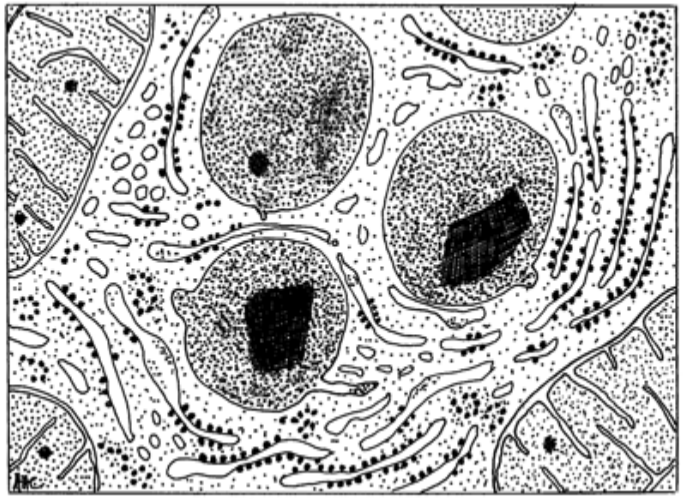
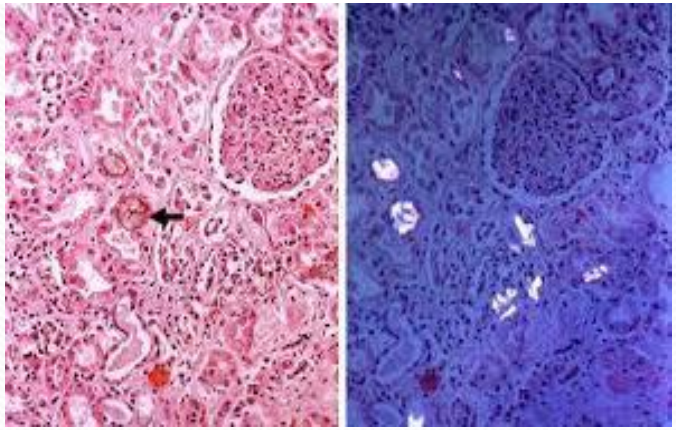
7. البيروكسيزوم Peroxysome

1.7. البنية والشكل:

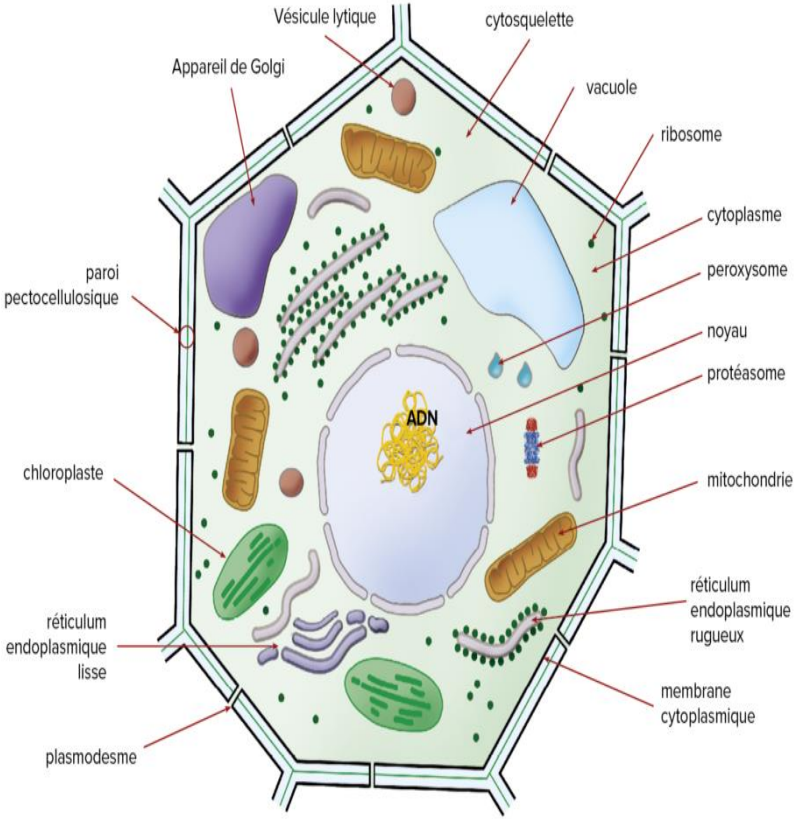
- توجد البيروكسيزومات في جميع الخلايا حقيقية النواة، وهي مكونة من غشاء بسيط يتكون من طبقة ثنائية دهنية bicouche lipidique يسمح بتشكيل مصفوفة داخلية لا يمكن رؤيتها إلا بواسطة المجهر الإلكتروني، داخل هذه المصفوفة يوجد نواة بلورية تحتوي على الإنزيمات المؤكسدة.
- ذات بشكل بيضاوي أو كروي، ويتراوح حجمها بين 0.2-0.5 ميكرومتر حسب نشاطها.
- يعتمد عدد البيروكسيزومات داخل الخلية على نوع الخلية، ويختلف أيضًا في الخلية نفسها وفقًا لنشاطها الأيضي.
- تشكل البيروكسيزومات شبكة ديناميكية، مشابهة لما يحدث في الميتوكوندري تُعرف باسم canaliculaire حيث ترتبط كل حويصلة بحويصلة أخرى عبر قنوات صغيرة تتيح التواصل بين البيروكسيزومات المختلفة، هذه الشبكة مستقلة عن الشبكة الإندوبلازمية وجهاز جولجي والميتوكوندري.





La cellule végétale

Les principaux constituants



© SEMAE

2.7. التركيب الكيميائي:

1. الغشاء:

يتكون الغشاء من طبقة دهنية ثنائية، توجد بروتينات غشائية تتميز بقدرتها على الارتباط بجزيئات ATP وتعمل كبروتينات ناقلة perméases تسمح بدخول مختلف المستقلبات إلى مصفوفة البيروكسيزوم.

كما يوجد سيتوكروم P450 خاص بالبيروكسيزوم.

هناك مجموعة من البروتينات الغشائية المحددة للبيروكسيزوم تُسمى **Peroxynes** يتم ترميزها بواسطة الجينات النووية.

تُستورد بروتينات البيروكسيزوم من السيتوبلازم من خلال آلية ما بعد الترجمة، في هذه العملية تحتوي البروتينات القابلة للذوبان داخل المصفوفة على تسلسل إشارة PTS (peroxisomal targeting signal) يرتبط هذا التسلسل بجزيء مستقبل ليسمح بدخول البروتين إلى داخل البيروكسيزوم.

يمكن تقسيم البيروكسينات الغشائية إلى مجموعتين:

- مجموعة تساهم في تكوين الغشاء.
- مجموعة تُسهل تكاثر البيروكسيزومات.

توجد بروتينات غشائية أخرى ذات نشاط إنزيمي تلعب دورًا في ايض الأحماض الدهنية وتُعد ضرورية من أجل تحلل الأحماض الدهنية من خلال عملية β-Oxydation، التي تحدث داخل مصفوفة البيروكسيزوم.

2. المصفوفة:

تحتوي المصفوفة الداخلية على مجموعة كاملة من الإنزيمات تُعرف باسم الأوكسيداز Oxydases، التي تتمكن من تحليل الايض عن طريق استهلاك الأكسجين ، يأتي الأكسجين من الميتوكوندريا وينتشر عبر غشاء البيروكسيزوم، تقوم الإنزيمات بالإضافة إلى تحلل الايض بإنتاج peroxyde d'hydrogène (H_2O_2)

التفاعل الكيميائي:

Métabolite + O_2 ----------> Résidu + H_2O_2

خصائص إنزيمات الأكسدة :

1- الأكسدة: تحتوي المصفوفة على إنزيمات تشارك في عملية β-Oxydation، وهي عملية تتضمن تحلل الأحماض الدهنية ذات السلاسل الكربونية الطويلة جدًا التي تحتوي على أكثر من 22 ذرة كربون، تقوم هذه الإنزيمات بتقليل حجم هذه السلاسل تدريجيًا حتى تصبح أقل من 12 ذرة كربون، مما يؤدي إلى إنتاج Acétyl-Coenzyme A بالتوازي، تعمل عملية β-Oxydation في البيروكسيزوم جنبًا إلى جنب مع تلك التي تحدث في الميتوكوندري.

2- تحلل البروتينات والأحماض الأمينية: تُعتبر إنزيمات الأكسدة متخصصة في تحلل الأحماض الأمينية أو البروتينات، وتُسمى هذه الإنزيمات Amino-Oxydases.

3.7. عمل البيروكسيزوم:

الدور الرئيسي لـ البيروكسيزومات هو ضمان تحلل نواتج الايض المختلفة الموجودة في سيتوبلازم الخلايا. يمكن اعتبارها بمثابة **منظفات** الخلية.

يتم هذا التحلل بواسطة إنزيمات الأكسدة التي تستهلك الأكسجين ولكنها في الوقت نفسه تنتج (H_2O_2) ومع ذلك، فإن H_2O_2 مركب غير مستقر يتحلل تلقائيًا ليُنتج جذرًا حرًا مميزًا يُعرف بـ الجذر الهيدروكسيل.

الجذور الحرة هي نواتج فقدت إلكترونًا، وهذا يجعل الجذر الهيدروكسيل غير مستقر للغاية، حيث يسعى إلى تعويض الإلكترون المفقود، مما يدفعه إلى التفاعل مع البروتينات، الدهون والأحماض النووية، وبالتالي يؤدي إلى تلفها وتحللها.

من هنا تبرز الأهمية الكبيرة لـ إنزيم الكاتالاز Catalase الذي يعمل على تفكيك H_2O_2 إلى ماء وأكسجين، وبالتالي يحمي الخلية من الأضرار الناجمة عن الجذور الحرة.

مثال على حمض دهني ذو سلسلة كربونية طويلة جدًا :

يوجَّه الحمض الدهني إلى البيروكسيزوم ويدخل بداخله من خلال البروتينات الناقلة perméases والتي تستهلك ATP لنقل الايض، يتم التعامل مع هذا الايض بواسطة إنزيمات الأكسدة التي تعتمد على الأكسجين المنتشر عبر غشاء البيروكسيزوم لضمان نشاطها.

يؤدي هذا التفاعل إلى إنتاج l'Acétyl-CoA الذي يخرج من البيروكسيزوم عبر Perméases، بالنسبة للأحماض الدهنية طويلة السلسلة يتم إنتاج أحماض دهنية قصيرة السلسلة تحتوي على أقل من 12 ذرة كربون، والتي تخرج بدورها من البيروكسيزوم عبر Perméases

يتوجه كل من l'Acétyl-CoA والأحماض الدهنية قصيرة السلسلة نحو الميتوكوندري لدورة كريبس.

لكن عملية الأكسدة إنزيمية تؤدي أيضًا إلى إنتاج H_2O_2 الذي يُعالج بواسطة إنزيم الكاتالاز داخل البيروكسيزوم. يعمل هذا الإنزيم على تحويل H_2O_2 إلى ماء وأكسجين، وتُعرف هذه العملية الخاصة التي تقوم بها Catalases باسم إزالة السُمية Détoxification

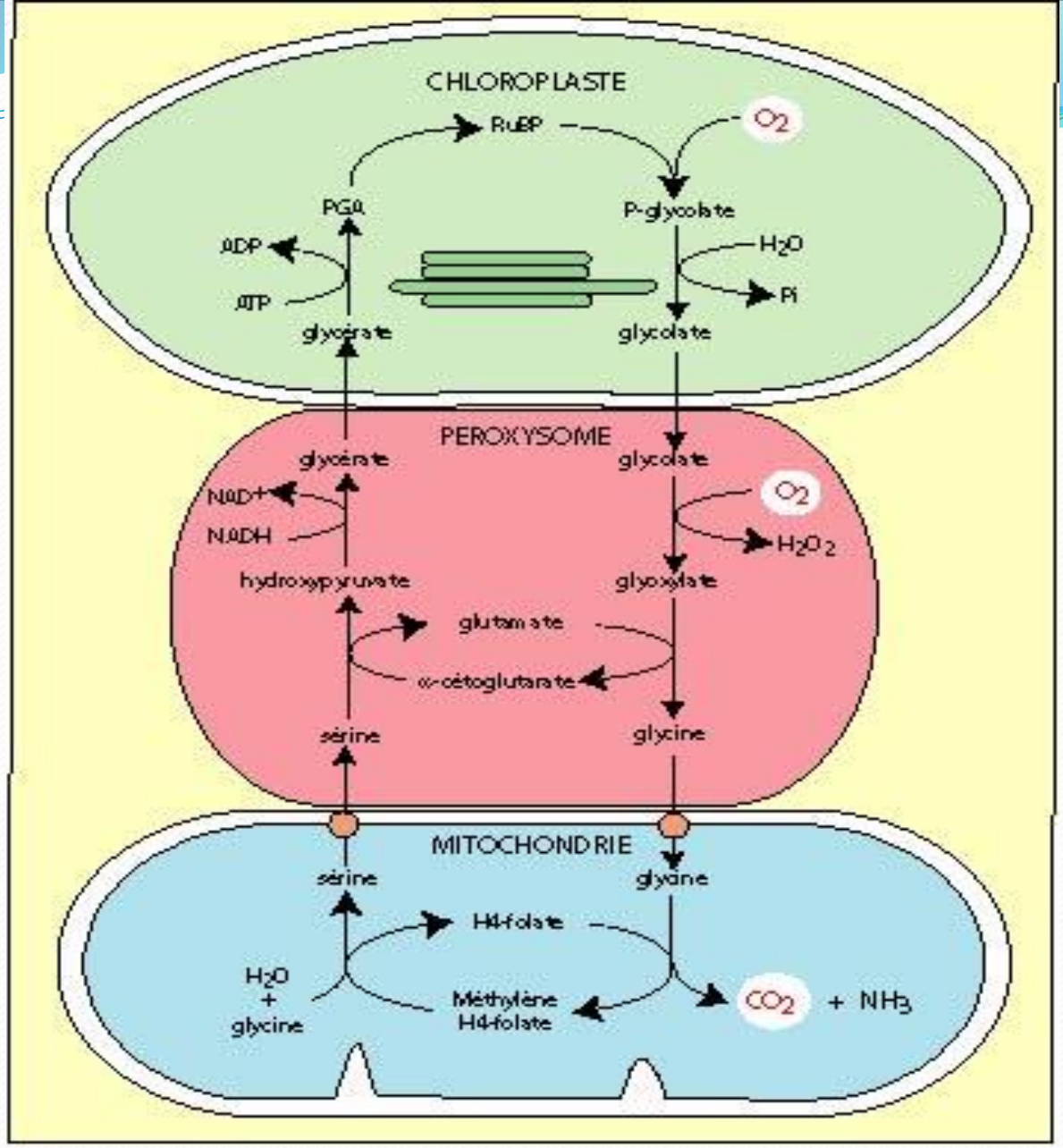
4.7. Cycle Glyoxylique et Glycolique:

1- Cycle Glycolique:

- أثناء عملية التمثيل الضوئي في النباتات C3 يقوم إنزيم الروبيسكو (RUBISCO) بتحفيز تفاعل أكسدة Ribulose 1,5- biphosphate (RuBiP) مما ينتج عنه 3-phosphoglycérate (3PG) et 2-phosphoglycolate
- هذا التفاعل يؤدي إلى انخفاض كفاءة التمثيل الضوئي حيث يمكن أن تصل الخسارة إلى 50.%

مراحل العملية:

- **نزع الفوسفات déphosphorylé من phosphoglycolate :** يحدث هذا التفاعل في الستروما داخل البلاستيدات الخضراء، مما يُنتج glycolate.
- **دخول glycolate إلى البيروكسيزوم :** يتم أكسدة glycolate داخل البيروكسيزوم القريب إلى Glyoxylate .
- **تحويل glyoxylate إلى glycine:** بوجود glutamate يحدث تفاعل تحويل بواسطة transaminase ليتم إنتاج glycine
- **انتقال glycine إلى الميتوكوندريا:** في الميتوكوندريا يتحلل glycine ليُنتج ثاني أكسيد الكربون (CO_2) و Sérine .
- **عودة sérine إلى البيروكسيزوم :** يتم تحويل sérine في البيروكسيزوم عبر عملية transamination جديدة إلى hydroxypyruvate.
- **تحويل hydroxypyruvate إلى glycérate**
- **عودة glycérate إلى البلاستيدات الخضراء:** يعود glycérate إلى البلاستيدات الخضراء حيث يُعاد فسفرته phosphorylation ليدخل مجددًا في دورة كالفن.



Cycle glycolique

أهمية عملية التنفس الضوئي photorespiration :

- رغم أنها عملية تُسبب خسارة كبيرة للطاقة، إلا أن التنفس الضوئي يُعتبر عملية خاصة تجمع بين تعاون أيضي بين 3 عضيات خلوية متميزة:
- البلاستيدات الخضراء
- البيروكسيزومات
- الميتوكوندريا

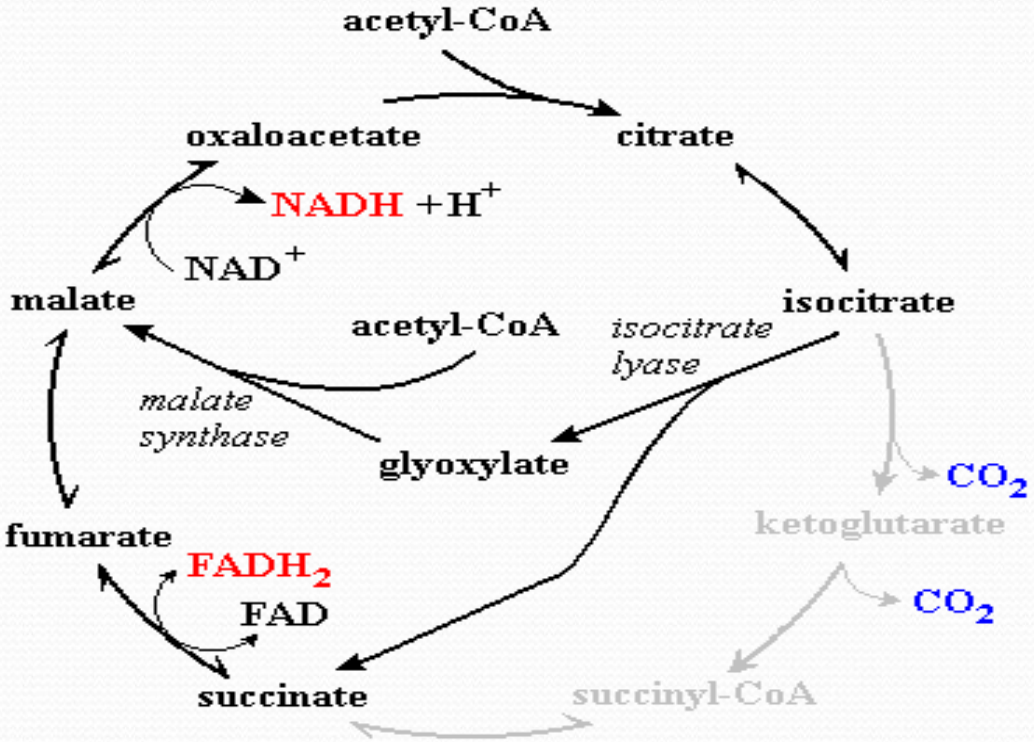
وتكمن فائدته الأساسية في إنتاج الأحماض الأمينية مثل glycine و sérine الضروريان لعمليات تخليق البروتينات.

2- Cycle Glyoxylique:

- تُعد glyoxysomes نوعًا خاصًا من البيروكسيزوم توجد في النباتات. تكون glyoxysomes وفيرة بشكل خاص في خلايا البذور النابتة للنباتات الزيتية مثل نبات الخروع التي تحتوي احتياطياتها على الدهون بشكل أساسي.
- **وظيفة glyoxysomes :** تحتوي على **إنزيمات الدورة** glyoxylique، وهي نسخة مُعدلة من دورة كريبس.
- الإنزيمان الرئيسيان هما **l'isocitrate lyase** et la **malate synthétase**

- **خطوات دورة Glyoxylique :**
- دخول جزيئتين من Acétyl-CoA إلى دورة Glyoxylique
- تساهم الإنزيمات السابقة في إنتاج جزيء Succinate
- **مسار Succinate**
- يغادر Succinate الـ glyoxysome وينتقل إلى مصفوفة الميتوكوندري
- في الميتوكوندري يُشارك Succinate في عملية تكوين الجلوكوز Néoglucogénèse
- **الدور النهائي للدورة:**
- يتم إنتاج الجلوكوز في السيتوبلازم الذي يُعد المصدر الأساسي للطاقة اللازمة لنمو البذرة أو الجنين أثناء التطور.
- بفضل الدورة Glyoxylique يمكن تحويل الأحماض الدهنية إلى كربوهيدرات.

- **الأهمية التمثيلية:**
- هذه العملية **مستحيلة** عند الحيوانات، لأنها تفتقر إلى **إنزيمات** l'isocitrate lyase et la malate synthétase وبالتالي لا يمكنها تحويل الدهون إلى سكريات.
- **الخلاصة:**
- يُعتبر **الدور الأساسي Glyoxylique** هو تمكين النباتات الزيتية من **استغلال مخزونها الدهني** عبر تحويل الأحماض الدهنية إلى جلوكوز يُستخدم كمصدر للطاقة لدعم عملية **الإنبات والتطور المبكر**.



Cycle Glyoxylique