التغيرات الفيزيولوجية أثناء نمو ونضج الثمار

أولاً – نمو وتطور ثمار الخضر والفواكه :

خلال مراحل نمو الثمار تحدث تغيرات طبيعية في حجم ووزن وشكل الثمار:

أ- التغير في الحجم :

يزداد حجم الثمار خلال مراحل النمو وذلك ناتج عن انقسام الخلايا واستطالتها وبما أن حجم الثمار صفة وراثية خاصة بالنوع والصنف لذلك فإن حجم الثمار يتحدد وإلى حد كبير بالظروف البيئية والمعاملات الزراعية وأهمها :

١- **السقاية :** تؤدي زيادة الماء إلى زيادة حجم الثمار.

٢- **التسميد :** يعتبر التسميد من العوامل المحددة لحجم الثمار خاصة وأن نقص بعض العناصر الغذائية يؤدي إلى إبطاء سرعة نمو الثمار .

٣- **درجة الحرارة :** تؤدي الحرارة المرتفعة أو المنخفضة عن الحد الأمثل إلى صغر حجم الثمار .

٤- **كمية المحصول على الأشجار :** كلما زاد عدد الثمار على الشجرة زاد التنافس على الغذاء وبالتالي قل حجم الثمار .

ب- التغير في الوزن :

إن الزيادة في وزن الثمار ترافق الزيادة في الحجم وتعود إلى زيادة محتوى الثمار من الماء والمواد الغذائية.

جـ - التغير بالشكل :

يتغير شكل بعض الثمار أثناء تقدم أطوار نموها فمثلاً تبدأ ثمار الأجاص حياتها بشكل قريب من الكروي وبتقدم النمو يظهر الشكل الإجاصي كذلك تكون ثمرة الموز مثلثية الشكل في بداية أطوار النمو ثم تصبح مستديرة مع النضج . وهذا التغير في شكل الثمار يعود لتباين سرعة النمو في أجزاء الثمرة المختلفة .

تمر الثمار بمراحل مختلفة من بدء تكوينها وحتى إتمام نضجها وهي :

١- **عقد الثمار :** عند إتمام عملية التلقيح تبدأ الزهرة بالنمو إلى ثمرة صغيرة ويرافق ذلك تغيرات على الأزهار مثل سقوط البتلات وبعض الأجزاء الزهرية الأخرى .

٢- **نمو الثمار** : حيث يبدأ المبيض في النمو بعد تمام عملية العقد لتكوين الثمرة وعادة ما تتشكل الثمرة عن طريق نمو أنسجة المبيض والتي تحفزها عملية التلقيح وقد تتشكل من نمو أجزاء أخرى من الزهرة مع أنسجة المبيض وتشمل هذه المرحلة عدة أطوار وهي :

- **طور انقسام الخلايا** *:* حيث تمتاز الأنسجة بنشاط حيوي كبير وانقسام سريع للخلايا وارتفاع معدل تنفسها . وتختلف طول الفترة التي تستغرقها هذه المرحلة من نوع إلى آخر ففي بعض أنواع الثمار تستغرق هذه المرحلة فترة قصيرة من حياة الثمرة (٥-٨) أيام مثل اليقطين – الكوسا وفي بعض أنواع الثمار قد يستمر هذا الطور حتى اكتمال النمو مثل الفريز والأجاص .

- **طور استطالة الخلايا** : وفيه تتحول الخلايا من ميرستيمية نشطة إلى بارنشيمية يزداد حجمها نتيجة تراكم الماء والمواد الغذائية وخاصة السكريات في العصير الخلوي كما تتصلب جدر الخلايا نتيجة لترسب المواد البكتينية وينتهي هذا الطور بوصول الثمار إلى أقصى حجم لها تقريباً

- **طور اكتمال النمو وتراكم المواد الإدخارية** *:* وفيه يكتمل حجم الثمار ولا يزداد بعد ذلك زيادة ملحوظة ويصاحب هذا الطور تغيرات بيوكيميائية وبنوية في أنسجة الثمار تؤدي إلى اكتمال تكوينها الداخلي حيث تتراكم المكونات المختلفة كالنشاء – السكريات – الأحماض وغيرها .

وفي بعض الثمار لو فصلت الثمرة عن الشجرة بعد اكتمال هذا الطور تستطيع الاستمرار في النضج بحالة طبيعية كما لو كانت على الشجرة وتسمى بهذه الحالة بالثمار الكلايمكتيرية بعكس تلك الثمار التي لا تستطيع الاستمرار بالنضج إذا قطفت في نهاية هذا الطور والتي تبقى حالة النضج فيها بعد القطاف كما هي عند الجمع وهذه تسمى بالثمار غير الكلايمكتيرية .

- **طور اكتمال النضج** : وفي هذه المرحلة تصل فيها الثمار إلى الحالة التي تكون فيها صالحة للاستهلاك حيث يظهر اللون النهائي المميز للثمرة وتحدث بالثمرة الكثير من التحولات البيوكيميائية حيث يتحول النشاء إلى سكريات وتختفي المواد القابضة وتقل صلابة الثمار ولكن تبقى أنسجة الثمرة بحالة جيدة وتجري العمليات الفسيولوجية المختلفة فيها بصورة طبيعية .

- **طور التدهور** : وفيه تصل الثمار إلى حالة تقل حيوية ونشاط الخلايا بالتدريج وتفقد تدريجياً قدرتها على القيام بالتحولات الفيزيولوجية المختلفة وتصبح الثمرة في نهاية هذا الطور مجموعة من الأنسجة اللينة غير الحية وتتحلل محتوياتها من سكريات وأحماض وغيرها إلى ثاني أكسيد الكربون والماء وتسهل إصابة الثمرة بالأمراض والأضرار المختلفة .

تكوين الدرنات والأبصال :

تتكون الدرنات من انتفاخ عدد من السلاميات نتيجة لانقسام الخلايا وزيادة حجمها . وتحتفظ الدرنة بالعقد التي تصبح على شكل عيون أو براعم تغلفها أوراق حرشفية .

يبدأ تكوين درنات البطاطا مع توقف النمو الخضري للنبات وبدء دخوله مرحلة الشيخوخة . ويكتمل نمو الدرنات مع اكتمال شيخوخة الأجزاء الخضرية وتشجع ظروف النهار القصير والحرارة المنخفضة على تكوين الدرنات . ويبدأ نمو الدرنات بطيئاً خلال الفترة الأولى (٣٠ – ٤٠ يوم) ثم يزداد بسرعة خلال العشرة أيام الأخيرة وكما في الثمار يكون النمو نتيجة لانقسام الخلايا وكبر حجمها واستطالتها .

بعد اكتمال تكوين الدرنات تدخل مرحلة اكتمال النمو وخلافاً للثمار تتميز مرحلة النمو ببطء التغيرات التي تحدث في الدرنات ويصاحب النضج انخفاض محتوى السكريات وزيادة نسبة النشاء والبروتينات وانتظام معدل التنفس واكتمال تكوين طبقة القشرة الخارجية .

أما الأبصال فتتكون نتيجة لانتقال المواد الكربوهيدراتية لقواعد الأوراق الصغيرة والتي تنمو ويزداد حجمها وتنتفخ البصلة ويتأثر تكوين الأبصال بطول الفترة الضوئية .

تتميز الدرنات والأبصال بوجود سكون داخلي وفي هذه الفترة تكون الدرنات أو الأبصال غير قادرة على الإنبات بعد الجمع حتى لو توفرت لها الظروف المناسبة ويعود السبب إلى عوامل فسيولوجية كالتوازن بين الهرمونات المانعة والمشجعة للإنبات .

يعتمد طول فترة السكون على الصنف ولكن يمكن كسر طور السكون باستخدام منظمات النمو كالجبرلين كما يمكن إطالة فترة السكون باستخدام المركبات الكيميائية مثل الماليك هيدرازيد .

كما يوجد بالأبصال والدرنات نوع آخر من السكون يسمى بالسكون الخارجي والذي يكون بسبب عدم توافر الظروف الملائمة للإنبات كدرجات الحرارة والرطوبة والضوء .

ويحتاج المزارع في بعض الأحيان إلى كسر طور السكون لتشجيع الإنبات عند الزراعة بينما يرغب من يعمل في مجال التخزين في إطالة فترة السكون لمنع الإنبات وتقليل الفاقد .

ثانياً – تنفس الثمار والخضار بعد القطف وأثناء التخزين :

بعد قطف الثمار وعزلها عن النبات تستمر العمليات الحيوية فيها لذلك تبقى الثمار محتفظة بحيويتها ونشاطها ويجرى فيها التغيرات والتحولات الحياتية بشكل طبيعي إلا أنه بعد القطف تتعرض العمليات الحيوية بالثمار إلى تغيرات كثيرة كونها تجري بمعزل عن مشاركة باقي أجزاء النبات وانقطاع تدفق المواد الغذائية إلى الثمار . تعتبر عملية التنفس من أهم التغيرات الحيوية الرئيسية والتي تكوّن في مجملها مظاهر حياة الثمار .

وتخزن الثمار في أنسجتها مواد مغذية مختلفة أكثر مما تحتاج إليه وتكفي لبقاء الثمرة في حالة جيدة فترة طويلة بعد القطاف . حيث تستخدم الثمرة بعضاً منها كمادة للتنفس وإنتاج الطاقة . لذلك فإن الهدف الأساسي لتخزين الثمار بعد القطاف هو توفير الظروف التي تساعد على إبطاء عملية استهلاك هذه المواد .

تتم عملية التنفس على مرحلتين أساسيتين :

المرحلة الأولى :

وتشمل الخطوات الأولية لعملية التنفس والتي عن طريقها يتحول السكر (الغلوكوز) إلى حمض البيروفيك وتحدث هذه العملية عادة في السيتوبلازم حيث توجد الأنزيمات المسؤولة عن هذه التفاعلات وتسمى هذه العملية بالجلكزة Glycolysis ولا يشترط لحدوثها وجود الأكسجين حيث تتم بوجود أو بعدم وجود الأكسجين .

المرحلة الثانية :

وهي عبارة عن تحولات حمض البيروفيك حيث تتوقف هذه التحولات على ظروف الوسط المحيط كما يلي :

أ- في حالة توفر الأكسجين (التنفس الهوائي Aerobic respiration) عندها تشمل الخطوات النهائية لعملية التنفس وفيها يتحول حمض البيروفيك المتكون بالمرحلة الأولى إلى ثاني أكسيد الكربون وماء وطاقة عن طريق دورة الأحماض العضوية (حلقة كريبس Kreb's cycle) وتتم هذه الدورة في الميتوكوندريا Mitochondria حيث توجد الأنزيمات المسؤولة عن تفاعلاتها وكذلك الأنزيمات الخاصة لانتقال الالكترونات والطاقة .

وكون سكر الغلوكوز هو المركب المستهلك مباشرة في التنفس . فيمكن تلخيص عملية التنفس في هذه الحالة بالمعادلة التالية :

$$C_6 H_{12} O_6 + 6 O_2 \rightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O + 674 \text{ كيلو كالوري}$$

وتتم عملية التنفس هذه كما سبق في حالة استهلاك السكريات السداسية الكربون في عملية التنفس وفي حال توفر الأكسجين ودخوله بشكل حر إلى الوسط المحيط وفي حال أكسدة المواد الكربوهيدراتية أكسدة تامة .

إلا أن تلك الظروف ليست دائماً محققة لأنه قد تستهلك في عملية التنفس الأحماض العضوية أو مواد عضوية أخرى وقد تستخدم العبوات البلاستيكية والتي تحد من الوصول الحر للأكسجين وبالتالي عمليات الأكسدة لا تسير حتى النهاية .

ب- في حال عدم توفر الأكسجين (التنفس اللاهوائي Anaerobic respiration أو التخمر Fermentation) وهنا يتحول حمض البيروفيك إلى كحول ايتلي وثاني أكسيد الكربون في حال غياب الأكسجين . وتحدث هذه الحالة في ظروف التخزين العادية والتي لا تكون كمية الأكسجين المتوفرة كافية لاستمرار التنفس الهوائي عندها تلجأ الأنسجة إلى التنفس اللاهوائي الذي عن طريقه يتحول الغلوكوز إلى حمض البيروفيك ثم يتحول حمض البيروفيك إلى حامض

اللاكتيك (حمض اللبن) أو الأسيت الدهايد ثم الايتانول ويمكن تمثيل التنفس اللاهوائي بالمعادلة التالية :

$$C_6H_{12}O_2 \xrightarrow{\text{تخمر}} 2C_2H_5OH + 2\,CO_2 + \text{28.2 كيلو كالوري}$$

تحدث عملية التنفس اللاهوائي في نهاية فترة التخزين خاصة بعد نضج الثمار حيث تضعف قدرة الأنسجة على امتصاص وتمثيل الأكسجين ويلاحظ خلل بالتسلسل والتناسق والانتقال الطبيعي بين تفاعلات وحلقات عملية التنفس فتنخفض شدة التنفس الهوائي فتتنفس الثمار لاهوائياً ثم تتخمر وتكون النواتج الوسطية التي يتراكم جزء منها بالثمار مثل الدهيد الخل وحمض الخل وحمض اللبن وحمض الاسيتون ومركبات أخرى إضافة للكحول الايتلي وأخيراً سوف يؤدي كل ذلك إلى ظهور أعراض التدهور الفيسيولوجي من خلال مظاهر مختلفة مثل تلون اللب والتبقع وغيرها وتظهر تلك الأعراض خاصة في المراحل المتقدمة لشيخوخة الثمار حيث تفقد الثمار مقاومتها لمثل تلك التدهورات كما تسوء مواصفات الثمرة الاستهلاكية كتغير الطعم والرائحة والنكهة وبالتالي لا يمكن أن تبقى أنسجة الثمرة حية لفترة طويلة في غياب الأكسجين حيث أن بعض النواتج الوسطية للتخمر ذات تأثير سام وبالتالي سرعان ما تتموت أنسجة الثمرة وتتحلل وتصبح عرضة للأعفان.

معامل التنفس :

يعرف معامل التنفس بأنه نسبة حجم ثاني أكسيد الكربون المنبعث إلى حجم الأكسجين الممتص نتيجة لعملية التنفس (RQ) .

يدل معامل التنفس بشكل عام على نوع المادة العضوية التي تستهلك من عملية التنفس ولكنه بنفس الوقت يعتبر كمؤشر لطبيعة ارتفاع شدة التنفس اللاهوائي.

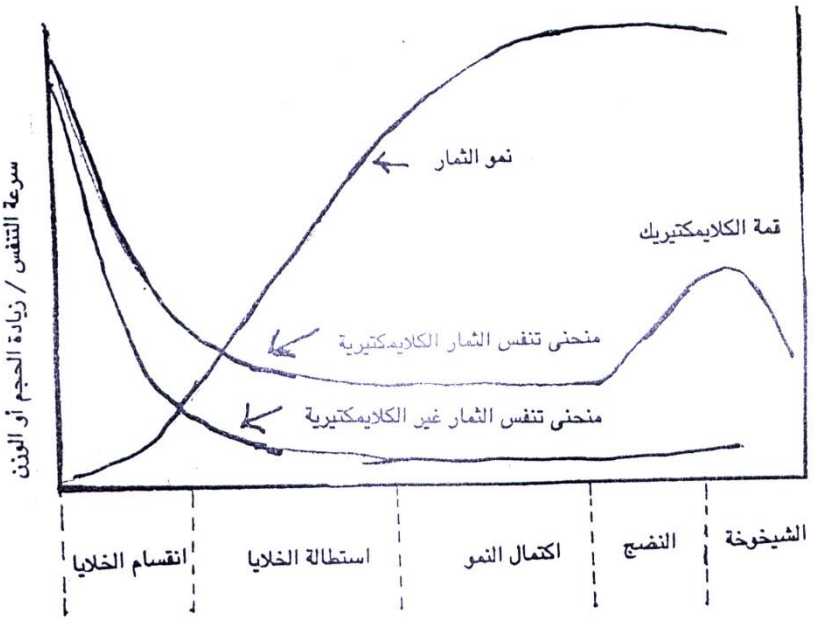
فإذا كان معامل التنفس مساوياً للواحد دل ذلك على أن المادة المستهلكة في التنفس هو سكر الغلوكوز وتجري عملية الأكسدة حتى النهاية .

ويكون معامل التنفس أكبر من الواحد في حال استهلك بالتنفس كذلك الأحماض العضوية وفي حال عدم كفاية الأكسجين .

التغيرات التي تحدث في معدل تنفس الثمار :

تقاس شدة تنفس الثمار عادة على أساس كمية الأكسجين المأخوذة أو كمية غاز ثاني أكسيد الكربون المنطلقة خلال عملية التنفس في وحدة الزمن وفي وزن معين لذلك اتفق على تعريفها في مجال فيسيولوجيا ما بعد القطاف بأنها كمية غاز CO_2 المنطلقة بالميلغرام من وزن قدره واحد كغ (خضار أو فاكهة) خلال زمن قدره ساعة (ملغ CO_2 / كغ / سا) .

إن شدة تنفس الثمار ليست ثابتة خلال مراحل نموها وتطورها وكذلك بعد القطاف حيث يلاحظ أن قمة الشدة التنفسية تكون بعد الإخصاب مباشرة في مرحلة الانقسام الخلوي ومع زيادة حجم الخلايا وكبرها تأخذ شدة التنفس بالانخفاض بشكل مستمر حتى يصل إلى حدوده الدنيا وذلك مع نهاية أو قبل انتهاء مرحلة تمدد الخلايا بقليل ، بعد ذلك يلاحظ عند بعض أنواع الفاكهة والخضار زيادة ثانية في الشدة التنفسية وتستمر هذه الزيادة حتى تصل إلى ذروتها وذلك مع وصول الثمار إلى مرحلة النضج الاستهلاكي كما في ثمار الأجاص أو قبله بقليل كما في ثمار التفاح



الشكل رقم (٣-٣) : مراحل نمو الثمار ومعدل تنفس الثمار الكلايمكتيرية وغير الكلايمكتيرية

ظاهرة الكلايمكتريك : Climacteric

وهي الزيادة في الشدة التنفسية التي تحدث بعد دخول الثمار مرحلة النضج وتمثل هذه الظاهرة مرحلة هامة من مراحل حياة وتطور الثمار. وهي تعبر عن حالة فسيولوجية تظهر في إحدى مراحل طور النضج في الثمرة وتفصل بين مرحلة البناء والتكوين ومرحلة الشيخوخة .

عند حدوث هذه الظاهرة في الثمار ترتفع شدة التنفس ارتفاعاً كبيراً ومفاجئاً ويصحبه تغيرات عميقة كثيرة في طبيعة الثمرة والتي تؤدي إلى اكتمال نضج الثمار حيث يتغير لون الثمار الصفراء من الأخضر إلى الأصفر وتقل الحموضة وتنخفض الصلابة وتتكون مواد النكهة والطعم في الثمرة وغير ذلك من التغيرات التي تؤدي إلى اكتمال مواصفات الثمرة الاستهلاكية وبنفس الوقت تظهر تغيرات في مكونات الثمار كتحول النشاء إلى سكر والبكتين غير الذواب

(البروتوبكتين) إلى بكتين ذواب ويلاحظ ارتفاع في نشاط الأنزيمات المرتبطة بالنضج وتغيرات بطبيعة الثمرة الفيزيولوجية ومدى مقاومتها للأمراض المختلفة.

يعتبر بدء حدوث ظاهرة الكلايمكتريك بأنه بداية نهاية حياة الثمرة ولهذه الظاهرة حد أدنى لسرعة التنفس يميز بداية حدوثها ومرحلة الصعود حيث تأخذ شدة التنفس في الصعود حتى تصل إلى أقصاها وتسمى بقمة الكلايمكتريك أو ذروة التنفس الأعظمي والتي بعدها تبدأ شدة التنفس بالتناقص إلى أدنى مستوى وتسمى ما بعد الكلايمكتريك حيث تستقر شدة النفس تقريباً . واتفق على تسمية المرحلة التي تسبق الحد الأدنى لشدة التنفس بمرحلة ما قبل الكلايمكتريك الشكل (٤-٣) . وعموماً تقسم الثمار تبعاً لهذه الظاهرة إلى مجموعتين :

المجموعة الأولى وتسمى بالثمار الكلايمكتيرية : وتتميز هذه الثمار بوجود ظاهرة الكلايمكتريك حيث تحدث فيها زيادة في معدل التنفس مصاحبة للنضج وتختلف شدة حدوث الزيادة في معدل التنفس وطول المدة التي يستغرقها حدوث الكلايمكتريك باختلاف النوع والصنف ودرجات الحرارة ووقت القطاف وعموماً عملية القطف تسرع من حدوث ظاهرة الكلايمكتريك بالنسبة لغالبية أنواع الثمار .

تتوافق الزيادة في شدة التنفس مع وصول الثمار إلى أكبر حجم لها (نهاية طور اكتمال النمو) وبعد ذلك بقليل ويمكن أن تحدث الزيادة في شدة التنفس فيما لو كانت الثمرة ما زالت على الشجرة أو حتى بعد أن تعزل عن الشجرة خلال التخزين .

يمكن تقسيم الثمار الكلايمكتيرية إلى :

١- ثمار تحدث فيها ذروة التنفس في الوقت الذي تكون فيه صالحة للاستهلاك مثل الأجاص .

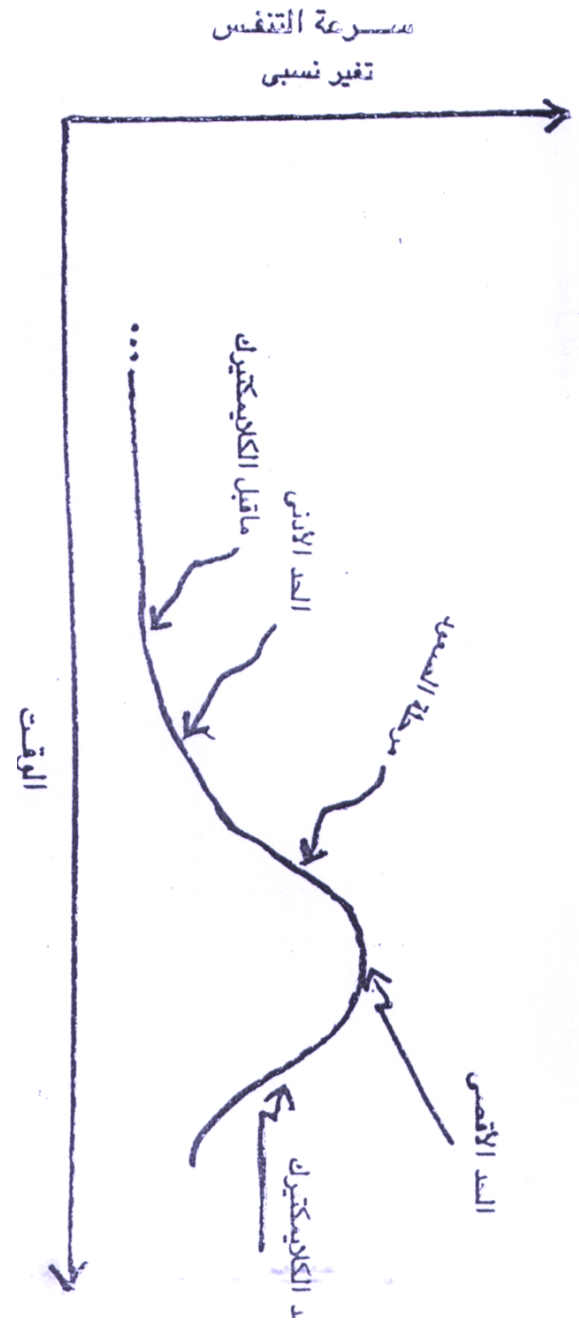
٢- ثمار تحدث فيها ذروة التنفس قبل وصولها إلى مرحلة النضج الاستهلاكي بفترة قليلة مثل ثمار التفاح والموز والمانجو .

٣- ثمار تحدث فيها ذروة التنفس قبل النضج بفترة كبيرة مثل البندورة .

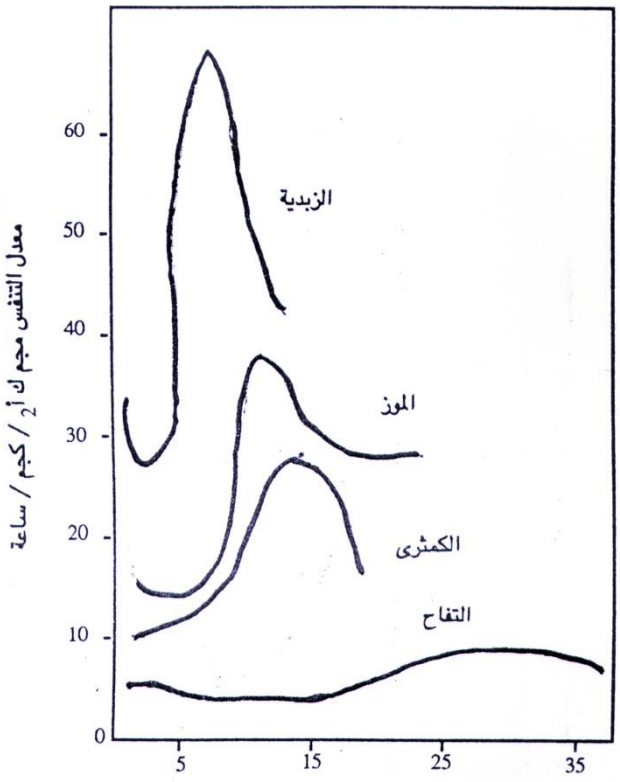
ومن أهم الثمار الكلايمكتيرية : التفاح – الأجاص – المشمش – الخوخ – الدراق – الموز – المانجو – الكاكي – البندورة – الزبديه – البطيخ .

المجموعة الثانية الثمار الغير كلايمكتيرية : وتضم الكرز – الأناناس – العنب – الحمضيات – (البرتقال – الليمون – كريفون) الفريز – التين – الزيتون – البلح – الرمان – الخيار – الفليفلة – الشمام . لا يحدث فيها ارتفاع في معدل التنفس وتحدث التغيرات اللازمة لاكتمال النضج على مدى أطول وببطء مقارنة بالثمار الكلايمكتيرية ومع أنه يمكن أن يلاحظ تزايد

عمليات نضج الثمار وتغير مواصفاتها الاستهلاكية بعد القطف لكنها تبقى محدودة وبسيطة وغالباً في اتجاه تدهور الثمرة وضعفها .



الشكل رقم (٤-٣) : منحنى التنفس للثمار الكلايمكتيرية بمراحل المختلفة



الشكل رقم (٥-٣) : تنفس بعض الثمار الكلايمكتيرية

ويوجد فارق مهم بين الثمار الكلايمكتيرية وغير الكلايمكتيرية وهو أنه يمكن حصاد الثمار الكلايمكتيرية بعد طور اكتمال النمو ويمكنها بعد ذلك مواصلة نضجها حتى بعد القطاف وهذا مهم جداً بالنسبة للتخزين الطويل حيث تقطف الكثير من الثمار الكلايمكتيرية قبل النضج مثل الموز والبندورة والأجاص والتفاح لأنها تكون في هذه المرحلة تتحمل النقل والتسويق والتخزين حيث يتم إنضاجها قبل الاستهلاك أو خلال التخزين .

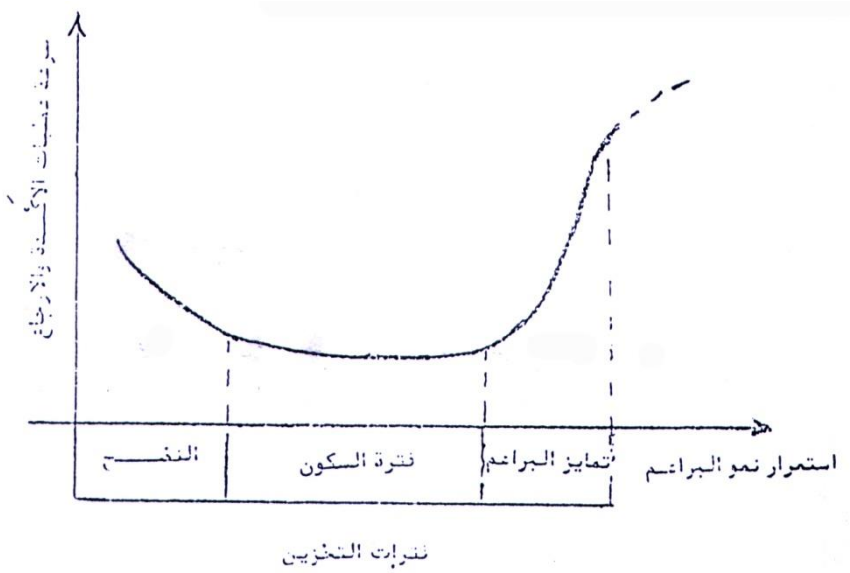
أما الثمار الغير كلايمكترية لا تتغير بعد الحصاد إلا للأسوأ حيث لا نستطيع متابعة نضجها بشكل جيد بعد الحصاد ولا يمكن إنضاجها صناعياً أو خلال التخزين لذلك يجب عدم قطف الثمار الغير كلايمكترية إلا بعد وصولها إلى طور النضج الأمثل استهلاكياً.

وأخيراً يمكن اعتبار جميع المحاصيل الخضرية محاصيل كلايمكترية للارتفاع المستمر للشدة التنفسية فيها خلال النمو وبعد الجمع .

التغيرات التي تحدث في معدل تنفس الحاصلات البستانية ثنائية الحول :

يكون معدل التنفس في الخضار الثنائية الحول وخاصة الأنسجة المتمايزة (البراعم) منخفضاً أثناء فترة السكون ويبقى هذا المعدل ثابتاً ما لم تحدث تغيرات كبيرة في درجة الحرارة

والرطوبة وغيرها . وفي نهاية فترة التخزين (مرحلة إتمام تمايز البراعم وانتهاء فترة السكون) يزداد معدل التنفس الشكل (٦-٣).



الشكل رقم (٦-٣) : معدل التنفس في الخضار الثنائية الحول خلال فترة التخزين

العوامل المؤثرة في شدة تنفس الثمار بعد الجمع وأثناء التخزين :

أ- العوامل الداخلية :

١- النـوع : تختلف الحاصلات البستانية اختلافاً كبيراً في شدة تنفسها وعموماً نجد أن المحاصيل مثل البطاطا والبصل – تنفسها أقل من النباتات السريعة النمو كالخضر الورقية مثل البقدونس – الخس .

٢- الصنف : تختلف الأصناف ضمن النوع الواحد بالشدة التنفسية وهذا له علاقة بالطبيعة الوراثية للصنف والتي تظهرها خواصه الفسيولوجية والتشريحية مثل ثخانة القشرة وسمك الطبقة الشمعية .

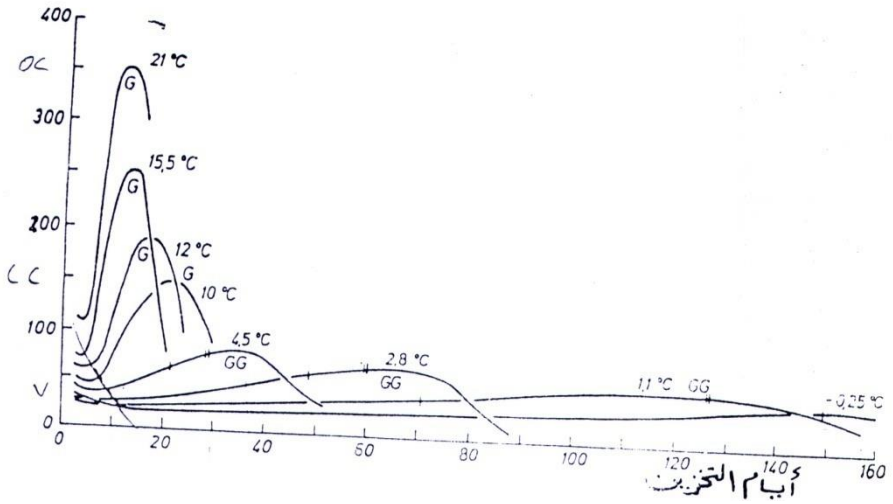
٣- ظروف النمو : لها دور أساسي في ارتفاع شدة تنفس الثمار حتى بعد الجمع وخاصة تغذية النبات خلال موسم النمو حيث يلاحظ ارتفاع الشدة التنفسية للحاصلات في حالة التغذية الأزوتية الزائدة وكذلك في حال زيادة الرطوبة وحالات مشابهة تتعلق بطبيعة التربة وغير ذلك .

٤- درجة النضج : تختلف شدة التنفس كما ذكرنا حسب مراحل نمو الثمار فالثمار الغير مكتملة النمو يكون معدل تنفسها أعلى من تلك المكتملة النمو .

٥- الأضرار الميكانيكية والإصابات : تؤدي إلى زيادة شدة التنفس عموماً .

ب- درجة الحرارة :

تزداد شدة التنفس بارتفاع درجة الحرارة وذلك لتنشيط أنزيمات التنفس وذلك حتى حد معين (٤٠ م^{o}) ثم تقل بعدها بسرعة لتثبيط وإبطال نشاط الأنزيمات. وتخضع علاقة درجة الحرارة بالتنفس لقانون فانت هوف Vant Hoff الذي يقول بأن شدة التفاعلات الحيوية والبيولوجية تزداد مرتين إلى ثلاث مرات لكل زيادة قدرها ١٠ م^{o} .



الشكل (٧-٣) : الشدة التنفسية لصنف الاجاص وعلاقتها بدرجة الحرارة ومدة التخزين

جـ - تأثير تركيز الأوكسجين وثاني أكسيد الكربون :

يعمل خفض تركيز الأكسجين وزيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون (وبحدود معينة) إلى حد معين إلى تخفيض شدة التنفس وبشكل كبير وهذا يؤدي إلى تخفيض شدة كافة مظاهر النضج المرتبطة بها مثل هدم الكلورفيل - حلمهة المواد البكتينية - حلمهة واستهلاك السكريات والأحماض العضوية مما يساعد على المحافظة على جودة الثمار وإطالة فترة تخزينها .

د - تأثير غاز الايتلين ومنظمات النمو :

عرف دور الإتلين في التأثير على شدة التنفس وتأكد أنه هرمون نضج طبيعي إذ يستطيع وبتركيز منخفض جداً من ٠,١ - ١ جزء بالمليون (ppm) أن يحرض ويزيد الشدة التنفسية للثمار .

ومن منظمات النمو الأخرى التي تزيد من شدة تنفس الثمار مواد منتجة للايتلين مثل الإيتيفون والألسول ومواد أخرى مثل نفتالين حمض الخليك ويوجد مواد تقلل من شدة التنفس مثل الالار - الماليك هيدرازيد .

ثالثاً – التغيرات في مكونات الثمار والخضار :

١- تغير محتوى النشاء والسكريات :

يقل محتوى النشاء عند أغلب ثمار الخضار والفاكهة أثناء نضجها على النبات الأم أو بعد القطاف وتبعاً لذلك يزداد محتواها من السكريات إلى أن يصل إلى حد أقصى والذي بعده يبدأ محتوى السكريات بالانخفاض .

أ- تغيرات النشاء والسكريات في ثمار التفاحيات :

تحتوي ثمار التفاحيات قبل بداية النضج على كمية من النشاء تتحول تدريجياً أثناء النضج وخلال التخزين إلى سكريات ويبدأ التحول ابتداءً من المنطقة المجاورة لعنق الثمرة ثم مركز الثمرة (المنطقة المتاخمه لحجرة البذور) وثم نحو محيط الثمرة (عبر اللب) حتى الطبقة الواقعة تحت القشرة ويختفي النشاء تماماً عند بلوغ الثمرة درجة النضج الكامل .

تزداد نسبة السكريات الكلية أثناء النضج في بداية التخزين على حساب حلمهة النشاء والمواد الكربوهيدراتية الأخرى (الغليكوزيدات والمواد البكتينية والهيميسللوز وغيرها) ثم تبدأ بعد ذلك بالانخفاض تدريجياً نتيجة لاستهلاكها بالتنفس .

كما ترتفع نسبة السكريات الأحادية بعض الشيء على حساب حلمهة السكروز حيث تتفكك جزيئاته تحت تأثير الأنزيمات والأحماض الموجودة في الثمار إلى سكريات أحادية ويلاحظ انخفاض نسبة الأحماض العضوية كحمض التفاح السائد وذلك لاستهلاكها في عملية التنفس خاصة في نهاية النضج الكامل وتفككها إلى CO_2 واسيتالدهيد (CH_3OH) .

ب- تغيرات النشاء والسكر في ثمار الموز :

تحوي ثمار الموز الخضراء على ٢٠ % نشاء وسطياً وأقل من ١ % سكريات وفي الثمار الناضجة تنخفض نسبة النشاء إلى ٢ % تقريباً وتزداد نسبة السكريات وسطياً إلى ١٦ % تتوزع بنسب متساوية تقريباً بين السكروز والفركتوز والغلوكوز وذلك في الثمار ذات درجة النضج المثلى .

جـ – تغيرات النشاء والسكر في البازيلاء والفاصولياء الخضراء :

لهذه المجموعة من النباتات طبيعة خاصة في تغيرات النشاء والسكر خلال عمليتي النضج والتخزين حيث لا يتحول النشاء إلى سكر بل على العكس يتحول السكر إلى نشاء فتصبح حبوبها ذات طعم رديء وغير صالحة من الناحية الاستهلاكية والتصنيعية كحبوب خضراء .

د – تحولات السكر والنشاء في البطاطا :

يخضع النشاء في البطاطا أثناء التخزين إلى تغيرات كبيرة تحت تأثير أنزيمات مختلفة وتتوقف طبيعة هذه التغيرات على ظروف الوسط المحيطة بالدرنات وخاصة درجة الحرارة وكذلك

تتوقف على عمر الدرنات والخصائص الصنفية وتعتبر نسبة النشاء والسكر في أي وقت من فترة التخزين محصلة لجريان العمليات الثلاث التالية .

١- تحليل النشاء إلى سكر ٢- تحول السكر إلى نشاء ٣- أكسدة السكر وفقده أثناء عملية التنفس .

تزداد شدة تلك العمليات بارتفاع درجة الحرارة وتنخفض بانخفاضها ولكن بمعدلات متفاوتة فإن انخفاض الحرارة مثلاً يضعف تحول السكر إلى نشاء أكثر من تحول النشاء إلى سكر فلقد تبين أن انخفاض درجة الحرارة من ٢٠ م° إلى الصفر المئوي يؤدي إلى انخفاض سرعة تحول النشاء إلى سكر بمقدار الثلث فقط أما سرعة تحول السكر إلى نشاء تقل بمعدل عشرين مرة

عند تحول جزء من النشاء إلى سكريات يزداد تركيز العصير الخلوي نسبياً ولكن تحول النشاء المفرط بسبب التبريد الزائد يؤدي لاختلال الدرنات فسيولوجياً فيسمر لبها نتيجة لحدوث تفاعل ميلارد (خاصة بالتخزين الطويل) وتنخفض نوعيتها حيث ينخفض حجم حبيبات النشاء وتتغير طبيعتها وتصبح أقل قابلية للطهي والتصنيع ويزداد الفاقد منها عند التقشير ويمكن التقليل من تراكم السكريات في الدرنات بتخزينها بدرجة حرارة (٤-٥ م°).

٢- تغيرات المواد البكتينية :

يتراكم البروتوبكتين أثناء نمو الثمار في الجدر الخلوية وتتراكم البكتات في الصفيحة الوسطى لذلك أن نسبة البكتين الذواب في خلايا الثمار النامية والتي لم تنضج بعد منخفضة جداً ومع نضج الثمار وأثناء تخزينها يتحول البروتوبكتين تدريجياً ويتحلمه إلى بكتين ذواب بالماء بفعل أنزيم البروتوبكتيناز وكذلك نقل نسبة البكتات تدريجياً وتصبح الثمرة طرية اعتباراً من مركزها وباتجاه محيطها وبالتالي هذه التحولات هي المسؤولة وإلى حد كبير عن ليونة لب الثمار . ومع تقدم الثمار في النضج ووصولها إلى مرحلة الشيخوخة يتفكك البكتين الذواب إلى كحول ميثيلي وأحماض بكتينية ويصبح لون اللب غامقاً ومن ثم تتفكك الأنسجة وتزداد شدة الاختلالات الفيزيولوجية وتتلف الثمار .

تختلف سرعة تحول المواد البكتينية في الثمار أثناء التخزين باختلاف الأنواع والأصناف

٣- تغيرات السيليلوز والهيمي سيليلوز :

لا يلاحظ تغيرات ملحوظة على محتوى الثمار من السيليلوز بينما يدخل جزءاً من الهيمي سيليلوز في التحولات الغذائية للثمرة وينخفض محتواه بعد عدة أشهر من التخزين وسطياً بنسبة ٢٥ % .

٤- التغيرات في الأحماض العضوية :

تكون نسبة الأحماض العضوية في الثمار غير الناضجة مرتفعة وتنخفض تدريجياً مع اقتراب الثمار من النضج بسبب استهلاكها في عملية التنفس لسهولة استخدامها كمادة للتنفس .

ويلاحظ ازدياد شدة استهلاك الأحماض العضوية بارتفاع درجة حرارة التخزين

٥- التغيرات في المواد التانينية :

تنخفض كمية التانينات في الثمار مع اقترابها من النضج حيث تأخذ تدريجياً بالاختفاء عن طريق الأكسدة إلى ماء وثاني أكسيد الكربون وتزداد شدة زوالها أثناء التخزين لذلك يختفي الطعم القابض ويتغير طعم الثمار عند اكتمال النضج .

٦- تغيرات المواد الملونة :

يحدث تغير بالمواد الملونة في الثمار أثناء فترة نضجها وتخزينها حيث ينخفض محتواها من اليخضور ويرتفع محتوى من الكاروتينات .

أما الفلافونات يزداد محتواها حتى القطاف وبعد ذلك يبقى محتواها ثابتاً تقريباً ما دامت الثمرة سليمة ولكن عندما تصاب الثمرة بالتدهور الفيزيولوجي والأمراض المختلفة عندها يحدث أكسدة هذه المواد وتهدمها .

أما الأنتوسيانينات فأنها تزداد أثناء مسار تطور الثمرة وتزداد شدة تكوينها في الثمار مع بداية أو بعد هدم الكلوروفيل.

إن أنسب درجة حرارة لتكوين صفة الليكوبين في ثمار البندورة هي٢٠ – ٢٤ م^{o} ويتوقف تكوينها عند انخفاض درجة الحرارة لأقل من ١,٣ م^{o} والثمار التي تتعرض لدرجة حرارة مرتفعة حتى ٣٢-٣٩م^{o} تصبح ذات لون أصفر إنما يمكن أن تعود إلى لونها الطبيعي الأحمر عندما تتعرض لدرجة حرارة بين ٢٠ – ٢٤ م^{o} .

٧- تغيرات المركبات الطيارة (الزيوت العطرية) :

يزداد تكوين المركبات الغازية الطيارة في الثمار وطرحها إلى الوسط المحيط مع تقدم الثمرة بالنضج وتبلغ حدها الأقصى في مرحلة النضج الكامل وبالتالي تكتمل مواصفات النكهة والرائحة المميزة للصنف وبعد ذلك يختفي الكثير منها أثناء التخزين لفترات طويلة ودخول الثمار مرحلة الشيخوخة وعموماً تنخفض نكهة الثمار عند انخفاض درجة الحرارة لانخفاض شدة إنتاج تلك المواد.

٨- التغيرات التي تطرأ على الفيتامينات :

عادة يقل محتوى فيتامين C في ثمار الخضار والفاكهة خلال عملية التخزين وشدة تلف وتأكسد فيتامين C تزداد بارتفاع شدة تنفس الثمار.

يلاحظ أكبر نسبة فقد في فيتامين C عند تخزين البطاطا .

ويلاحظ أن أقل نسبة فقد في فيتامين C أثناء التخزين نجدها في ثمار الحمضيات حيث تبقى نسبة هذا الفيتامين تقريباً ثابتة في لب الثمار بعد شهور عدة من التخزين إلا أن نسبته تنخفض بشكل ملحوظ في قشرة الثمار .

وتبين أن شدة أكسدة هذا الفيتامين تنخفض بشكل كبير بالوسط الحامضي ومعتدلة بالأوساط القليلة الحموضة والطبيعية وسريعة بالأوساط القلوية .

التغيرات التي تطرأ على محتوى الخضار والفواكه أثناء التخزين في مجموعة فيتامينات B تبقى منخفضة وبحدود مقبولة .

يعتبر وجود الكاروتين في الخضر والفواكه من المؤشرات الأساسية لجودتها وقيمتها الغذائية على اعتباره مولداً لفيتامين A في جسم الإنسان ونتيجة للعديد من الدراسات تبين أن الكاروتين على درجة عالية من الثبات خلال ظروف التخزين .

فقد الثمار لمحتواها المائي :

أغلب أنسجة الخضار والفواكه تحوي على نسب مرتفعة من الماء نجدها تفقد الماء إلى الوسط الخارجي بالتدريج وتعرف هذه العملية بالنتح وهو فقد ماء خلايا المنتجات النباتية على شكل بخار ماء عن طريق المسامات والعديسات والبشرة الموجودة في الأوراق والثمار حيث تنفلت من خلالها جزيئات الماء إلى الوسط المحيط متحولة إلى الحالة الغازية .

ويعتبر فقد الماء من الثمار والخضار أثناء التخزين من أهم أنواع الفقد التي تعاني منها المنتجات المخزنة خاصة إذا كانت نسب الفقد مرتفعة فسوف يؤدي ذلك إلى ذبول وتجعد الأنسجة وتغير شكل الثمار الخارجي وبالتالي انخفاض جودتها وفقدان في وزنها وكذلك ترتفع حساسيتها للأمراض والإصابات الميكانيكية والتدهور والتلف وتصبح غير صالحة للتخزين لفترات طويلة .

ويوجد عدة عوامل تؤثر في شدة فقد الماء من الثمار والخضار خلال التخزين :

- **العوامل الداخلية**

١- منطقة الزراعة :

تبين أن ثمار الصنف نفسه تفقد الماء بنسب مختلفة تبعاً لمكان الزراعة ويفسر ذلك باختلاف شدة السطوع الشمسي التي تتعرض له الثمار حيث تبين أن جهة الثمار المعرضة للسطوع الشمسي على الشجرة تذبل بدرجة أقل من تلك المضللة نظراً لزيادة سماكة الجدر الخلوية وزيادة طبقات خلايا الأنسجة تحت القشرة في الجهة المعرضة للشمس مقارنة مع الجهة المضللة وهذه الفروقات بالبنية التشريحية للثمار لوحظت عند اختلاف شدة السطوع الشمسي في أماكن الزارعة المختلفة .

٢- نوع الثمار :

يوجد اختلاف كبير بين المنتجات الزراعية في شدة فقدها للماء وذلك لاختلاف خصائصها النوعية وكذلك لاختلاف الأجزاء النباتية المستخدمة في التغذية (جذر – ساق – أوراق – ثمار) فمثلاُ الأبصال الجافة محاطة بحراشف جافة تمنع تبخر الماء منها وتحميها من الفقد خلال التخزين. بينما يسهل تبخر الماء من الخضار الجذرية الغضة نظراً لرقة قشرتها فتذبل بسرعة ، وكذلك الحال بالنسبة للخضار الورقية حيث تفقد الماء بسهولة نظراً لزيادة مسطحها.

في ثمار التفاح تساعد طبقة الكيوتيكل على الحد من شدة تبخر الماء منها وبالتالي حمايتها من الذبول أثناء التخزين . كما أن وجود الطبقة الشمعية على سطح الثمرة يساهم في تقليل عملية النتح في ثمار التفاح ومن المهم الإشارة أن طبيعة طبقة الكيوتيكل وسماكة الطبقة الشمعية تختلف تبعاً للصنف وبالتالي تختلف الأصناف فيما بينها لشدة فقد الماء منها خلال التخزين .

٣- مكونات الثمرة :

تبين أن ارتفاع نسبة السكريات بالثمار يجعلها ذات قدرة أكبر على الاحتفاظ بالماء.

٤- درجة النضج وموعد القطاف :

يلاحظ أن ثمار التفاح الغير مكتملة النمو المقطوفة قبل الموعد الأنسب للجني (بعد طور اكتمال النمو وبداية طور النضج) تفقد الماء بسهولة وتتعرض للذبول السريع خاصة بالمرحلة الثانية للتخزين والسبب يعود أساساً إلى عدم اكتمال تكوين أنسجة الثمرة والطبقة الشمعية .

ويلاحظ أن الثمار المفرطة بالنضج كذلك تصبح أنسجتها ومكوناتها أقل قدرة على الاحتفاظ بالماء لانخفاض قدرة غروياتها على جذب ومسك ماء الخلايا.

- **العوامل الخارجية:**

درجة الحرارة – الرطوبة النسبية- سرعة هواء التخزين – مكونات وسط التخزين