني حيث لكي تحدث الاستجابة يجب أن يكون هناك مستقبل للإشارة الهرمونية (وراثياً)

مخطط (8) : دور منظمات النمو و ضرورة وجود مستقبِل لتحريض التساقط

وبالتالي يتساءل البعض أحياناً أنه رغم المعاملة الهرمونية لم تحدث الاستجابة والسبب يعزى إلى عدم وجود النسيج المستقبل الذي يستجيب للمعاملة، وبالتالي هذا يفسر أن معاملة النباتات الفتية (I) لم ينتج عنه أي استجابة للتساقط عكس معاملة النباتات البالغة أو الهرمة.

الشيخوخة والتساقط

من المعروف أن شيخوخة الأوراق والثمار تسبق تساقطها ويفترض بعض العلماء أن هرم العضو النباتي هو إشارة بدء لتحريض التساقط، ولكن هناك ملاحظات أخرى:

- ليس بالضرورة أن يترافق التساقط مع هرم الخلايا في المنطقة البعيدة عن الساق "Distal" إنما فقط يترافق مع هرم خلايا المنطقة القريبة .
- بعض الثمار تتساقط أحياناً قبل النضج التام وتنضج بعد التساقط.
- أحياناً تتساقط الأوراق نتيجة إجهاد حيوي (حشرات- أمراض) أو لا حيوي (إجهاد مائي) وهذا لا يترافق بالضرورة مع هدم الكلوروفيل.
- يحدث التساقط أحياناً بعد التلقيح مباشرة (مع عدم الإخصاب) وبدون أي مؤشرات للهدم.
- تتساقط الأوراق في أشجار الفاكهة بالخريف المتأخر بينما تدخل بمرحلة الشيخوخة في الخريف المبكر.
- هناك العديد من التغيرات البيوكيميائية التي تترافق مع الهدم والتساقط وتلعب الناحية الوراثية دوراً هاماً في هذه التغيرات حيث يختلف معدل الاستقلاب Metabolism بشكل واضح ويزيد معدل الهدم Anabolism على معدل البناء Catabolism.
-

2- تساقط الأزهار و الثمار :

يختلف معنى التساقط عن الجمع حيث يقصد بالجمع فصل الثمار عن النبات الأم بعد وصولها إلى مستوى النضج المطلوب، ويمكن جمع الثمار يدوياً أو آلياً ويتوقف ذلك على:

- الناحية الاقتصادية.
- نوع أشجار الفاكهة المزروعة.
- حجم الإنتاج وكثافته.
- طريقة الزراعة والمسافة الزراعية بين النباتات.
- الإمكانيات المتاحة لجمع الثمار بأي طريقة من الطرق المذكورة.

***- الجمع اليدوي:**

حيث يتم جمع ثمار الفاكهة يدوياً باستخدام بعض الوسائل المساعدة مثل: المقصات- أكياس الجمع- السلالم وغيرها.

تتميز هذه الطريقة:

1- تحديد الوقت المثالي للجمع بحسب درجة نضج الثمار بحيث يمكن تكرار عملية الجمع أكثر من مرة.
2- لا يحتاج إلى أجهزة خاصة للقيام بعملية الجمع.
3- تقليل معدل الضرر الميكانيكي على الثمار.

ويعاب عليها:

1- ارتفاع تكلفة اليد العاملة.
2- تحتاج إلى وقت طويل خاصة بحال غزارة الإنتاج وارتفاع المساحة المزروعة.

***- الجمع الآلي:**

حيث يتم الاعتماد على آلات خاصة لجمع ثمار الفاكهة وبشكل عام فإن هذه الطريقة في الجمع تستخدم غالباً مع الثمار التي تجنى بهدف التصنيع وذلك لارتفاع معدل الضرر الميكانيكي عند جمع الثمار بهذه الطريقة.

وتمتاز هذه الطريقة بالجمع بـ:

- نقص تكلفة اليد العاملة.

- ضرورة تحسين أشجار الفاكهة واستنباط أصناف أكثر ملاءمة للجمع الآلي.
- توفير الوقت والجهد.

أما عيوبها فهي:

- إلحاق الضرر الميكانيكي بالثمار.
- قد لا تكون الثمار قد وصلت إلى نفس درجة النضج المطلوبة عند تحديد موعد جني الثمار وفي حال تكرار عملية الجمع الآلي أكثر من مرة فإن ذلك يلحق الضرر أكثر فأكثر على مستوى الشجرة.

بشكل عام يمكن تنفيذ طريقة:

*- الجمع باليد: في ثمار الدراق- الخوخ- المشمش- الفريز.

*- الجمع باستخدام سكين حاد: كما في جمع شماريخ الموز وعراجين البلح حيث يتم الجمع يدوياً باستخدام بعض الأدوات الحادة.

*- الجمع بالعصا: كما في ثمار الزيتون، وتنفذ هذه الطريقة بشكل الخاص في ثمار الزيتون المعدة للعمليات التصنيعية (تخليل- استخلاص- زيت .....) ويمكن جمع ثمار الزيتون بهز كامل الشجرة وهذا أيضاً يلحق الضرر الميكانيكي بالثمار.

العوامل الواجب مراعاتها عند جمع ثمار الفاكهة :

1. **تحديد طور النضج الملائم** : حيث يجب أن تجمع الثمار في طور النضج وليس في طور ما بعد النضج ويتوقف تحديد طور النضج على النوع- الصنف- الهدف من الاستهلاك (تجاري- تسويقي- تصنيعي) وبالتالي يمكن جمع الثمار قبل طور النضج إذا ما أعدت للشحن والتصدير (كما في ثمار الموز) أما إذا كان الهدف هو الاستهلاك والتسويق في السوق المحلية فيتم الجمع في مرحلة النضج.
2. **وقت الجمع:** يفضل جمع ثمار الفاكهة في الصباح الباكر أو عند بدء غروب الشمس بحيث يتم تجنب درجة الحرارة المرتفعة التي قد تلحق الضرر بالثمار.
3. **مراعاة عدم إلحاق الأضرار الميكانيكية بالثمار** وخاصة بالنسبة للثمار سريعة العطب مثل الفريز والمشمش.

خف الأزهار والثمار: Flowers and fruits thinning

يقصد بها إزالة أزهار أو ثمار من على الأشجار بهدف التقليل من العدد الكلي للثمار المتكونة على الشجرة.

هناك عدة طرائق للخف، منها الخف اليدوي أوالميكانيكي أو الكيماوي، وتعتمد طريقة الخف الكيماوي على التأثير الفيزيولوجي لهذه المواد الكيماوية في:

*- منع إتمام عملية الإخصاب داخل المبيض أو على قتل الأجنة أو إجهاضها وبالتالي يحدث تساقط طبيعي لهذه الثمار.

*- منع الإخصاب، وبهذه الحالة يحدث تساقط طبيعي للأزهار.

وبالتالي تقسم المواد الفعالة في عملية الخف إلى:

- مركبات خف الأزهار.
- مركبات خف الثمار.

*- تشمل مركبات خف الأزهار على المواد السامة مثل مركبات دي نتروز- الفينولات- الكريزولات هذه المواد تقتل الأزهار أو تجعلها عقيمة.

*- تشمل مركبات خف الثمار على مشتقات الأوكسين، وهذه المركبات تؤدي إلى الخف كونها تعمل على قتل الأجنة، وتجدر الإشارة هنا إلى الدور الهام والفاعل للأوكسين الذي يعتبر مسؤولاً عن إتمام العقد في شجرة فاكهة معينة يعتبر نفسه مسؤولا عن خف العقد في شجرة فاكهة أخرى.
وليست جميع الأوكسينات فعالة في عملية الخف حيث يعتبر حمض الخليك ومشتقاته هو الفعال فقط في خف الثمار حيث دلت الدراسات على استخدام هذا الأوكسين على نطاق واسع في خف ثمار التفاح والخوخ والكمثرى والزيتون والعنب، أما الثمار ذات النواة الحجرية فقد ثبت أن المركب الفعال للخف هو Naphthyl phthalamic acid.
ولم تعرف آلية عمل الأوكسين في قتل الأجنة حيث من المعروف أن الأوكسينات تمتص من أسطح الأوراق بكفاءة أعلى من امتصاصها من أسطح الثمار.
تتأثر درجة الخف بحسب:

- نوع الأوكسين المستخدم.
- تركيز الأوكسين.
- توقيت الرش بالنسبة لمرحلة التطور الفيزيولوجي للثمار.
- نوع شجرة الفاكهة.
- تأثير عوامل البيئة (حرارة- رطوبة- رياح- صقيع).
- الناحية الوراثية.

تساقط ما قبل الجمع:
يستخدم الأوكسين في منع تساقط ما قبل جمع الثمار حيث يعمل على تثبيط عمليات الانفصال والتساقط، حيث يعتقد أن الأوكسين الطبيعي (الذي تنتجه البذور لمنع الانفصال) يتناقص تدريجياً مع اقتراب اكتمال نمو الثمرة.
تستعمل عدة مركبات مصنعة لتأخير أو منع التساقط الثمري مثل نفتالين حمض الخليك NAA و 2,4,5- Trichlorophenoxy propionic acid و 2,4,5- Trichlorophenoxy acetic acid وأصبح التحكم الكيماوي في تساقط ما قبل الجمع مستعملاً على نطاق واسع في العديد من أشجار الفاكهة مثل التفاح- المشمش- الأجاص- الخوخ- اللوز- الحمضيات. كذلك تستخدم نفس المركبات لمنع التساقط الذي يشتد عقب موجات الصقيع.
تجدر الإشارة إلى ضرورة عدم استخدام هذه المركبات بعد اكتمال النضج وتلون الثمار باللون المميز للصنف حيث يؤدي ذلك إلى الإسراع من تطور نضج الثمار وبالتالي تصبح غير قابلة للتخزين.
من جهة أخرى استخدم مركب الألار (SADH) من أجل زيادة تطور الأحمر في ثمار التفاح (حيث اعتبر مضاد جبرلين) وبنفس الوقت من أجل تأخير معدل التساقط وقد ثبت أن له دوراً آخر في إطالة العمر التخزيني لثمار التفاح والحد من الأضرار التخزينية.
بشكل عام لا يمكن أن لا نتحدث عن دور الإيتلين في الحث على انفصال الأوراق والثمار وكذلك الأمر بالنسبة لجميع المواد المنتجة للإيتلين أو المواد المشجعة لإنتاج الإيتلين الطبيعي ورفع مستواه في الأنسجة الحية مثل الأكسين وحمض الأبسيسيك ومن أهم المواد المنتجة للإيتلين:

- الإيتيفون: ويستخدم في أشجار الكرز.
- ألسول (Silan) 2-chloro-tris-2-methoxy ويستخدم في أشجار الحمضيات.
- ريليز 5-chloro, 4-nitro, 3-methyl perazol ويستخدم في أشجار الحمضيات أيضاً.

تساقط الثمار:

1- **تساقط بعد الإزهار:** حيث تتساقط الأزهار الشاذة (ذات شكل مورفولوجي غير مميز للصنف)
2- **تساقط بعد نضج المبايض** وذلك بعد حدوث الإزهار الكامل والتلقيح والسبب فشل عملية الإخصاب حيث تتساقط المبايض غير المخصبة.
3- **تساقط حزيران:** يحدث في المبايض الملقحة والمخصبة بسبب:
- انخفاض عدد البذور وحجمها.
- التنافس بين الثمار على امتصاص الماء والغذاء.
- العوامل البيئية.

هذا التساقط ربما يؤدي إلى تحسين نوعية الثمار المتبقية على الأشجار بعد التساقط.

4- **تساقط الثمار الناضجة:** بعد النضج الكامل بسبب:
- انخفاض معدل الـ Mg.
- انخفاض معدل التغذية المائية
- زيادة محتوى N.

هذا التساقط يؤدي إلى حدوث أضرار ميكانيكية والثمار المتضررة بهذا النوع من التساقط لا يمكن تسويقها أو إدخالها في معاملات ما بعد الحصاد.

الفصل الرابع

فيزيولوجيا البذور و البراعم في أشجار الفاكهة

1- فيزيولوجيا سكون البذور وإنباتها في أشجار الفاكهة :

يشمل مصطلح إكثار النبات Plant propagation على التضاعف والتجذير والمحافظة على النبات (multiplication, regeneration, maintainance) بجميع الوسائل الخضرية والجنسية.وقد شغل إكثار النبات حيزاً كبيراً من تفكير الإنسان منذ بدء المدنية حيث ارتبط التطور الزراعي بأمرين:

1- إنتاج أنواع وأصناف من مختلف النباتات.
2- المحافظة على هذه الأنواع والأصناف عن طريق إكثارها بحيث يتم المحافظة على خصائصها وصفاتها الوراثية من جيل إلى آخر.

هذا ويعتبر الإكثار البذري هو وسيلة الإكثار الأساسية في النباتات الحولية وثنائية الحول والكثير من النباتات المعمرة، إلا أن استخدامه في أشجار الفاكهة (مستديمة الخضرة أو متساقطة الأوراق) ينحصر في:

1- إنتاج أصناف جديدة (عن طريق برامج التربية والانتخاب والتهجين)
2- إنتاج الأصول البذرية خاصة في حال غياب الأصول الخضرية.
3- إكثار بعض أشجار الفاكهة التي يصعب إكثارها خضرياً مثل الجوافة والباباظ.

و تجدر الإشارة إلى أنه لا يعتمد على الإكثار البذري في أشجار الفاكهة التي يسهل إكثارها خضرياً وذلك يرجع إلى انعدام فرصة الحصول على أشجار مماثلة وراثياً للنبات الأم.

تكوين البذور في أشجار الفاكهة Seed formation in fruit trees

تعتبر البذرة وسيلة الإكثار الجنسي، وتتكون البذرة من اتحاد العروس المذكرة مع المؤنثة وذلك عبر 4 خطوات رئيسية:

1- **تكوين الأعراس المذكرة (حبوب اللقاح) Pollen grain formation** :

يحدث ذلك في المآبر حيث في الأطوار الأولى لتكوين المئبر تتشكل خلايا هي الخلايا الأمية لحبوب اللقاح Pollen mother cells يطرأ على هذه الخلايا انقسامات:

أ- انقسام اختزالي ينتج عنه خليتين كل خلية أحادية الصيغة الصبغية haploid.
ب- انقسام خيطي (ميتوزي) ينتج عنه 4 خلايا أحادية الصيغة الصبغية كل خلية من هذه الخلايا هي عبارة عن حبة لقاح.

عندما تقترب المآبر من مرحلة النضج تتحلل جدران المئبر وتنتثر حبوب اللقاح حيث تنقسم نواة حبة اللقاح خيطياً (ميتوزياً) لتشكل نواتين :

النواة الأولى تناسلية Generative nucler و النواة الثانية خضرية إعاشية Vegetative nucler

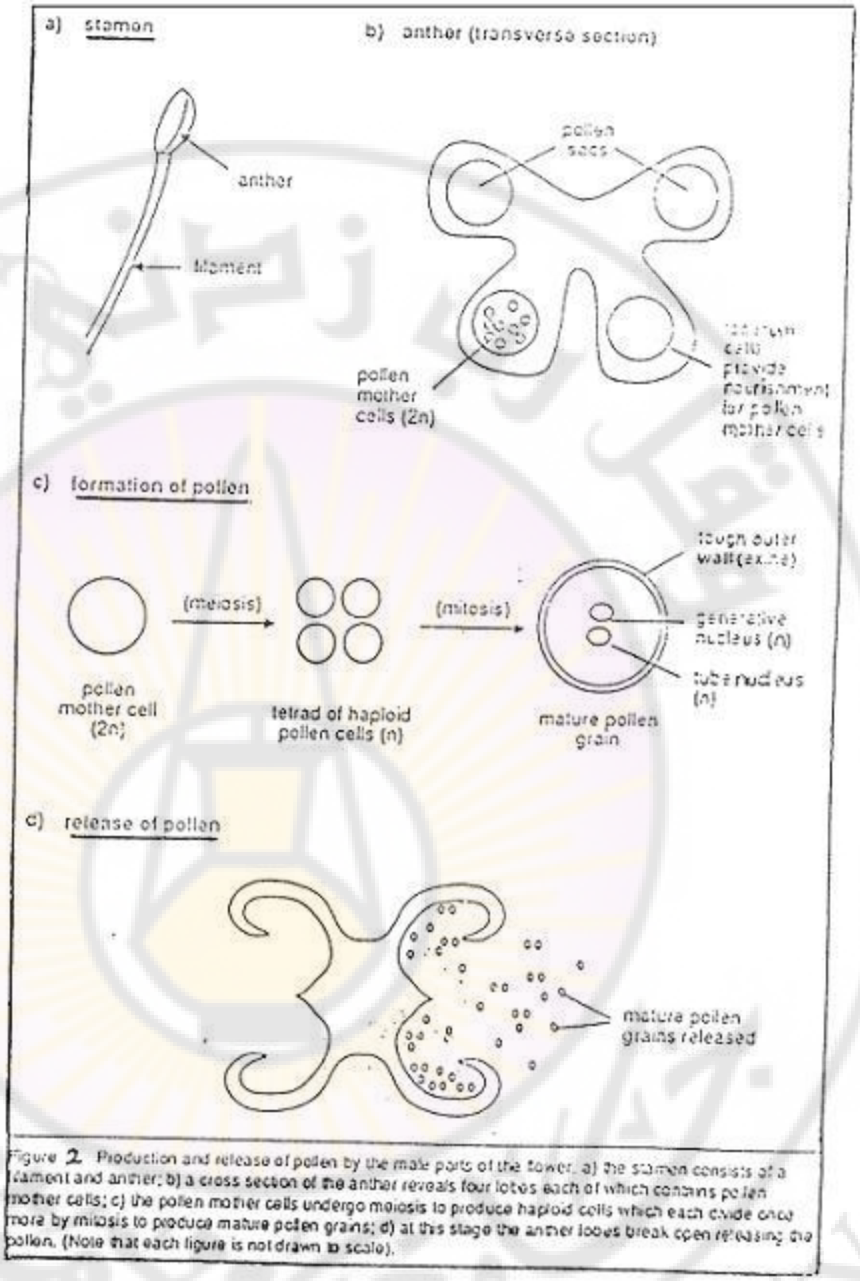


Figure 2. Production and release of pollen by the male parts of the flower. a) the stamen consists of a filament and anther; b) a cross section of the anther reveals four lobes each of which contains pollen mother cells; c) the pollen mother cells undergo meiosis to produce haploid cells which each divide once more by mitosis to produce mature pollen grains; d) at this stage the anther lobes break open releasing the pollen. (Note that each figure is not drawn to scale).

شكل (9) : تكوين الأعراس المذكرة

2- تكوين العروس المؤنثة (البويضة):

تتكون البويضة في المبيض حيث تتصل بجدار المبيض عن طريق المشيمة، وتظهر البويضات داخل المبيض بصورة بروزات صغيرة ضمن نسيج النوسيل، ومع استمرار النمو تنمو خلية واحدة هي الخلية البيضية وهي الخلية الأكبر حجماً من الخلايا الأخرى وتدعى الخلية الأمية للكيس الجنيني Embryo mother cell يطرأ على هذه الخلية انقسامان اختزالي وغير اختزالي ينتج عنهما تكوين 4 خلايا أحادية الصيغة الصبغية تتلاشى

ثلاثة منها وتبقى واحدة تنمو وتشغل حيزاً كبيراً في نسيج النوسيل ثم تنقسم انقساماً خيطياً أول فتتشكل نواتين كل نواة تتمركز في طرف من أطراف الكيس الجنيني، تتحرك من كل مجموعة نواة واحدة نحو مركز الكيس الجنيني وبالتالي يشمل الكيس الجنيني على:

ثلاثة أنوية سمتية Antepoolal nuclei

نواتين قطبيتين Polar nuclei

نواة البيضة Egg nuclei

نواتين مساعدتين Senergrid nuclei

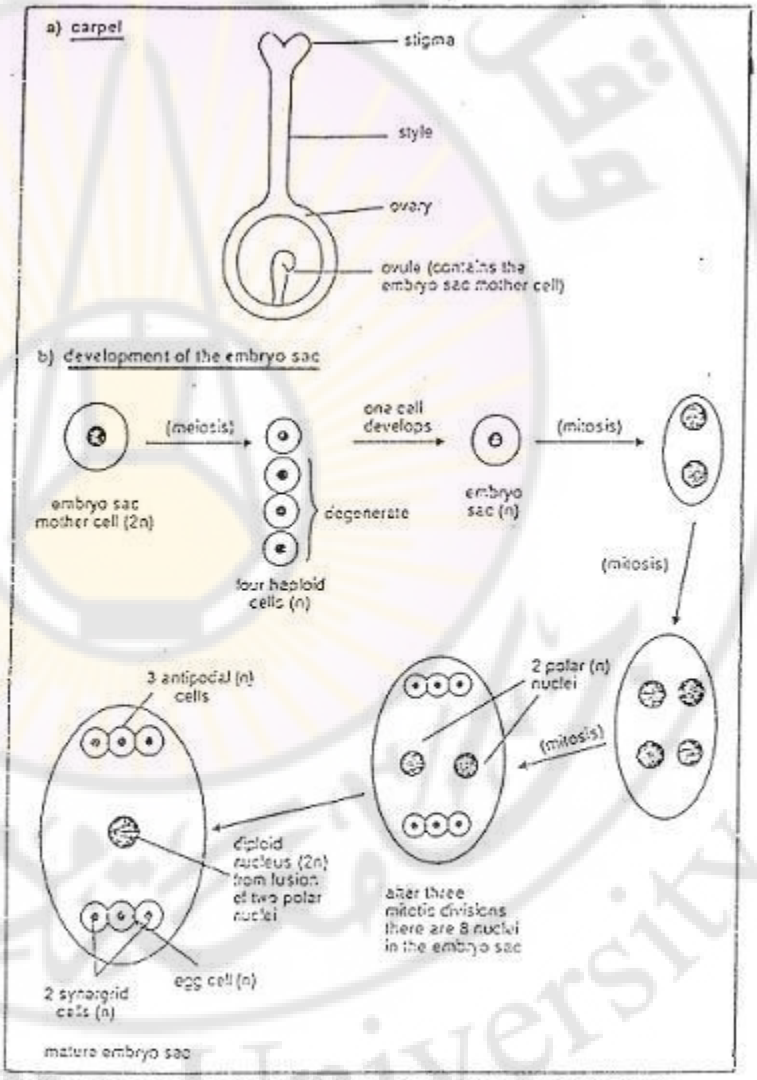


Figure 3 Formation of the embryo sac in the ovule. a) The carpel consists of the style and stigma attached to the ovary. The ovary is hollow and one or more ovules develop within it, each ovule containing the embryo sac mother cell; b) the mother cell undergoes meiosis but three of the four cells die. The remaining cell divides by mitosis to produce eight nuclei which, after two of them fuse, become arranged as the three antipodal cells, the two synergids, an egg cell and the central diploid nucleus. Note: n = haploid nucleus, 2n = diploid nucleus

شكل (10) : تكوين الأعراس المؤنثة

3- التلقيح: Pollination

وهو عبارة عن انتقال حبوب اللقاح من المآبر إلى المياسم وذلك:

أ- إما ذاتياً: من مئبر زهرة إلى ميسم نفس الزهرة Autogeny / self pollination

ب- أو خلطياً: من مئبر زهرة إلى ميسم زهرة أخرى Allogeny / cross pollination ويدعى التلقيح الخلطي مثل: الفستق و النخيل و العنب و التفاح.

4- الإخصاب: Fertilization

بعد سقوط حبوب اللقاح على المياسم تنبت مكونة الأنبوبة اللقاحية التي تخترق الميسم والقلم وتصل إلى المبيض وأثناء نمو الأنبوبة اللقاحية تنقسم نواة حبة اللقاح إلى النواة الخضرية والنواة التكاثرية وبنفس الفترة تحدث انقسامات نواة البيضة وتتشكل 8 أنوية داخل الكيس الجنيني كما سبق شرحه، وهنا تحدث عملية الإخصاب المضاعف Double fertilization حيث:

تتحد النواة الذكرية الأولى (التكاثرية) مع نواة البيضة وتكون البيضة الملقحة (2ن) (الزيغوت) التي تتطور وتعطي جنين البذرة.

تتحد النواة الذكرية الثانية (الإعاشية) مع النواتين القطبيتين ويتكون الأندوسبيرم (3ن) هذا الأندوسبيرم إما أن يبقى في البذرة مثل بذور البلح، أو أن يتلاشى في البذرة مثل بذور الحمضيات.

وبما أن الأندوسبيرم هو نسيج غذائي حاضن للجنين ففي حال غياب هذا النسيج كما في الحمضيات يتطور نسيج النوسيل أو أي نسيج آخر ليشكل نسيج مخزن للغذاء في البذرة ويدعى النسيج المغذي Nutrition tissue .

وكما هو ملاحظ فإن الجنين يتطور من البيضة الملقحة نتيجة انقسام الخلايا ويطلق على هذه المرحلة اسم تمايز الأنسجة العضوية الحية Histo differentiation حيث تتعرض خلية البيضة المخصبة إلى سلسلة مستمرة من الانقسامات غير الاختزالية والتي تنتهي بتكوين الجنين الكامل بأشكاله المختلفة بدءاً من الجنين الكروي Globular embryo فالقلبي Heart embryo فالتوربيدي Torpedo embryo الذي يحوي على كامل أجزاء البادرة الكاملة من أوراق فلقية – جذير – سويقة جنينية سفلى.

وبالتالي يمكن تمييز الأجزاء التالية في بذور أشجار الفاكهة:

1- الجنين: Embryo

وهو النبات الجديد الناتج من اتحاد العروس المذكرة مع العروس المؤنثة أثناء عملية الإخصاب المضاعف ويشمل الجنين على المحور الجنيني Embryo axis الذي يحوي نقاط نمو في طرفيه (واحدة للجذر وأخرى للساق) إضافة إلى احتوائه على ورقة بذرية واحدة (فلقة) أو إثنتين.

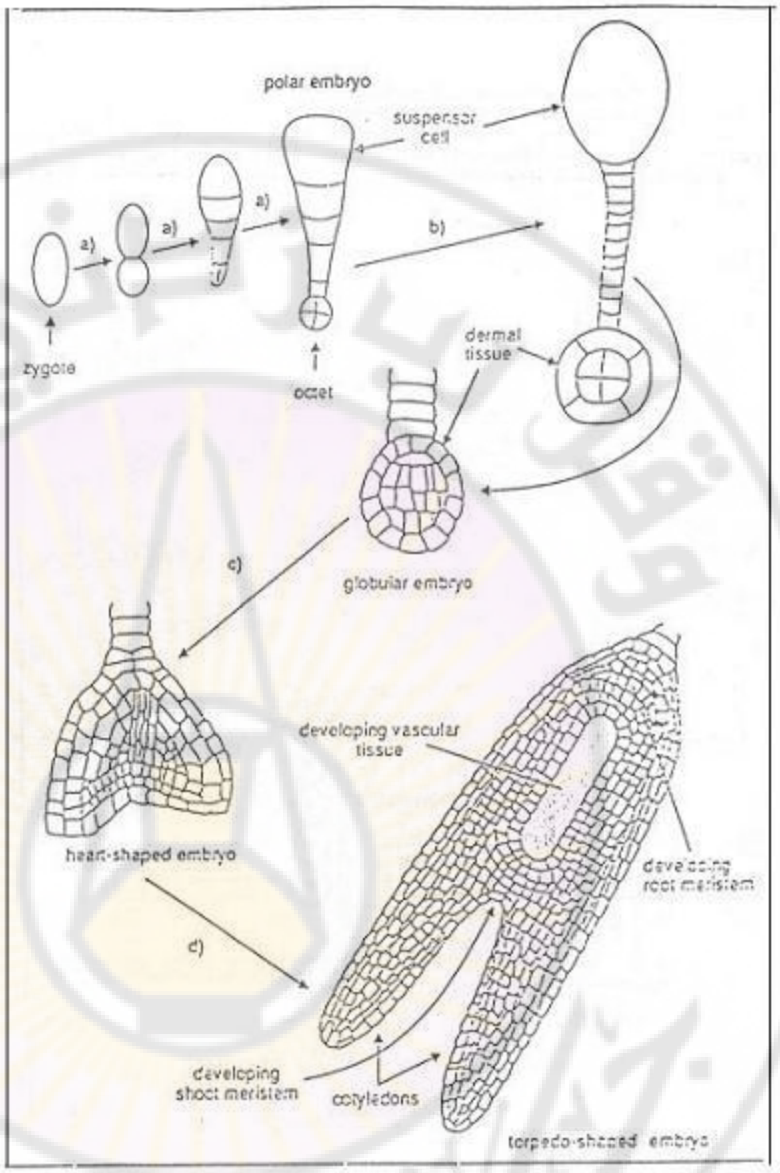


Figure .5 Major stages in the formation of the embryo. a) Formation of the polar embryo with a large suspensor cell at one end and an octet of cells at the other, b) division of octet to produce 16 cells in two layers, with subsequent development producing the globular embryo, c) uneven rates of cell division convert the globular-shaped embryo into a heart-shaped embryo and development continues to eventually produced the torpedo-shaped embryo shown in d). (Not drawn to scale).

شكل (11): مراحل تطور الجنين(الطور الكروي – القلبي و التوربيدي).

وتقسم أشجار الفاكهة بحسب عدد الفلقات إلى:

- أشجار فاكهة وحيدة الفلقة Mono cotyledonous مثل الموز والنخيل.
- أشجار فاكهة ثنائية الفلقة Di cotyedonous مثل المشمش والخوخ والتفاح والإجاص والدراق وغيرها.

2- النسيج المغذي Nutrition tissue

هو النسيج الحاضن للجنين والمغذي له والنسيج المغذي إما أن يكون:

~~أندوسبيرمي~~: حيث يخزن الغذاء في الأندوسبيرم والبيرسبيرم كما في النخيل.

~~لا أندوسبيرمي~~: وفي هذه الحالة يخزن الغذاء في الفلقات أو في أي نسيج حاضن آخر مثل النوسيل كما في الحمضيات.

3- الغلاف البذري: Seed coat

يتشكل الغلاف البذري من أغلفة البويضة Integuments أو من بقايا النوسيل أو الأندوسبيرم ويمكن أن تحوي البذرة على غلاف بذري واحد أو غلافين بذريين أحدهما مرن شفاف والآخر صلب سميك جاف.

وإن غلاف البذرة له عدة مزايا:

- فهو وسيلة لحماية البذور أثناء عمليات النقل والتخزين.
- يؤمن حماية ميكانيكية للجنين.
- يميز نباتات العائلة الواحدة فمثلاً يختلف الغلاف البذري في التفاحيات عنه في اللوزيات.
- يؤثر بشكل مباشر في سرعة الإنبات.

ظاهرة الأبومكسس - Apomixis في أشجار الفاكهة:

في بعض أشجار الفاكهة لا ينتج الجنين نتيجة الانقسام الاختزالي والإخصاب المضاعف وإنما من خلية من خلايا الكيس الجنيني يمكن أن تتطور بدون انقسام ميوزي وتكون زيغوت بدون تلقيح وإخصاب يتطور هذا الزيغوت ويشكل جنين له نفس التركيب الوراثي للنبات الأم .

حدوث عملية التكاثر اللا جنسي للجنين بدلاً من عملية التكاثر الجنسي والتلقيح والإخصاب المضاعف والانقسام لتكوين الجنين تعرف بظاهرة الأبومكسيس Apomixis ويطلق على البادرات الناتجة عن هذه الظاهرة اسم أبومكتين Apomicts وتقسم أشجار الفاكهة إلى:

- أشجار إجبارية الأبومكتين Obligate apomicts : بذور هذه الأشجار لا تنتج إلا أجنة أبومكسية فقط.

- أشجار اختيارية الأبومكتين Faculative apomicts : بذور هذه الأشجار تنتج أجنة جنسية وأخرى أبومكسية مثل الحمضيات.

أنواع الأبومكسيس Type of apomixes

هناك عدة أنواع للأبومكسيس:

-1- أبومكسيس ثنائية الكروموسومات Recurrent apomixes
-2- الأجنة العرضية Adventitious embryony
-3- الأجنة النوسيلية Nucellar embryony
-4- الأجنة الخضرية Vegetative embryony
-5- الأجنة أحادية الكروموسومات Nomecurrent apomixes

1-الأبومكسيس ثنائية الكروموسومات Recurrent apomixis

تتشكل الأجنة في هذه الحالة من:

- نمو خلية البيضة الأمية بدون انقسام اختزالي أو إخصاب.
- من نمو أي خلية أخرى من خلايا النوسيل وبهذه الحالة تنحل خلية البيضة الأمية.

الجنين الناتج يكون مماثل وراثياً للنبات الأم.

2- الأجنة العرضية Adventitious embryo

ويطلق عليها أيضاً اسم الأجنة النوسيلية Nucellar embryo ويتشكل الجنين في هذه الحالة من خلية واحدة أو من مجموعة من الخلايا:

- من نسيج النوسيل (غالباً).
- من الأغلفة.

تختلف الأجنة العرضية عن الأجنة ثنائية الكروموسومات بما يلي:

-1- بأن الأجنة العرضية تنشأ كما ذكرنا من خلايا خارج خلايا الكيس الجنيني.

-2- كذلك قد يتكون أحياناً جنين جنسي عن طريق التلقيح والإخصاب العادي إضافة إلى عدة أجنة عرضية نوسيلية (كما في الحمضيات).

3. الأجنة أحادية الكروموزومات Nomecurrent apomixis

يتكون الجنين في هذه الحالة من نواة البيضة مباشرة بدون إخصاب وبما أن خلية البيضة أحادية الصيغة الصبغية فإن الجنين الناتج سيكون أحادي الصيغة الصبغية.

هذه الظاهرة نادرة الحدوث بالطبيعة وترجع أهميتها إلى الدراسات الوراثية فقط ولا تحدث باستمرار أو لا يتكرر حدوثها كما في حالة الأجنة ثنائية الكروموزومات أو الأجنة العرضية. ويمكن استحداث الأجنة أحادية الكروموزومات عن طريق زراعة البويضات مخبرياً والحصول على أجنة أحادية الصيغة الصبغية وبالتالي نبات أحادي الصيغة الصبغية Haploids.

4. الأجنة الخضرية Vegetative apomixis وظاهرة تعدد الأجنة Polyembryo

وهي الظاهرة التي يتكون فيها أكثر من جنين داخل البذرة الواحدة وتشمل هذه الحالة على حالة أو أكثر من الحالات السابقة حيث قد تنتج الأجنة من خلايا النوسيل مثل البرتقال الثلاثي الأوراق الذي تحوي بذوره على جنين جنسي واحد ضعيف التكوين وعدة أجنة نوسيلية.

وفي حالات أخرى قد تتطور الأجنة من إحدى الخلايا داخل الكيس الجنيني إضافة لخلية البيضة ككما في الفستق الحلبي.

أهمية ظاهرة الأبومكسيس

-1- إنتاج هجن قوية في بعض أنواع جنس Mallus فيما لو لقحت ذاتياً بينما على العكس يؤدي التلقيح الخلطي لهذه الأنواع إلى إنتاج بادرات هجينة ضعيفة.
-2- تستخدم هذه الظاهرة بمعنوية في بساتين الفاكهة لإنتاج أصناف محددة حيث أن البادرات الناتجة ناتجة عن إكثار خضري لكنها تتبع نفس دورة حياة النباتات الناتجة عن الإكثار الجنسي.
-3- إنتاج أصول متماثلة قوية النمو مقارنة مع الأصول الناتجة عن الإكثار الجنسي التي تكون غير متماثلة وغير أصلية بعواملها الوراثية.
-4- إنتاج نباتات خالية من الفيروسات (خاصة في حال استخدام الخلايا الأحادية في إنتاج النبات الكامل).
-5- تستخدم في برامج استحداث الطفرات والتربية والتحسين الوراثي (خاصة عند زراعة خلايا البويضة أو خلايا الطلع لإنتاج أجنة أحادية الصيغة الصبغية مخبرياً وبالتالي الحصول على أجنة أحادية ونبات كامل أحادي الصيغة الصبغية haploid يعتبر نباتاً نموذجاً لاستحداث الطفرات.

حفظ بذور أشجار الفاكهة Fruit seeds preservation

تختلف قدرة بذور أشجار الفاكهة على الحفظ بحسب عدة عوامل:

1 - عوامل وراثية Genetical factors تتعلق بالصنف أو نوع شجرة الفاكهة حيث تختلف بذور اللوزيات عن التفاحيات عن النخيل في القدرة على التخزين نتيجة اختلاف العوامل الوراثية.
2 - معاملات ما قبل الحصاد أو بيئة ما قبل الحصاد Perharvest environment ويقصد بها الظروف أو العوامل المؤثرة في نوعية ثمار الفاكهة وبذورها فالظروف السيئة التي قد تتعرض لها شجرة الفاكهة (إجهادات حيوية "أمراض – حشرات – فيروسات" أو لا حيوية "ملوحة – جفاف – صقيع – برودة – إشعاع") ستؤثر سلبياً في نمو شجرة الفاكهة وبالتالي ستؤثر سلبياً في الثمار والبذور وبالتالي في قدرة البذور على الحفظ والتخزين الطويل.
3 - تركيب البذور يساعد في قدرتها على الحفظ والتخزين وخاصة بالنسبة للمحتوى المائي Water content حيث كلما زاد محتوى البذور من الماء قلت القدرة على التخزين.
4 - تعرض بذور أشجار الفاكهة إلى أضرار ميكانيكية Mechanical injuries أثناء عمليات النقل والشحن يقلل من القدرة التخزينية.
5 - درجة نضج البذور Seed maturity حيث من المعروف فيزيولوجياً أنه مع اقتراب البذور من موعد النضج يزيد تركيز المادة الجافة ويقل محتوى الماء الكلي وبالتالي تزيد القدرة على التخزين.
6 - ظروف التخزين Storaging circumstances وذلك من حيث درجة الحرارة والرطوبة بشكل خاص وتختلف درجة الحرارة المثالية اللازمة للتخزين بحسب اختلاف الفاكهة وهناك العديد من الدراسات التي تحدد درجة الحرارة العظمى والصغرى والمثلى لتخزين بذور كل نوع من أنواع بذور أشجار الفاكهة.

الإنبات Germination

كما ذكرنا سابقاً أن البذرة هي عبارة عن البويضة الناضجة Ripened ovule والمكونة من الجنين embryo المحاط بالنسيج المخزن الغذائي Stored tissue والمغلف بالغلاف البذري Seed coat.

يمكن تعريف إنبات البذور على أنه:

مجموع العمليات المتتالية التي تحدث في البذور الناضجة الجافة الساكنة والتي تبدأ عندما تتشرب البذور بالماء imbibe water مما يؤدي إلى زيادة النشاط الاستقلابي metabolic activity وبالتالي تكون بداءات البادرة الكاملة من الجنين Initiation of a seedling from the embryo.
أو أن الإنبات هو استرجاع Resumptipn أنسجة البذرة لنموها و نشاطها الإستقلابي ويتضمن: إعادة التميه Re-hydration والاستفادة من المخزون الغذائي Utilization of nutrient reserves وتطور منتظم ومتتالي في أنظمة الإصطناع الحيوي Synthetic systems مما يمكن النبات الجديد الناضج من التغذية الذاتية والاستبقاء Autotrophic existence.
وفي بعض أشجار الفاكهة تنبت البذور بعد استخلاصها من الثمار وزراعتها مثل بذور الحمضيات – الجوافة – الأكي دنيا – الباباظ.

أما في أشجار فاكهة أخرى فإن البذور لا تنبت بمجرد نزعها من الثمار وزراعتها وذلك بسبب وجود عوامل فيزيائية أو كيميائية أو فيزيولوجية أدت إلى فشل الجنين في الإنبات وهذه البذور تحتاج إلى معاملات خاصة للتغلب على هذه المعوقات الفيزيائية أو الكيمائية أو الفيزيولوجية والتي منعت من حدوث الإنبات مثل بذور معظم أشجار الفاكهة متساقطة الأوراق (تفاح – أجاص – مشمش – خوخ – فستق – لوز).

وبشكل عام هناك عدة معايير يجب توفرها في بذور أشجار الفاكهة لكي تنبت وهي:

-1- حيوية البذور Seed viability: أن تكون البذور حية بمعنى أن يكون الجنين حياً قادراً على الإنبات Embryo is a live and capable to germinat.
-2- أن تكون البذور غير ساكنة Nondormant seeds بمعنى أنه لا يوجد أي مانع فيزيولوجي أو فيزيائي اوكيميائي يعيق الإنبات ويساعد على سكون البذور.
-3- توفر الظروف البيئية المناسبة للإنبات Apporopriate environmental conditions مثل الحرارة – الرطوبة – الأوكسجين.
-4- الرطوبة أو الماء: حيث يكون الإنبات أسرع عندما يكون ماء التربة قريباً من السعة الحقلية field capacity (fc) ويعتبر الماء عاملاً هاماً لبدء الإنبات ويجب التمييز هنا بين امتصاص الماء كعملية فيزيائية ينتج عنها انتفاخ البذرة وبين الإنبات والذي هو ناتج عن بدء النشاط الاستقلابي وارتفاع الأنشطة الفيزيولوجية والبوكيميائية التي تعقب امتصاص الماء وتسبق بزوغ الجذير.
-5- الأوكسجين: يعتبر ضرورياً لعمل السلسلة التنفسية Respiratory chain phosphorelation كذلك يعتبر ضرورياً لعمليات الأكسدة لمعظم المركبات وبالتالي فإن وجوده شرط لحدوث الإنبات في أشجار الفاكهة بدون استثناء.

-6- الحرارة: تختلف الاحتياجات الحرارية بحسب نوع شجرة الفاكهة ولكل نوع درجة حرارة مثالية يحدث عندها أعلى نسبة إنبات ودرجة حرارة عظمى لا يحدث الإنبات إذا ارتفعت الحرارة عنها ودرجة حرارة صغرى لا يحدث الإنبات فيما لو انخفضت الحرارة عنها.
وفي معظم أشجار الفاكهة المتساقطة Deciduous fruit trees تحتاج بذورها إلى فترة من التعرض لدرجات منخفضة من الحرارة (تختلف مدة التعرض ودرجة الحرارة بحسب الصنف أو النوع) وتدعى هذه العملية بالتخزين البارد Cold stratification أو التنضيد أو الكمر ويعتقد أن الحرارة المنخفضة :

- تزيل من تأثير المثبطات التي تعيق قدرة الجنين على الإنبات.
- تحفز على بدء الإنبات.

وهنا تجدر الإشارة إلى أن هذا التعرض لدرجات الحرارة المنخفضة ينتهي مع نهاية فترة الكمر الخاصة ببذور كل فاكهة وأن حرارة التخزين البارد تختلف لاحقاً عن الحرارة المثالية لبدء الإنبات والتي تختلف بدورها عن الحرارة المثالية لنمو وتطور البادرات.

مراحل الإنبات Stages of germination

في معظم الحالات نجد أن أول علامة مرئية للإنبات هي خروج الجذير Radicle emergence من الغلاف البذري (وفي حالات نادرة جداً لا تحدث في بذور أشجار الفاكهة قد تتكون الأفرع أولاً) يتبع خروج الجذير نمو البادرات حيث تنمو البادرات تحت الأرض Under ground ولا تعتمد بعد على التركيب الضوئي في نموها حيث تبدأ عملية التركيب الضوئي بعد نمو البادرة فوق سطح التربة Seedling emergence وتبدأ بالنمو الطبيعي.

وبشكل عام تشمل عملية إنبات البذور في أشجار الفاكهة على عدة مراحل نوجزها بما يلي:

1- مرحلة الإيقاظ أو التنشيط A wakening or activation
أ - التشرب Imbibition
ب -اصطناع وتنشيط الأنزيمات Enzymes synthesis and activation
ج- الاستقلاب والهدم والانتقال Metabolism, Digestion, Translocation
2- مرحلة خروج الجذير واستطالة الخلايا Radical emergence and cell elongation
3- مرحلة نمو البادرات Seedling growth

1- مرحلة الإيقاظ أو التنشيط A wakening or activation

تشمل هذه المرحلة على عدة مراحل حيث تبدأ مرحلة التنشيط بعملية هامة جداً هي:

أ - التشرب Imbibition

يعتبر التشرب أول عملية تحدث في الإنبات حيث تمتص البذور الماء نتيجة ارتفاع الجهد الأوسموزي في نسيج البذرة Osmotic pressure وبالتالي كلما زاد الفرق في الجهد بين الماء الحر النقي وبين الأوسموزيات الموجودة داخل البذرة كلما كان معدل امتصاص الماء أكبر وهذا ما يفسر ارتفاع مقدار تشرب الماء في البداية

بسبب زيادة قوة المص Suction forces والتي تقل تدريجياً مع ارتفاع المحتوى الرطوبي داخل البذرة وبالتالي يقل معها معدل التشرب. وكما هو ملاحظ فإن القوى الأوسموزية هي من أهم العوامل التي تحدد سرعة التشرب ومقدار التشرب والمحتوى المائي النهائي الذي تصل إليه البذور في نهاية هذه المرحلة (حيث أن المحتوى المائي يزيد زيادة مضطردة حتى يثبت).

تجدر الإشارة إلى أن عملية التشرب هي عملية فيزيائية بحتة Physical process تحدث في البذور الحية أو الميتة (نتيجة اختلاف الجهد وليس نتيجة حيوية الجنين) – وتحدث في الظروف الهوائية واللاهوائية (حتى لو حدثت ببطء).

خلال مرحلة الإماهة hydration تمتص الغرويات الموجودة في البذرة الماء مما يؤدي إلى ترطيب السيتوبلاسم وهنا يوجد مرحلة هامة هي الإنتفاخ Swelling حيث تنتفخ أنسجة البذرة وتضغط على الغلاف البذري Seed coat وهذا يؤدي إلى تمزق أو تشقق rupture الغلاف. وفي بعض بذور أشجار الفاكهة مثل اللوزيات والتي تتميز بغلاف بذري قاسي ففي هذه الحالة يعتبر الغلاف البذري عاملاً محدداً لحدوث التشرب والإنبات ويفضل إزالته كلياً أو ثقبه Puncturing أو خدشه Scarification أو تليينه بفعل إنزيمات بكتيروسليولير بحيث يزيد معدل امتصاص الماء بشكل معنوي طبقة تلو الطبقة باتجاه داخل البذرة Inward.

يختلف المحتوى المائي للبذور في بداية مرحلة التشرب عنه في نهايتها بحسب:

1- الصنف.
2- وجود الغلاف البذري.
3- درجة صلابة أو قساوة الغلاف البذري.
4- مدة النقع بالماء.
5- الجهد الأوسموزي للذائبات داخل نسيج البذرة.

من الجدير ذكره أن خلال مرحلة التشرب يزيد مستوى الـ GTP – ATP بسرعة كذلك يزيد معدل تخليق البروتين نتيجة زيادة النشاط الريبوزومي ويرتفع مستوى السكريات التي ربما لها علاقة مباشرة في بداية النمو.

كذلك فقد لوحظ أنه مع بدء تشرب البذور للماء تحدث زيادة ملحوظة في معدل التنفس وربما يعزى ذلك إلى إماهة الأنزيمات الموجودة سابقاً في البذرة وتنشيطها.

ب- اصطناع وتنشيط الأنزيمات Enzymes synthesis and activation

تشمل هذه المرحلة على:

- تنشيط الأنزيمات الموجودة أصلاً في نسيج البذرة.
- اصطناع أنزيمات جديدة غير موجودة سابقاً.

ويختلف نوع الأنزيمات بحسب اختلاف التركيب الكيميائي للبذور، ومعظم الأنزيمات تنشط بالإماهة.

فمثلاً في بذور المشمش والتي تحتوي على نشاء ومركبات عديدة السكر نجد أنزيم α- أميلاز الذي له دور مباشر في تحول النشاء إلى سكر والمركبات السكرية المعقدة إلى سكريات بسيطة (مالتوز – غلوكوز) وهنا في هذا المقرر نحن لسنا بصدد دراسة التركيب الكيميائي لبذور كل نوع من أنواع أشجار الفاكهة إنما يفترض أن الأنزيمات تكون دائماً بحسب التركيب الكيميائي للبذور فالبذور التي تحوي بروتينات ينشط فيها أنزيم البروتيناز، والبذور التي تحوي لبيدات ينشط فيها أنزيم الليباز الذي يحول اللبيد إلى جليسرول وأحماض دهنية بينما يحول البروتيناز البروتين إلى أحماض أمينية.

ومن الأنزيمات الهامة جداً في بذور معظم أشجار الفاكهة هي الفوسفاتيز والفوسفوكينيز حيث معروف أن الفوسفور يوجد ضمن نسيج معظم البذور كونه يدخل في تكوين نيكليوتيد الحمض النووي والفايتين Phytin وإن معظم المحتوى الفوسفاتي داخل البذرة يوجد بالشكل المرتبط bound form بصورة أورثوفوسفات والذي يعتبر عاملاً محدداً في كثير من التفاعلات التي يشترك فيها الفوسفور بحسب صورة تواجده بشكل فوسفو لبيد أو في نيكلوتيدات الأحماض النووية وبالتالي يشترك في عمليات التخليق الحيوي للبروتين Protein syntheses وفي عمليات توليد الطاقة Energy generation processes .

يعتقد أن أنزيم الفايتيز هام جداً في تحرير الفوسفات من الـ Plytin وبالتالي زيادة محتوى الفوسفات خلال مراحل الإنبات.

إن عملية تطور البذور بعد بدء التشرب تمثل نظام بيولوجي فيه ميكانيكية خاصة بعملية الأيض أو الاستقلاب الخاصة بالخلية التي تتحكم بها التعليمات الوراثية وبالتالي تشمل هذه المرحلة على خطوتين:

-1- نسخ Trascription تعليمات وراثية خاصة من جزيء من RNA "tRNA الراسل".
-2- ترجمة Translayion هذه المعلومات بواسطة مجموعة أخرى من RNA "tRNA الناقل" وذلك لتخليق بروتينات جديدة محددة هي الأنزيمات التي ستتحكم في التفاعلات البيوكيميائية المعقدة المتعلقة بالاستقلاب Metabolism والنمو Grouth .
هذه المرحلة تحتاج إلى طاقة يتم الحصول عليها من الروابط الفوسفاتية عالية الطاقة في الـ ATP.

إن الاعتقاد الحالي يشير إلى أن بدء الإنبات يقترن مع نسخ المادة الوراثية وتكوين mRNA خاص بالإنبات أثناء تطور البذور والذي ينتهي بإنباتها نتيجة ترجمة التعليمات الخاصة بتخليق بروتينات وأنزيمات متخصصة بحدوث الإنبات.

ملاحظة: عملية التشرب شرط لتنشيط الـ ATP.

ج-الاستقلاب والهدم والانتقال Metabolism, Digestion, Translocation

تحوي بذور بعض أنواع الفاكهة على دهون – كربوهيدرات – بروتينات وفي هذه المرحلة نتيجة الاستقلاب والهدم تتحول هذه المركبات المعقدة والمخزنة إما في الأندوسبيرم (كما في النخيل) أو في الفلقات (كما في الحمضيات) إلى مركبات بسيطة بفعل النشاط الأنزيمي وتنتقل هذه النواتج البسيطة إلى مواضع النمو في

المحور الجنيني، وتختلف صور عمليات الاستقلاب بحسب اختلاف طبيعة المواد المخزنة في البذرة ويترافق الاستقلاب دائماً مع تنشيط الأنزيمات القديمة وتخليق أنزيمات جديدة وبالتالي تخليق مواد جديدة.

وبالتالي تشمل هذه المرحلة على:

1- هدم المواد الغذائية المعقدة.
2-نقل نواتج الهدم إلى مواضع النمو في المحور الجنيني.
3-تخليق مواد جديدة ناتجة عن نواتج الهدم ولم تكن موجودة أصلاً.

2- مرحلة خروج الجذير واستطالة الخلايا Radical emergence and cell elongation

يعتبر خروج الجذير هو الشاهد المرئي الأول لحدوث الإنبات ويحدث نتيجة انتقال الماء والغذاء بصورته البسيطة إلى موضع النمو في الجنين وتترافق هذه المرحلة مع انقسام الخلايا Cells division واستطالتها elongation.

يحمل المحور الجنيني في قمته ورقة بذرية واحدة (كما في بذور النخيل وبذور الموز في الأصول البذرية البرية accuminata و balbisiana) أو ورقتين بذريتين (كما في بذور التفاحيات واللوزيات ومعظم أشجار الفاكهة الأخرى) وبالتالي يمكن تقسيم بذور أشجار الفاكهة إلى:بذور أحادية الفلقة Monocotyledon (النخيل) وبذور ثنائية الفلقة Dicotyledon

(المشمش – الخوخ – الكرز – العنب)

3- مرحلة نمو البادرات Seedling growth

يحدث تطور البادرات نتيجة الانقسام المستمر للخلايا في مواضع النمو المنفصلة في المحور الجنيني يعقبه تمدد واستطالة في خلايا تراكيب البادرة ، وإن انقسام الخلايا في مواضع النمو منفصلاً عن بدء الاستطالة الخلوية. وعموماً هناك عدة معايير تحدث مع بدء النمو في المحور الجنيني:

1- يزيد الوزن الطازج والوزن الجاف للبادرة ويقل الوزن الكلي للأنسجة المخزنة.
2-يزيد معدل التنفس بشكل مستمر مع تقدم النمو والذي يقاس بمعدل استهلاك O_2.
3-يزيد معدل امتصاص الماء مع بدء خروج الجذير وتطور البادرة ويزيد الوزن الطازج للبادرات.
4-الأنسجة المخزنة للبذرة تتوقف في النهاية عن القيام بأي نشاط استقلابي وذلك مع بدء تكون الفلقات وبدء القيام بالتركيب الضوئي.
ومع تقدم نمو البادرات:

- تصبح تراكيب البادرة مميزة محددة وواضحة.
- نقاط نمو الجذير والسويقة تأخذ مكانها في قاعدة المحور الجنيني بالنسبة للجذير وفي قمة المحور الجنيني بالنسبة للسويقة.
- ساق البادرة تقسم إلى جزأين:

*- جزء أسفل الفلقات ويدعى السويقة الجنينية السفلى Hypolotyl.
*- جزء أعلى الفلقات ويدعى السويقة الجنينية العليا Epilotyl.

السكون Dormancy

يشير علماء الفيزيولوجيا إلى مصطلحين هامين هما السكون Dormancy والهدوء Quiescence حيث:

يشير الهدوء إلى: عدم قدرة البذور على الإنبات بسبب عدم ملاءمة الظروف الخارجية المحيطة.

أما السكون فهو: عدم قدرة البذور على الإنبات نتيجة عوامل داخلية وبالتالي لا يحدث الإنبات حتى لو كانت جميع العوامل الخارجية مواتية لحدوث الإنبات.

وقد قسم علماء الفيزيولوجيا السكون بشكل عام إلى ثلاثة أقسام أو أنواع هي:

-1- السكون البيئي: Eco dormancy
-2- السكون الخارجي: Para dormancy
-3- السكون الداخلي: Endo dormancy

*** السكون البيئي Eco dormancy:**

هو سكون ناتج عن عدم مناسبة أو ملاءمة العوامل البيئية وبالتالي فإن السكون هنا هو مرادف للهدوء.

*** السكون الخارجي Para dormancy:**

هو سكون ناتج عن عوامل فيزيائية أو بيوكيميائية خارجية المنشأ.

*** السكون الداخلي Endo dormancy:**

هو سكون ناتج عن عوامل فيزيولوجية داخلية المنشأ حيث يفشل جنين البذرة في الإنبات حتى لو تم تحريره من كافة المعيقات الأخرى الخارجية أو البيئية.

أنواع السكون Categories of dormancy

<u>أولاً- سكون الغلاف البذري Seed-coat dormancy ويشمل:</u>

-1- السكون الطبيعي الفيزيائي Physical dormancy
-2- السكون الميكانيكي Mechanical dormancy
-3-السكون الكيميائي Chemical dormancy

1- السكون الطبيعي الفيزيائي Physical dormancy

سبب هذا السكون (سكون خارجي Para dormancy)هو أغلفة البذرة والتي تعمل كحواجز ميكانيكية توفر الحماية للجنين من العوامل الخارجية وبنفس الوقت تعيق إنباته والجنين في هذه الحالة هادئ غير ساكن.

ويعتمد تصلب الأغلفة على التركيب الوراثي للنوع والعوامل البيئية، وبشكل عام هناك عدة عوامل تساعد على تليين أغلفة البذرة مثل: الخدش الميكانيكي Mechanical abrasion – التجميد والإذابة المتبادلة أو بإزالة الغلاف البذري أو بفعل المتعضيات الدقيقة.

يلاحظ هذا النوع من السكون في بذور الحمضيات والتفاح والإجاص.

2- السكون الميكانيكي Mechanical dormancy

سكون خارجي Para dormancy يحدث هذا السكون في البذور التي تتميز بغلاف بذري شديد الصلابة والقساوة بحيث يمنع من تمدد خلايا الجنين خلايا الإنبات كما في الغلاف الصلب لبذرة الجوز Walnut shell أو الإندوكارب المتصلب لذوات النواة الحجرية وتختلف هذه الحالة من السكون عن الحالة السابقة أن الأغلفة تمنع الجنين من الإنبات حتى لو نفذ الماء إلى داخل البذرة بسبب قساوة الغلاف البذري.

يلاحظ السكون الميكانيكي في بذور الزيتون Olive – بذور أشجار الفاكهة ذات النواة الحجرية Stone fruits – بذور الجوز – بذور النخيل.

يمكن التغلب على هذا النوع من السكون إما بإزالة الغلاف البذري، أو بالخدش الميكانيكي، أو الخدش نتيجة التبادل الحراري، أو الخدش الكيماوي Chemical scarification.

3- السكون الكيميائي Chemical dormancy

سكون خارجي Para dormancy ويشير هذا النوع من السكون إلى وجود بعض المواد الكيماوية (والتي ليس بالضرورة أن تكون مثبطات نمو) المثبطة للإنبات وذلك عندما تكون البذور مغموسة داخل النسيج الثمري كما في الحمضيات مثلاً حيث تكون البذور على تماس مع المركبات الكيميائية الموجودة في العصير الثمري والتي تلعب دوراً مثبطاً لإنبات البذور.

كذلك يلاحظ هذا النوع من السكون في بذور التفاح والإجاص والسفرجل والخوخ والمشمش والدراق والعنب والكرز.

من المواد المرتبطة بالتثبيط: الفينولات بأنواعها المختلفة – الكومارين – وحمض الأبسيسيك.

يمكن التغلب على هذا النوع من السكون عن طريق غسل البذور بالماء الجاري لمدة زمنية كافية أو إزالة الغلاف البذري أو نزع الجنين.

<u>ثانياً- السكون المورفولوجي:</u>

يحدث هذا النوع من السكون عندما يكون الجنين أثري بدائي غير مكتمل النمو Rudimentary embryo أو أن يكون الجنين غير متطور Un developed embryo بحيث يمر الجنين بمرحلة التطور الكروي والقلبي ثم التوربيدي ولا يتطور عنه وفي هذه الحالة نجد أن الجنين يكون صغيراً جدا مقارنة مع الإندوسبيرم

الكبير الذي يشغل معظم حيّز البذرة (كما في بذور النخيل) وفي هذه الحالة الجنين غير ساكن إنما يجب أن يكتمل نموه لكي يدخل في مرحلة الإنبات.

ثالثاً- السكون الداخلي:

يشمل هذا السكون:

-1- السكون الفيزيولوجي.
-2- السكون الجنيني.

1- السكون الفيزيولوجي Physiological dormancy

يحدث هذا النوع من السكون في البذور التي تحتاج إلى درجات حرارة وإضاءة ورطوبة معينة حتى تنبت (ولا تشير المراجع إلى حساسية بذور أشجار الفاكهة للحرارة أو الإضاءة حتى تنبت إنما يفترض أن كل نوع نباتي له درجة حرارة عظمى وصغرى ومثلى يتحقق عندها الإنبات ليست بالضرورة أن تكون هي نفسها الدرجة المثالية لنمو البادرات).

2- السكون الجنيني Embryo dormancy

في هذا النوع من السكون لا يمكن للجنين المفصول أن ينبت حتى لو توافرت كامل شروط الإنبات الأخرى.

يحدث هذا النوع من السكون في أشجار فاكهة المناطق المعتدلة Temperate zone fruit trees حيث تحتاج بذورها إلى التعرض إلى فترة من البرودة الرطبة لكي يخرج الجنين من طور السكون، وهذه العملية معروفة بستانياً باسم الكمر أو التخزين البارد أو التنضيد Cold stratification: حيث يتم وضع البذور بين طبقات من الرمل المبلل في أكياس نايلون سوداء مثقبة أو في صناديق بالتربة ثم يتم تعريضها إلى درجات برودة لمدة زمنية تطول أو تقصر بحسب النوع النباتي، حيث تتمكن الأجنة في نهاية مدة التخزين البارد من الإنبات عند درجة الحرارة المناسبة للإنبات مع توفر الماء والأكسجين (الهواء)، وكما ذكرنا تختلف مدة الكمر من عشرة أيام إلى أربعة أشهر أو أكثر بحسب النوع النباتي.

يلاحظ هذا النوع من السكون في بذور أشجار الفاكهة المتساقطة (تفاح – أجاص – بطم – كرز – خوخ – مشمش – دراق – عنب ...) وفي هذه الأنواع لا ينبت الجنين ما لم يستوف عدد معين من ساعات البرودة الرطبة، وتجدر الإشارة هنا إلى أن المعاملة بالجبرلين لا يمكنها أن تحل كلياً محل احتياجات البرودة إنما يمكن أن تحل جزئياً محل احتياجات البرودة أو محل مدة التخزين البارد.

التأثير الفيزيولوجي للتخزين البارد : Physiological effect of cold stratification

- يعتقد أنه خلال مدة التخزين البارد يزيد تراكم الأوسموزيات من المواد المعقدة كالبروتينات والنشاء والسكريات والتي تعتبر بمجملها مصدراً هاماً للطاقة ولجذب الماء أو تشربه ثم الإنبات.

- هناك تفسير آخر أنه خلال مدة التخزين البارد تزيد أو تتراكم منشطات النمو Growth promoters مثل الجبرلين والسيتوكينين

- يقلل نسبة المثبطات Growth retardants

لوحظ انخفاض منشطات النمو (أوكسين- جبرلين) في البذور الساكنة بينما ترتفع نسبة المثبطات (مثل ABA وبعض المركبات الأخرى مثل الكومارين- المركبات الفينولية- الأحماض الأمينية- مركبات السيانيد الموجودة في بذور التفاح)، وهذه المركبات الموجودة في البذور تمنع من حدوث الإنبات.

و تعمل الحرارة المنخفضة على خروج العديد من بذور أشجار الفاكهة من طور السكون (التفاحيات- اللوزيات)، وهناك بعض النباتات التي تحتاج إلى تغيير بدرجات الحرارة حتى ينبت الجنين مثلاً حرارة 5 و10، أو التعرض لدرجات حرارة منخفضة ثم رفع درجة الحرارة.

في أشجار فاكهة المناطق المعتدلة (متساقطة الأوراق) تمر بذورها بطور سكون جنيني، حيث لا يستطيع الجنين على الإنبات حتى لو توفرت كامل الظروف البيئية ولا ينبت إلا بعد استيفاء عدد معين من ساعات البرودة (مثل الأجاص Pear والتفاح Apple).

والجدير بالذكر هنا أنه بعد أن يستوفي جنين البذرة احتياجاته من البرودة فإن الإنبات لا يحدث حتى تصل درجة الحرارة إلى الحرارة المثالية المناسبة لنمو الجنين وإنباته وتطور البادرة.

يطلق على عملية تعريض البذور إلى درجات منخفضة من الحرارة ضمن شروط معينة ولفترة زمنية محددة اسم الكمر البارد أو التخزين البارد Cold stratification وهذه العملية معروفة ومستخدمة في بساتين الفاكهة بصورة عملية حيث يتم وضع البذور في بين طبقات من الرمل المرطب Moist sand أو البيت موس Pet mos ثم تترك على درجات حرارة منخفضة لمدة عدة أسابيع لتحريض الإنبات وكسر السكون.

تعتبر درجات الحرارة المنخفضة (وكما في البراعم) فعالة جداً في كسر سكون البذور (السكون الجنيني) غالباً الحرارة القريبة من الصفر وتعتبر الحرارة 5 مناسبة مع معظم الأنواع تقريباً.

هناك بعض التغيرات الاستقلابية التي تحدث في البذور خلال فترات البرودة:

- إعادة توزيع النتروجين والكربون من نسيج الإندوسبيرم إلى الجنين.
- انخفاض محتوى المثبطات استعداداً لإنهاء السكون وبدء الإنبات.
- ارتفاع محتوى الجبرلين والسيتوكينين.

وتجدر الإشارة هنا إلى أن المعاملة بالجبرلين تساعد على كسر السكون حيث تحل جزئياً محل احتياجات البرودة.

ملاحظة هامة:

* يلاحظ أحياناً أكثر من حالة من حالات السكون في نوع نباتي واحد ويطلق اسم السكون المزدوج Double dormancy على سكون الجنين مع سكون الغلاف البذري ويلاحظ هذا السكون مثلاً في بذور المشمش التي يميز فيها السكون الجنيني – السكون الطبيعي الفيزيائي – السكون الميكانيكي والسكون الكيماوي (أي سكون جنيني وسكون أغطية البذرة) ويتم التغلب عليه من خلال:

- الكمر البارد للتغلب على السكون الجنيني.
- إزالة الغلاف البذري أو خدشه للتغلب على السكون الميكانيكي.
- غسيل البذور أو إزالة الغلاف البذري للتغلب على السكون الكيماوي.

التحكم الهرموني في السكون والإنبات

دلت الدراسات أن التحكم بالسكون والإنبات يتعلق بهرمونات معينة منشطة (الجبرلين – السيتوكينين) وأخرى مثبطة (ABA) وتأتي هذه الأدلة من دراسات بيوكيميائية وفيزيولوجية لمراحل السكون والإنبات والتغيرات في المحتوى الهرموني خلال هذه المراحل.

ومن الجدير ذكره أن هذه الارتباطات لا تثبت بالضرورة حيث تختلف الاستجابة لمنظمات النمو خارجياً كما لوحظ بالتجربة بحسب النوع النباتي / طبيعة السكون / مرحلة الإنبات / كفاءة الهرمون.

***- الجبرلين:**

يتحكم بصورة مباشرة في إنبات البذور ويعتبر GA3 أكثر الجبرلينات شيوعاً واستخداماً، حيث لوحظ أن الجبرلين يوجد بتركيز مرتفع أثناء نمو وتطور البذور ويقل تركيزه مع استمرار النضج وفي البذور المكتملة النضج خاصة البذور ثنائية الفلقة.

الجبرلين له دور في عدة من مراحل الإنبات حيث له دور في نسخ المادة الوراثية وتكوين mRNA الخاص بتخليق الأنزيمات، كذلك له دور في تنشيط الأنزيمات الخاصة بعمليات الاستقلاب والمسؤولة عن تحويل المركبات المعقدة إلى مركبات بسيطة.

يستخدم الجبرلين لكسر السكون الجنيني حيث يحل جزئياً محل احتياجات البرودة كذلك لكسر السكون الفيزيولوجي.

***- السيتوكينين:**

يزيد تركيزه أثناء نمو وتطور البذور ويصعب الكشف عنه في البذور الناضجة ويعتقد أن عمل السيتوكينين أثناء الإنبات هو تقليل فعل المثبطات (ABA) أو أن يآزر فعل المنشطات (الجبرلين).

***- حمض الأبسيسيك:**

أكثر مثبطات النمو معنوية وله دور في:

-1- عدم تطور الأجنة.
-2- يمنع إنبات البذور غير الساكنة ويعتبر مضاد جبرلين بهذا الشأن.
-3- إحداث السكون الكيماوي في بذور الخوخ – الجوز – التفاح – الدراق، حيث يزيد تركيزه مع نضج الثمار ويرتبط مع السكون حيث تم فصله من البذور الساكنة في التفاح والدراق ... ويقل تركيزه ويختفي أثناء الكمر.

2- سكون البراعم Bud dormancy

يشير مصطلح السكون Dormancy إلى عدم قدرة بعض الأنسجة النباتية (بذور- براعم- أبصال- كورمات) على النمو رغم توفر الماء والأكسجين والحرارة المناسبة.

يشير عدد من العلماء إلى مصطلح الهدوء Quiescence بدلاً من السكون Dormancy أو طور الراحة Rest phase أو السكون الحقيقي True dormancy أو السكون العميق Deep dormancy أو الاضطراري المؤقت Temporarily dormancy وجميعها تشير بشكل مباشر أو غير مباشر إلى انخفاض معدل النمو النشط خلال فترة زمنية معينة تدخل فيها شجرة الفاكهة بطور سكون.

السكون عملية دورية مستمرة تحدث على درجات متفاوتة، فالبراعم التي دخلت بطور سكون مفاجئ وسريع على سبيل المثال يمكن أن تستعيد نموها النشط بسهولة عند توفر الشروط المناسبة أما البراعم التي دخلت بطور سكون عميق- طويل فتحتاج إلى معاملات أكثر كي تخرج من طور السكون.

وبشكل عام هناك عوامل داخلية Intrinsic وخارجية Extrinsic (Extrinsic-Intrinsic) تتداخل مع بعضها بهدف:

- استحداث السكون Dormancy induction
- استمرار استبقاء السكون Dormancy maintenance
- كسر السكون Dormancy release

هناك عدة تساؤلات تقترن مع دراسات طور السكون:

-1- ما هي الإشارات (البيئية) التي تحرض على حدوث السكون وكيف يتم استقبالها؟
-2- ما هي التغيرات الاستقلابية التي تحدث والتي يكون نتيجتها خفض معدل النمو النشط؟
-3- ما هي الإشارات التي تستعيد الشجرة من خلالها نموها في زمن معين؟

يترافق سكون البراعم مع:

1- تساقط الأوراق Leaf fall
2- انخفاض نشاط الكامبيوم Decrease cambial activity
3- زيادة تحمل البرودة Increase cold hardiness
4- انخفاض معدل النمو
5- انخفاض معدلات الأوكسين والجبرلين (ويمكن تقدير محتوى الهرمونات قبل وبعد حدوث السكون)
6- ارتفاع محتوى حمض الأبسيسيك ومثبطات النمو الأخرى التي تترافق مع سكون البراعم وقد لوحظ أن معاملة البراعم الساكنة بـ ABA يطيل فترة السكون.
7- انخفاض النشاط التنفسي Respiratory activity.
8- عدم القدرة على النمو حتى لو توفرت كميات كافية من الماء والأكسجين والحرارة المناسبة.

إن سكون البراعم في أشجار الفاكهة المتساقطة الأوراق مناظر تماماً للاستجابة لظروف النهار القصير الذي يحدث في نهاية الصيف، وفي معظم الحالات يعتبر الفيتوكروم Phytochrome من العوامل الهامة في موضوع السكون وتعتبر الأوراق مستقبلات Preserves لتأثير الفترة الضوئية .

البرعم هو فعلياً ميرستيم لم تستطل فيه المسافات ما بين العقد وكذلك الأوراق وجميعها تتألف مجموعة من الأوراق المحورة يطلق عليها اسم Bud scale هذه الحراشف البرعمية Bud scales:

- تقوم بوظيفة حماية Protective function
- تمنع جفاف البرعم Bud desiccation
- تخفض معدل التنفس وتؤدي إزالتها إلى ارتفاع معدل التنفس.

تشير بعض الدراسات الحديثة إلى أن مثبطات تخليق DNA والبروتين يمكن أن تمنع من دخول البراعم في طور السكون وبالتالي فإن السكون يمكن أن يشمل على استمرار نسخ مادة وراثية جديدة.

يمكن استحداث السكون عن طريق خفض درجات الحرارة (التي تترافق مع ظروف النهار القصير) ولكن التأثير الأكبر لدرجات الحرارة يظهر عند كسر السكون.

في معظم الحالات يكون التعرض لفترة من درجات الحرارة المنخفضة أمراً ضرورياً قبل استئناف النمو النشط، بمعنى آخر يجب أن تستوفي البراعم الساكنة حدها من احتياجات البرودة Chilling requirement قبل أن تصبح الخلايا قادرة من جديد على الانقسام والاستطالة. تعتبر هذه العملية من العمليات الحساسة جداً في أشجار الفاكهة حيث يتم استحداث البرعم الزهري (المسؤول عن العقد والإثمار) في الصيف الماضي حيث تتجاوز الشتاء وتستوفي احتياجات البرودة وتستمر بنموها وتطورها في الربيع.

تعتبر درجات الحرارة المنخفضة جداً (فوق درجة التجمد) Just above freezing هي الأكثر فعالية في كسر السكون.

وبشكل عام تختلف احتياجات البرودة حسب الصنف وحسب موقع البرعم في الشجرة، فمثلاً يحتاج التفاح Apple (Malus pumila)- الأجاص Pear (Pyrus comminus)- الكرز Cherry (Prunus sps) إلى التعرض على درجة حرارة < 7 م لمدة تتراوح من 7-9 أسابيع حتى تخرج من طور السكون.

*- أنواع أخرى مثل (Prunus Americana, Americana plum) تحتاج لمدة أطول تزيد عن 22 أسبوع.

*- أنواع أخرى مثل المشمش Apricot يحتاج من 4-6 أسابيع.

*- في الكاكي (Persimmons) تحتاج إلى 4 أيام فقط لاستئناف النمو النشط.

إن درجة الحرارة في المناطق المعتدلة تتفاوت بشكل كبير عبر الفصول ولكن لا تعاني البراعم الساكنة أي مشكلة من جراء التباينات الحرارية حيث هذه البراعم تبقى ساكنة ما لم تحصل على الحرارة الحرجة (الصفر البيولوجي) لفترة زمنية معينة لتستأنف بعدها نموها النشط.

يعتبر سكون البراعم في المناطق المعتدلة شائعاً ومعروفاً في معظم أشجار الفاكهة ويعتبر تحريض السكون أمراً هاماً وحرجاً تماماً كما هو الحال في كسر السكون.

بشكل عام، يبدأ سكون البراعم قبل شيخوخة الأوراق Leaf senescence حيث براعم الكثير من أشجار الفاكهة تتوقف عن النمو في منتصف الصيف، وأحياناً ما يكون لها موجة نمو ثانية في نهاية الصيف قبل أن يبدأ طور السكون العميق في الخريف والشتاء، وإن البراعم الزهرية التي ستنمو في الفصل القادم تتشكل بشكل نموذجي واعتيادي على الأشجار المثمرة في منتصف الصيف.

تبقى الأوراق الخضراء وتستمر عملية التركيب الضوئي Photosynensis بالشكل الفعال حتى الخريف المبكر حيث تدخل الأوراق في طور الشيخوخة وتبدأ استجابتها لظروف الحرارة المنخفضة، **وفي هذه الفترة تحدث تغيرات فيزيولوجية هامة حيث :**

-1- يفقد الكلوروفيل من الأوراق Chlorophyll lost
-2- يترافق فقد الكلوروفيل مع ظهور أصبغة الكاروتين الصفراء والبرتقالية Yellow and orange carotenoid pigments
-3- كذلك يتم اصطناع صبغة الأنثوسيانين Anthocyanin synthesis
تكون الثمار (كما في التفاح مثلاً) ناضجة في هذا الوقت.

وتجدر الإشارة إلى أن بداية الخريف والذي يترافق مع انخفاض في درجة الحرارة فإن هذا الانخفاض يرتبط مع ظروف النهار القصير والصقيع أحياناً (وبالتالي يعزى تفسير الكثير من الظواهر المتعلقة بانخفاض الحرارة إلى ظروف النهار القصير أيضاً وموجات الصقيع)، وبالتالي فإنه من الممكن تحريض سكون البراعم في معظم أشجار الفاكهة عن طريق درجة الحرارة المنخفضة (بينما لا يمكن تحريض السكون عن طريق الحرارة المرتفعة حتى لو كان النهار قصيراً، وبالتالي فإن انخفاض الحرارة شرطاً رئيسياً لسكون البراعم، بينما لا يلعب طول النهار أو قصره هذا الدور الهام بالنسبة لأشجار الفاكهة، حيث لوحظ في بعض أشجار فاكهة المناطق المعتدلة أن انخفاض درجة الحرارة إلى حدود خمس عشرة درجة مئوية يؤدي إلى حدوث السكون سواء في ظروف النهار القصير أو الطويل، (بينما قد يلعب النهار القصير دوراً إيجابياً في تحريض السكون عندما تكون درجة الحرارة في مجال 19 – 21 ْم) وبالتالي فإن ظاهرة السكون هي مثلها مثل أي ظاهرة فيزيولوجية أخرى تحدث نتيجة تداخل عوامل كثيرة داخلية وخارجية والعامل الأول المحدد للسكون هو التركيب الوراثي للنوع أو الصنف Genotype.

يحدث السكون الأولي للبراعم قبل السكون الحقيقي، والفرق بينهما أن السكون الأولي يمكن عكسه عادة باعتدال أو ارتفاع درجة الحرارة (التي تترافق مع نهار طويل وإضاءة مستمرة) ولكن عندما يصل البرعم إلى مرحلة السكون الحقيقي فهذا النوع من السكون لا يمكن التغلب عليه حتى يستوف البرعم عدداً معيناً من ساعات البرودة.

* الشكل المورفولوجي للبرعم له دور كبير في حدوث السكون، حيث لوحظ أن البراعم الساكنة تمتلك مسافات قصيرة بين العقد، إضافة إلى أنها تحتوي على أوراق محورة تدعى الحراشيف البرعمية Bud scales والتي

لها دوراً هاماً في حماية البراعم في ظروف الإجهاد وخاصة الجفاف Desiccation أو أنها تحمي البراعم من انخفاض الحرارة الشديد وتحد من حركة الأكسجين والتبادل الغازي (وبالتالي فإن الحراشيف البرعمية لها دور مماثل للغلاف البذري الذي يحمي الجنين).

* كذلك يعتبر المحتوى الهرموني (نسبة المنشطات / المثبطات) ذو دور هام في تحريض السكون حيث نشرت العديد من الأبحاث في مجال تحريض تكوين براعم ساكنة في العديد من أشجار الفاكهة عن طريق المعاملة بحمض الأبسيسيك ABA، لذلك لوحظ ارتفاع نسبة ABA عند اجراء تحليل كروماتوجرافي للبراعم الساكنة وانخفاض نسبة المنشطات (أوكسين + سيتوكينين) ومع ذلك فإنه ليس المحتوى الهرموني هو المسؤول الوحيد عن حدوث السكون.

* تعتبرالحرارة هي المؤشر الأول لحدوث السكون وقد بدأت دراسة تأثير الحرارة على السكون منذ عام 1880 بينما لم تهتم الأبحاث بدراسة تأثير الفترة الضوئية أو طول النهار حتى 1950.

وبالتالي فإن الحرارة المنخفضة (المترافقة مع النهار القصير) تؤدي إلى دخول النبات بطور السكون بينما يتم كسر السكون بعد أن يستوف البرعم احتياجاته الكاملة من البرودة و الذي يترافق مع ارتفاع درجة الحرارة (و ظروف النهار الطويل) وذلك. وهنا تجدر الإشارة إلى دور صبغة الفيتوكروم حيث أن من المعروف أن صبغة الفيتوكروم تظهر بصورتين:

الصورة النشطة (Pfr): والتي تتكون عند التعرض للضوء الأحمر Red (660 – 760 nm)

الصورة غير النشطة (Pr): والتي تتكون عند التعرض للضوء الأحمرالبعيد Far-Red (760 – 800 nm)

يمكن أن يكسر سكون البراعم بالتعرض إلى درجات منخفضة من الحرارة ويتطلب الأمر شهوراً أحياناً على درجات حرارة أقل من 10ْم وفي أشجار الفاكهة متساقطة الأوراق يعتبر المجال الحراري 5 – 7ْم أكثر تأثيراً في كسر السكون من حرارة الصفر، وهناك دراسات عديدة أجريت على أشجار الفاكهة لتحديد أقل فترة برودة يمكن التعرض لها لكسر السكون ودرجة الحرارة الواجب توفرها خلال هذه الفترة، فمثلاً يحتاج التفاح من 1000 – 1400 وحدة حرارية تكون فيها درجة الحرارة أقل من 7 و أعلى من الصفر المئوي .

تأثير الوحدات الحرارية (وحدات البرودة) لا يكون على كامل الشجرة بل على البراعم الساكنة حيث أن الفرع المعرض للحرارة المنخفضة في الشتاء يمكن أن يورق بالربيع المبكر وما تزال البراعم ساكنة.

يعتبر طور السكون في أشجار الفاكهة متساقطة الأوراق وفي الأشجار الخشبية في المناطق المعتدلة من أهم الأطوار التي تحدث بصورة دورية (حولية) خلال مراحل تطور شجرة الفاكهة، وذلك لأنه يساعد أشجار الفاكهة على تجاوز ظروف فصل الشتاء الباردة والقاسية والتي قد تترافق مع ظروف إجهاد عديدة وغير متوقعة (صقيع- فيضان- ثلوج- ....). ويعتبر البرعم في شجرة الفاكهة هو عضو الاستجابة للسكون (تحريض- كسر) حيث لوحظ في بعض أشجار الفاكهة متساقطة الأوراق أنه خلال طور السكون قد يستمر النمو بشكل بطيء في معظم أعضاء الشجرة رغم أن البرعم في حالة سكون.

تستطيع شجرة الفاكهة أن تقاوم درجات الحرارة المنخفضة خلال طور السكون وتفقد قدرتها على المقاومة بعد انتهاء وكسر السكون (Martin,1991).

يلعب طور السكون دوراً هاماً وفاعلاً في حياة شجرة الفاكهة متساقطة الأوراق حيث يؤثر بشكل مباشر في أهم العمليات الحيوية الخاصة بالنمو الخضري والزهري (Lang,1987).

يرغب علماء أشجار الفاكهة المهتمين بالإكثار والإنتاج بزراعة أشجار فاكهة المناطق المعتدلة في ظروف المناخ الدافئ حيث لا تتوفر درجات الحرارة المنخفضة ومدة البرودة اللازمة لكسر سكون البراعم وفي هذه الحالة وجد العلماء أنه يجب تأمين كمية معينة أو عدد معين من ساعات البرودة (Chilling units) لأشجار الفاكهة المتساقطة (حتى بظروف المناخ الدافئ) بحيث تتجاوز شجرة الفاكهة طور السكون ويتم كسر سكون البراعم ويحدث الإزهار في الربيع (وتلعب بعض المواد الكيماوية دوراً هاماً في كسر السكون حيث قد تحل جزئياً محل احتياجات البرودة).

وعموماً تحتاج كل أشجار الفاكهة متساقطة الأوراق إلى كمية محددة من ساعات البرودة وذلك:

- لتدخل في طور السكون.
- للخروج من طور السكون (Allan,1999 a).

عندما تنخفض درجات الحرارة مع بدء فصل الخريف تبدأ شجرة الفاكهة بالدخول بطور السكون أو الراحة (Rest phase) وتستمر على هذه الحالة حتى تنخفض الحرارة أكثر في فصل الشتاء مما يؤدي إلى دخولها بطور السكون العميق (Deep dormancy) وتختلف الاحتياجات الحرارية من شجرة فاكهة إلى أخرى (من حيث درجة الحرارة نفسها- وعدد ساعات التعرض لهذه الدرجة) كذلك تختلف ضمن نفس الأنواع التابعة لنفس الجنس.

عندما تكون احتياجات البرودة كافية فتدخل الشجرة عندها بطور السكون (Eco-dormancy) حتى تعود درجة الحرارة إلى الحدود الطبيعية بحيث يحدث النمو والإزهار، وإن انخفاض درجة الحرارة المفاجئ Snap بعد أن تستأنف شجرة الفاكهة نموها فإن ذلك يؤدي إلى ضرر (وأحياناً موت) الأزهار المتفتحة والثمار الفتية ويطلق على هذه الحالة اسم خطر الصقيع المتأخر (Late frost danger) عندما لا تتعرض شجرة الفاكهة في الشتاء إلى احتياجاتها من البرودة يؤدي ذلك إلى نمو وإزهار غير منتظم في الربيع وتتأثر قوة نمو الشجرة بشكل سلبي وتعرف هذه الظاهرة بـ: تأخر النمو الخضري (Delayed foliation) أو طور راحة متأخر (Prolonged rest).

عندما تتعرض الأشجار لدرجات حرارة مرتفعة خلال النهار "<19م" فإن ذلك يؤثر سلبياً في الشجرة حتى إذا كانت درجات الحرارة بالليل منخفضة وأدت بمجموعها إلى تحقيق الاحتياجات الحرارية اللازمة ونفس الأمر فيما لو حدث انخفاض شديد في درجة الحرارة "<1,4م".

نماذج وحدات البرودة Chill unit models

تم تطوير عدة نماذج مختلفة لقياس الاحتياجات الحرارية الخاصة بأشجار الفاكهة سواء من حيث المدة اللازمة لإنهاء طور السكون أو من حيث وقت الإزهار حيث درس:

1- الصفر البيولوجي: درجة الحرارة الحرجة التي يجب أن تتعرض لها الأشجار.
2- عدد ساعات التعرض للصفر البيولوجي.

وقد تم تحديد عدة نماذج منها:

1- **نموذج (Seeley and walker, 1974)** استخدم هذا النموذج في بداية الأمر لتحديد الاحتياجات الحرارية الخاصة بشجرة الأجاص Peach ثم طور ليشمل معظم أشجار فاكهة المناطق المعتدلة.

يعتمد هذا النموذج على تحديد عدد وحدات البرودة/ساعة عند درجة حرارة الصفر البيولوجي.

يعاب على هذا النموذج أنه غير دقيق خاصة بالنسبة إلى أشجار الفاكهة المتساقطة النامية في ظروف شتاء دافئ ترتفع فيه درجة حرارة النهار عن 19°م وبالتالي كان لابد من تطوير نموذج آخر لتحديد الاحتياجات الحرارية بشكل يومي بحيث يتم الأخذ بعين الاعتبار برودة الليل (حتى في ظروف النهار الدافئ نسبياً).

درجة الحرارة	عدد الوحدات/سا
<1,4	0
1,5 – 2,4	0,5
2,5 – 9,1	1 المثالي
9,2 – 12,4	0,5
12,5 – 15,9	0
16,0 – 17,9	-0,5
>18	-1,0

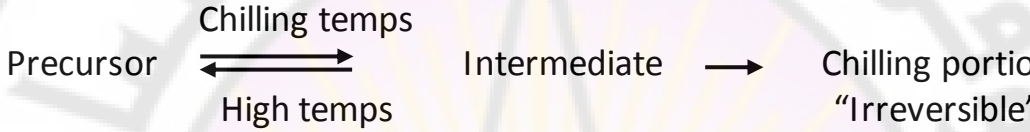
2-**نموذج DPCUS (Daily positive chill units modal)** يعتمد هذا النموذج على تجميع الوحدات الحرارية باستخدام معدل درجة الحرارة/ساعة ثم بتجميع المعدلات خلال 24 ساعة، وبهذه الحالة:

- إذا كان مجموع معدلات الوحدات الحرارية خلال 24 ساعة أقل من الحد المطلوب فيعطى الرقم 0.
- إذا كان مجموع الوحدات الحرارية خلال 24 ساعة هي أعلى من الحد المطلوب فتعتبر النتيجة إيجابية وتضاف القيمة إلى الرقم النهائي لكامل احتياجات البرودة التي تحتاجها الشجرة.

أطلق على هذا النوع اسم DPCUS (Linsley *et al.*, 1995) ويتميز هذا النموذج بأنه أكثر دقة من سابقه خاصة بالنسبة لأشجار الفاكهة النامية بظروف شتاء دافئ (درجة حرارة نهار <1,4> (Allan, 1999b).

2- **النموذج الديناميكي، نموذج (Fishman *et al.*,1987):** وهو أعقد من النموذجين السابقين حيث تم إضافة عامل آخر هو مدة التعرض لدرجات الحرارة الحرجة. يفترض هذا النموذج أن معدل إتمام أو إنهاء طور السكون يعتمد معدل تراكم عامل كسر السكون في البرعم (Dormancy breaking factor) من خلال خطوتين:

- الخطوة الأولى عكوسة ينتج عنها مادة بدئ (بادئ) غير مستقرة حرارياً. يتم تحفيز تكوين هذا البادئ بالتعرض لدرجات الحرارة الباردة (1.5-12.4°c) بينما تؤدي درجة الحرارة المرتفعة إلى عكس العملية.
- الخطوة الثانية غير عكوسة Irreversible حيث عندما يتلقى هذا البادئ الحد الحرج أو المدى الحرج (تجميع عدد ساعات البرودة اللازمة) فعندها سينتقل بشكل غير عكوس مرحلة عامل كسر السكون الثابت العميق Stable dormancy breaking factor أو ما يسمى بجزء أو حد البرودة Chilling portion (CP) (Allan, 1999b). عندما يتشكل الـ Cp فهذه خطوة غير عكوسة حتى لو اتبعت بارتفاع بدرجات حرارة النهار.



مخطط (12): يوضح الخطوتين الخاصتين بالنموذج الديناميكي (Allan and Hattingh, 1998).

وبالتالي تم تقسيم أشجار الفاكهة بحسب عدد ساعات احتياجها للبرودة إلى:

- أنواع ذات احتياجات منخفضة من الحرارة.
- أنواع ذات احتياجات متوسطة من الحرارة.
- أنواع ذات احتياجات مرتفعة من الحرارة.

ففي ذوات النواة الحجرية تحتاج الأنواع ذات الاحتياجات الحرارية :

- المنخفضة إلى 250>
- المتوسطة إلى 250 – 400
- المرتفعة إلى 400<

وفي الـ Pome تحتاج الأنواع ذات الاحتياجات الحرارية

- المنخفضة إلى 600>
- المتوسطة إلى 600 – 1000
- المرتفعة إلى 1000<

أمثلة عن سكون البراعم في أشجار الفاكهة Bud dormancy

إن طور النمو الخضري لا يمثل عملية مستمرة لكنه يرتبط بفترات يتميز فيها بالهدوء (Quiescent) أو السكون (Dormancy) وغالباً ما يكون سبب هذا الهدوء هو الظروف البيئية غير المناسبة.

وإن سكون البراعم مماثل لسكون البذور حيث يصل معدل النمو إلى أقل درجة ممكنة إلى حين سماح الظروف الخارجية باستعادة النمو الطبيعي. مثال على ذلك، تنتج النباتات الخشبية في المناطق المعتدلة براعم خضرية على كل عقدة خلال موسم النمو، وإن عجز هذه البراعم عن النمو بعد تكوينها يرجع أساساً إلى ظاهرة السيادة القمية التي يتحكم فيها التوزيع غير المتساوي للأزكسين. في هذا الوقت يمكن دفع هذه البراعم للنمو عن طريق عمليات التقليم حيث يتم إزالة الميرستيمات القمية المثبطة للنمو، أما مع بدء حلول فصل الخريف وبدء انخفاض درجات الحرارة فإن هذه البراعم تدخل بطور سكون حقيقي (بغض النظر عن الأوكسين) لا تخرج منه ولا تستأنف نموها حتى ولو وضعت في ظروف مدفأة ضمن البيت البلاستيكي.

بشكل عام تختلف درجة السكون بحسب:

1- الأنواع النباتية: تختلف شدة السكون من نوع نباتي إلى آخر.
2-بحسب البراعم الموجودة على نفس النبات.
مثلاً تحتاج البراعم الزهرية لبعض أشجار الفاكهة مثل الخوخ والكرز و اللوز و المشمش والتفاح إلى درجات حرارة أكثر انخفاضاً من البراعم الخضرية وبالتالي تخرج الأزهار قبل ظهور الأوراق.

ويستوجب الدخول بطور السكون في أشجار فاكهة المناطق المعتدلة توفر درجات منخفضة من الحرارة (والتي تترافق غالباً مع ظروف النهار القصير).

وهناك من يعزي تأثير الحرارة المنخفضة إلى أنها تسبب تراكم المثبطات وبالتالي الدخول في طور السكون.ومن الجدير بالذكر أن طور السكون هو طور هام جداً لبقاء النبات واحتفاظه بحياته واستئناف نشاطه لاحقاً.

ولا يختلف طول مدة السكون بحسب النوع النباتي فقط بل بحسب الأصناف التابعة لنفس النوع، ويجب أن يتحقق شرطان لكسر طور السكون:

1- أن تتعرض الشجرة لدرجة الصفر البيولوجي والتي تختلف من نوع نباتي إلى نوع نباتي آخر.
2- مدة التعرض لدرجة الصفر البيولوجي: حيث لا يمكن كسر السكون إلا باستيفاء عدد معين من ساعات البرودة.

مثال على ذلك تحتاج أشجار الدراق إلى 350 – 1200 ساعة برودة على درجة حرارة الصفر البيولوجي للدراق (7 ْم). ضمن هذا المدى (350 – 1200 ساعة) تم انتخاب أصناف خوخ مختلفة بحسب عدد ساعات احتياجها للبرودة حيث تم انتخاب أصناف ذات احتياجات برودة أقل من أصناف أخرى.

وبالتالي فإن أشجار الفاكهة متساقطة الأوراق تحتاج إلى كمية معينة من البرودة Chilling من أجل كسر طور الراحة الشتوي Winter Rest أو طور السكون Dormancy.

مثال على اختلاف مدة الاحتياج لساعات البرودة:

في التفاح صنف:

- Royal gala 1000 – 800
- Golden delicious 1000 – 800
- Granny smith 600
- Braeburn 800
- Fuji 1000 - 800

في الكرز تحتاج أصناف الـ Burlat – Lapins و Bing جميعها إلى 1000 ساعة برودة.

في الـ Pears:

- Bon chretien 1000 – 800
- Golden russet bosc 1000 – 800
- Forelle 700 – 600
- Rosemarie 800 – 700
- Flamingo 900 – 700

و بالتالي تمر أشجار الفاكهة متساقطة الأوراق Deciduous fruit trees في المناطق المعتدلة بمراحل معينة يحدث فيها توقف النمو النشط Cessation of active growth.

تتشكل البراعم في نهاية فصل الصيف وبداية الخريف وتمر بفصل الشتاء بطور سكون ولا تستعيد النمو النشط حتى بدء فصل الربيع.

يعتبر سكون البراعم ميكانيكية دفاعية تتجاوز فيها شجرة الفاكهة الظروف القاسية خلال فصل الشتاء.

إن دخول شجرة الفاكهة بطور سكون يجب أن يحدث قبل بدء الظروف القاسية المترافقة مع الانخفاض الشديد في درجة الحرارة ولا تخرج من طور السكون أيضاً إلا بعد انقضاء كامل الفترة الحرجة وبدء حدوث تغيرات بيئية (خاصة حرارية) تساعد على الخروج من السكون وبدء النمو والتطور من جديد (النمو النشط) وإن ارتفاع درجات الحرارة المفاجئ في فصل البرودة يؤدي إلى تعرض البراعم إلى ارتفاع مفاجئ في درجة الحرارة (غير مرغوب) Un seasonably worm period في موسم البرودة لا يعني خروج هذه البراعم من طور السكون فإن المعنى الدقيق للسكون يتجاوز كونه فقط فترة من عدم النشاط أو من انخفاض النشاط إلى الحدود الدنيا.

السكون في شجرة الفاكهة هي هو ظاهرة تحدث دورياً (سنوياً) Regulated phenomenon نتيجة تأثير عوامل البيئة ولا يكسر السكون إلا بتعديل عوامل البيئة والتي تترافق حكماً مع حدوث تغيرات استقلابية هامة في شجرة الفاكهة.

هناك عدة معاملات لكسر السكون في البراعم منها:

- معاملة بمادة كيماوية مثل : 2 كلورو - إيتانول والذي يدعى تجارياً باسم كلورو هيدرني الإيتلين وقد استخدم بصورة غاز Vapor وثبت فعالية المركب في كسر سكون العديد من أشجار الفاكهة.
- المعاملة بالجبرلين أيضاً لها دور في كسر سكون الأشجار متساقطة الأوراق حيث يمكن أن يحل جزئياً محل احتياجات البرودة (تماماً كما هو دوره في كسر سكون البذور) ويحرض إزهار الأشجار التي تحتاج إلى حرارة منخفضة حتى تزهر.

التحكم في سكون البراعم Control of Buds dormancy

هناك عدة عوامل تتحكم بالسكون:

1-عوامل وراثية Genetic factors
2-دور منظمات النمو Effect of phyto hormones
3-تأثير عوامل البيئة Environment factors

1- العوامل الوراثية Genetic factors

تعتبر من أهم العوامل وأول العوامل التي تتحكم في السكون حيث تختلف مدة السكون بحسب النوع النباتي ضمن نفس الجنس نتيجة اختلاف التركيب الوراثي كذلك تختلف الاستجابة لمعاملات كسر السكون أيضاً بحسب اختلاف التركيب الوراثي.

2- دور منظمات النمو Effect of phyto hormones

هناك عدة شواهد تشير إلى دور منظمات النمو في حدوث السكون وذلك في مراحل السكون المختلفة :

1- مرحلة الاستحداث:

تتميز هذه المرحلة بانخفاض شديد وجاد في الـ Promoters منشطات النمو وزيادة محتوى المثبطات Inhibitors وربما يتأثر هذا الطور أيضاً بالعوامل البيئية خاصة درجة الحرارة .

2- مرحلة السكون (الاستبقاء):

يتميز هذا الطور :

1- انخفاض النشاط الاستقلابي Metabolic activity
2- انخفاض محتوى المنشطات وارتفاع محتوى المثبطات
3- حدوث تغيرات في الظروف البيئية تؤثر على مدة هذا الطور، حيث لا تخرج الشجرة من طور السكون إلا باستيفاء ساعات البرودة من الصفر البيولوجي الخاص بالشجرة وضمن فترة معينة، وفي حال حدوث استثناءات كإجهاد الصقيع مثلاً فإنه يؤدي إلى خروج البراعم من طور السكون قبل أوانها.

3- مرحلة التنبه Trigger:

يتميز هذا الطور :

1- حساسية عالية للظروف البيئية
2- بدء انخفاض مستوى المثبطات Inhibitors وارتفاع حاد بمستوى المنشطات Promoters

4- مرحلة كسر السكون :

يتميز هذا الطور :

1- ارتفاع حاد بنسبة المنشطات وانخفاض نسبة المثبطات.
2- بدء النشاط الأنزيمي وزيادته زيادة طردية Enzyme activity
3- زيادة عمليات الاستقلاب والنشاط الاستقلابي.

إن طول كل فترة من الفترات السابقة أو قصرها يتوقف على الجنس والصنف، وبشكل عام فإن معظم المراجع تشير إلى:

1- الدور المباشر للجبرلين والسيتوكينين (منشطات) وحمض ابسيسيك (مثبط) في السكون وكسر السكون.
2- الدور غير المباشر للأوكسين والإيتلين في السكون وكسر السكون.

حمض الأبسيسيك ABA

تحدث تغيرات بمستويات ABA الداخلية بدءاً من مرحلة بدء السكون حيث يزيد تدريجياً حتى السكون الكامل العميق، ثم يقل خلال مرحلة كسر السكون، وبشكل عام فإن مستوى ABA ينخفض أثناء فترة البرودة ولكن ما يزال هناك تساؤل هام: هل البرودة هي الوحيدة المسؤولة عن انخفاض محتوى ABA وبالتالي الدخول بطور السكون أم أن انخفاض ABA هو المحرض الفاعل للدخول بالسكون؟

هناك عدة أبحاث تشير إلى أن المعاملة بالفلوريدون (floridone) وهو مثبط لتخليق ABA فإنه لا يمنع من تحريض السكون فيما لو ترافق مع انخفاض الحرارة (دليل أن الحرارة هي العامل الأول المسؤول عن السكون) كذلك لا يمنع من تحريض السكون عندما يضاف بعد ارتفاع مستوى ABA ووصوله إلى حد معين من تأثيره في إحداث السكون.

هناك وجهات نظر أخرى تفيد أن حمض الأبسيسيك لا يملك إمكانية تحريض السكون إنما له دور في زيادة فترة السكون.

الجبرلين:

إضافة الجبرلين خارجياً لها دور في التخفيف من أنواع معينة من السكون وهو السكون العكوس أو السكون الحقيقي العميق فلا يمكن كسره بالمعاملة بالجبرلين ولا يكسر إلا :

- بتعرض الشجرة لدرجة الصفر البيولوجي.

- باستيفاء الوحدات الحرارية من درجة الصفر البيولوجي وبالتالي فإن الجبرلين يحل جزئياً محل الحرارة المنخفضة.

الستوكينين:

بعض الدراسات تشير إلى أن الستوكينين له دور في كسر سكون البراعم ودراسات أخرى تنفي هذا الدور، ولكن بشكل عام يقل المحتوى السيتوكينيني خلال طور السكون ويزيد مع بدء كسر السكون.

الإيتلين:

ليس له دور مباشر في كسر السكون حيث لوحظ تأثيره في بعض الأشجار التي تحررت جزئياً أو كلياً من السكون الأصلي بالتعرض للبرودة وبالتالي لم يكن له دور منظم ومباشر في سكون البراعم.

الأوكسين:

هناك أبحاث كثيرة تفيد بأن الأوكسين ليس له أي دور في فيزيولوجيا السكون، ورغم انخفاض تركيزه في فترة السكون وارتفاع تركيزه في مرحلة بدء كسر السكون إلا أنه ليس العامل المحدد أو المنظم للدخول في طور السكون أو الخروج منه.

3- العوامل البيئية Environment factors

1- **الحرارة:**

من أهم العوامل التي تتحكم بدخول أشجار الفاكهة في طور السكون.

عندما يتوقف نمو الأفرع يحدث نوع من السكون الفيزيولوجي أو طور الراحة في الأفرع.

تأتي أهمية الحرارة ليس فقط في الدخول في طور السكون وإنما أيضاً بالخروج منه، حيث تحتاج البراعم إلى فترة من التبريد (Chilling) وهي مشابهة لفترة الكمر البارد في البذور (Stratification) وفي هذه الفترة يجب أن تتعرض الشجرة لوحدات حرارية معينة (غالباً في مجال 5 – 7 ْم) لإنهاء طور الراحة، وغالباً ما تؤدي الحرارة خارج هذا المجال إلى نتائج غير مرغوبة حيث يؤدي الانخفاض الشديد في الحرارة أقل من 0 ْم إلى ضرر وصقيع الأشجار، كذلك ارتفاعها عن 12 ْم إلى عدم خروج الأشجار من السكون. إذن يجب أن يتم استيفاء الوحدات الحرارية اللازمة خلال فترة معينة طالت أم قصرت، ويختلف هذا بحسب الصنف والنوع.

2- الضوء :

بالنسبة لأشجار الفاكهة فإن الضوء (الفترة الضوئية) ليس هو المسؤول عن بدء – استمرار – نهاية السكون، إنما درجة الحرارة، ومع ذلك فتجدر الإشارة إلى أن النهار القصير يحرض السكون بينما يفعل النهار الطويل عكس ذلك، وبالتالي فهناك تفاعل هام بين درجة الحرارة وطول النهار، حيث يترافق انخفاض درجات الحرارة في المناطق المعتدلة في الخريف المبكر مع طول النهار القصير، ومع ذلك فليس النهار القصير هو المسؤول عن السكون لأن النهار القصير لو ترافق مع ارتفاع بالحرارة فلن يكون له أي دور في إحداث السكون بينما

يمكن أن تؤثر الحرارة المنخفضة بشكل مباشر في تحريض السكون حتى بظروف النهار الطويل.(وبهذه الفقرة تجدر الإشارة إلى دور صبغة الفيتوكروم المشروحة سابقاً في هذا الفصل).

الفصل الخامس

فيزيولوجيا التجذير

يعتبر الإكثار الخضري بالعقل من أرخص طرق إكثار نباتات الفاكهة وأكثرها ملاءمة حيث .لا ينتج عنها تغير في التركيب الوراثي للنباتات وبالتالي فهي طريقة محافظة للصنف. إلا أن هناك بعض الأنواع يصعب إكثارها بالعقلة رغم أنه نظرياً يمكن لأي نبات أن يتكاثر بالعقلة إذا احتوى على ميرستيم أولي لكن عملياً لا يحدث ذلك لأنه يوجد عوامل معقدة تحكم ذلك وصعوبة التكاثر بالعقل ترجع إلى عوامل خارجية وداخلية وقد يرجع الاختلاف الموسمي في قدرة العقل على تكوين الجذور إلى:

1- الظروف البيئية.
2- نشاط الأنسجة الميرستيمية.
3- المواد الغذائية المخزنة.
4- الاختلاف في جهد الماء الموسمي الذي يتوقف على أطوار النمو.
5- انتقال المواد المساعدة على تكوين الجذور إلى موضع تكوين مبادئ الجذور والذي يتوقف على نشاط النمو وقت تجهيز العقل.
6- قدرة العقل على تكوين الجذور قد يعود كذلك إلى التوازن بين المواد المعيقة والمواد المنشطة المحتواة بالعقلة وأن هذا التوازن لا يحكم فقط تكوين الجذور إنما يتحكم كذلك في إنبات البذور مثل الخوخ - المشمش – الخوخ – الكرز، إضافة إلى خروج البذور من طور الراحة (كالتفاح) وخروج البراعم من طور الراحة وتفتحها (دراق).

أولاً- علاقة التركيب التشريحي بتكوين الجذور:

ببعض النباتات توجد مبادئ تكوين الجذور في الساق قبل إعداد العقل كما في الأشجار الخشبية السهلة التكاثر بالعقلة التي تتكون على أفرعها مبادئ الجذور وهي ما زالت متصلة بالشجرة الأم، ولكن بمعظم النباتات لا تتكون مبادئ الجذور إلا بعد فصل العقل.وتتبع عملية تكوين الجذور اتجاهات خاصة تتماشى مع التركيب التشريحي للنبات فيبدو أن بعض التركيبات الخاصة للأنسجة أو نسبة الأنسجة المختلفة في الساق تناسب أكثر من غيرها تكوين الجذور فقد وجد أن:

تبادل الحلقات على قاعدة عقل الخوخ ماريانا و الميروبلان أدى إلى خفض نسبة نجاح تجذير عقل ماريانا من 92 إلى 78% بينما زادت نسبة نجاح الميروبلان من 3% إلى 9%.

أمكن الحصول على نتائج مشابهة بحال عقل الكمثرى صنف Santa.Maria والسفرجل صنف Depage.E وكذلك الحال في عقل النارنج والترنج، فعقل الترنج تكوّن الجذور بسهولة على طول الساق بعد فترة وجيزة من زراعتها، بينما نجد أن عقل النارنج تكون القليل من الجذور على قاعدتها بعد فترة طويلة.

و تجدر الإشارة إلى أن تكوين الجذور العرضية بأي نبات قد يكون راجعاً إلى عوامل وراثية وليس متعلقاً بالمواد الغذائية أو الهرمونات المنشطة لتكوين الجذور و بشكل عام يلزم لتكوين الجذور وجود خلايا لم تصل

إلى درجة عالية من التكشف ومن ثم فإنها تكون نشيطة ويمكن إعادة تكشفها، ووجد أن تكوين الجذور العرضية نتيجة ثلاث مراحل متتابعة:

1- المرحلة الأولى:

إعادة تكشف الخلايا العادية المتكشفة وعملية إعادة التكشف هذه هي نوع من العزل لخلايا معينة من النسيج الذي تنتمي إليه هذه المجموعة من الخلايا تبدأ بالانقسام وكذلك الخلايا الناتجة منها تستمر أيضاً في الانقسام، ويكون الانقسام أولاً غير منتظم ثم يصبح منتظما، حيث ينتهي بتكوين الميرستيم العضوي الذي يؤدي بدوره إلى تكوين مبادئ الجذور.

ومعروف قديما أن سبب عملية إعادة التكشف هو عملية الاستقطاب للخلايا، ويرجع سبب عملية الاستقطاب إلى تركيب جدار الخلية أو إلى تركيب الستوبلازم:

- ففي الحالة الأولى يكون السبب هو اتجاه ترتيب الميسيلات في الجدار.
- وفي الحالة الثانية فهو يرجع إلى بناء جزيئات البروتين في السيتوبلازم.

2-المرحلة الثانية:

بعد تكوين الميرستيم العضوي , هل ستتكون مبادئ أفرع أم مبادئ جذور؟ حيث لا تتكون مبادئ البراعم والجذور في كل الأنسجة من مصدر واحد، ولكن أشار بعض الباحثون إلى إمكانية تكوين مبادئ الجذور والبراعم من نفس النسيج، وبهذه الحالة يشجع التركيز العالي للأكسين تكوين مبادئ الجذور، أما التركيز المنخفض فإنه يكون مبادئ البراعم.

هناك عدة نظريات لتفسير تكوين الجذور على قاعدة العقلة والبراعم على الجزء الطرفي منها:

1- يوجد تيارين من المواد المتكونة في اتجاهين متضادين.
2- تدرج تركيز الأكسينات حيث يحتاج تكوين الجذور إلى تركيز عالي من الأكسينات بالمقارنة بما يحتاجه تكوين البراعم.
3- بالإضافة إلى تدرج تركيز الأكسينات هناك تدرج بتركيز الريزوكالين والكالوكالين.
4- تدرج تركيز المواد المعيقة.

3- المرحلة الثالثة:

نمو الجذور التي تكمن أساساً في استطالة الخلايا.

و بالتالي فإن مراحل تكوين الجذور هي :

1- إعادة التكشف.

2- التحديد ويمكن تقسيمها إلى:
أ- ترتيب الخلايا لتكوين الميرستيم العضوي.
ب- تكوين مبادئ الجذور أو مبادئ البراعم.
3- النمو.

***- وقد أوضح بعض العلماء إلى أن هناك أربع خطوات لخروج الجذور على العقل:**

1- تكوين عدد أو مجموعة من الخلايا الميرستيمية.
2- تكشف هذه الخلايا إلى مبادئ جذور، وباستمرار انقسام الخلايا تأخذ كل مجموعة من الخلايا مظهر قمة الجذور وتتكون الحزم الوعائية الجديدة في الجزء الجديد تتصل بالحزم الوعائية الأصلية.
3- امتداد وخروج الجذور عن طريق تمزق أسطح بقية أنسجة الساق.

4- نمو الجذور خارج العقلة.

و يحدث الانقسام الخلوي بالخلايا البارانشيمية المواجهة للحزم الوعائية:

ففي السوق الصغيرة تتكون مبادئ الجذور قرب الجانب الخارجي للحزم الوعائية لكنها تكون أعمق من ذلك في السوق الأكبر سناً، وغالباً تكون في شريط الكامبيوم الوعائي.

أما في بحالة النباتات التي يحدث بها نمو ثانوي أي التي بها أكثر من طبقة واحدة من الخشب واللحاء تتكون الجذور غالباً من اللحاء الثانوي ولو أن هذه الجذور قد تتكون من أنسجة كثيرة أخرى مثل الأشعة النخاعية أو حتى النخاع.

أكدت الدراسات على أن: مبادئ الجذور التي تتكون طبيعياً على النباتات الخشبية السهلة التكاثر بالعقلة وتظل ساكنة لفترة طويلة والتي يطلق عليها root germs لا تختلف في طريقة تكوينها عن مبادئ الجذور التي تتكون حديثاً على العقل حيث أن مصدر الاثنين واحد وتحتاج الـ root germs إلى ظروف مناسبة حتى تنمو.

مثلاً: تكوّن العقل الساقية بالعنب جذوراً بسهولة رغم عدم وجود مبادئ جذور، كذلك فإن كثير من العقل الغضة والخشبية لبعض أشجار الزينة تكون جذوراً بسهولة بالرغم من عدم وجود مثل هذه المبادئ.

وقد ثبت وجود مبادئ الجذور في عقل كل من النارنج، gooseberries، curraots، التين، كما وجد أيضاً أن إجراء عملية الإظلام لبعض أصول الخوخ تشجع تكوين مبادئ الجذور.

***- لوحظ أن نظام خروج الجذور على العقل يتوقف على تركيب الساق في شجرة الفاكهة :**

- فقد وجد **بالنارنج** أن عدداً قليلاً من الجذور يتكون فقط على قاعدة العقلة.
- بينما في **الترنج** تخرج الجذور على كل الجزء من العقلة المغطى بوسط الزراعة.
- وفي **الزيتون** فإن الجذور تخرج على العقد.

- وفي **العنب** فإن 75% من الجذور المتكونة يخرج أسفل البراعم و25% يخرج أسفل المحاليق، وعدد قليل جداً من الجذور يخرج على الجزء الجانبي من العقلة.
- و في بحالة تمت معاملة عقل العنب بالأوكسينات فإن الجذور تخرج من عدة نسج مختلفة:

1- من خلايا الكامبيوم.
2- من خلايا الأشعة النخاعية المتاخمة للخلايا الليفية للبريسيكل.
3- من برانشيمية القشرة الابتدائية.

أما بحالة العقل غير المعاملة بالأكسين فإنها تتكون من خلايا الأشعة النخاعية الأولية والمجاورة لألياف البريسيكل.

- وفي **الفريز** تخرج الجذور من عدد قليل من خلايا البريسيكل المتاخمة من الداخل لطبقة الأندودرمس.

علاقة الكالوس بتكوين الجذور:

الكالوس: هو مجموعة غير منتظمة من الخلايا البرانشيمية على درجات متفاوتة من اللجننة، وتنتج من انقسام خلايا الكامبيوم واللحاء المجاورة لها وقد تشترك معها خلايا القشرة والنخاع.

أشارت الدراسات إلى أنه ليس هناك علاقة بين كمية الكالوس المتكونة على قاعدة العقلة وبين عدد الجذور المتكونة، وأن عمليتي تكوين الكالوس والجذور هما عمليتان منفصلتان لكنهما يتكونان معاً لأن تكونهما يحتاج إلى عوامل داخلية وخارجية مشتركة.

ترجع فائدة نسيج الكالوس إلى معالجة جرح قاعدة العقلة وبالتالي حمايته من التلف بفعل الكائنات الدقيقة خاصة في حالة العقل التي تتأخر في تكوين الجذور.

كما وجد في حالة عقل العديد من أشجار الفاكهة أن نسيج الكالوس يحتوي على نسبة عالية من السكر والنشاء مما يشير إلى احتمال انتقال هذه المواد الغذائية إلى موضع تكوين الجذور.

ففي جنس Pyrus وجد أن هناك علاقة بين تكوين الكالوس وقدرة العقل على تكوين الجذور وأنه خلال فترة تكوين الكالوس يحدث انخفاض في محتوى العقل من المواد الكربوهيدراتية ويزيد نشاط البراعم، و لوحظ أن قدرة العقل على تكوين الجذور تتناسب عكساً مع طول الفترة التي تمضى في التخزين قبل تكوين الكالوس.

من جهة أخرى أوضح بعض الباحثون أن نسيج الكالوس المتكون على قاعدة العقل يعوق امتصاص الماء.

وهنا نشير إلى أن: التركيب التشريحي للعقل لا يمثل في الواقع إلا أحد العوامل المؤثرة على تكوين الجذور على العقل حيث أنه لم يثبت وجود أي اختلاف تشريحي بين العقل لأصناف عديدة لأصل التفاح Malling السهلة تكوين الجذور والعقل الناضجة لنفس النبات الصعبة تكوين الجذور, ومن هنا يظهر أهمية التركيب الكيماوي الداخلي للعقلة كعامل هام محدد في تكوين الجذور على العقل.

ثانياً: تأثير التركيب الكيماوي الداخلي للعقل في تكوين الجذور:

الحالة الغذائية بالعقل:

1- المحتوى الكربوهيدراتي: Carbohydrate content

- أشار الباحثون إلى أن: المحتوى الكربوهيدراتي للعقلة لا يمثل أهمية في قدرتها على تكوين الجذور وذلك في حال الأصناف الصعبة تكوين الجذور، بينما لا يحدث ذلك في الأصناف السهلة تكوين الجذور، وقد تأكد هذا الرأي حديثاً في عقل الكمثرى صنف Old Home .وربما تظهر أهمية الكربوهيدرات بصفة خاصة بحالة العقل الغضة حيث تقوم أوراقها بتمثيل المواد الكربوهيدراتية، وقد ثبت ذلك في عقل الكرز المر و عقل الكمثرى التي نمت في مرحلة الطفولة حيث لوحظ أنها أكثر قدرة على تكوين الجذور في العقل الناضجة رغم انخفاض المحتوى الكربوهيدراتي في الأولى (كذلك بالتفاح) و قد وجد في عقل الخوخ والسفرجل أن نسبة نجاح التجذير تزداد كلما اتجهنا إلى قاعدة الفرع رغم تماثل المحتوى الكربوهيدراتي على طول الفرع، وهذا ما دفع بعض الباحثين إلى تفسير أن المحتوى الهرموني للعقلة كأحد العومل المؤثرة.

و قد اهتم بعض الباحثون بأهمية أنواع معينة من الكربوهيدرات دون غيرها بالمساعدة على تكوين الجذور ففي عقل العنب: لوحظ أن العلاقة طردية بين محتوى النشاء وتكوين الجذور.

2- المحتوى النتروجيني :Nitrogen content

تختلف الدراسات على ذلك بحسب النوع النباتي حيث:

1- ثبت أهمية نقص تركيز النتروجين في دفع العقل لتكوين الجذور كما في حال الخوخ، العنب.
2- بينما لم يظهر أثر الآزوت بصوره المختلفة بحالة عقل الكمثرىgrandiflora .
3- وكما الحال في الكربوهيدرات يبدو أن للمحتوى الآزوتي الكبير أهمية في تكوين الجذور في حالة العقل التي عليها أوراق مثل عقل الشاي، الكرز المر، hibiscus الصنف الأحمر السهل تكوين الجذور.

عموماً تعتبر كمية ونوعية المواد الغذائية المخزونة بالعقل من العوامل التي تؤثر في تكوين الجذور حيث تعتبر كمصدر للطاقة اللازمة لتكوين ونمو الجذور.

أشار كثير من العلماء إلى أن تكوين الجذور على العقل يتوافق مع وجود نسبة عالية من المواد الكربوهيدراتية إلى الآزوتية، ولوحظ أن أحسن نسبة من المواد الكربوهيدراتية إلى الآزوتية للحصول على تكوين الجذور بحالة جيدة هي 1:4.

3- محتوى الأحماض الأمينية: Amino acids content

يرى بعض الباحثين أن الأحماض الأمينية تعتبر ضمن منظمات النمو التي لها علاقة بتكوين البراعم والجذور . و قد لوحظ أن الحمض الأميني الثيروسين ينشط تكوين البراعم على نسيج الكالوس، وأنه أكثر الأحماض الأمينية (21 حمض أميني) تأثيراً في هذا الصدد. كما لوحظ أن معاملة عقل الكمثرى بالآرجنين يعطي نتائج جيدة في تكوين الجذور بينما لوحظ أن حمض الجلوتاميك والأسبارجين قد أعاق تكوين الجذور .

4- المواد المعيقة: Inhibitors

المواد المعيقة الطبيعية واسعة الانتشار في النباتات وتوجد في الأنسجة والأعضاء المختلفة للنباتات (البذور – الثمار – الأفرع – الجذور– الأوراق – البراعم – الأزهار)، وليس من الضروري أن يكون لها وظائف مضادات الأكسينات:

1- لوحظ وجود اختلاف موسمي في تركيز هذه المواد المعيقة: ففي حال مستخلصات العقل المأخوذة في فترة السكون لوحظ أنها تعيق تأثير IAA على النمو أما العقل المأخوذة بنهاية فترة السكون أو الصيف ووضعت في الماء لتكوين الجذور قل تأثيرها المعيق بدرجة كبيرة.
2- ويعزو كثير من الباحثين عدم نجاح العقل الصعبة تكوين الجذور وكذلك العقل سهلة تكوين الجذور في بعض فترات الموسم إلى وجود المواد المعيقة أو إلى التوازن بين المواد المعيقة والمنشطة.فقد وجد أن عقل العنب السهلة تكوين الجذور تحوي كمية من المواد المعيقة أقل بكثير من عقل أصناف العنب الصعبة تكوين الجذور، وأن معاملة عقل العنب السهلة تكوين الجذور بالمستخلص المائي للعقل الصعبة تكوين الجذور يسبب قلة تكوين الجذور على العقل.
3- لوحظ أن تعريض العقل لدرجات حرارة منخفضة يقلل من محتوى المواد المعيقة في العقل، وأيدت الدراسات التي أجريت على عقل الكمثرى Old home السهلة تكوين الجذور والكمثرى Bartlett الصعبة تكوين الجذور هذا الرأي حيث لوحظ وجود كمية كبيرة من المواد المعيقة في عقل الـ Bartlett طوال الموسم تقريباً بينما انحصر وجودها في الصنف Old home خلال طور الراحة فقط.

4- وقد أجريت العديد من الدراسات لمحاولة فصل والتعرف على طبيعة المواد المعيقة. حيث ثبت أن معظم هذه المواد تعود إلى القلويدات و الفينولات و التي يعزى تأثيرها الفيزيولوجي إلى أنها توقف نقل الإلكترونات في سلسلة تفاعلات الفسفرة مما يؤدي إلى حرمان النسيج النباتي من الروابط الفوسفاتية الغنية بالطاقة ATP واللازم لتفاعلات التحويل الغذائي، وقد أشار كثير من الباحثين إلى أن المادة المعيقة هي من المركبات الفينولية.

- ففي براعم الدراق ثبت أن المادة المعيقة التي توجد بالبراعم الساكنة هي النارنجين، ولو أن الدراسات الحديثة أكدت أن المادة الموجودة هي glycoside prunin – 7 وهي تعتبر أصل النارنجين الذي يلعب النظام الأنزيمي glycoside – aglyce – B – glycoside الدور المنظم للبراعم الساكنة. هذا ولم يثبت وجود النارنجين بالمشمش مما يؤكد الرأي بأن المركبات الفينولية تميل إلى التوزيع الخاص داخل الجنس الواحد، وأن المادة المعيقة بالمشمش هي حمض الأبسيسيك.

- وفي التفاح ثبت أن المادة المعيقة هي الفلوريدوزين توجد بالأوراق واللحاء والبذور والجذور وقشرة الثمار، وبتحليل الفلوريدزين داخل النسيج النباتي أنزيمياً إلى: P-hydroxy benzoic acid , phlorogb-ocinol, phloretic acid, phloretin ولقد ثبت أن أكثر الإعاقة يسببها الفلوريدزين والفلورينين، بينما الفلوروجلوسينول أقلهم إعاقة.

- وفي الكمثرى وجد أن المادة المعيقة هي arbution كما أمكن فصل مركب أطلق عليه اسم pyraside وهي عبارة عن acetyl arbut من أوراق الكمثرى.

5- منظمات النمو Inducers

هناك مستويات معينة من منظمات النمو المختلفة تكون أكثر ملاءمة لتكوين الجذور على العقل وتشمل منظمات النمو هذه: الأوكسينات – السيتوكينينات – الجبرلينات فضلاً عن وجود مواد أخرى طبيعية لا تؤثر في تكوين الجذور العرضية على العقل.

أ- الأوكسينات:

يظهر تأثير الأوكسينات بتركيزات بسيطة، وهي توجد في الكثير من أجزاء النباتات وتتكون في البراعم والأوراق الصغيرة وفي قمم الأفرع والجذور، وتنقل داخل النبات من القمة إلى القاعدة خلال اللحاء ولكن عند إضافة الأوكسينات الصناعية مثل نقع قواعد العقل في محلول الأوكسين الصناعي بأنها تنتقل من أسفل إلى أعلى خلال أوعية الخشب.

- والأوكسينات الصناعية لها نفس تأثير الأكسينات الطبيعية وتشابهها في التركيب الجزيئي إلى حد ما، وتبلغ سرعة انتقال الأكسينات الصناعية بالنبات 10 أمثال سرعة انتقال الأكسينات الطبيعية، وأثبتت التجارب أن الأكسينات هي أحد العوامل المسؤولة عن تكوين الجذور، تبعاً لتركيبها الكيماوي حيث لوحظ أن تكوين الجذور لا يحدث إلا في الأماكن التي تتجمع فيها الأكسينات المرتبطة، ولكنه من الضروري وجود الأكسينات الحرة، ويرى البعض أن العامل المؤثر على تكوين الجذور هو الأكسينات التي بها مجاميع الإيدروكسيل.

وإضافة للأوكسينات الحرة والمرتبطة توجد أيضاً في الأنسجة النباتية مركبات الأكسينات وبادئ الأوكسينات أو التربتوفان و الذي يعتبر فعالاً في هذا المجال .

أشرنا سابقاً إلى أن خطوات تكون الجذور على العقل تقسم إلى ثلاث مراحل، ويتلخص تأثير الأكسينات على هذه المراحل كالتالي:

1- إعادة التكشف: يدفع الأوكسين إلى إنقسام و تمايز الخلايا

2- التحديد: وتقسم إلى:

- ترتيب الخلايا لتكوين الميرستيم ، ونظام تأثير الأوكسين هنا غير معروف.
- التحديد لتكوين مبادئ الجذور: هناك احتمال كبير لتأثير الأوكسين في هذه المرحلة، لكن لا يوجد إثبات مباشر.

3- النمو: ينشط الأوكسين بتركيز منخفض نمو استطالة الجذور.

ب- السيتوكينينات:

أجريت العديد من الدراسات على العقل الورقية لدراسة العلاقة بين الأكسين والستوكينين حيث لوحظ أن استخدام تراكيز منخفضة من الكينيتين يزيد في تأثير IAA في تكوين الجذور في العديد من عقل أشجار الفاكهة .

جـ- الجبرلينات:

لا يوجد ما يثبت دور الجبرلين في تكوين مبادئ الجذور في العقل الساقية بل ثبت في الدراسة على عدد من الأنواع النباتية أنها تعيق تكوين الجذور.

و هناك من الدلائل على أن الجبرلينات تمنع انقسام الخلايا و هي الخطوة التالية لتحول الخلايا البالغة إلى خلايا ميرستيمية، كما أنه يحتمل أن التأثير المعيق للجبرالينات يكون نتيجة علاقتها بتنشيط النمو الخضري، وهي الحالة المعرضة لانقسام الخلايا.

ثالثاً - التفسير الفيزيولوجي للتجذير:

- أشارت التجارب التي أجريت على العقل الخشبية لأنواع مختلفة من النباتات على أن الأكسينات ليست هي العامل الأساسي الوحيد المؤثر في تكوين الجذور حيث فشلت عقل كثير من النباتات في تكوين الجذور رغم معاملتها بالأكسينات و بالتالي هناك عامل منشط آخر غير الأكسين ضروري لتكوين الجذور.

- اقترح بعض العلماء تسمية هذا العامل باسم الريزوكالين، وأنه يتكون في الأوراق بوجود الضوء، وهو غير غذائي، يقاوم الحرارة، يخزن في الفلقات، وانتقاله قاعدي طالما كان هناك اتصال بين الأوراق وقاعدة العقلة حيث أن إجراء عملية التحليق على قاعدة العقلة بحوالي 4سم قد أعاق تكوين الجذور رغم وجود الأكسينات والأوراق.

- فسر بعض العلماء سبب قدرة العقل الغضة على تكوين الجذور بينما تفشل البالغة إلى وجود مواد معينة في العقل الغضة بينما لا توجد في العقل البالغة، وأن هذه المواد تنشط فقط تكوين الجذور في حالة وجود الأكسين الطبيعي أو عند إضافة الأكسينات الصناعية مثل IBA.

- كذلك و لكي يؤدي الأوكسين دوره في العمليات الفيزيولوجية وعمليات النمو لا بد من وجود عوامل مساعدة لانقسام الخلايا واستطالتها وتكشفها وتكوين مبادئ الجذور.

- أطلق الكثير من الباحثين على المواد المنشطة المستخلصة من العقل السهلة تكوين الجذور المفصولة بورق الكروماتوجرافي اسم Co-factors و هي توجد بالعقل سهلة تكوين الجذور، بينما يقل عددها وتختفي في حالة عقل نفس الجنس أو النوع الصعب تكوين الجذور.

- وقد أشارت التجارب إلى أن قدرة العقل على تكوين الجذور بعد معاملتها بوسط مغذي + أكسين تحتاج إلى فترة مما يشير إلى ضرورة تمثيل مركب داخلي، وأن هذا التمثيل يتم ببطء.

- وقد وجد أنه عند تجزئة العقل إلى 2 – 4 – 8 أجزاء ثم أمدت بكمية زائدة من الأكسين فإن مجموع الجذور المتكونة على هذه الأجزاء يساوي عدد الجذور المتكونة على العقل السليمة علماً أن الأجزاء المختلفة لم تعط عدداً متساوياً من الجذور وقد كانت معظم الجذور المتكونة توجد على الأجزاء البعيدة من القمة مما يشير إلى أن هناك عامل آخر غير الأوكسين والريزوكالين لا يوجد بكميات متساوية في الأجزاء المختلفة.

- وعلى ذلك يظهر أنه لتكوين الجذور يلزم الآتي:

1. عوامل متحركة (الأوكسين – الريزوكالين).
2. مركب ناتج من اتحاد الأوكسين مع الريزوكالين.
3. عامل خلوي داخلي هو الأنزيم. و يفترض أن هذا الأنزيم هو Polyphynol oxidase الذي يؤكسد الفينول الموجود داخل الخلية إلى مركب يتحد مع الأكسين داخل الخلية.

وتفيد الآراء الحديثة أنه يلزم لتكوين الجذور وصول الأكسينات مع مركبات الريزوكالين إلى الخلايا لم تصل إلى درجة عالية من التكشف ومن ثم فإنها تكون نشيطة ويمكن إعادة تكشفها. و أن الخلايا النشيطة هي التي تحتوي على كمية محددة من الأنزيمات المعيقة لعمل الأوكسينات، وتحتوي على كمية كبيرة من الفينولات، وهذه الفينولات يمكن أكسدتها إلى كيتون متحد مع الأكسينات كونه مركبات نشطة تدفع الخلايا إلى إعادة التكشف عن طريق التضاعف.

وقد اقترح بعض العلماء ضرورة وجود مركب فينولي ثنائي الهيدروكسيل يحتوي على مجموعة الهيدروكسيل في الوضع Ortho وبقاء الوضع Para حراً وذلك في قاعدة العقل مع الأكسين حتى تتكون الجذور، وقد افترض حدوث أكسدة لهذا المركب الفينولي إلى كيتون والأخير يتحد مع الأكسين ويكون مركب أكثر قدرة على التفاعل بوجود أنزيم ديهيدروجيناز و الإتحاد الناتج بين الكيتون والأوكسين يمكن أن يحدث بطريقتين:

- إما أن يضاف الكيتون إلى نتروجين حلقة الأندول.
- أو يضاف إلى ذرات الكربون بالحلقة.

نرى بذلك أهمية التأثير المشترك Synergistic بين المواد بين المواد الفينولية والأكسينات بتكوين الجذور.

ويعرف التأثير المشترك لمادتين إذا كان التأثير الناتج عن هاتين المادتين يفوق تأثير كل مادة على حدة، وقد لوحظ أن المركبات الفينولية الأحادية الهيدروكسيل والتي بها مجموعة هيدروكسيل الوضع Ortho كانت فعالة.

وقد أجريت العديد من الدراسات لمعرفة سبب التأثير المشترك Synergistic بين الأكسينات والفينولات، وقد افترضت التفسيرات التالية:

1- أن الأكسينات يمكنها أن تثبط عمل أنزيم IAA oxidase الذي يسبب هدم IAA وذلك عن طريق استهلاك H_2O_2 اللازم لعمل الأنزيم.

ً2- إن الفينولات تساعد على تحول الحمض الأميني Tryptophane إلى IAA وقد وجد أن إضافة المركبات الفينولية ثنائية الإيدروكسيل والتي تحوي على مجموعة إيدروكسيل في الوضع Ortho مع التربتوفان كانت تنشط تكوين الجذور مما يؤيد هذا الاقتراح.

ً3- إن المركبات الفينولية ثنائية الإيدروكسيل مثل Catechol و Chlorognic acid و Caffeic acid تكون مركبات مع IAA وأن المركبات الناتجة لا تتأثر بفعل الأنزيمات المؤكسدة للأكسينات أو أنها ذات تأثير أقوى من IAA.

- التأثير المشترك يزيد استجابة الخلايا للأكسين، وهذا يؤدي إلى الحد من التأثر بوجود مواد معيقة مثل كلوريد الزئبق وحمض الكبريتيك.

- تؤكد الدراسات على عقل الكمثرى Old Home بالفصل الكروماتوجرافي وباختبارات الحيوية والإذابة، أن المركب الناتج ناتج عن تفاعل الأكسينات مع الفينولات.

و يرى بعض العلماء أن هذا التأثير المشترك له تأثير على الخلايا حيث يهيئها للاستجابة لتأثير الأكسين، وهذا ما يتفق مع الرأي الذي يقول أن بعض المواد المعيقة مثل حمض الكبريتيك وإيدروكسيد البوتاسيوم وكلوريد الزئبق عند معاملة عقل Coleus بها بتركيزات أقل من الحد المميت يزيد من تكوين الجذور.

- أكدت أبحاث عديدة على العلاقة السابقة بين الأكسينات والفينولات، حيث أشار إلى أنه بدراسة ماهية العامل الداخلي المنشط لتكوين الجذور والذي يتكون في عقل الكمثرى صنف Old home التي عليها براعم والمعاملة بالهرمون IBA وذلك باستخدام الفصل الكروماتوجرافي والرش بالمواد المختلفة واختبارات الإذابة والاختبارات الحيوية وباستخدام Infrared spectroscopy spectrum أنه مركب ناتج من تكاثف الأكسين الخارجي IBA مع مركب فينولي Pyrogalol يتكون بواسطة البراعم النشطة.

رابعاً- التغيرات الكيماوية التي تحدث أثناء التجذير:

1- لوحظ أن محتوى السكريات غير المختزلة يزداد بالمعاملة بالأكسينات وأنه خلال الفترة الأولى لتكوين الجذور يكون الانخفاض في السكريات المختزلة قليلاً، بينما يزداد هذا الانخفاض في المراحل الأخيرة لتكوين الجذور.

2 - يحدث انخفاض بكمية النشاء وحمض الأسكوربيك والكلوروفيل، وأن هذا التناقص يقف عند بدء تكوين الجذور (كما في الفريز).

3- يزيد محتوى النتروجين البروتيني خلال الفترة التي تسبق تكوين الجذور، ثم تقل هذه الكمية عند تكوين الجذور.

4- ولوحظ أن التأثير المنشط للهرمونات على تكوين الجذور في عقل التوت يكون مصحوباً بزيادة نسبة الرطوبة والنتروجين الذائب.

5- يزداد كل من النتروجين الكلي والنتروجين البروتيني في قاعدة عقل الماريانا المزروعة و المعاملة بـ IBA بينما لم يظهر سوى زيادة طفيفة في النتروجين بالعقل غير المعاملة.

6- أشارت الدراسات التي أجريت على عقل الكرز المر أن الزيادة بالمحتوى النتروجيني غير البروتيني الذي يحدث في قواعد العقل يكون نتيجة هدم للبروتين المخزن وانتقال نواتج الهدم لقاعدة العقلة.

7- زيادة في كمية الأحماض الأمينية الحرة في العقل بعد زراعتها خلال فترة تكوين الجذور (كما في عقل الخوخ) .

8- تقل نسبة RNA والبروتين خلال فترة تكوين الجذور، بينما يزداد بعد تكوين الجذور.

9- وبالنسبة للتغير في المواد المنشطة والأوكسينات وجد أنه بحالة عقل الكرز المر الصنف صعب تكوين الجذور تكون الزيادة في المواد المنشطة لتكوين الجذور طفيفة، بينما في الأصناف السهلة تكوين الجذور كانت الزيادة ملموسة، وقد تأكدت نفس العلاقة في عقل الكمثرى صنف old home السهل تكوين الجذور، و Bartlett الصعب تكوين الجذور. كذلك لوحظت زيادة في محتوى العقل من الهرمون الطبيعي IAA في الفترة من بداية الزراعة وحتى تكوين الجذور ثم يقل المحتوى بعد ذلك وجدير بالذكر أن تجمع الأكسينات الحرة في منطقة تكون الجذور يعتبر عامل أساسي لهذه العملية بينما تعمل الأكسينات المرتبطة على زيادة سرعة تكوين الجذور.

10- وبالنسبة للتغيرات في محتوى العقلة من المواد المعيقة خلال فترة تكوين الجذور فقد أثبتت الدراسة الحديثة على عقل الخوخ أنه:

- في فترات الموسم التي تنجح فيها العقل يقل محتواها من المواد المعيقة الممثلة في المركبات الفينولية وذلك خلال فترة تكوين الجذور.
- بينما في حالة فترات الموسم التي تنخفض أو تختفي فيها قدرة العقل على تكوين الجذور يلاحظ زيادة ملموسة في المحتوى الفينولي خلال فترة الزراعة.