الشيخوخة

Vieillissement - sénescence - Ageing

En biologie, la **sénescence** (du latin : *senex*, « vieil homme » ou « grand âge »), ou vieillissement, est un processus physiologique qui entraîne une lente dégradation des fonctions de l'organisme.

Vieillissement - sénescence - Ageing الشيخوخة

يلى طور النضج الثمرى طور الشيخوخة **Ageing** والذى ينتهى بنشاط بيوكيميائى ينتج عنه تحلل الأنسجة ثم الموت . وهى مرحلة أخيرة فى مراحل تطور اى عضو نباتى. وهى كآى تغير فسيولوجى يطرأ على النبات يبدأ بسلسلة من التغيرات والعمليات غير الرجعية والتى تقود فى النهاية الى الموت والتحلل .

والشيخوخة مثلها مثل اى عملية فسيولوجية تنظمها أنزيمات متخصصة يتحكم فيها ميكانيكية وراثية تحدث إما تدريجيا او قد تحدث بمعدل سريع جدا لذلك فهى تختلف من نبات لآخر .

يعتبر البعض أن الشيخوخة لا تأتى فجائية أبدا حيث إنها تأتى نتيجة تراكم تغيرات ليست فى صالح الكائن الحى مثل الطفرات غير المرغوبة ، وتغير نشاط الأغشية الخلوية وحدوث نسخ خاطئ فى انقسام الخلايا يتجمع مع تقدم العمر ثم انخفاض فى معدل العمليات الفسيولوجية البانية **Anabolisme** وزيادة العمليات الفسيولوجية الهادمة **Catabolisme**.

Chez les végétaux, la sénescence peut ne toucher qu'une seule partie d'un organisme. C'est le cas de la sénescence des feuilles par exemple qui se caractérise par leur jaunissement puis leur chute en automne, ou encore des fruits lorsqu'ils tombent de la plante.

تختلف أيضا أعضاء النبات الواحد فى مواعيد شيخوختها فتختلف شيخوخة الجذور عن شيخوخة باقي النبات .

فى النباتات الحولية فالموت يكون شامل للنبات كله فى وقت واحد , أما فى الأعشاب المعمرة والتى لها أعضاء تخزين مثل الأبصال والكورمات والريزومات فان المجموع الخضرى هو الذى يصاب بالشيخوخة بعد تكون الأزهار والثمار الموسمى ثم تهاجر المواد الكربوهيدراتية والبروتينية بعد هدمها الى مواد بسيطة الى أماكن التخزين التى تزداد فى الحجم وتظل حية من اجل أن تعاود النشاط واعطاء مجموع خضري مرة أخرى للموسم التالي .

لذلك نجد أن هناك ارتباط بين النمو التكاثري والشيخوخة ففى النباتات العشبية ذات الحول الواحد حيث تشيخ الأوراق والسيقان أثناء نضج الثمار.

بينما تظل السوق والأوراق حية خضراء أثناء النضج فى النباتات المعمرة التى تزهر اكثر من مرة **polycarpic** ولكن يحدث أثناء نضج الثمار هدم للمركبات المعقدة فى الأوراق وانتقالها الى أماكن التخزين فى ا لبذور والثمار او السيقان ليبدأ بها الموسم الجديد من النشاط فى إنتاج النموات الخضرية والزهرية .

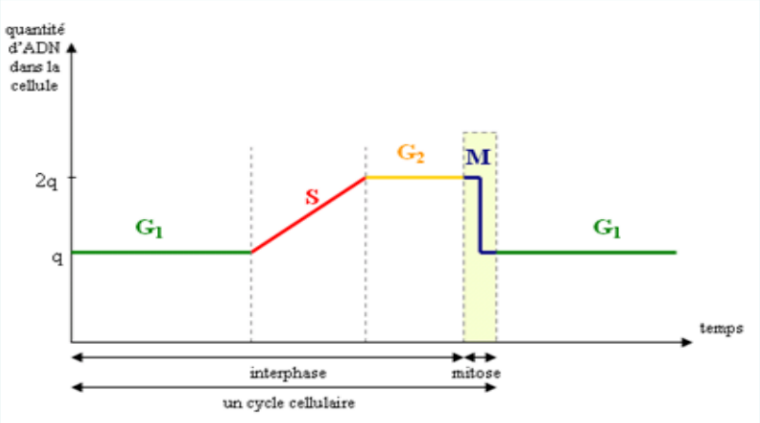
Plantes annuelles, bisannuelles et vivaces

Chez les plantes annuelles, le cycle de vie (depuis la graine qui a donné naissance à la plante jusqu'à la production de nouvelles graines) est étalé sur une seule année. Une fois les graines dispersées, la plante meurt. Dans ce cas, les graines permettent le passage de la mauvaise saison. Pendant l'hiver, les graines sont en vie ralentie et elles germent lorsque reviennent des conditions favorables, en particulier une température suffisante. Toutefois, certaines graines, comme celles du pommier (les pépins de pomme), doivent obligatoirement subir le froid de l'hiver pour acquérir la capacité à germer lors du retour de conditions favorables. Il est cependant possible de les traiter par le froid pour obtenir artificiellement leur germination. En outre, chez certaines plantes, comme certaines variétés de blé, c'est la floraison qui n'est possible que si la graine a été exposée au froid.

Chez les plantes bisannuelles, il n'y a pas de floraison la première année et la plante accumule des réserves dans un organe spécialisé, comme un bulbe ou un tubercule. Pendant l'hiver, cet organe reste en vie ralentie et ne reprend son activité qu'au retour de conditions favorables. Les bourgeons que comportent ces organes se développent alors en utilisant les réserves accumulées l'année précédente jusqu'à ce que l'appareil végétatif soit suffisamment développé pour que la photosynthèse le rende autonome. C'est alors que se développe l'appareil reproducteur, c'est-à-dire les fleurs, et que la reproduction sexuée peut se produire, conduisant à la formation de graines qui passeront l'hiver en vie ralentie comme celles des plantes annuelles, et, comme chez ces dernières, une fois les graines dispersées, la plante meurt.

Chez les plantes vivaces, des graines sont produites chaque année et la plante passe l'hiver en vie ralentie. Les plantes herbacées, c'est-à-dire les plantes de petite taille (en raison de l'absence de bois), passent l'hiver essentiellement sous forme d'organes de réserve souterrains et pérennes (racine tubérisée, rhizome, bulbe, tubercule) parfois munis de quelques feuilles. Les arbres, plantes à fleur qui peuvent atteindre de très grandes dimensions en raison du soutien apporté par le bois, passent aussi l'hiver en vie ralentie et le développement des bourgeons au printemps est assuré par les réserves contenues dans leurs vaisseaux conducteurs.

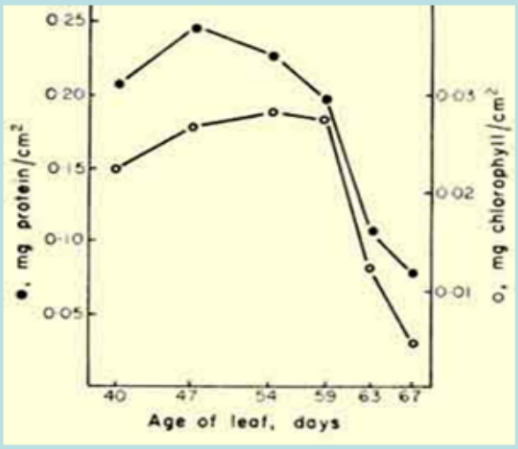
La principale conséquence moléculaire de la **sénescence** est un blocage du cycle cellulaire à la transition entre les phase G1 et phase S (phase de réplication de l'ADN). Il existe 2 principales catégories de **sénescence** cellulaire :
la **sénescence** réplicative et la **sénescence** prématurée induite par des stress.



أهم مظاهر الشيخوخة

اصفرار الأوراق وتكسر الكلوروفيل مما يزيد من ظهور الصبغات الأخرى مثل الكزانثوفيل والكاروتينات فتظهر الأوراق بألوان أخرى غير الأخضر مثل الأصفر والبرتقالي والأحمر .

من علامات الشيخوخة أيضا اختفاء الريبوزومات وتكسر الشبكة الاندوبلازمية وتهدم البلاستيدات فقد أشار Vicentini وآخرون سنة 1995 الى إن الهدم يتم عن طريق إزالة طرف جزئ الفيتول باستخدام أنزيم chlorophyllase ثم إزالة ذرة الماغنسيوم بواسطة إنزيم- Mg dechelatase ثم تفتح حلقة البورفرين بواسطة أنزيم dixogenase مع تدفق البروتين المرتبط والمتبقي من هدم الكلوروفيل ليذهب مع باقي المكونات الى الفجوات العصارية من اجل عمليات هدم مستقبلية كما يحدث اختفاء للميتاكوندريا . ثم هدم البروتينات ونقص محتوى الأوراق من الأحماض النووية الريبوزية وزيادة التنفس وبالتالي هدم الكربوهيدرات ويصاحب تحلل البروتين زيادة مستوى الاميدات والامونيا بدليل استخدام الأحماض الأمينية فى التنفس بعد نزع مجموعات الأمين وتحولها الى امونيا واستخدام الأحماض العضوية الكيتونية فى الأكسدة فى دورة الأحماض الثلاثية.



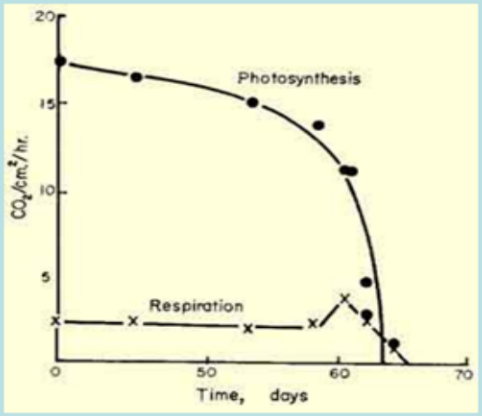
شكل يوضح انخفاض الكلوروفيل والبروتين مع تقدم الورقة فى العمر

من علامات الشيخوخة على التركيب الداخلى للخلايا هو انحلال الغشاء البلازمي الداخلي Tonoplast للفجوات العصارية و إبطال دور الفجوة وتدفق الأنزيمات المحللة. يصاحب شيخوخة الأوراق ارتفاع مستوى حمض الابسيسيك والذى يصاحب ذلك إغلاق الثغور وخروج أيونات الكالسيوم من الخلايا الحارسة .

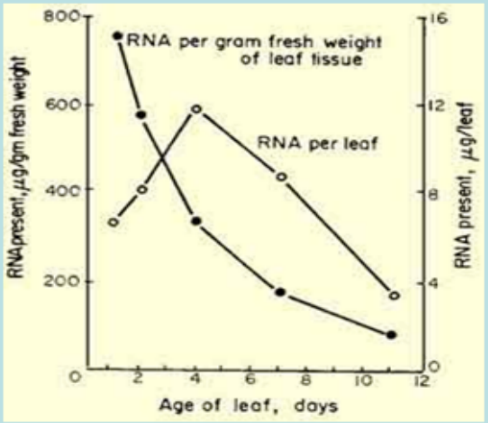
ميكانيكية النضج والشيخوخة

تعتمد ميكانيكية الشيخوخة أولا على التنفس حيث انه مصدر للطاقة اللازمة لإتمام التفاعلات الحيوية ثم بناء أنظمة أنزيمية جديدة التى تعمل على إحداث التغيرات اللازمة للنضج والشيخوخة ثم تكسر الخلايا وتحللها وموتها.

أما دور الهرمونات يكون على التأثير على تخليق الجديد من الرنا RNA تحت تأثير نظرية الهستون و التى تفترض أن البروتين الهستونى ينظم فعلها فى كل مرحلة من كل المراحل ابتداء من المراحل الجنينية حتى الموت فالمادة الوراثية DNA المسئولة عن إنتاج RNA تثبط بإتحادها مع البروتين الهستونى وتنشط عن تحررها منه ويقع التنشيط والتثبيط تحت تأثير توازن هرمونى وهذا التوازن يقع تحت تأثير توازن حيوى يخضع لتوازن بيئى



شكل يوضح انخفاض التمثيل الضوئى وارتفاع التنفس مع تقدم عمر الورقة وبداية الشيخوخة



شكل يوضح انخفاض الأحماض النووية من نوع RNA يتقدم الورقة وبداية الشيخوخة

تنظيم الهرمونات للشيخوخه

الأوكسين والشيخوخة:

يعمل الأوكسين على تأخير الشيخوخة من خلال زيادة معدل اتحاد أو ارتباط القواعد النيتروجينية ثلاثية الفوسفات ATP بالأحماض الأمينية أثناء ترجمةmRNA وبالتالي زيادة المنتج منه وقد وجد أنه يزيد من ارتباط الأحماض ا لأمينية العطرية خاصة Aromatic amino acids فى البروتين وبالتالي زيادة المحتوى البروتيني وهو عكس عملية الهدم أثناء الشيخوخة
يصاحب شيخوخة الخلايا سواء فى الثمار والأوراق والبتلات نقص فى معدل الأوكسين الطبيعى فالأوكسين يحافظ على طفولة الخلايا ولقد وجد أن المعاملة بنفثالين حمض الخليك NAA يعيق ليونة الثمار ويعمل على زيادة الأحماض الفوسفاتية . وبالرغم من ان ألاكسينات تنبه إنتاج الاثيلين لكنها تعيق النضج وان التأثير المثبط على النضج يفوق إي تأثير ناتج الاثيلين وعندما تبدأ الثمار فى النضج والشيخوخة فلأن الاثيلين ينشط الأنزيمات الهادة والتى تؤدى الى خفض مستواه

السيتوكينين و الشيخوخة:

أشارت الدراسات أن للسيتوكينين دور فى المحافظة على عدم هدم البروتين بل يزيد من معدل بناءها وقد استعمل السيتوكينين لتأخير شيخوخة ثمار الفراولة وكذلك أدت المعاملة به الى تحمل المحاصيل الورقية للتخزين دون تدهور كما فى السبانخ والاسبرجس , كما أعاقت المعاملة به من التغير فى اللون فى ثمار البرتقال الخضراء ويعتقد أن السيتوكينين يعمل من خلال المحافظة على مستوى الجبرلين الداخلي أو إعاقة الزيادة فى ABA like compounds
اكتشف أهمية السيتوكينين فى تأخير الشيخوخة والحفاظ على الكلوروفيل 1957 فهو من خلال تثبيط أنزيم RNA ase وتثبيط عمليات التحلل وتشجيع نشاط أنزيم aminoacyl-s-RNA وهو ما يفسر قلة كمية الأحماض الأمينية فى الأنسجة المعاملة بالكينيتين بالمقارنة بالغير معاملة كما ينظم من عمليات إنتاج الطاقة وذلك بزيادة محتوى الأوراق من الجلوكوز فوسفات والادينوسين فوسفات كما تشجع transformation من الليبيدات الى سكريات ..

كما وجد أن للكينيتين دورا على تحول حمض الابسيسيك من الصورة الحرة الى الصورة المرتبطة الغير نشطة . كما لوحظ أن السيتوكينين يقلل من تنفس الأوراق الزائد عند بداية شيخوختها وذلك بإيقاف سريان تدفق الإلكترونات داخل الميتوكوندريا وبذلك يقل تأكسد المركبات السكرية والذي من شأنه تأخير عمليات الهدم .

الجبرلين والشيخوخة :

يؤخر الجبرلين من طور الشيخوخة وذلك بتأثيره على تنشيط عمليات بناءmRNA والبروتين كما يعيد اخضرار الثمار الناضجة والمتجهة الى الشيخوخة كما يعيق هدم الكلوروفيل ويعيق ليونة الثمار وتراكم الكاروتينات كما وجد أن له علاقة بزيادة استهلاك الأكسجين وارتفاع مستوى الفوسفات . كما أدت المعاملة به الى تأخير شيخوخة المشمش عندما رش بتركيز 10 – 100 جزء فى المليون قبل الجمع .
ولقد لوحظ زيادة مستوىABA عند التقدم نحو الشيخوخة يعقبة نقص مستوى GA , ولقد ذكر أن هناك تأثيرا متيرا للجبرلين على الشيخوخة فى أوراق الخيار وهو تأثير يرتبط بالقدرة على تكوين الشكل اللولبى للـ DNA ثنائى الخيط DNA loop forming وانه فى وجود حمض الجبرلين يظهر اثر عكسى فقد احتفظت الخلايا بقدرتها على تكوين الشكل اللولبى او الحلقى نتيجة اتصالGA بـ DNA عند موقع خيوط DNA وحيدة الخيط وان أهمية تلك غير معروفة الآن

الاثيلين والشيخوخة :

يلعب دور في تنظيم عمليات تساقط الأزهار والثمار والأوراق عند نضج الثمار وشيخوخة الأوراق فالمعاملة به تؤدى الى غلق الأزهار التى على وشك التفتح وان تفتحت فان ألوانها تبهت وتسقطت ويساعد الاثيلين على شيخوخة الأوراق من خلال منعه انتقال الأوكسين من تصل الورقة الى قاعدتها فينتج التدرج الاوكسينى فى منطقة الانفصال وتتكون منطقة الانفصال كما يزيد من نشاط IAA oxidase فيقل مستوى الأوكسين الطبيعى ويزيد من نشاط أنزيم السليوليز فى منطقة التساقط والذى يعمل على تحلل جدر الخلايا فى منطقة الانفصال مما يؤدى الى انفصال العضو مثل انفصال الورقة عن الساق . يزيد أيضا الاثيلين من نشاط أنزيم chlorophyllase لذلك يتهدم الكلوروفيل وتصفر الأوراق عند بداية شيخوختها

حمض الابسيسك:

يزداد مستوى حمض الابسيسك مع تقدم الأوراق فى العمر وبداية تحولها الى طور الشيخوخة ويقل تركيز الجبرلين ويرتبط ما هو موجود بالورقة ليكون جلوكوزيدات غير نشطة للجبرلين

الشيخوخة والإجهاد

الإجهاد المائي أو الجفاف Water Stress

عند تعرض الأوراق لنقص الماء (الإجهاد المائى) يتبعه نقص البروتين والأحماض النووية والكلوروفيل ثم زيادة مستوىABA ونقص نشاط GA ويتأثر ذلك بدرجة الحرارة فانخفاض درجة الحرارة يعطل ذلك التغير فى المستوى الهرمونى وارتفاع درجة الحرارة يسرع منه وهذا من شأنه إسراع شيخوخة الأوراق ويؤدى الإجهاد المائى الى انخفاض الضغط الانتفاخي لخلايا الأوراق وإيقاف الانقسام الخلوي لتراخى الجدر الخلوية , كما يؤدى ألاجها المائى الى نقص نشاط إنزيم glutamine synthetase nitrate reductase

الإجهاد الملحي Salinity stress

تسرع الملوحة من دخول الأوراق الى مرحلة الشيخوخة ويزاد فيها مستوىABA وقد لوحظ فيها أيضا نقص مستوى السيتوكينين حيث تؤثر الملوحة على نشاط أنزيمmailc dehydragenase وهو ما يؤثر على نشاط المركبات الوسطية لدورة السترات.

الشيخوخة و العناصر المعدنية

الشيخوخة والامونيوم

هناك علاقة بين تمثيل الأمونيوم ammonium assimilation والشيخوخة حيث jتراكم الأمونيوم في الأوراق أثناء تقدم عمر الورقة وشيخوختها وذلك راجع لنقص إنزيمglutamine synthétase وزيادة معدل اختزال النترات وقد فسر ذلك أو تشجيع الأمونيوم للشيخوخة على انه ربما يرجع الى انه ربما يرجع الى انه يعمل كحاجز لمنع تدفق أيون الكالسيوم إلى السيتوبلازم وكذلك يتراكم الأمونيا عن طريق نزع مجموعة الأمين من الأحماض الأمينية وهدم الأحماض النووية وتحولها إلى جلوتامين .

الشيخوخة والكالسيوم :

وجد عند توفر الكالسيوم فى أنسجة الثمار يتكون ذلك من شأنه تأخير نضج الثمرة وانخفاض معدل تنفسها وقلة إنتاج الاثيلين وبالتالي تأخر ليونة الثمار وشيخوختها . وقد أدت المعاملة به إلى تأخير هدم الكلوروفيل وتأخير تراكم البيروكسيديز ، وان تلف الأغشية أثناء الشيخوخة مرتبط بعمليات هدوم الفوسفوليبيدات الذى يشجعها وجود الكالسيوم .