

مقدمة

تتركز فكرة هذا الكتاب على دراسة مستفيضة الى حد ما في محاولة لفهم فسيولوجيا النبات والإجابة على بعض الأسئلة التي ترد الى الأذهان بخصوص حياة النبات وكيفية نموه. وبالرغم ما تم سرده في الكتاب الا انه مازال هناك الكثير والكثير الذى يحتاج الى جهد متواصل حتى يمكننا فهم الكثير من حياة النبات وكذلك مدى علاقة الكائنات الأخرى مع النبات. وهذا الكتاب مقدم الى طلاب الفرقة الرابعة لكلية التربية شعبه العلوم البيولوجية والذى يحتوى على جزئين اساسين هما:

الجزء الأول: الأيض النباتى ويشمل:

- ١- الإنزيمات.
- ٢- البناء الضوئى.
- ٣- التنفس.
- ٤- ايض المواد النيتروجينية.
- ٥- ايض المواد الدهنية.

الجزء الثانى: منظمات النمو ويشمل:

- ١- منظمات النمو النباتية.
- ٢- اكتشاف الهرمونات النباتية.
- ٣- الأوكسينات.
- ٤- الجبريلينات.
- ٥- السيتوكينينات.
- ٦- الإيثيلين.

٧- حمض الأبسيسيك

٨- التآقت الضوئي والفيتوكروم.

هذا الجهد هو توفيق من الله، فإن أصبت فذاك قصدي، وهو من فضل ربي، وله الحمد على توفيقه، وإن أخطأت فاستغفر الله من ذنبي، ورحم الله من أهدى إلي عيبي، راجيا المولى عز وجل أن أكون قد وفقت في هذا العمل المتواضع، متمنيا ان يسهم هذا الكتاب في مساعدة ابنائنا الطلاب على فهم الكثير من حياة النبات والتي تكون محل اسئلتنا.
والله من وراء القصد

أ.د. / محمد محبوب عزوز

الفهرس

المفهرس

الموضوع الصفحة

الباب الأول

- I- الأيض النباتي** ٥
- ١- الإنزيمات ٥
- ٢- البناء الضوئي ٣٩
- ٢- التنفس ٦٩
- ٣- الأيض النيتروجيني ٩٦
- ٤- الأيض الدهني ١٠٥

الباب الثاني

- II- منظمات النمو النباتية** ١٢٣
- ١- منظمات النمو النباتية ١٢٣
- ٢- اكتشاف الهرمونات النباتية ١٢٧
- ٣- الأوكسينات ١٣٧
- ٤- الجبريلينات ١٥٩
- ٥- السيتوكينينات ١٧١
- ٦- الأيثيلين ١٨١
- ٧- حمض الأبسيسيك ١٩١
- ٨- التآقت الضوئي والفيثوكروم ٢٠١

الباب الأول: الأيض النباتي

الفصل الأول

١- الإنزيمات Enzymes

١- الإنزيمات Enzymes

* الإنزيمات

* التركيب الكيميائي للإنزيم

* تسمية الإنزيمات

* خواص (مواصفات) الإنزيمات

* التخصص

* الفعل العكسي للإنزيمات

* كيفية تأثير الإنزيم على مادته (ميكانيكية عمل الإنزيم)

* تقسيم الإنزيمات

١- إنزيمات التميؤ أو التحليل المائي

٢- إنزيمات الأكسدة والاختزال

٣- الأنزيمات التحليلية (التفتيتية أو الهادمة)

٤- الأنزيمات الناقلة

٥- إنزيمات المشابهات

* العوامل التي تؤثر في نشاط الإنزيم

١- الإنزيمات Enzymes

تقوم الخلية النباتية بعدد هائل من العمليات الحيوية، والتي تتم بعدد هائل أيضا من التفاعلات الكيميائية المختلفة، وكل هذه التفاعلات تتم تحت درجة الحرارة العادية وفي الظروف العادية بالرغم من تعقدها. ويساعد على إتمام هذه العمليات والتفاعلات المختلفة مواد لا تدخل في التفاعل تسمى بالإنزيمات .

الإنزيمات

هى مواد بروتينية بسيطة أو معقدة، موجودة بالخلايا وتعمل على تسير Catalyst التفاعلات بها وهى متخصصة. وتؤدى إلى سرعة التفاعل الكيميائى دون أن تستهلك فيه، أو تصبح من نواتجه. أى أن الإنزيمات عوامل مساعدة عضوية Organic Catalyst. وتوجد الإنزيمات فى كل الكائنات الحية، إما منطلقة فى السيتوبلازم، أو مرتبطة بطريقة ما مع عضيات الخلية كالميتوكوندريا، كما أنها توجد كذلك فى العصير الخلوى.

التركيب الكيميائى للإنزيم Chemical Composition of Enzyme :

بدراسة التركيب الكيميائى للإنزيمات، وجد أن بعضها يتكون من بروتينات بسيطة Simple Proteins أى تتكون من أحماض أمينية فقط، والبعض الآخر يتكون من بروتينات مرتبطة Conjugated Proteins. وفى هذه الحالة يتركب الإنزيم من جزء بروتينى (يتكون من أحماض أمينية فقط)، ويسمى بالإنزيم المجرد Apoenzyme وجزء غير بروتينى (لا يحتوى على أحماض أمينية) ويسمى بالعامل المرافق Co-factor (شكل ١).

والأنزيم المجرد Apoenzyme، والمرافق الإنزيمي Co-factor، يسميان معا

بإسم الإنزيم المتكامل Holoenzyme.

Apoenzyme + Cofactor → Holoenzyme

والعامل المرافق هو مركب لازم لنشاط الإنزيم، ولا يعمل بدونه ولا يتأثر بالحرارة بعكس

الجزء البروتيني من الإنزيم الذي يتأثر بالحرارة. وهو إما أن يكون مركب عضوي، أو غير

عضوي. وعليه يمكن تصنيف العامل المرافق إلى ثلاثة أنواع تبعا لنوعية الجزء غير البروتيني،

وكذلك مدى ارتباطه بالجزء البروتيني (الإنزيم المجرد) وهي:-

١- المجموعة المتصلة (المتحمة) Prosthetic Group

وفيها يكون الجزء غير البروتيني **مركب عضوي ومتصل** إتصالا وثيقا بالجزء

البروتيني. بحيث يتعذر فصل إحداهما عن الآخر، وتحتسب هذه المجموعة جزءاً من الإنزيم،

وتمارس دورها الحفزي مع الإنزيم.

٢- المرافق الإنزيمي Co-enzyme

وفيها يكون الجزء غير البروتيني **مركب عضوي أيضا، ولكنه غير متصل** إتصالا

وثيقا بالجزء البروتيني (الإنزيم المجرد)،

و هذا المركب العضوي ربما يكون صامدا للحرارة بعكس الأنزيم، وبالتالي يمكن فصله

بسهولة عن الإنزيم. وهو يعد جزءا من الآلية الحفزية، وينتقل أثناء دوره الحفزي من بروتين

إنزيم إلى بروتين إنزيم آخر، ناقلا بعض المجموعات الكيماوية من مادة تفاعل الى مادة اخرى.

مثل NAD, NADH₂, ADP, ATP

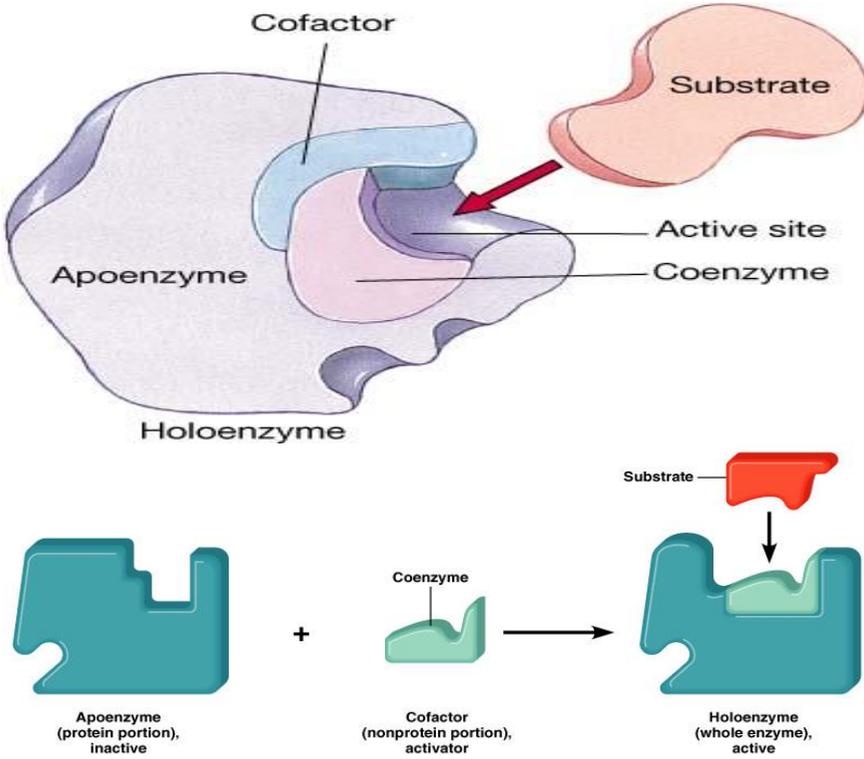
٣- المنشطات Activators

وفيها يكون الجزء غير البروتيني مركب غير عضوي، حيث أحيانا يرتبط ببروتين الإنزيم بعض كاتيونات المعادن، بحيث إذا فصلت عنه فقد الإنزيم فاعليته، ويطلق على مثل هذه الأيونات (منشطات) مثل Mn^{++} , Zn^{++} , Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Fe^{++} .

ملحوظة:

يسود في الوقت الحاضر إهمال اصطلاح المجموعة الملتصقة Prosthetic Group

وإطلاق لفظ مرافق انزيمي Co-enzyme على جميع العوامل المرافقة.



شكل (١) : رسم تخطيطي يوضح تركيب الإنزيم والعوامل المرافقة له

تسمية الإنزيمات:

تسمية الإنزيمات كانت فى البداية عشوائية، كل يسمى الأنزيم الذى اكتشفه بحسب هواه. ولكن بعد أن زادت هذه الإنزيمات أصبح لزاما وضع قواعد للتسمية، ونتيجة لذلك ومع معرفة تخصص الإنزيمات فإن تسمية الإنزيمات أصبحت تسمى طبقا للآتى:-

١ - **أما لمادة التفاعل** التى يؤثر عليها الإنزيم.

٢ - **أو نوع التفاعل** الذى يؤثر عليه الإنزيم.

حيث يضاف إلى مادة التفاعل أو نوع التفاعل، المقطع (ين) إذا كان باللغة العربية أو المقطع (ase) إذا كان باللغة الانجليزية.

مثال:

١- تسمية الإنزيم طبقا لنوع مادة التفاعل

يسمى الإنزيم الذى يحلل السكروز إلى الجلوكوز والفركتوز بإسم السكريز Sucrase

وكذلك الإنزيم الذى يحلل البروتين إلى أحماض أمينية باسم البروتينيز Proteinase

٢- تسمية الإنزيم طبقا لنوع التفاعل

عند نقل مجموعة أمين من مركب لآخر، يسمى الإنزيم طبقا لنوع التفاعل فيسمى الإنزيم

باسم Transaminase وعند نقل مجموعة الكربوكسيل يسمى الإنزيم بإسم Carboxylase.

ملحوظة: فى عام ١٩٦٠ أعدت هيئة علم الإنزيمات (Enzyme Commission) نظاما

خاصا لتسمية وتقسيم الإنزيمات، حيث أُعطى لكل إنزيم رقما مكونا من ٤ متتاليات، فمثلا إنزيم

Alcohol Dehydrogenase أعطى الرقم الدولى E.C. 1.1.1.1 حيث أن:-

التخصص Specificity

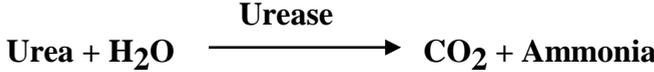
يمكن تصنيف تخصص الإنزيمات إلى:-

أ- تخصص مجموعة (Group Specificity):

إنزيمات تؤثر كل منها على مجموعة من المواد أو التفاعلات مثل إنزيمات الأكسدة والإختزال.

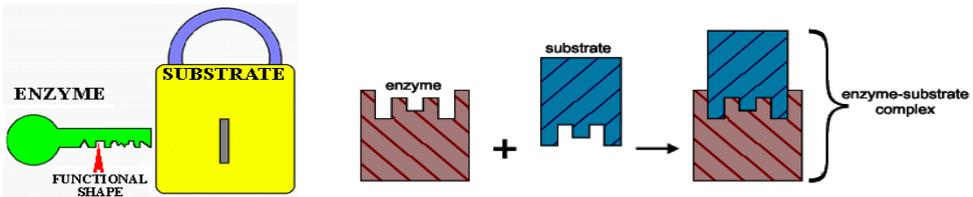
ب- تخصص مادة واحدة أو تفاعل واحد (Substrate or Reaction Specificity):

هي إنزيمات تؤثر كل منها على مادة واحدة أو تفاعل واحد فقط. ومثال ذلك إنزيم اليوريز الذي يعتبر على درجة عالية من التخصص، حيث أنه يحفز تفاعلا واحد فقط ويحلل مادة واحد فقط هي اليوريا إلى ثنائي أكسيد الكربون والأمونيا.



ج- تخصص رابطة (Linkage Specificity):

وهي إنزيمات تكون متخصصة في رابطة معينة، مثل إنزيمات التحلل المائي للبروتينات والمتخصصة في رابطة الببتيد حيث تضيف لها الماء وتكسرها. والتخصص الإنزيمي يرجع إلى تركيب خاص في مادة التفاعل، والذي لابد وأن يتطابق ويتوافق معه تركيب الإنزيم كي يتم التفاعل. وقد شبهت تلك العلاقة بالقفل ومفتاحه (شكل ٢).



شكل (٢): رسم تخطيطي يفسر عملية التخصص في الانزيمات

الفعل العكسي للإنزيمات Specificity

تساعد الإنزيمات على إتمام التفاعل العكسي، كما تساعد التفاعل الطردى، مثل إنزيم الليبيز الذى لا يساعد على تحلل الدهون فقط إلى أحماض دهنية وجلسرين، بل يعمل أيضا على تخليق هذه المواد من نواتج تحللها، وانعكاس التفاعل لا يكون فى نفس المكان الذى حدث فيه التفاعل الطردى ولكن يكون فى مكان آخر، ولكنها متعكسة فى الفعل.

كيفية تأثير الإنزيم على مادته (ميكانيكية عمل الإنزيم):

الإنزيمات تحتوى أساسا على جزئ بروتين، وبالتالي يمكن اعتبارها مادة غروية يمكن أن تجمع على سطحها مواد التفاعل، وذلك إما لتجميعها أو لشطرها. وهناك نظرية التوافق بين الإنزيم والمادة التى يؤثر عليها، وفيها يميل بعض الناس إلى تشبيه الإنزيم ومادته بالمفتاح وقفله، حتى يمكن تفسير عملية التخصص فى هذه الإنزيمات. إذ يقال أن لأسطح جزئ البروتين مكان لا يسمح إلا لجزيئات مادة الإنزيم فقط للتركيز عليه وبالتالي ليؤثر عليها.

ويمكن تفسير عمل الإنزيم على أنه يعمل على **تقليل طاقة التنشيط اللازمة لإتمام**

التفاعل (شكل ٣)، وعليه يمكن أن يتم التفاعل بكمية بسيطة من الطاقة، والتى يمكن للخلية

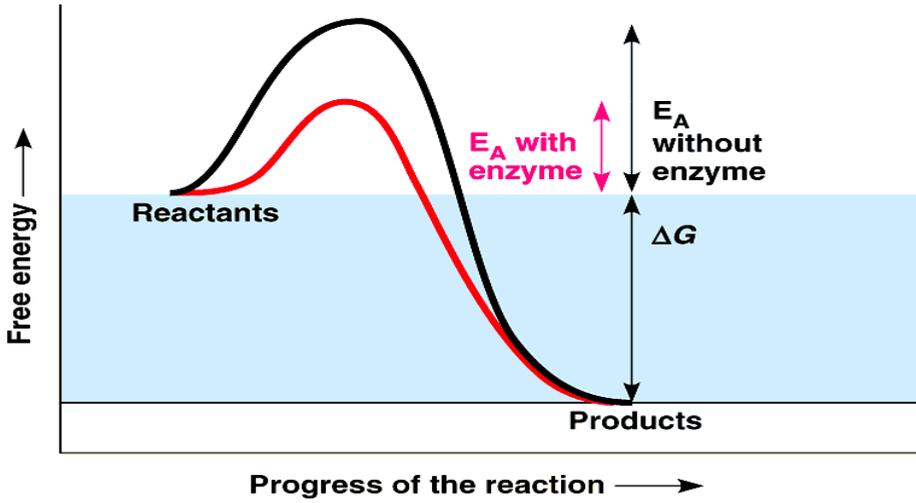
الحصول عليها من طاقتها العادية، حيث يتم عمل الإنزيم فى الخطوات التالية:-

١- يكون الإنزيم رابطة ضعيفة مع مادة التفاعل Substrate ويكونا معا معقدا يسمى بمعقد

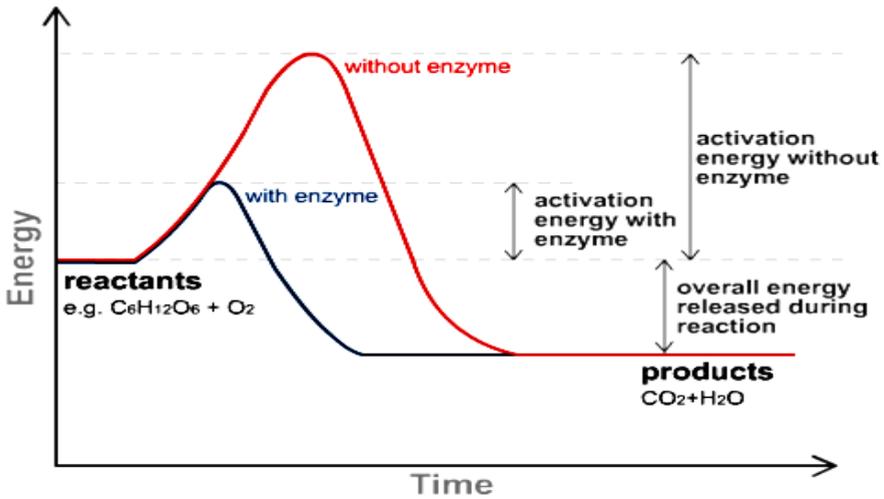
الإنزيم والمادة Enzyme - Substrate Complex.

٢- يتفكك المعقد سوف مرة أخرى ليعطى الأنزيم كما هو، لكى يبدأ تفاعل جديد مرة أخرى،

بينما تتحول مادة التفاعل الى نواتج جديدة سواء بتجميعها أو شطرها بطريقة تلقائية (شكل ٤).

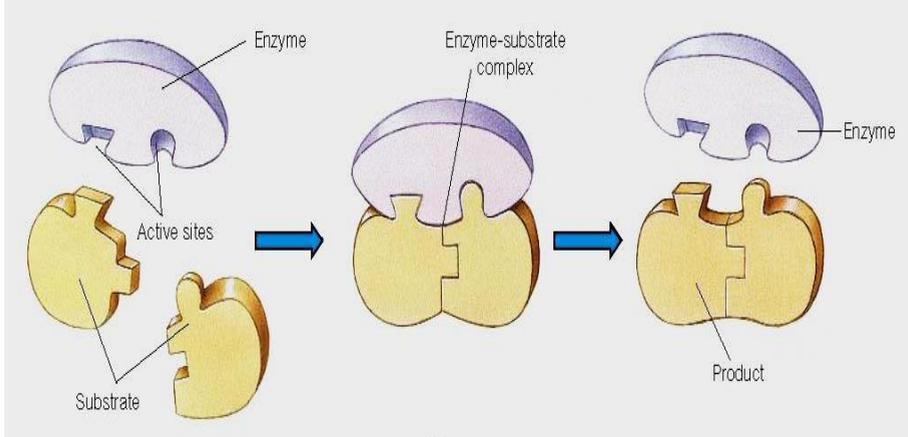


شكل (٣ - أ) : يوضح تأثير الإنزيم على طاقة التنشيط اللازمة لإتمام التفاعل

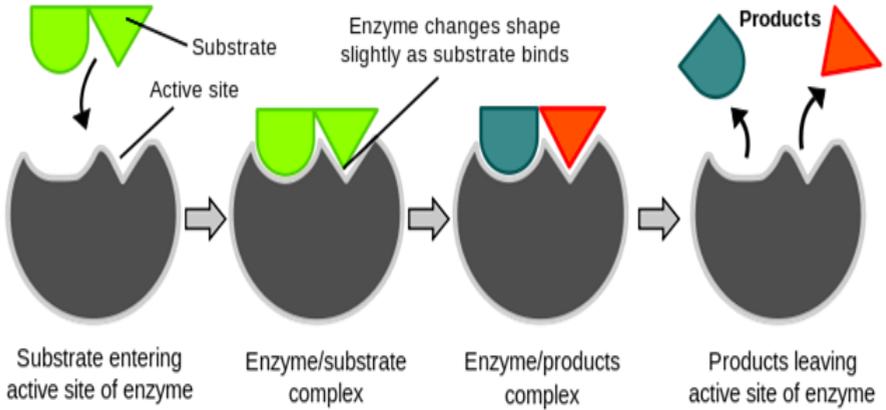


شكل (٣ - ب) : يوضح تأثير الإنزيم على طاقة التنشيط اللازمة لإتمام عملية التنفس

شكل (٣) : يوضح ميكانيكية عمل الإنزيم



شكل (٤ - أ) : تجميع مادة التفاعل



شكل (٤ - ب) : شطر مادة التفاعل

شكل (٤) : رسم تخطيطي يبين كيفية عمل الانزيم

تقسيم الإنزيمات Classification of Enzymes

نظرا لأن التركيب الكيميائي للإنزيمات غير معروف على وجه الدقة، فقد أصبح من الصعب تقسيمها على أساس تركيبها، ولذلك فقد قسمت الإنزيمات على حسب تأثيرها على المواد المختلفة إلى المجموعات الآتية:

١ - إنزيمات التميؤ أو التحليل المائي Hydrolases

٢ - أنزيمات الأكسدة والاختزال Oxidation – Reduction Enzymes

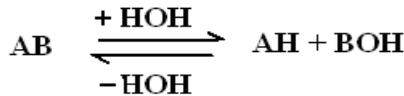
٣ - الأنزيمات التحليلية (التفتيتية أو الهادمة) : Lysases

٤ - الأنزيمات الناقلة Transferases

٥ - إنزيمات المشابهات Isomerases

أولا- إنزيمات التميؤ أو التحليل المائي Hydrolases

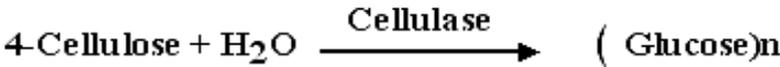
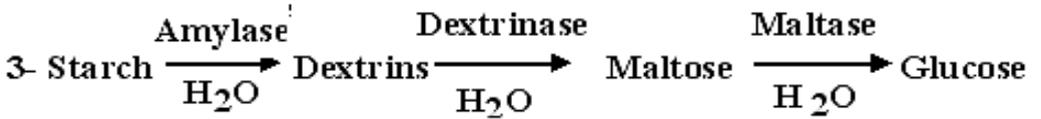
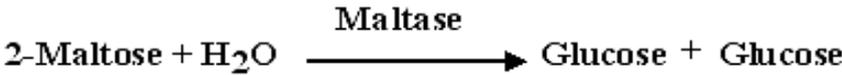
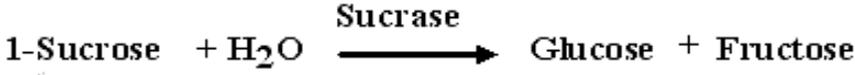
تؤثر هذه الإنزيمات على موادها، بأن تحفز إضافة الماء إلى مادتها وبذلك تنشطر هذه المادة إلى مادتين جديدتين في وجود إنزيماتها الخاصة. كما يمكن ان تحفز هذه الإنزيمات على **سحب** جزئ ماء من مادتين ليكونا معا مادة واحدة (تكثيف)، حيث أن معظم التفاعلات المائية تكون عكسية. كما في المعادلة الآتية:-



ومن أمثلة إنزيمات التحلل المائي، الكربوهيدريزات والإستريزات والبروتينيزات.

أ- الكربوهيدريزات: Carbohydrases

وهى مجموعة من الإنزيمات تقوم بتحليل المواد الكربوهيدراتية المعقدة إلى وحداتها البسيطة. ومن أمثلتها إنزيم السكريز الذى يحلل السكروز إلى جلوكوز وفركتوز، وإنزيم المالتيز الذى يحلل سكر المالتوز إلى جزيئين من الجلوكوز، وإنزيم الدياستيز الذى يحلل النشا إلى وحدات من الجلوكوز، والسيلوبيز الذى يحول السليلوز إلى وحدات من الجلوكوز أيضا، وذلك طبقا للمعادلات الآتية:-

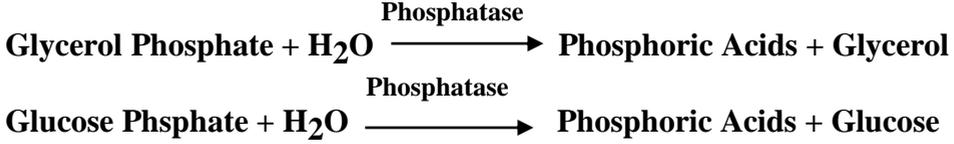


والأنزيمات الثلاثة التى حولت النشا الى سكر، كان يطلق عليها معا اسم إنزيم

الدياستيز، ولكن عرف الآن أن إنزيم الدياستيز هو مجموعة إنزيمات تتكون من إنزيم الأميليز والديكستيرينيز والمالتيز.

٣- أنزيم الفوسفاتيز Phosphatase

وهو الذى يقوم بتحليل فوسفات الجلسرين إلى جلسرين وحمض الفوسفوريك. كما أنه يحلل فوسفات السكر إلى السكر السداسى وحمض الفوسفوريك.



ج- أنزيمات التحلل المائى الخاصة بالبروتينات: Proteases

وتختص هذه الإنزيمات بتحليل البروتينات بأن تضيف إليها الماء وتحولها إلى البيبتيدات والأحماض الأمينية ومن أمثلتها:-

١- إنزيم البروتينيز Protinase

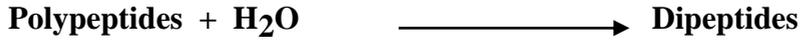
وهو يقوم بتحليل المواد البروتينية إلى عديد البيبتيدات ومنها إنزيم الببسين Pepsin



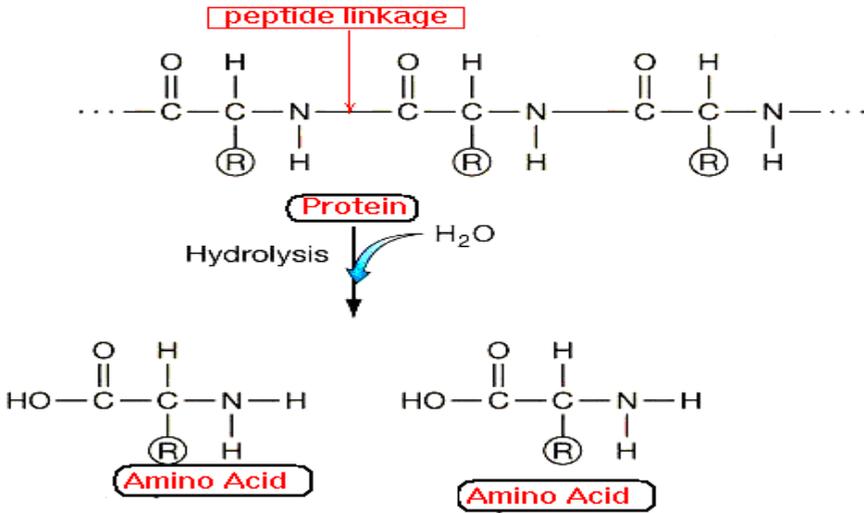
٢- إنزيمات البيبتيديز Peptidase

هذه الإنزيمات تقوم بتحليل البيبتيدات إلى أحماض أمينية، وتشمل عديد البيبتيديز Polypeptidase الذى يحلل عديدات البيبتيدات إلى ثنائى البيبتيدات Dipeptides، كما تشمل أنزيمات ثنائى البيبتيديز Dipeptidase والتى تقوم بتحليل البيبتيدات الثنائية إلى الأحماض الأمينية.

Polypeptidase

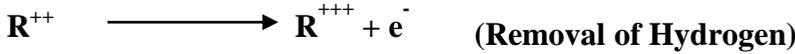
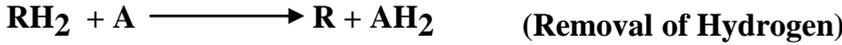


Dipeptidase



ثانياً- أنزيمات الأكسدة والاختزال:

وهي تتضمن جميع الإنزيمات التي تحفز عمليات التأكسد والاختزال التي تحدث في النبات، ونتيجة لذلك تنطلق الطاقة. وتقوم هذه الإنزيمات بإزالة أو إضافة الهيدروجين أو الأكسجين أو الإلكترونات من أو إلى مادة التفاعل التي تتأكسد أو تختزل في هذه العملية. وتتأكسد المادة إما بإضافة الأكسجين إليها (O_2) كتأكسد أول أكسيد الكربون إلى ثاني أكسيد الكربون، أو بنزع الهيدروجين منها كتأكسد كبريتيد الهيدروجين إلى عنصر الكبريت، وفقد المادة إلكترونات أو أكثر هو عملية تأكسد، كما يحدث عند تأكسد الحديدوز إلى حديدك، أما إكتسابها إلكترونات أو أكثر فيعتبر عملية اختزال.



وقد وُجد في الخلايا الحية أنزيمات مؤكسدة، بعضها ينشط الأكسجين ويطلق عليه اسم الأكسيدازات Oxidases، والبعض الآخر ينشط الهيدروجين ويطلق عليه اسم الديهيدروجينازات Dehydrogenases. وبالإضافة إلى هاتين المجموعتين توجد إنزيمات مؤكسدة أخرى وهي البيروكسيدازات Peroxidases وهي تقوم بعمليات الأكسدة ولكن في وجود فوق أكسيد الهيدروجين أو أي فوق أكسيد آخر، والكاتاليز Catalase الذي يحلل فوق أكسيد الهيدروجين إلى الماء والأكسجين. وبناء على ذلك يمكن تقسيم إنزيمات الأكسدة والاختزال إلى أربعة أقسام

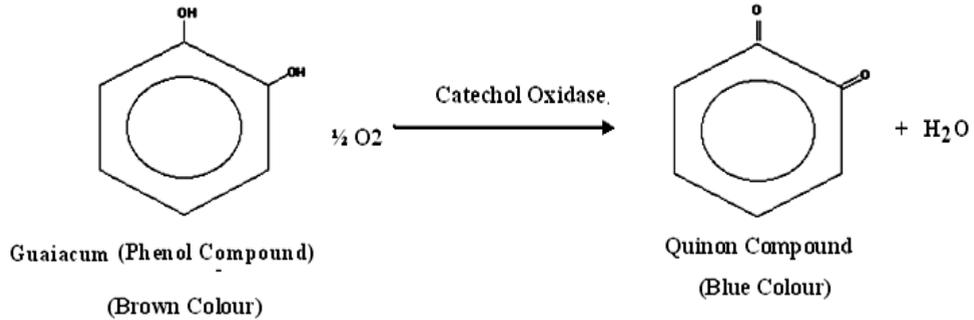
رئيسية هي:-

أ- الأكسيديزات Oxidases

وهي مجموعة من الإنزيمات التي تساعد على أكسدة كثير من المواد الفينولية، وذلك بتنشيطها لأكسجين الهواء الجوي (O_2) بحيث تجعله قابلاً للإتحاد بهيدروجين مادة التفاعل. ومن

أمثلتها إنزيم الكاتيكول أكسيديز.

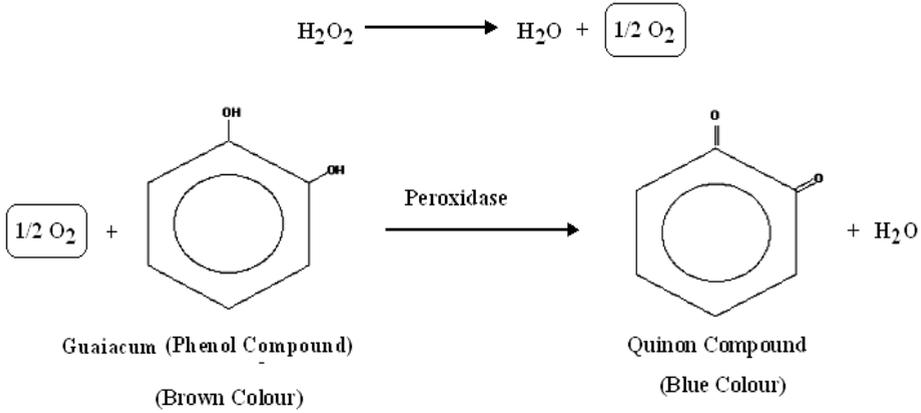
وهذه الأكسيديزات هي التي تسبب تلون الأنسجة النباتية المقطوعة باللون البني أو الأزرق عند تعرضها للجو، كما يحدث في الباذنجان والرمان والتفاح والبطاطس، ويمكن الاستدلال على وجود هذه الإنزيمات وتأثيرها، وذلك بإضافة أحد المركبات الفينولية المعروفة باسم الجواياكم **Guaiacum** حيث يتأكسد الجواياكم ويتلون باللون الأزرق بعد أن كان بنياً، وذلك لأكسدته إلى الكينون المقابل.



ب- البيروكسيديزات Peroxidases:

وهذه الإنزيمات شائعة الوجود في أنسجة النبات، وتعمل هذه الإنزيمات على أكسدة كثير من المواد الفينولية، وذلك في وجود فوق أكسيد الهيدروجين (H_2O_2) أو أي فوق أكسيد آخر. حيث تساعد على تحلل فوق أكسيد الهيدروجين إلى الماء (H_2O) والأكسجين النشط

(O₂)، ويستطيع الأكسجين المنطلق أن يؤكسد مجموعة كبيرة من المواد الفينولية مثل الجواياكم. فإذا أضيف محلول الجواياكم الى مستخلص جذور الفجل فان الجواياكم لا يتأكسد لعدم وجود الأكسجين النشط، أما إذا أضيف فوق أكسيد الهيدروجين (H₂O₂) فسرعان ما يتغير لون الجواياكم من اللون البنى إلى اللون الأزرق، نتيجة لأكسدته بالأكسجين الناتج من تفكك فوق اكسيد الهيدروجين.



٢- الديهيدروجينيزات Dehydrogenases:

هى مجموعة من الإنزيمات التى تساعد فى عملية التأكسد والإختزال، وذلك بتنشيط هيدروجين مركب ونقله إلى مركب آخر. ولكى تؤدي الديهيدروجينيزات عملها يلزم أن يوجد فى وسط تفاعلها مادتان، إحداهما تتأكسد نتيجة نزع الهيدروجين منها، كما تختزل فى نفس الوقت المادة الأخرى نتيجة لاستقبالها هذا الهيدروجين المنتزع. وتسمى المادة الأولى مانحة للهيدروجين (Hydrogen Donner) والثانية مستقبلة للهيدروجين (Hydrogen Acceptor)، ومن الديهيدروجينيزات المعروفة:

I - إنزيم شاردينجر Schardinger:

اكتشفه شاردينجر سنة ١٩٠٢ فى اللبن، وهو يساعد على تأكسد الفورمالدهيد إلى حمض

الفورميك فى وجود أزرق الميثيلين، الذى يختزل بدوره ويتحول إلى أزرق ميثيلين عديم اللون

طبقا للمعادلة التالية:-

Shardanger Enzyme



Formaldehyde + M.B.

Formic Acid + Leuco-M.B.

ويجب أن تتم هذه التجربة فى ظروف لا هوائية، حيث أن أزرق الميثيلين يتأكسد مباشرة

بأكسجين الهواء الجوى. وأزرق الميثيلين الذى يستقبل الهيدروجين هنا لا وجود له فى الخلايا

النباتية الحية، ولكن تقوم بدوره مواد أخرى من أهمها مركبات السيتوكروم (وهى مركبات تقوم

بدور كبير فى عمليات الأكسدة والإختزال، مثل مركب ديهيدروجينيز حمض السكسينيك

.Succinic Dehydrogenase

II - الكحول ديهيدروجينز Alcohol Dehydrogenase

ي يوجد فى الخميرة، وهو يؤكسد الكحول الأيثلى إلى الاسيتالدهيد، ويلزم هذا التفاعل مرافق

إنزيمى (Co-Enzyme) حيث يدخل فى التفاعل كمستقبل للهيدروجين.

Alcohol Dehydrogenase

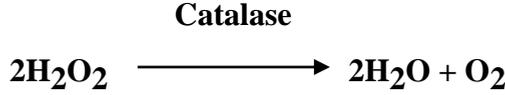


Ethyl Alcohol (Hydrogen Donner)

Acetaldehyde (Hydrogen Acceptor)

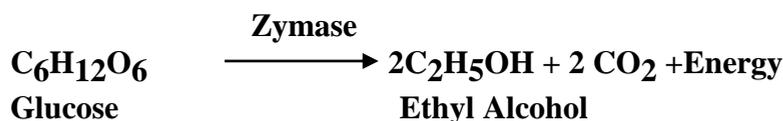
د- أنزيم الكاتاليز Catalase :

وهي شائع الوجود في أنسجة النبات ويقوم بتفكيك فوق أكسيد الهيدروجين (H_2O_2) إلى الماء (H_2O) والأكسجين النشط (O_2). ووجود هذه الإنزيم هام جدا في حياة النبات، لأنه إذا زاد تركيز H_2O_2 عن حد معين في الخلية، فإنه يسبب تسمم الخلايا وموتها. حيث أن هذه الإنزيم لا يفكك فوق أكسيد الهيدروجين (H_2O_2) إلا إذا زاد تركيزه إلى درجة يصبح فيها ضارا بالخلية.



ثالثا- الأنزيمات التحليلية (التفتيتية أو الهادمة) Lysases

هي مجموعة الإنزيمات التي تحفز فصل مجموعات من مواد تفاعلها عن طريق **فهم التحلل المائي**. حيث تقوم بتحليل وتفكيك الروابط بين ذرات الكربون في المركبات الكربونية أو بتفكيك الرابطة بين الكربون والنيتروجين، ويتبع ذلك شطر المركب إلى مواد جديدة، وذلك دون أن تسحب منها أو تضيف إليها أى مادة أخرى، ومن أمثلتها إنزيم الزيميز الذى يفكك الجلوكوز إلى كحول إيثيلي وثانى أكسيد الكربون.

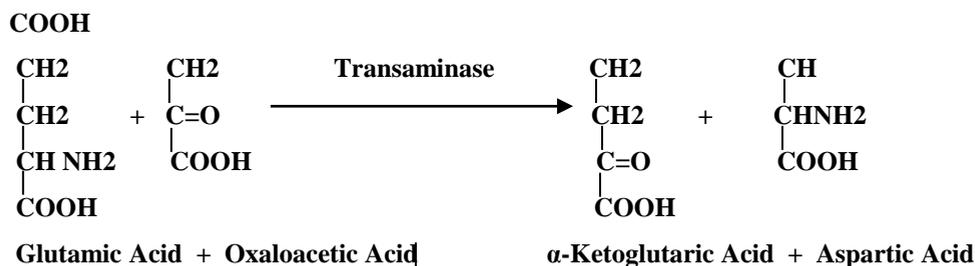


رابعا- الأنزيمات الناقلة (Transferases)

وهذه الأنزيمات تساعد فى نقل مجموعة أو شق من مركب إلى آخر ومن أمثلة ذلك:-

أ- انزيمات نقل مجموعة (النقل الأمينى Transaminases)

هذه الإنزيمات تساعد فى نقل مجموعة الأمين (NH₂) من حمض أمينى إلى حمض ألفا كيتو، لينتج الحمض الأمينى المقابل لحمض الألفا كيتو، والحمض الألفا كيتو المقابل للحمض الأمينى.



ب- إنزيمات نقل شق الفوسفات Phosphokinases

وهي إنزيمات مسئولة عن نقل شق الفوسفات من مركب إلى آخر، ويرتبط نشاط هذه

الإنزيمات بالمراقات الإنزيمية الـ ADP, ATP



خامسا- إنزيمات المشابهات Isomerases:

وهي مجموعة من الإنزيمات تحول المركب إلى المشابه له (Isomer)، حيث أن هناك

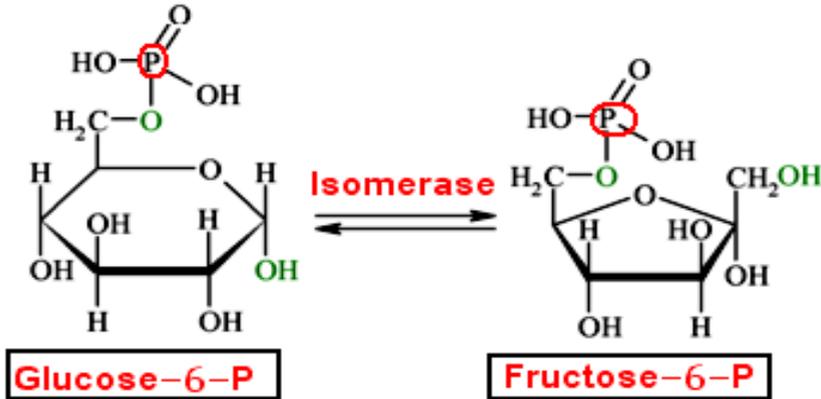
بعض المركبات التي يكون لها متشابهات (Isomers). وقد يكون هذا التحول نتيجة لإحداث

تغيير في الوضع الفراغي لمجموعات جزئ مادة التفاعل. أو نتيجة نقل إحدى المجموعات من

موضع لآخر في نفس الجزيء.

ومن أمثلة ذلك إنزيم جلوكوز فوسفات ايزوميريز Glucose phosphate

isomerase الذي يحول الجلوكوز -٦- فوسفات إلى الفركتوز -٦- فوسفات.



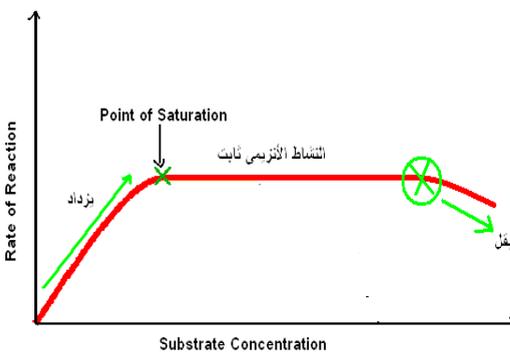
العوامل التي تؤثر في نشاط الإنزيم:

تتأثر سرعة التفاعلات الإنزيمية بمجموعة من العوامل أهمها:-

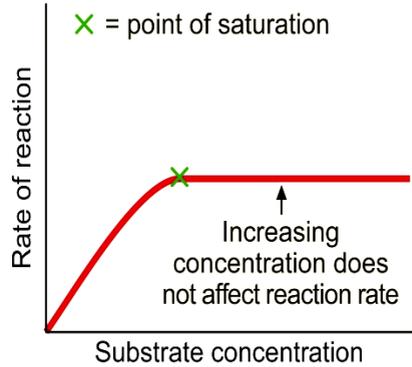
١- تركيز مادة التفاعل Substrate Concentration:

تزداد سرعة التفاعل الإنزيمي بازدياد تركيز مادة التفاعل إلى حد معين يكون فيه تركيز مادة التفاعل مسببا للنشاط الأمثل مع تركيز الإنزيم (شكل ٥-أ)، وبعد زيادة تركيز مادة التفاعل عن ذلك (حيث تكون كل المراكز النشطة للإنزيمات مشبعة بمادة التفاعل) يصبح تركيز الإنزيم هو العامل المحدد لزيادة سرعة التفاعل. وبالتالي فإن زيادة تركيز مادة التفاعل عن هذا الحد قد تؤدي إلى انخفاض سرعة معدل التفاعل (شكل ٥-ب)، وذلك نتيجة :

- ١- تراكم مادة التفاعل.
- ٢- تراكم نواتج التفاعل.
- ٣- زيادة لزوجة وسط التفاعل مما يؤدي إلى قلة حركة مواد التفاعل والإنزيم.



(ب)

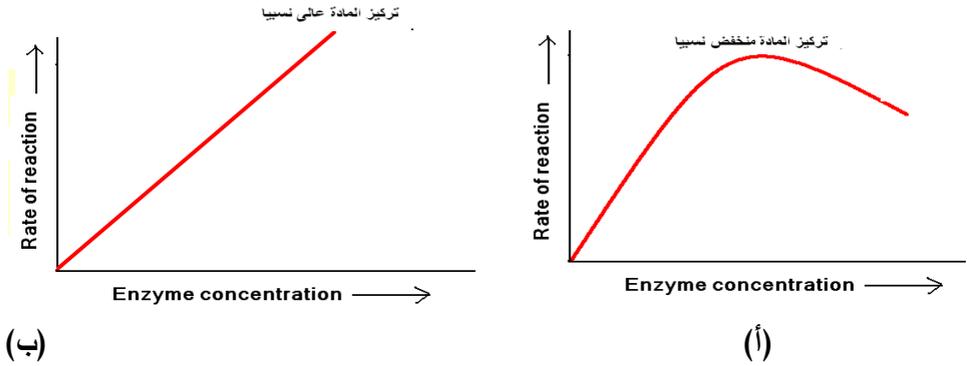


(أ)

شكل (٥) : يوضح تأثير تركيز مادة التفاعل على معدل التفاعل الإنزيمي

٢- تركيز الإنزيم Enzyme Concentration:

تزداد سرعة التفاعل الإنزيمي بازدياد تركيز الإنزيم نفسه وذلك إلى حد معين بعده يقل التأثير. ولقياس فعالية إنزيم يجب أن يكون تركيز الإنزيم منخفض وتركيز المادة عالية، وفي هذه الحالة يتناسب معدل التفاعل الإنزيمي تناسباً طردياً مع تركيز الإنزيم (شكل ٦ - أ)، أما إذا كان تركيز المادة منخفض فإن معدل التفاعل الإنزيمي يزداد إلى حد معين، ثم يثبت بعد ذلك أو تنخفض قيمته، وذلك نتيجة لإنخفاض مادة التفاعل من جهة، وتراكم نواتج تحللها من جهة أخرى (شكل ٦ - ب).



شكل (٦): يوضح تأثير تركيز الإنزيم على معدل التفاعل الإنزيمي

٣- الماء Water

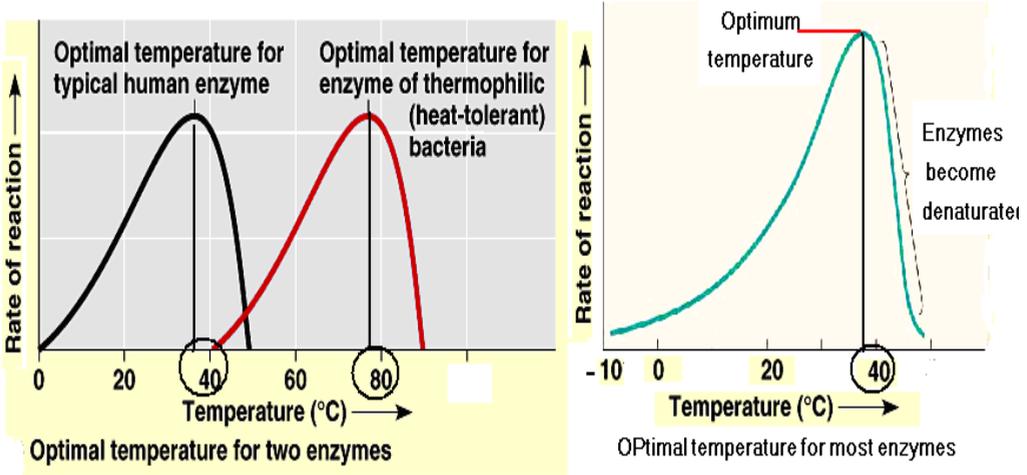
يمثل الماء الوسط الذي تتم فيه التفاعلات الإنزيمية، وإذا ما قلت نسبة الماء في الخلية أي زادت لزوجة وسط التفاعل، أثر ذلك سلباً على حركة المواد الداخلة في التفاعل والمواد الخارجة منه، وكذلك حركة الإنزيمات وهو ما يقلل سرعة التفاعل الإنزيمي.

مثال ذلك: إنزيمات البذور التي تظل ساكنة طوال فترة تخزينها، وعند زراعتها أو إمدادها بالماء

فإن إنزيماتها تبدأ في النشاط مع زيادة محتواها المائي.

وعند ارتفاع درجة الحرارة أعلى من ذلك، تقل سرعة عمل الإنزيم حتى تتوقف نهائيا عند درجة حرارة ما بين ٥٥-٦٠ م° وتسمى هذه الدرجة بالنهاية العظمى.

ودرجة الحرارة المثلى والعظمى تختلف من إنزيم إلى آخر ومن نبات إلى آخر، حيث أن هناك قليل من الإنزيمات تتحمل درجات الحرارة العالية قد تصل إلى ١٠٠ م°، ولو لفترة قصيرة كما في شكل (٨). ودرجات الحرارة المرتفعة تؤدي إلى فقد الإنزيم لطبيعته **Denaturated** ويتوقف نشاط الأنزيم إلى الأبد. أما درجات الحرارة المنخفضة فإنها توقف نشاط الإنزيم مؤقتا ولا تقتل الإنزيم، وبالتالي يمكن للإنزيم أن يستعيد نشاطه مرة أخرى عندما تتحسن درجة الحرارة.



الشكل (٨) : يوضح تأثير تركيز درجة الحرارة على معدل التفاعل الإنزيمي

٦- تأثير المواد السامة Toxic Substances:

تعمل بعض الأيونات على خفض سرعة التفاعل الإنزيمي، أو قد تؤدي إلى إيقافه تماما حيث تتحد مع بعض مكونات الأنزيم وتوقفه عن أداء عمله، ومن أمثلة هذه الأيونات، النحاس والرصاص والزنك.

بعض هذه المواد السامة يكون تأثيرها الضار للإنزيم غير عكسي، بينما البعض الآخر يكون تأثيره عكسي، أي يمكن للإنزيم استعادة نشاطه مرة ثانية بعد إزالة هذا العامل السام، وذلك بإضافة مادة لها قابلية للإتحاد مع العنصر السام أكثر من الإنزيم نفسه، وعندها يتخلص الإنزيم من العنصر ويستعيد نشاطه.

٧- تأثير المثبطات Inhibitors:

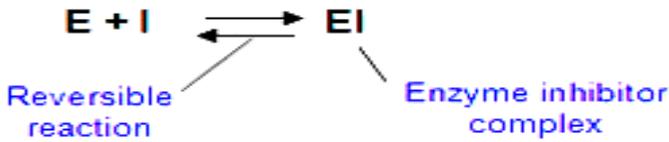
نظرا لأن الإنزيمات مواد بروتينية، وبالتالي فهي قادرة على التفاعل مع بعض المركبات الأخرى خلاف مادة التفاعل. وتفاعل الإنزيم مع مواد أخرى خلاف مادته الأصلية يؤدي إلى تقليل سرعة النشاط الإنزيمي أو توقفه كاملا، وتسمى باسم المثبط. ويوجد نوعان من المثبطات هما:-

١ - مثبطات تنافسية Competitive Inhibitors

٢ - مثبطات غير تنافسية Non- Competitive Inhibitors

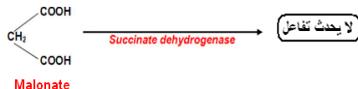
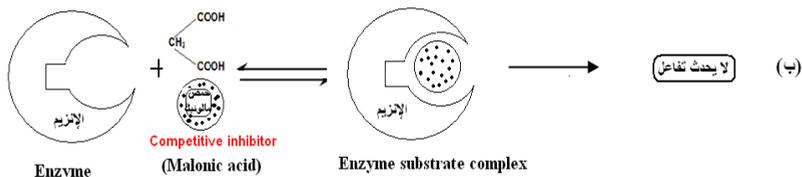
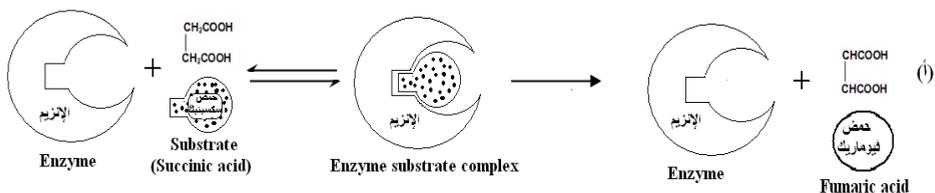
١- المثبطات التنافسية Competitive Inhibitors

هذه المثبطات تتشابه من الواجهة التركيبية مع جزيئات مادة التفاعل، بحيث لا يستطيع الإنزيم أن يميز بينها وبين مادة التفاعل، وعليه فإن هذه المثبطات تحتل مراكز الإنزيم النشطة نظرا للتشابه التركيبي بينها وبين ماد التفاعل الأصلية، ولكن لا يحدث تفاعل بينهما، ويكون المعقد المتكون قابل للإنعكاس ولا تتكون نواتج التفاعل.



مثال ذلك:

تشبيط حمض المالونيك لإنزيم ديهيدروجينيز حمض السكسينيك، الذي يحفز تحويل حمض السكسينيك إلى حمض الفيومارك، حيث يتشابه حمض المالونيك في تركيبه مع حمض السكسينيك، وبالتالي يقوم بشغل مراكز الإنزيم النشطة بدلا من حمض السكسينيك (مادة التفاعل الأصلية للإنزيم) (شكل ٩). ويمكن التغلب على المثبط التنافسي وذلك بزيادة تركيز مادة التفاعل حتى تشغل جميع مراكز الإنزيم النشطة بها بدلا من المثبط.

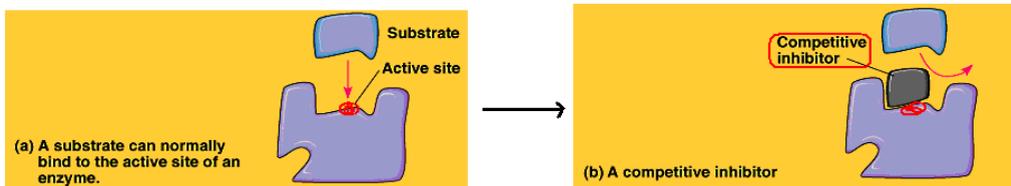
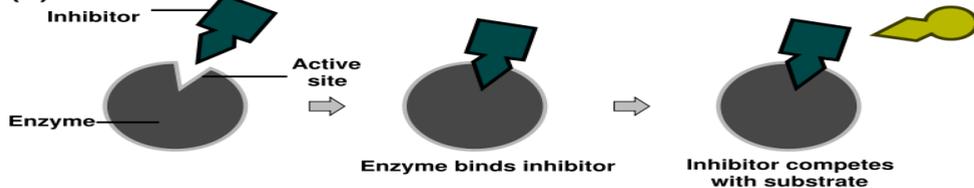


حمض المالونيك يشبه في تركيبه حمض السكسينيك وبإمكانه احتلال المواقع النشطة للأنزيم

(a) Reaction



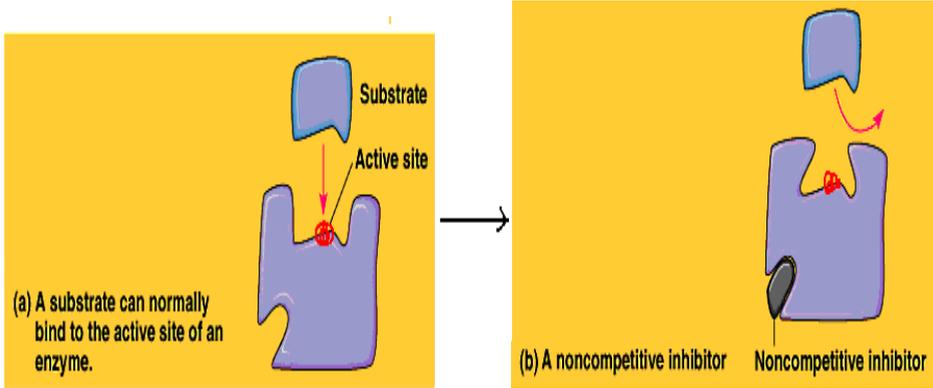
(b) Inhibition



شكل (٩) : يوضح رسم تخطيطي للمثبطات التنافسية

٢- المثبطات غير التنافسية Non-Competitive Inhibitors

على النقيض من المثبطات التنافسية ، فإن المثبطات غير التنافسية لا تتنافس مع مادة التفاعل في حد ذاتها على مراكز الإنزيم النشطة، ولكن تتفاعل مع جزء من الإنزيم غير مخصص لمادة التفاعل، ويكون التثبيط في هذه الحالة غير قابل للإنعكاس، أي لا يمكن التغلب عليه ومنافسته عن طريق زيادة مادة التفاعل. حيث أن هذا النوع من المثبطات يغير من تركيب الإنزيم بصورة تفقده فعاليته، ويجعله غير قادر على الارتباط بمادته (شكل ١٠)، ومثال ذلك الكثير من المركبات السامة.



شكل (١٠): يوضح رسم تخطيطي للمثبطات اللاتنافسية

النباس الأول

الأفض النباتى

الفصل الثانى

٢- البناء الضوى Photosynthesis

٢- البناء الضوئي Photosynthesis

اكتشاف عملية البناء الضوئي

الصبغات المؤثرة في عملية البناء الضوئي

تأثير إميرسون

تفاعل الضوء:

١- الفسفرة الضوئية اللادائرية

٢- الفسفرة الضوئية الدائرية.

تفاعل الظلام

العوامل المؤثرة على عملية البناء الضوئي

١- تركيز ثاني أكسيد الكربون الماء

٢- الضوء

٣- الحرارة

٣- الأكسجين

٤- الكلورفيلات

نظرية العوامل المحددة

٢- البناء الضوئي Photosynthesis

يعتبر النبات مسئولا عن تكوين المواد العضوية، حيث يقوم بتخليقها من ثاني أكسيد الكربون والماء، ويساعده في ذلك الضوء حيث يقوم النبات (المادة الخضراء) بامتصاص الطاقة الضوئية ويحولها إلى طاقة كيميائية، تستغل في تخليق هذه المواد العضوية ويتصاعد نتيجة لذلك الأكسجين، وتسمى هذه العملية بعملية البناء الضوئي، وتتم هذه العملية فقط في النباتات التي تحتوي على كلورفيل.

نبذة عن اكتشاف عملية البناء الضوئي

لقد كانت بداية اكتشاف هذه العملية في القرن الثامن عشر عندما عُرِفَت أهمية الأوراق في تغذية النباتات، حيث أن النباتات تسحب غذائها من الأوراق، وبعض هذا الغذاء يأتي من الهواء وبناء على ذلك:-

١- في سنة ١٧٧٢ - ١٧٧٦م، افترض أحد العلماء أن النباتات **تنقى الهواء الفاسد** الناتج من تنفس الحيوانات.

٢- في عام ١٧٧٨م، اكتشف عالم آخر **أهمية ضوء الشمس** للنبات، حيث يقوم النبات بتنقية الهواء الفاسد بالإضافة إلى أن النباتات تعطي الهواء الحيوى (والذى يسمى الآن بالأكسجين).

٣- في سنة ١٧٨٢م، **تُبَّت أهمية الهواء** في تغذية النباتات الخضراء.

٤- في سنة ١٨٠٤م، **تُبَّت أهمية الماء** لغذاء النباتات، وذلك من خلال التجارب الخاصة بوزن

النبات، واعتبار الزيادة في الحجم ناتجة أساسا من الماء.

٥- في سنة ١٨٤٥م تحقق ماير Mayer **من أهمية الضوء** كمصدر هام بالنسبة للنبات، وكذلك من خطوات عملية البناء الضوئي، والتي أمكن كتابتها كما يلي:-

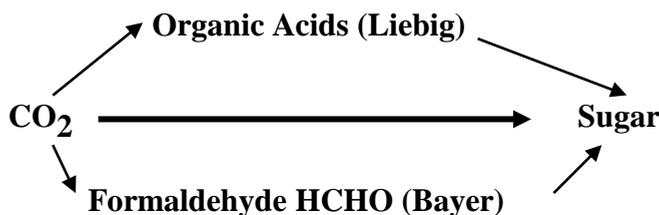


٦- تتابعت الدراسات بعد ذلك للبحث عن الطريق الذي يسلكه CO_2 ليكون السكر. وكان **ليبيج** من المهتمين بهذا الموضوع، والذي افترض أن **الأحماض النباتية هي التي تمثل المادة الأولى** في عملية البناء الضوئي ليتكون السكر **مستندا إلى:-**

أ- الأحماض النباتية تمثل المركبات الوسيطة عند تكسير السكر، وعليه فالعكس يمكن أن يكون صحيحا عند بناء السكر.

ب- الفواكه عند نضجها تمر أولا بمرحلة تكوين الأحماض النباتية، قبل أن يتكون فيها السكر.

٧- في ١٨٧٠م، جاء عالم يسمى **باير**، ووضع نظرية أخرى ذكر فيها أن CO_2 يتحول إلى **فورمالدهيد**، وبتكثيف لعدد ٦ ست جزيئات منه يتحول بدوره الى سكر.

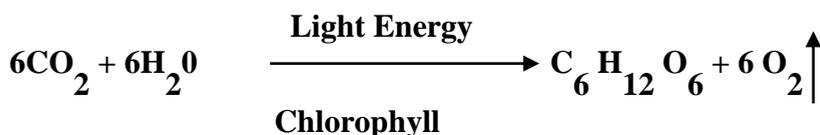


ومع مرور الزمن ثبت صحة نظرية ليبيج إلى حد ما، إذ أن حوالي ٥% من ثاني أكسيد الكربون الذي يدخل في عملية البناء الضوئي يمر عن طريق تكوين الأحماض العضوية النباتية،

أما الباقي فيمر عن طريق آخر هو طريق دورة كالفن، وأما نظرية باير Bayer فإنها غير صحيحة مطلقاً، إذ أن الفورمالدهيد سام للخلايا، ولا يعقل أن تكون بالخلايا هذه المادة، وكذلك لم يثبت حتى الآن وجود هذه المادة بالخلايا. ثم توالت الأبحاث بعد ذلك في محاولة لفهم هذه العملية، وكيفية تحول ثاني أكسيد الكربون إلى سكريات ومن هذ الأبحاث ما يأتي:-

١- في سنة ١٩٠٥ ذكر بلاكمان أن عملية البناء الضوئي، تمثل أكثر من عملية وتفاعل فذكر أن بها تفاعل ضوئي وسماه **التفاعل الضوئي**، وتفاعل آخر يتم في الظلام ويعتمد هذا التفاعل على درجة الحرارة وليس له علاقة بالضوء، وأطلق بلاكمان عليه **تفاعل الإظلام والذي سمي فيما بعد بتفاعل بلاكمان**.

٢- توالت الدراسات للتعرف على حقيقة المعادلة المحصلة لعملية البناء الضوئي وهي:-

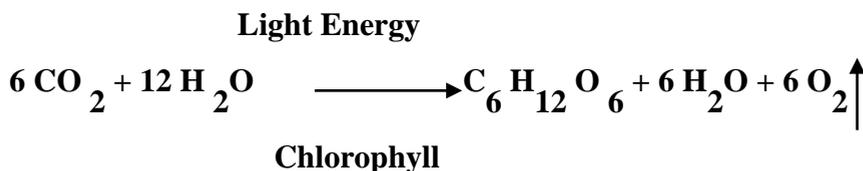


ويتضح من هذه المعادلة ان الاكسجين المتصاعد ينشأ من **الماء وثاني أكسيد**

الكربون، ولكن باستعمال الأكسجين المناظر O^{18} أمكن التحقق من أن الأكسجين المتصاعد

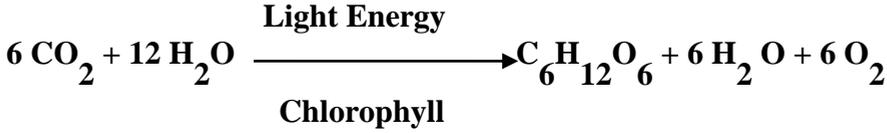
يأتي أساساً من **الماء فقط وليس من CO_2** .

وعليه يمكن كتابة معادلة البناء الضوئي كالاتي:

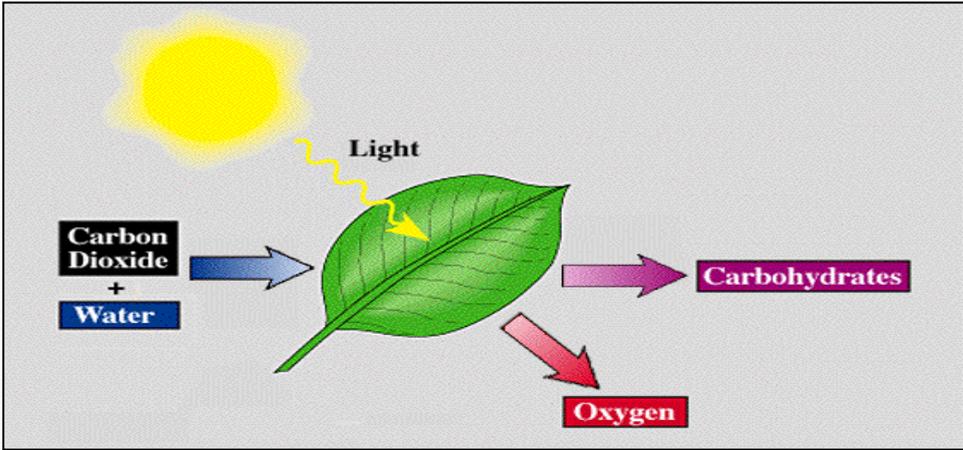


عملية البناء الضوئي:

تعرف عملية البناء الضوئي بأنها هي العملية التي تعمل على تكوين المواد الكربوهيدراتية العضوية من ثاني أكسيد الكربون والماء، في وجود الضوء والنبات الأخضر ويتساعد الأكسجين. وتمثلها المعادلة الآتية:-



ومن هذه المعادلة يتضح ان ثاني أكسيد الكربون يختزل إلى مستوى السكريات، وذلك بأن يحصل على هيدروجين الماء ويتساعد نتيجة لذلك الأكسجين. كل هذا لابد أن يكون في وجود الضوء والمادة الخضراء (الكلوروفيل) كما هو مبين من شكل (١١)، والنباتات المائية يمكنها الحصول على ثاني أكسيد الكربون من خلال إمتصاصها للماء حيث أن ثاني أكسيد الكربون يذوب في الماء مكونا بيكربونات،



(شكل ١١): يوضح المواد الداخلة والنااتجة في عملية البناء الضوئي

ومعادلة البناء الضوئي تمثل حاصلًا لعدد من التفاعلات المتتالية، والتي يمكن

جمعها في مجموعتين (شكل ١٢) هما:-

أ- المجموعة الأولى:

وهذه المجموعة تعتمد على الضوء، وتسمى بتفاعل هيل (Hill Reaction)

أو تفاعل الضوء (Light Reaction)، وهي مجموعة من التفاعلات البيوفيزيائية، وهي

المسئولة عن التقاط الطاقة الضوئية وتخزينها في شكل مركبات فسفورية غنية بالطاقة.

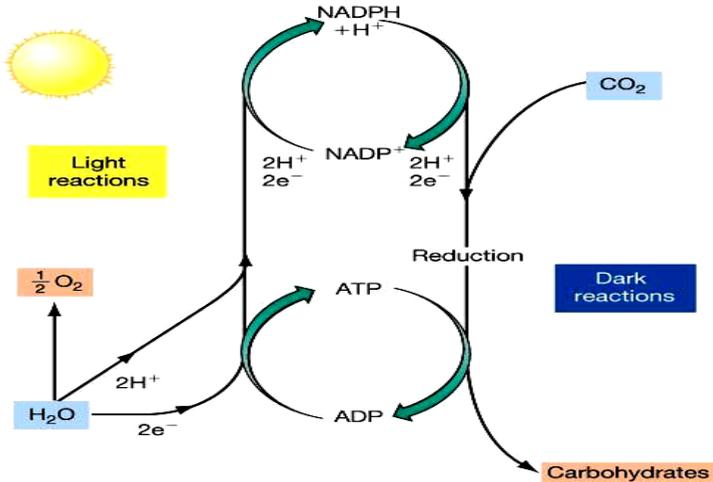
ب- المجموعة الثانية:

هي مجموعة من التفاعلات البيوكيميائية المسئولة عن اختزال CO_2 إلى المستوى

السكري بواسطة الطاقة الضوئية، التي اختزنت في صورة مركبات فوسفورية والناجمة من التفاعل

الضوئي، وهذه المجموعة لا تعتمد على الضوء، ولذلك سميت بتفاعل بلاكمان أو دورة كالفن

(Blackman's Reaction or Calvin Cycle) أو **تفاعل الإظلام (Dark Reaction)**.

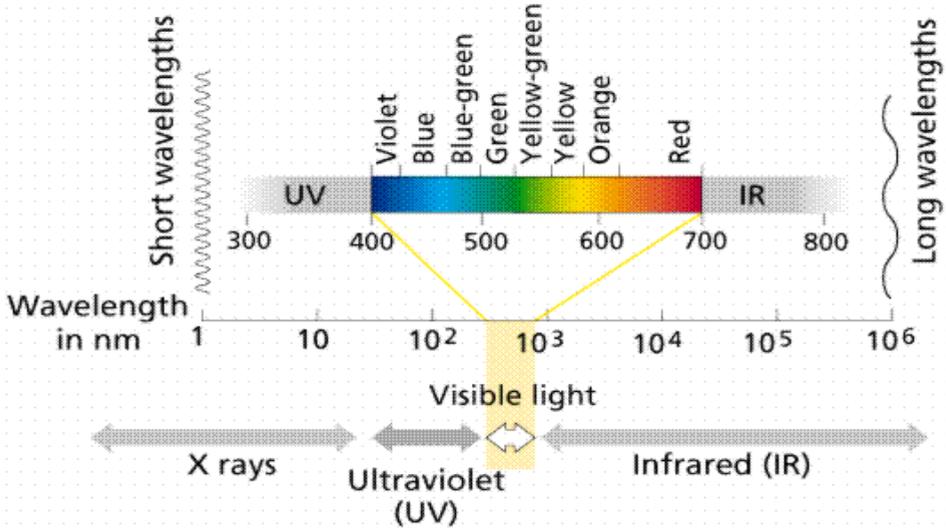


(شكل ١٢): يوضح تفاعل الضوء والإظلام في عملية البناء الضوئي

طبيعة الضوء

الضوء المرئى هو جزء مما يسمى بالأمواج الكهرومغناطيسية (Electromagnetic Waves)، وتتراوح أطوال موجات الضوء المرئى ما بين ٤٠٠-٧٠٠ نانومتر (شكل ١٣)، والذي يقع فى دائرة رؤية العين، وهذا الضوء المرئى يمثل جزءا بسيطا مما يسمى بالموجات الكهرومغناطيسية.

وتيار الطاقة الضوئية يتركز فى جسيمات صغيرة تعرف بالفوتونات بدلا من توزيعها فى الفضاء عبر المجالات الكهربائية والمغناطيسية، والطاقة التى يحملها الفوتون تسمى كوانتم، وهذه الطاقة تعتمد على طول الموجة والتردد حيث تتناسب هذه الطاقة تناسباً عكسياً مع الطول الموجى، وبالتالي فإنه فى حالة الفوتون الناتج من الضوء الأحمر تكون طاقته أقل عما إذا كان الفوتون ناتج من الضوء الأزرق، لأن الطول الموجى للضوء الأحمر أكبر من الضوء الأزرق.



(شكل ١٣) :يوضح أطوال موجات الضوء المرئى وغير المرئى

الصبغات المؤثرة في عملية البناء الضوئي: Pigments Involved in Photosynthesis

الأصبغ التي تشارك أساسا في عملية البناء الضوئي هي :-

١- الكلوروفيلات

٢- الكاروتينيدات

٣- أصباغ أخرى مثل الفيكوبليينات

١- الكلوروفيلات Chlorophylls

وهي الصبغات الخضراء في النباتات وتعتبر من أهم الصبغات الفعالة في عملية البناء الضوئي، ومنها كلورفيل أ، وكلورفيل ب، والكلورفيل البكتيري أ، والكلورفيل البكتيري ب، وتتركب هذه المركبات أساسا من حلقة بورفيرين والتي تتركب من أربعة حلقات من البيروول الحلقي، ويوجد في هذه الحلقة ذرة ماغنسيوم، ومتصل بها مركب الفيتول الذي يتحد مع مجموعة الكربوكسيل في الحلقة ليكون معها استر، والاثنتان معا يكونان جزئ الكلورفيل، حيث تمثل حلقة البورفيرين الرأس وسلسلة الفيتول الذيل لجزئ الكلورفيل.

أما في حالة جزئ **الكلورفيل ب** $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$ فإنه لا يختلف عن جزئ

الكلورفيل أ $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$ ، إلا أن أحد مجموعات **الميثيل** تتأكسد وتتحول إلى

مجموعة **الدهيد** (شكل ١٤)، ويقوم كل من كلورفيل أ ، وكلورفيل ب بامتصاص الضوء المرئي

في مواقع مختلفة، حيث يُظهران أعلى قابلية للإمتصاص في المنطقة البنفسجية - الزرقاء عند

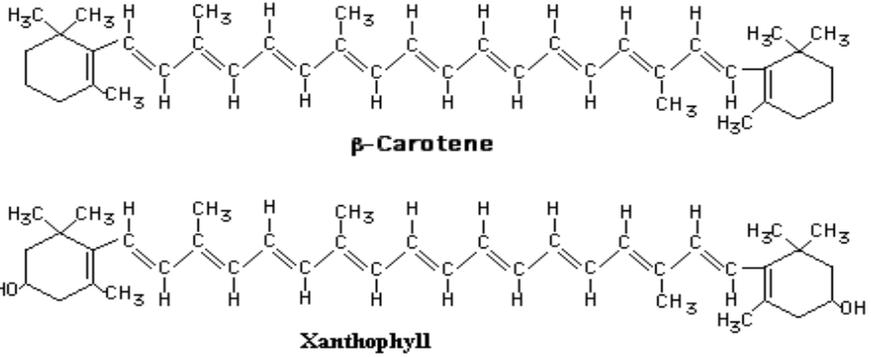
حوالي ٤٢٩ ، ٤٥٣ نانومتر على التوالي ، كما وأن حديهما الأدنى في الإمتصاص

٤٣٠، ٤١٠ نانومتر على التوالي، وعلاوة على الإمتصاص فى المنطقة البنفسجية - الزرقاء، فإنهما يتمتعان بقمم امتصاصية ثانية فى المنطقة الحمراء مع قمم قصوى عند ٦٤٢، ٦٦٠ نانومتر على التوالي (شكل ١٥). كما أن هناك كلورفيل C وكلورفيل D، ولكل منهما طيف إمتصاص خاص به ويوجد كل منهما فى كائنات حية متخصصة، حيث يوجد الأول فى الدياتومات والطحالب البنية، ويمتص الضوء ما بين ٤٤٥-٦٢٥ نانومتر، والثانى يوجد فى الطحالب الحمراء، ويمتص الضوء ما بين ٤٥٠-٦٩٠ نانومتر.

٢- الكاروتينيدات Carotenoide Pigments

تعتبر الكاروتينات من المركبات الواسعة الإنتشار فى النباتات، والتي تتفاوت فى ألوانها بين الأصفر والقرمزي، وهى توجد بتراكيز مختلفة فى غالبية النباتات الراقية وفى الكثير من الكائنات الدقيقة، بما فى ذلك الطحالب الحمراء والخضراء وبكتريا البناء الضوئى والطحالب.

أكثر الكاروتينات الموجودة فى النباتات هى صبغة البيتا كاروتين β -Carotene البرتقالية المصفرة، والتي توجد مع كميات مختلفة من الألفا كاروتين α -Carotene وتسمى الكاروتينات الهيدروجينية (أى التى تتكون من الهيدروجين والكربون وحدهما فقط) بالكاروتينات، أما إذا احتوت الكاروتينات $C_{40}H_{56}$ على أكسجين سميت بالزانثوفيلات Xanthophylls $C_{40}H_{56}O_2$ (شكل ١٦). وتوجد الكاروتينات مثل الكلورفيل فى البلاستيدات الخضراء فى صورة مركبات بروتينية غير قابلة للذوبان فى الماء.



(شكل ١٦) : يوضح البيتا كاروتين والزانتوفيل

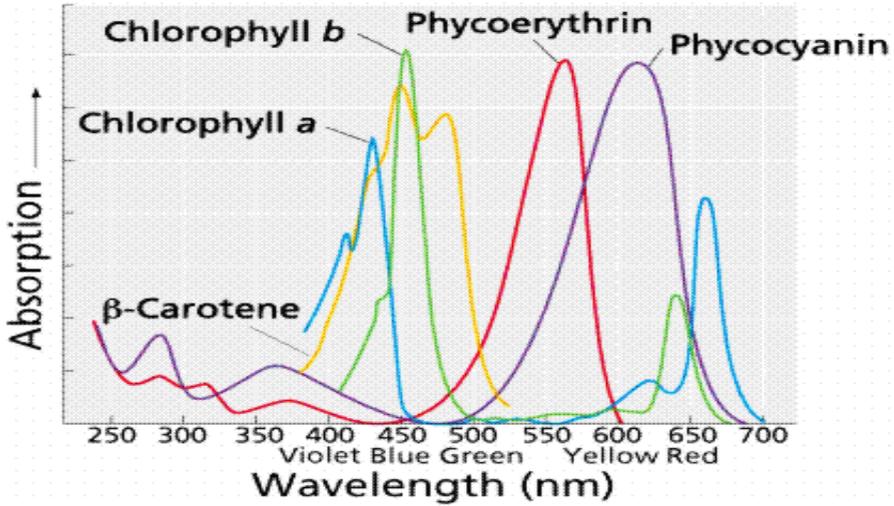
دور الكاروتينيدات في عملية البناء الضوئي:-

- ١- تعمل على حماية النظم الضوئية من الهدم، وحماية الكلورفيل من الإضاءة الزائدة المدمرة (الأكسدة الضوئية)، وبالذات عند زيادة شدة الإستضاءة.
- ٢- تحمي الخلية من تكوين ما يسمى Suberoxides التي تدمر بعض المكونات العضوية، وهناك انزيم متخصص يسمى Suberoxide Desmutase والذي يمكن أن يوقف نشاط هذا المركب.
- ٣- تعمل كأصباغ مساعدة (Accessory Pigments) حيث أنها تمتص الطاقة وتنقلها إلى الكلورفيلات، ويتم ذلك بواسطة اللفف (Fluorescence) الذي ينبعث من الكاروتينيدات بعد إمتصاصها للضوء، وهذا اللفف ذو موجة أقصر، والتي قد تتوافق وطول الموجة المناسب لإمتصاص الكلورفيلات، وبالتالي فهي تمثل مصدرا ضوئيا إضافيا لإمتصاص الكلورفيلات حيث تزيد من قدرة النبات على إنتقاط الطاقة، مما يزيد من كفاءة مليء البناء الضوئي.

٣- الفيكوبيلينات Phycobilin Pigments

توجد فى الطحالب الملونة (الحمراء Rhodophyta والزرقاء Cyanophyta) وكذلك البكتريا التى تقوم بعملية البناء الضوئى، وما يعطى اللون الأحمر يسمى Phycoerythrin ويمتص الضوء فى المجال ما بين ٤٩٥-٥٦٥ نانومتر، وما يعطى اللون الأزرق يسمى Phycocyanin ويمتص الضوء فى المجال ما بين ٥٥٠-٦١٥ نانومتر مع امتصال عالى فى المنطقة بينهما، وتقوم هذه الأصباغ بنقل الطاقة التى تمتصها إلى كلورفيل أ، مثلها فى ذلك مثل الكاروتينيدات، ولذلك تسمى أصباغ مساعدة (Accessory Pigments) حيث تمتص الضوء بكفاءة فى مجال أطول من الموجات الضوئية التى لا يمتصها الكلورفيل (شكل ١٦).

والفيكوبيلينات تتركب كيميائيا من أربعة حلقات تظل مفردة لتكون الحلقة الرئيسية (حلقة البورفيرين).



(شكل ١٧): يوضح طيف أمتصاص الفيكوسيانين والفيكواريثرين و كلورفيل أ، ب والبيتا كاروتين

تأثير إيمرسون Emerson Effect

المقصود بتأثير إيمرسون هو زيادة البناء الضوئي إذا ما كانت الإضاءة في شكل خلطات ضوئية. حيث لاحظ إيمرسون أن كمية الأكسجين الناتجة من عملية البناء الضوئي تكون منخفضة كلما إتجهنا إلى الضوء الأحمر، أي بعد طول موجي ٦٨٠ نانومتر، وسميت هذه العملية (الهبوط الأحمر) Red Drop، وإن هذا الانخفاض الذي حدث عند أطوال الموجات الضوئية التي تزيد عن ٦٨٠ نانومتر يمكن تعويضه عند الإضاءة بضوء ذو طول موجي أقصر من ذلك. كما أن قدرة عملية البناء الضوئي نتيجة لذلك أكبر مما لوأضيت الخلايا بكل من الضوئين منفردا، وجمع إنتاجهما، وهذا يعنى أن وجود النظاميين الضوئيين (الإشعاعين) طويل الموجة (أطول من ٦٨٠ نانومتر) وقصير الموجة (أقل من ٦٨٠ نانومتر) معا يساعدان على زيادة البناء الضوئي أكثر من مجموع البناء الضوئي مع كل منهما منفردا، وهذا التنشيط يسمى تأثير إيمرسون.

منظومات الصبغة الثنائية

عندما أكتشف أنخفاض البناء الضوئي في الضوء الأحمر، وكذلك تأثير إيمرسون، أمكن إستنتاج أن عملية البناء الضوئي تتطلب التعاون الوثيق بين عمليتين كيميائيتين ضوئيتين. حيث تؤثر أطوال موجات الضوء التي أقل من ٦٨٠ نانومتر في **كلا العمليتين**، بينما تؤثر أطوال موجات الضوء التي أطول من ٦٨٠ نانومتر في **عملية واحدة**. ولقد أمكن إثبات أن القسم

الأكبر من كلورفيل أ (Chl.a) الموجود في البلاستيدات الخضراء يكون في شكلين:-

١- كلورفيل أ ٦٧٣ (Chl.a 673)، ويكون أقصى إمتصاص له عند ٦٧٣ نانومتر .

٢- كلورفيل أ ٦٨٣ (Chl.a 683)، ويكون أقصى إمتصاص له عند ٦٨٣ نانومتر.

كما أن هناك نوع آخر من الكلورفيل يتمتع بإمتصاص طول موجى طويل، حيث يكون أقصى إمتصاص له عند ٧٠٠ نانومتر، ويسمى هذا كلورفيل P700 إلا أن موجود فى النبات بكميه أقل كثيرا من النوعين السابقين.

مما سبق يتبين أن البناء الضوئى يحدث بفعل عمليتين كيميائيتين ضوئيتين تقترن كل منهما بمجموعة معينة من الصبغات المستحوذة على الضوء، والتي تسمى بالنظام الضوئى الأول Photosystem I((PSI)، والنظام الضوئى الثانى Photosystem II(PSII).

النظام الضوئى الأول Photosystem I((PSI)

يشمل هذه النظام كلورفيل أ ٦٨٣ (Chl.a 683). وكلورفيل P700 وكذلك الكاروتينات، حيث تكون هذه الصبغيات هى المسئولة عن الإستحواذ على الطاقة الضوئية، وهذا النظام ينظم عملية إختزل NADP إلى $NADPH_2$ ويقوم بها، وذلك بإمتصاص الضوء عند طول موجى ٧٠٠ نانومتر ويسمى P700، وتنتقل الإلكترونات المتوترة من هذا النظام إلى مادة الفيريدوكسين Ferredoxine، ثم تنتقل فى النهاية إلى NADP or NAD، ويملاً فراغ الإلكترونات الذى حدث فى هذا النظام الضوئى إلكترونات تأتى من النظام الضوئى الثانى.

النظام الضوئى الثانى Photosystem II(PSII)

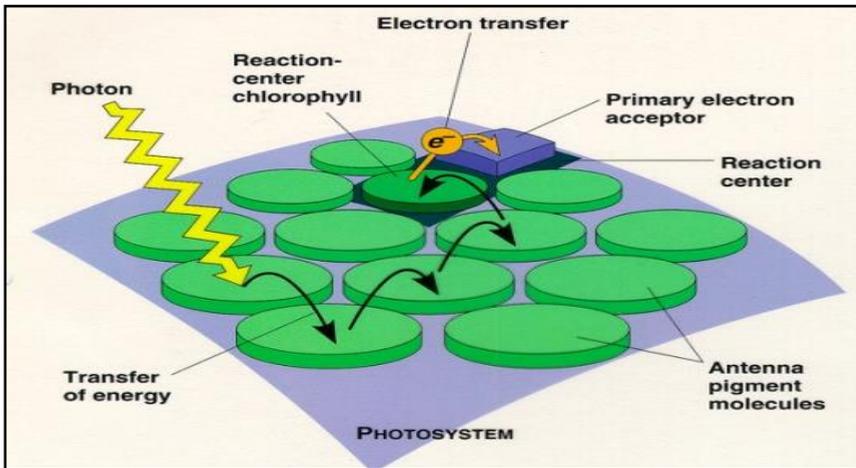
وتشمل هذه النظام كلورفيل أ ٦٧٣ (Chl.a 673). وكلورفيل b وكذلك الزانثوفيلات، حيث تكون هذه الصبغيات هى المسئولة عن الإستحواذ على الطاقة الضوئية، وهذا النظام

مسئول عن تصاعد غاز الأكسجين بعد تحليل الماء ضوئياً، وكذلك حركة الإلكترونات إلى مركبات

أخرى تستقبلها، وذلك بإمتصاص الضوء عند طول موجي أقل من ٦٨٣ نانومتر .

وحدة البناء الضوئي Photosynthetic Unit

تعرف وحدة البناء الضوئي (شكل ١٨) بأنها أصغر مجموعة من جزيئات الصبغة تشترك لإحداث القدر الكافي من النشاط الكيميائي الضوئي، أي امتصاص ونقل جسيم ضوئي إلى حيث يعمل على اطلاق أحد الإلكترونات. ولذلك أقترح الباحثون أن البلاستيدات الخضراء تتكون من العديد من وحدات الضوء التمثيلية الصغيرة جداً، وتعرف بإسم الوحدة الضوئية التمثيلية حيث تتعاون هذه الجزيئات (الوحدات) الصبغية مع بعضها البعض لإمتصاص الطاقة الضوئية، وانتقالها إلى مراكز الاصطياد، حيث تسبب إنطلاق وتحرير الإلكترونات. وبمجرد أن تشار الصبغات (P680 or P700) فإنها تحرر الإلكترونات، وبذلك تختزل مستقبلات الإلكترون، وهذه بدورها تحرر الإلكترونات إلى جزيئات أخرى، وهذه التفاعلات تسمى تفاعلات الأكسدة والإختزال.



(شكل ١٨): يوضح وحدة البناء الضوئي

التفاعل الضوئي: Light Reaction

هي مجموعة من التفاعلات **مسئولة عن التقاط الطاقة الضوئية واختزانها في**

صورة مركبات فوسفورية غنية بالطاقة لاستعمالها في التفاعلات التالية (تفاعل

الإزلام). وتمثل البلاستيدات الخضراء مكان هذه المجموعة من التفاعلات إذ تعمل الكلوروفيلات

والكاروتينيدات الموجودة بها على التقاط الطاقة الضوئية، حيث تترتب كل من الكلوروفيلات

والكاروتينيدات على اغشية **الجرانا** في البلاستيدة بطريقة خاصة تمكنها من القيام بوظيفتها، وقد

وجد أن حوالي ٥٠٠ جزء من الكلوروفيل تشكل ما يسمى بالوحدة البنائية Photosynthetic Unit

إذ أن هذه الوحدة عندما ترتطم بالطاقة الموجودة في وحدة الفوتونات الضوئية، يحدث لها حالة

من التوتر، ويتبع ذلك تخليق القوة التمثيلية وهي عبارة عن مادتين:

١- ادينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP)

٢- نيوكليوتيد الادنين المختزل (NADPH₂)

هاتين المادتين (القوة التمثيلية) هما المسئولتان عن اختزال الكربون إلى مستوى السكر

في مجموعة التفاعلات التالية (تفاعل الإزلام)، وهي أولى المركبات الثابتة التي تنتج من عملية

البناء الضوئي. وسوف نتابع باختصار كيفية تخليق كل من هاتين المادتين:-

أ- تخليق نيوكليوتيد الادنين المختزل (NADPH₂)

يتم تخليق هذه المادة في الفسفرة الضوئية اللادائرية فقط.

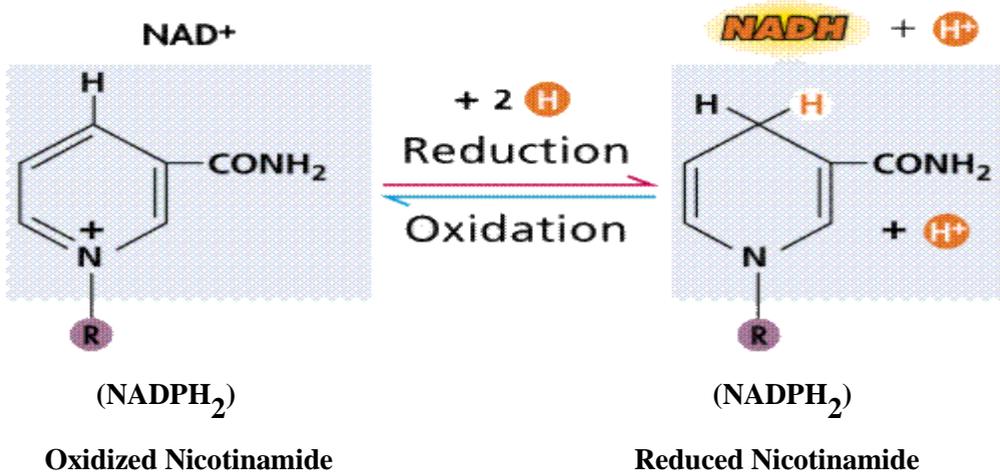
ب- تخليق ادينوسين ثلاثي الفوسفات : (ATP)

يتم تخليق هذه المادة في الفسفرة الضوئية اللادائرية والدائرية.

١- الفسفرة الضوئية اللادائرية Non-Cyclic- Photophosphorylation

فى هذه الفسفرة يتطلب مسار الإلكترونات من الماء الى الفيرودوكسين عبر حوامل الإلكترون مشاركة النظامين الصبغيين (شكل ١٩، ٢١)، وتحدث هذه الفسفرة فى الخطوات التالية:-

١- عند سقوط الضوء على كلورفيل أ وهو النظام الضوئى الأول PS1 ، فإنه يلتقط الطاقة من الفوتونات الضوئية ونتيجة لذلك تحدث له إثارة وتوتر يكون من نتائجها انتقال الإلكترون وارتفاعه من الكلوروفيل إلى مستوى طاقة عالى ليصل إلى مستقبل الكترونى يسمى (Ferredoxin Reducing Substance) يرمز له بالرمز FRS ثم يصل إلى الفيريدوكسين Ferredoxin (وهى بروتينات بها حديد)، حيث يذهب فى النهاية إلى NADP التى تختزل إلى $NADPH_2$.



٢- ونتيجة لذلك يتأكسد جزء واحد (الذي ينقصه الكترون) من النظام الصبغى الأول P700 ،

ومعنى ذلك ان هناك فراغا فى النظام الصبغى الأول P700 نتيجة لفقد الكترون.

٣- ولكى يستمر تدفق الإلكترونات الى الفيريدوكسين، يجب أن يكون هناك ما يعوض الإلكترون

المفقود (أى يكون هناك امداد مستمر بالإلكترونات الى النظام الصبغى الأول)، ويأتى هذا الإمداد

من النظام الصبغى الثانى، وذلك خلال مجاميع من الحوامل الإلكترونية مثل البلاستوكينون

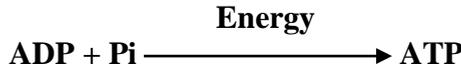
والسيتوكروم b6 والسيتوكروم F والبلاستوسيانين.

٤- خلال هذا التدفق ينتج جزء ادينوسين ثلاثى الفوسفات ATP. حيث أن طاقة الإلكترون

الزائدة التى اكتسبها من امتصاصه لكم الضوء تستغل فى تخليق روابط فوسفاتية عالية الطاقة،

التى تحول ADP إلى ATP ، ويحتمل أن يكون مكان تخليق ATP فى الموضع بين

Cyt F و Cyt b6.



٥- الفراغ الذى تولد فى النظام الصبغى الثانى، يُملأ بالإلكترونات الناشئة من تحلل الماء ضوئياً

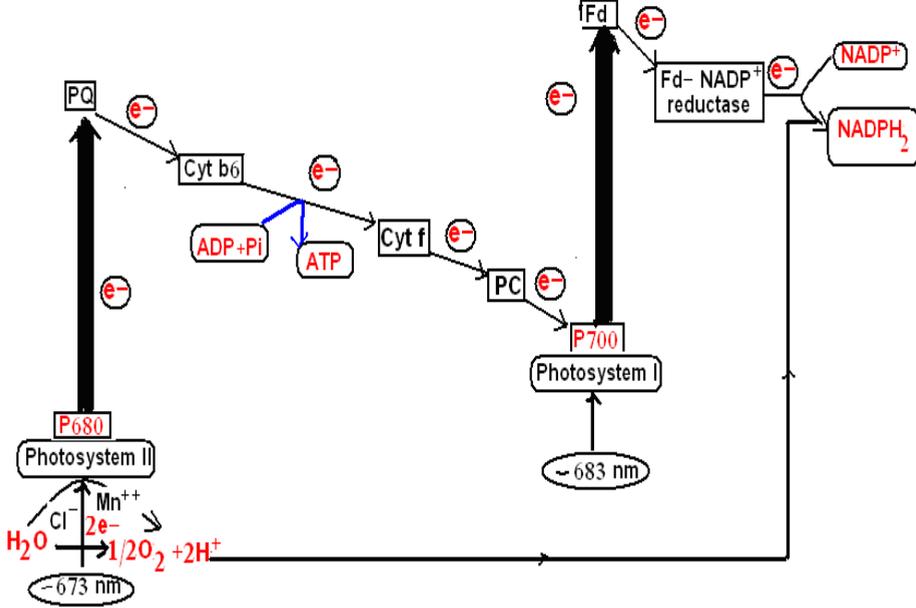
الى الكاتيونات وأيونات الهيدروجين ويتحرر نتيجة لذلك الأكسجين.

ونظراً لأن هذه الإلكترونات القادمة من الماء يتم نقلها فى مسار **ذو اتجاه واحد** إلى

الفيريدوكسين، ويتم إستخدامها فى تخليق كل من NADPH₂ و ATP، ومعنى ذلك أن مسار

الإلكترونات هنا مسار ليس دائرياً، وبالتالي يمكن تسمية فسفرة ADP وتحولها إلى ATP

بطريقة تدفق الإلكترونات بإسم الفسفرة الضوئية اللادورية. ويطلق عليها الباحثون **بمخطط Z**.



(شكل ١٩): يوضح الفسفرة الضوئية اللادائرية

الفسفرة الضوئية الدائرية Cyclic Photophosphorylation

وتحدث هذه الفسفرة (شكل ٢٠، ٢١) تحت الظروف المانعة لحدوث الفسفرة

الضوئية اللادائرية، ومن العوامل المانعة لحدوث الفسفرة الضوئية اللادائرية هو إضاءة

البلاستيدات الخضراء بضوء طول موجاته تزيد عن ٦٨٠ نانومتر. حيث أن تحت هذه

الظروف ينشط النظام الصبغي الأول فقط، اما النظام الصبغي الثاني فإنه لا ينشط وبالتالي

يتوقف سريان الإلكترونات من الماء والذي بدوره يؤدي إلى إيقاف تدفق الإلكترونات إلى

الفيريدوكسين، وبالتالي تتوقف الفسفرة الضوئية اللادورية، ويترتب على ذلك إعاقة اختزال ثاني أكسيد الكربون. ومع تعطل اختزال ثاني أكسيد الكربون يصبح NADP المتأكسد غير متاح كمستلم للإلكترون من الفيريدوكسين، وتتم الفسفرة الضوئية الدورية كالتالى:-

١- يتسبب تنشيط المنظومة الأولى للصبغات بواسطة موجات الضوء التى تزيد عن ٦٨٠ نانومتر فى تدفق الإلكترونات من النظام الصبغى الأول P700 الى الفيريدوكسين.

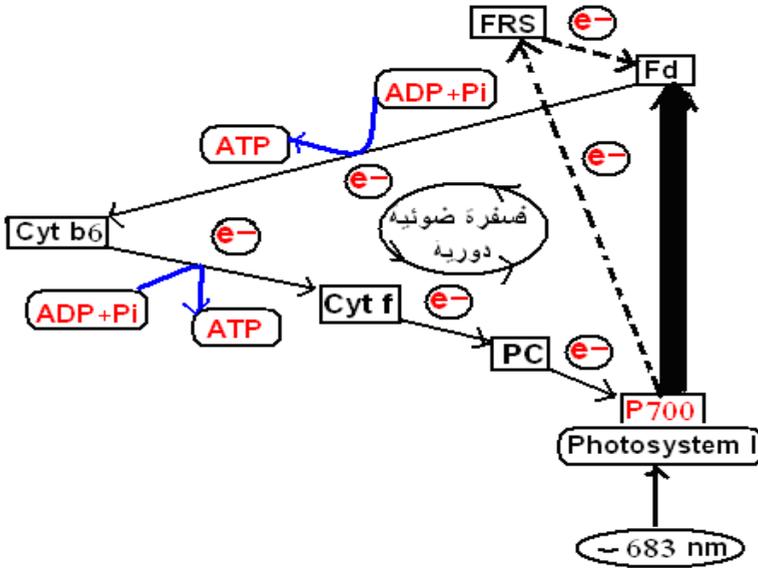
٢- قد يحدث للسيتوكروم b_6 أن يسلب الفيريدوكسين إلكتروناته بسبب عجز الفيريدوكسين تسليمها إلى NADP (حيث أنه يكون غير متاح)، وبالتالي يقوم سيتوكروم b_6 بتسليم هذه الإلكترونات مرة أخرى الى النظام الصبغى الأول P700 عبر للسيتوكروم Cytf، والبلاستوسيانين Pc.

٣- أثناء انتقال الإلكترونات خلال هذا النظام يتم تخليق ATP فى موضعين هما :-

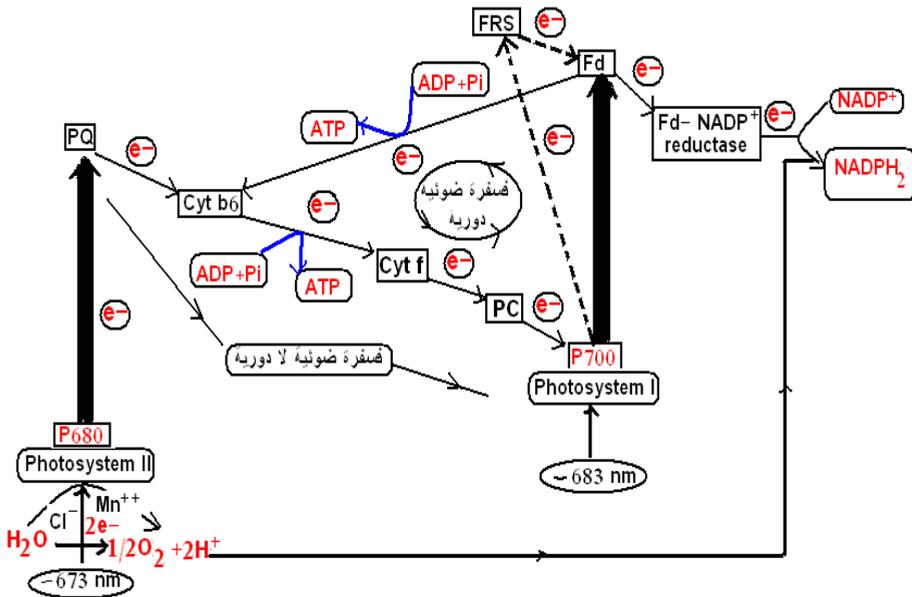
أ- فى موضع يتوسط الفيريدوكسين والسيتوكروم b_6 .

ب- فى موضع يتوسط السيتوكروم b_6 و السيتوكروم f.

ونظرا لأن هذه الإلكترونات القادمة من النظام الصبغى الأول P700 الى الفيريدوكسين تعود إليه مرة أخرى خلال سلسلة من السيتوكرومات، ومعنى ذلك أن مسار الإلكترونات هنا مسار دائريا، ويتم إستخدامها فى تخليق ATP، وبالتالي يمكن تسمية فسفرة ADP وتحويلها إلى ATP بطريقة تدفق الإلكترونات فى هذه الحالة باسم الفسفرة الضوئية الدائرية.



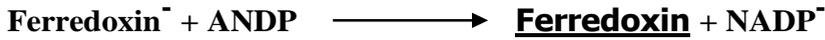
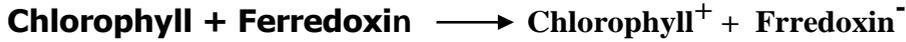
(شكل ٢٠): يوضح الفسفرة الضوئية الدائرية



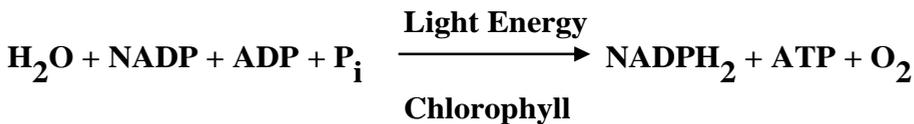
(شكل ٢١): يوضح الفسفرة الضوئية الدائرية واللا دائرية (التفاعل الضوئي)

يجب ملاحظة الآتي:-

- ١ - الفسفرة الضوئية الدائرية ترتبط بالنظام الصبغى الأول PSI، بينما الفسفرة الضوئية اللادائرية ترتبط بالنظام الصبغى الأول PSI والثاني PSII.
- ٢ - تؤثر الموجات التي أقل من ٦٨٠ نانومتر في كلا العمليتين (الفسفرة الضوئية الدائرية واللاذائرية)، بينما تؤثر الموجات التي أطول من ٦٨٠ نانومتر في عملية واحدة فقط (الفسفرة الضوئية الدائرية)
- ٣ - عند استخدام ضوء بموجات قصيرة بالإضافة إلى الضوء ذو الموجات الطويلة تستعيد الفسفرة الضوئية الدورية نشاطها، ومن ثم يتكون NADPH₂ كما يحدث إختزال CO₂ الى مستوى السكريات في التفاعل التالي (تفاعل الإظلام).
- ٤ - يمكن تتبع خطوات تخليق ATP and NADPH₂ بالمعادلة الآتية:



يمكن جمع كل هذه المعادلات في :



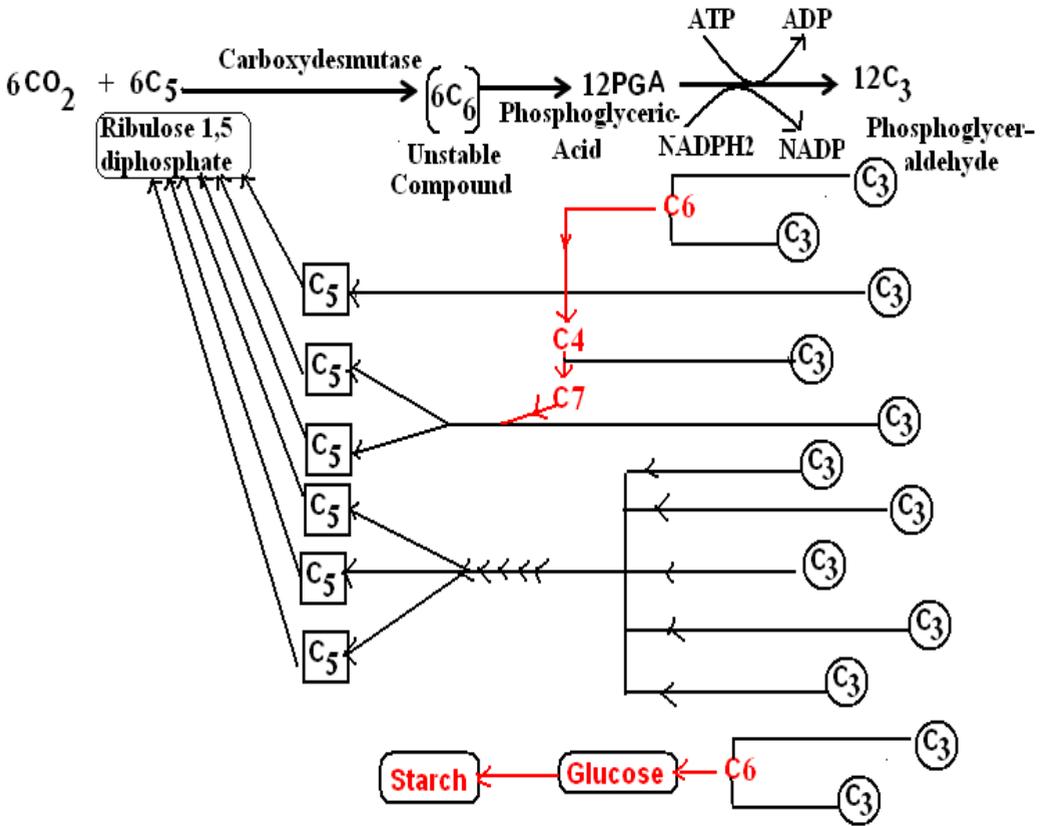
٤- فى وجود القوة التمثيلية تتم بعد ذلك مجموعة من التحولات السكرية، والتي تقود فى النهاية مركب **فوسفوجليسرالدهيد (3PGAL)** الى تكوين سكريات سداسية مثل الجلوكوز والفركتوز وسكر خماسى هو سكر الريبولوز ثنائى الفوسفات مرة أخرى، والذي يتحد بدوره مع ثانى اكسيد الكربون وتعيد الدورة نفسها ولذلك سميت بدورة كالفن، والتي تكون حصيلتها فى كل مرة جزىء واحد سكر سداسى .

٥- قد يحدث اتحاد بين سكرين سداسيين (الجلوكوز والفركتوز) وينتج السكروز الذى ينتقل إلى أجزاء أخرى فى النبات مثل الثمار أو الجذور. وقد يتحول الجلوكوز الى نشا أو سليولوز.

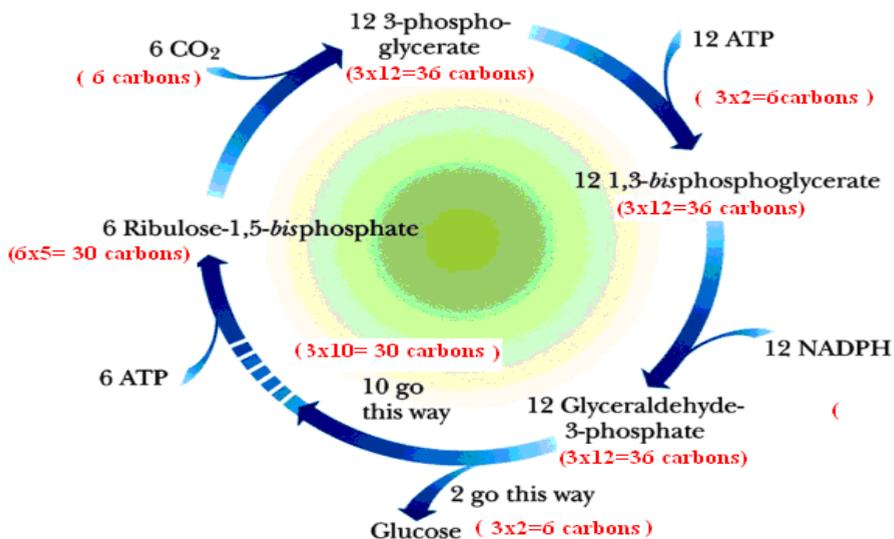
وحسابيا فإن كل ١٢ جزىء من ٣- فوسفوجليسرالدهيد (3PGAL) تستهلك ١٨ جزىء من ATP و ١٢ جزىء من NADPH₂ ويثبت ٦ جزيئات من CO₂ . ويدخل ٢ جزىء من ٣- فوسفوجليسرالدهيد (3PGAL) الى الحوض الأيضى Metabolic pool كنتاج صاف، أما العشرة الباقية فيحدث لها تحولات داخلية منتجة بذلك سكريات مختلفة تلزم لتخليق ٦ جزيئات من سكر اليبولوز - ٥ فوسفات. وهذا السكر يتفاعل مع ليعطى سكر الريبولوز ١، ٥ ثنائى الفوسفات مرة أخرى، والذي يستقبل بدوره ثانى اكسيد الكربون لتبدأ الدورة من جديد.

ومن هنا تتبين أهمية الضوء فى عملية البناء الضوئى حيث أنه هو المسئول عن تكوين القوة التمثيلية، والتي تستغل فى تفاعل الإظلام فى اختزال حامض الفوسفوجليسيريك إلى فوسفوجليسرالدهيد، والذي يتحول بدوره خلال سلسلة من التفاعلات إلى سكر، أى أن التفاعل يعتمد على الضوء ولكن بطريقة غير مباشرة.

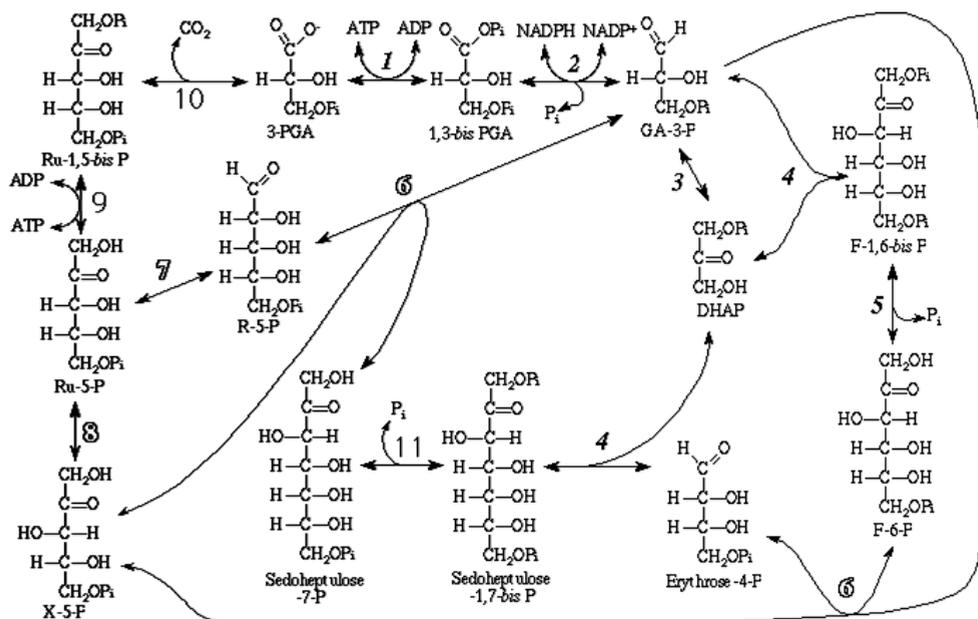
والبلاستيدات الخضراء إذا أعطيت من الخارج المواد المكونة للقوة التمثيلية، فإنها تستطيع أن تحول ثاني أكسيد الكربون إلى سكريات دون الحاجة إلى الضوء على الإطلاق. بينما المواد الملونة (الكوروفيلات والكاروتينيدات) إذا استخلصت من الخلايا فإنها لا تستطيع المساهمة في تكوين السكريات من ثاني أكسيد الكربون، وذلك لأنها فقدت ترتيبها المعروف في أغشية الجرانال في البلاستيدات الخضراء الموجودة في الخلايا الحية في النبات.



(شكل ٢٢ - أ): يوضح تفاعل الإظلام (دورة كالفن)



(شكل ٢٢ - ب): يوضح تفاعل الإظلام (دورة كالفن)



- | | | |
|---------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 1 Phosphoglycerate Kinase | 5 F-1,6-bisPhosphatase | 9 Ru-5-P Kinase |
| 2 Glyceraldehyde-3-PDH | 6 Transketolase | 10 Ru-1,5-bisP-Carboxylase |
| 3 Triose-P Isomerase | 7 P-Ribo Isomerase | 11 S-1,7-bisPhosphatase |
| 4 Aldolase | 8 P-keto-pento-Epimerase | |

N= Glycolytic Pathway Enzymes

SN= Pentose Phosphate Pathway Enzymes

©R. Faselk 1997

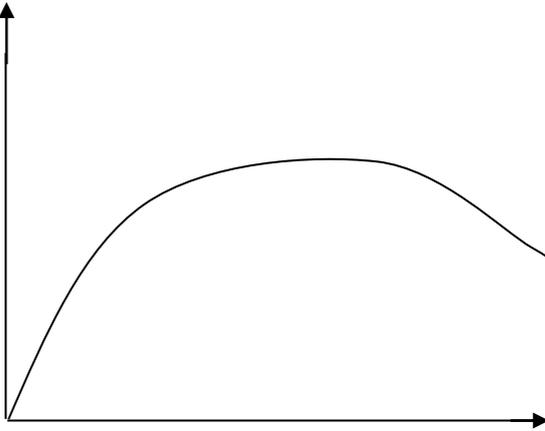
(شكل ٢٢ - ج): يوضح تفاعل الإظلام (دورة كالفن)

العوامل التي تؤثر في عملية البناء الضوئي

١- ثاني أكسيد الكربون:

بالرغم من أن نسبة CO_2 في الجو لا تزيد عن ٠,٠٣ % إلا أن هذه الكمية تكفي تماما لإتمام هذه العملية، وعند توفر الظروف المختلفة من الضوء والحرارة، فإن سرعة العملية تزداد بازدياد تركيز ثاني أكسيد الكربون. وتستمر هذه الزيادة إلى حد معين بعدها تبدأ سرعة العملية في الانخفاض (شكل ٢٣)، حيث أن نسبة ك أ_٣ العالية تكون سامة للنبات. وهناك بعض نباتات تتحمل نسبة عالية من CO_2 ، والتي تصل إلى ١٥% وتختلف كمية CO_2 المناسبة من نبات لآخر.

معدل التمثيل الضوئي



تركيز CO_2

(شكل ٢٣): يوضح العلاقة بين تأثير تركيز CO_2 على معدل التمثيل الضوئي

٢- الضوء

يمثل الضوء العامل الرئيسي في عملية البناء الضوئي، حيث أن سرعة البناء الضوئي تزداد مع زيادة شدة الإضاءة إلى حد ما، ثم تبدأ بعدها سرعة البناء الضوئي في الإنخفاض، حيث أن الضوء الزائد عن حد معين يكون له تأثير ضار على النبات، حيث يهدى ذلك إلى تأكسد الكلورفيل ضوئياً وتسمى هذه **الحالة ضريبة شمس Solarization**. والضوء الذي يؤثر في عملية البناء الضوئي هو الضوء المرئي فقط الذي يتراوح طول موجته ما بين ٣٥٠-٧٥٠ نانومتر، وليس كل الأطياف الضوئية تؤثر بنفس القوة إذ أنه قد ثبت عند تتبع سرعة البناء الضوئي مع أطوال الموجات المختلفة، أن سرعة البناء الضوئي تكون أعلى ما يمكن في **منطقة الضوء الأحمر، بعده الضوء الأزرق** أما في الضوء الأصفر والأخضر فهي أقل ما يمكن.

٣- درجة الحرارة:

تزداد سرعة البناء الضوئي بارتفاع درجة الحرارة وتبدأ من حوالي 6°C ، ويستمر الارتفاع حتى حوالي درجة 37°C ، وبعد ذلك تنخفض سرعة البناء حتى درجة 55°C (شكل ٢٤)، حيث أن هذه الدرجة تعتبر قاتلة لمعظم الخلايا النباتية. **وهناك ثلاثة درجات من الحرارة هي:-**

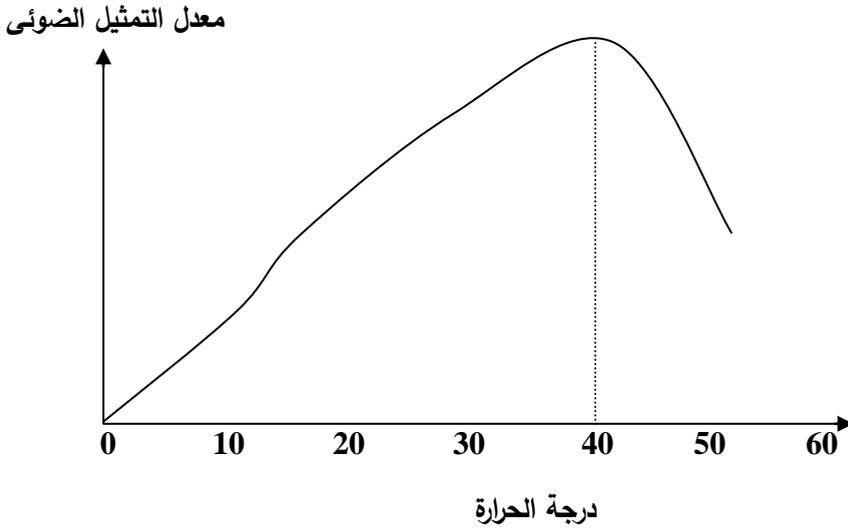
١- **درجة حرارة صغرى** والتي تحتها تتوقف العملية نهائياً ولكنها يمكن أن تعود إلى العمل عندما تعود الحرارة إلى الدرجة العادية.

٢- درجة حرارة مناسبة والتي عندها تكون سرعة العملية أعلى ما يمكن،

٣- درجة حرارة عظمى والتي تتوقف العملية بعدها نهائياً، ولا يمكن للخلايا أن تستعيد

نشاطها بعد ذلك حتى ولو تحسنت الظروف. وهذه الدرجات الثلاث الحرجة تختلف من بيئة

إلى أخرى، وكذلك من نبات إلى آخر وحتى في أطوار النباتات المختلفة.



(شكل ٢٤): يوضح تأثير درجة الحرارة على معدل التمثيل الضوئي

٤- الماء Water

يمثل الماء مادة أولية في عملية البناء الضوئي، هذا بالإضافة إلى أن سيتوبلازم

الخلية ما هو إلا محلول مائي، فعند نقص كمية الماء تزداد لزوجة السيتوبلازم، وبذلك تقل حركة

المحتويات مما يؤدي إلى توقف الكثير من العمليات الحيوية، والتي منها عملية البناء الضوئي.

٥- الأكسجين Oxygen

الأكسجين لازم وضروري لعملية التنفس، والتي من نتيجتها إنتاج الطاقة اللازمة لكل العمليات الحيوية الأخرى فى النبات، ومنها بناء الإنزيمات اللازمة لعملية البناء الضوئى. ولكن إذا ما زادت نسبة الأكسجين عن الحد اللازم لعملية البناء الضوئى، فإنه قد يعوق عملية البناء الضوئى وذلك لأن الأكسجين يمكن أن يتحد مع السكر الخماسى Ribulose-1,5-diphosphate بدلا من إتحاد CO_2 معه لإنتاج الجلوكوز، وفى هذه الحالة فإن المركب الوسطى الناتج من من اتحاد السكر الخماسى مع الأكسجين، ينشطر بعد ذلك مكونا فى النهاية سكرًا ثلاثيا وحمض جليكوليك، وهو ما يسمى **بالتنفس الضوئى** وذلك على حساب تثبيت CO_2 .

٦- الكلورفيللات Chlorophylls

من المعروف انه لا يمكن أن يتم بناءا ضوئيا فى غياب الكلورفيللات، وهذه المواد الملونة تترتب فى البلاستيدات الخضراء فى جسيمات الجرانا، وتتجاور جزئياتها بشكل خاص يسمح بامتصاص وانتقال الطاقة الضوئية خلالها. وتسمى مجموعات أو جزئيات الكلورفيل المتجاورة هذه **بالوحدة النباتية** وهى حوالى ٥٠٠ جزئى، ويمتص الكلوفيل الضوء الأحمر والأزرق ، وهناك أنواعا مختلفة من الكلورفيل أ، ب ، ج، كما أن هناك أصباغ مساعدة موجودة على أغشية الجرانا للكلورفيللات والكاروتينيدات.

نظرية العوامل المحددة

وتداخل العوامل المختلفة في عملية البناء الضوئي:

عند دراسة اي عملية حيوية كانت ام غير حيوية، ودراسة العوامل المختلفة التي تؤثر عليها فان اصغر هذه العوامل هو الذي يحدد سرعة هذه العملية.

فإذا كان مثلاً في عملية البناء الضوئي متوفر CO_2 ودرجة الحرارة، وكل الظروف الأخرى فيما عدا الضوء فان سرعة العملية تكون صفراً. وبازدياد شدة الضوء تزداد سرعة العملية.

أى أن اقل هذه العوامل هو الذى يحكم سرعة عملية البناء الضوئي، وبالمثل في حالة CO_2 .

ولقد صاغ "بلاكمان" هذا المبدأ او النظرية بأن قال **(عندما تتوقف عملية ما على عوامل**

مختلفة فان سرعة هذه العملية يحكمها أضعف هذه العوامل) وقام بلاكمان بتطبيق ذلك

على عملية البناء الضوئي.

فإذا كان لدينا ورقة نبات في ظروف تسمح لها بتمثيل 3 سم من CO_2 فى الساعة، وليس

هناك غير 1 سم 3 فإننا مهما نزيد من شدة الضوء، فان سرعة عملية البناء الضوئي لا تزيد

عن 1 سم 3 فى الساعة، وعند زيادة CO_2 بالتدريج فان سرعة العملية تزداد معها بالتدريج، أى

أن سرعة البناء الضوئي تتوقف فى هذه الحالة على تركيز ما قيمته 5 سم 3 فى الساعة، بعدها

مهما ارتفعت نسبة CO_2 فان سرعة البناء الضوئي تبقى ثابتة، ويحكم العملية فى هذه الحالة

عامل آخر يجب أن يرتفع نسبته وهكذا. وهذا يؤدي إلى إنه عند دراسة تأثير عامل ما على

عملية ما، فلا بد أن تكون كل العوامل الأخرى موجودة بكمية وافرة وليست محدودة.

الباب الأول

الأيض النباتي

الفصل الثالث

٣- التنفس Respiration

٣- التنفس Respiration

معامل التنفس

ميكانيكية التنفس:

- ١- المرحلة الأولى (مرحلة تكسير السكر)
- ٢- المرحلة الثانية (دورة كرب)
- ٣- المرحلة الثالثة (السلسلة التنفسية)

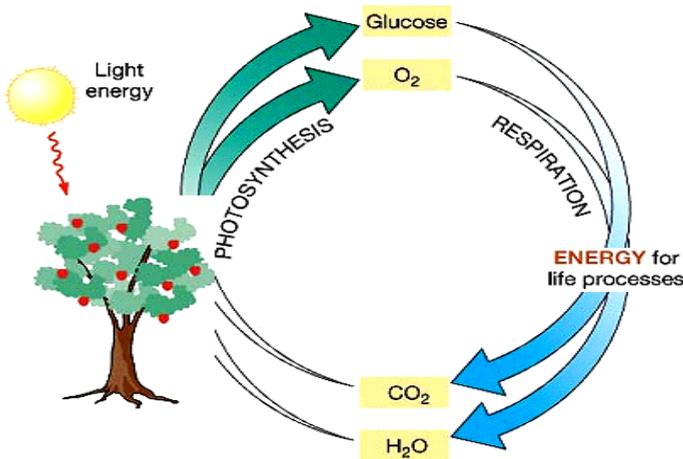
طاقات التنفس

العوامل المؤثرة على عملية التنفس

- ١- الماء
- ٢- الحرارة
- ٣- تركيز الأكسجين في الجو
- ٤- تركيز ثاني أكسيد الكربون في الجو
- ٥- المادة المستخدمة في التنفس
- ٦- تأثير بعض المواد الكيميائية الغريبة على الخلية

٣- التنفس Respiration

تقوم كل الخلايا الحية بعملية التنفس، أي أنها تأخذ الأكسجين وتعطي ثنائي أكسيد الكربون، وتعرف عملية التنفس بأنها عملية تحطيم للمركبات المعقدة التي تكونت في عملية البناء الضوئي، واستخلاص طاقة من هذه العملية لإستعمالها في العمليات الحيوية التي تحدث في الكائن الحي، وذلك في وجود الأكسجين (شكل ٢٥). ويسمى ذلك بالتنفس الهوائي. ولكن إذا تمت هذه العملية في غياب الأكسجين فإنها تسمى بالتنفس اللاهوائي أو التخمر الكحولي. وتمثل المعادلة الآتية محصلة عملية التنفس:



(شكل ٢٥): يوضح رسم تخطيطي لعلاقة عملية التنفس بعملية البناء الضوئي

معامل التنفس Respiratory Quotient RQ:

عند قياس التنفس يُقاس عادة كل من نسبة الأوكسجين الممتص وثاني أكسيد الكربون المنطلق، ونسبة ثاني أكسيد الكربون المنطلق إلى نسبة الأوكسجين يسمى بمعامل التنفس.

$$\text{معامل التنفس} = \frac{\text{ثاني أكسيد الكربون المنطلق}}{\text{الأوكسجين الممتص}}$$

وتختلف قيمة هذا العامل من نبات الى آخر ومن ظرف إلى آخر. وتختلف هذه القيمة أيضا حسب المادة المستعملة في التنفس فإذا كانت **المادة المستعملة:-**

- ١- **مادة كربوهيدراتية:** فإن معامل التنفس = ١، حيث يستهلك النبات جزء من الأوكسجين لكل جزء ثاني أكسيد الكربون يتم إطلاقه.
- ٢- **مادة دهنية:** فإن معامل التنفس يكون أقل من الواحد حوالي ٠.٧، حيث أن المواد الدهنية تكون مختزلة بكمية أكبر عن المواد الكربوهيدراتية وبالتالي فإن عملية التنفس تحتاج إلى كمية أكثر من الأوكسجين لأكسدتها إلى ماء وثاني أكسيد الكربون.
- ٣- **أحماض عضوية:** فإن معامل التنفس يكون أكبر من الواحد، حيث أن الأحماض تكون متأكسدة بدرجة أكبر عن المواد الكربوهيدراتية، وبالتالي فهي تحتاج إلى أكسجين أقل لأكسدتها إلى ماء وثاني أكسيد الكربون.

ميكانيكية التنفس:

عملية التنفس سواء كانت في النبات أو الحيوان، تتكون من عدد هائل من التفاعلات،

والتي يمكن جمعها في ثلاث مراحل رئيسية هي:-

١- المرحلة الأولى (مرحلة تكسير السكر أو التحلل الجليكوزي Glycolysis) وتتم في

السيتوبلازم.

٢-المرحلة الثانية (دورة كربس (Kreb's Cycle) وتتم في الميتاكوندريا.

٢- المرحلة الثالثة (السلسلة التنفسية Respiratory Chain) وتتم في الميتاكوندريا.

وسنتناول هذه المراحل بالتفصيل:-

١-المرحلة الأولى (مرحلة تكسير السكر Glycolysis)

هذه المرحلة تسمى أيضا باسم Embden-Myerhof-Parnas (EMP) ، أو بمسلك

الهكسوز ثنائي الفوسفات Hexose Diphosphate Pathway، وهذه المرحلة تتم في

السيتوبلازم وفيها يقوم النبات بتكسير السكر السداسي (الذي تم تخليقه في عملية البناء

الضوئي) إلى ٢جزء من حامض البيروفيك Pyruvic acid وتتم على مرحلتين (شكل ٢٦)

هما:-

أ- تحويل الجلوكوز Glucose الى سكر الفركتوز ٦،١ ثنائي الفوسفات

١- يتحول الجلوكوز إلى جلوكوز ٦- فوسفات، بواسطة ATP وبمساعدة انزيم

. Hexokinase

ملحوظة:

إذا كانت المادة الكربوهيدراتية سكروز أو نشا، فكل منهما سوف يتعرض لعملية تحلل مائي أولاً، ثم يعقبه عملية أسترة مع ATP فيتحول إلى جلوكوز ١- فوسفات بواسطة إنزيم الفوسفوريليز Phosphorylase، والذي يتحول بدوره إلى جلوكوز ٦- فوسفات، ليدخل ضمن الدورة بعد ذلك.

٢- مركب الجلوكوز ٦- فوسفات الناتج سواء من الجلوكوز أو السكروز أو النشا، يتحول إلى فركتوز ٦- فوسفات. وهذه الخطوة يحفزها إنزيم فوسفوهكسوايزوميريز

Phosphohexoisomerase.

٣- تحدث فسفرة إضافية لسكر الفركتوز ٦- فوسفات، وذلك بواسطة ATP، ويساعد هذا التفاعل إنزيم الفوسفو فركتوكاينيز Phosphofructokinase، ويتكون نتيجة لذلك سكر الفركتوز ٦،١ ثنائي الفوسفات.

ب- تحويل الفركتوز ٦،١ ثنائي الفوسفات إلى ٢ جزىء من حامض البيروفيك

٤- في هذه الخطوة يتم انشطار الفركتوز ٦،١ ثنائي الفوسفات، إلى مركبين يحتوى كل منهما على ٣ ذرات من الكربون، وهما (3- phosphglyceraldehyde، Dihydroxyacetone phosphate) بمساعدة إنزيم الألدوليز Aldolase.

٥- يتحول 3- phosphglyceraldehyde إلى 1,3-Phosphoglyceric Acid وذلك بإضافة الفوسفور إلى ذرة الكربون رقم ١، بمساعدة إنزيم dehydrogenase Phosphglyceraldehyde ومرافقه الإنزيمي NAD الذى يختزل إلى NADH₂

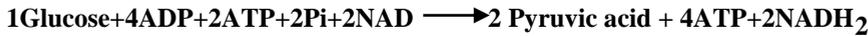
٦- يتحول ٣،١ حمض فوسفو الجليسيريك إلى ٣- حمض فوسفو الجليسيريك
 3-Phosphoglyceric Acid، حيث يفقد مجموعة فوسفات، وذلك في وجود ADP الذي
 يتحول إلى ATP بفعل مجموعة الفوسفات المفقودة، ويحفز هذه الخطوة إنزيم
 .Phosphoglycerickinase

٧- يتم تحويل 3-Phosphoglyceric Acid إلى 2-Phosphoglyceric acid، وذلك
 بواسطة إنزيم Phosphoglycericmutase.

٨- يفقد مركب 2-Phosphoglyceric acid جزئ ماء ويتحول إلى إينول حمض
 البيروفيك Phospho-enol pyruvic acid بمساعدة إنزيم الإينوليز Enolase.

والذي يتحول إلى **حمض البيروفيك**، في وجود انزيم Pyruvic kinase وجزء ADP
 الذي يتحول إلى ATP بفعل مجموعة الفوسفات الموجودة في مركب Phosph-enol
 pyruvic acid.

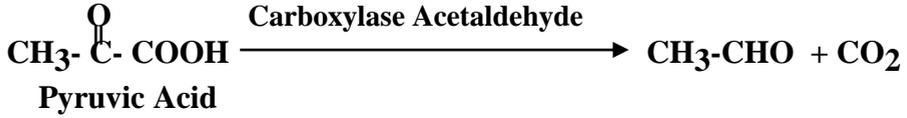
بهذه الخطوة تنتهي المرحلة الأولى من عملية التنفس (التحلل الجليكوزي)، وهي مرحلة
 لا هوائية (أى لا تعتمد على وجود الأكسجين من عدمه) وتنتهي بتكوين بعض جزيئات من
 ATP، NADH₂، ويمكن تلخيصها في المعادلة الآتية



وهي تمثل أيضا المرحلة الأولى في عملية التخمر الكحولى أو التنفس اللاهوائى.

بعد ذلك **يتحول حمض البيروفيك إلى أسيتالدهيد** بواسطة انزيم كاربوكسيليز ويتصاعد

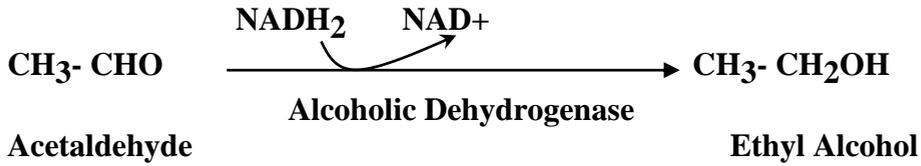
ثانى أكسيد الكربون طبقا للمعادلة الآتية:



وتتوقف الخطوة التالية على وجود الأكسجين من عدمه وعليه يحدث الآتي:-

أ- في غياب الأكسجين:-

يُختزل الأستالدهيد إلى كحول إيثيلي وفقا للمعادلة الآتية:

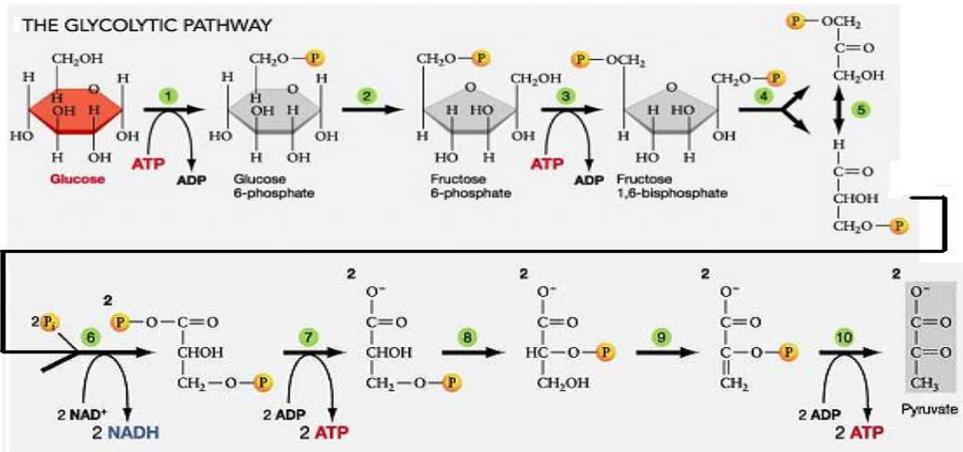


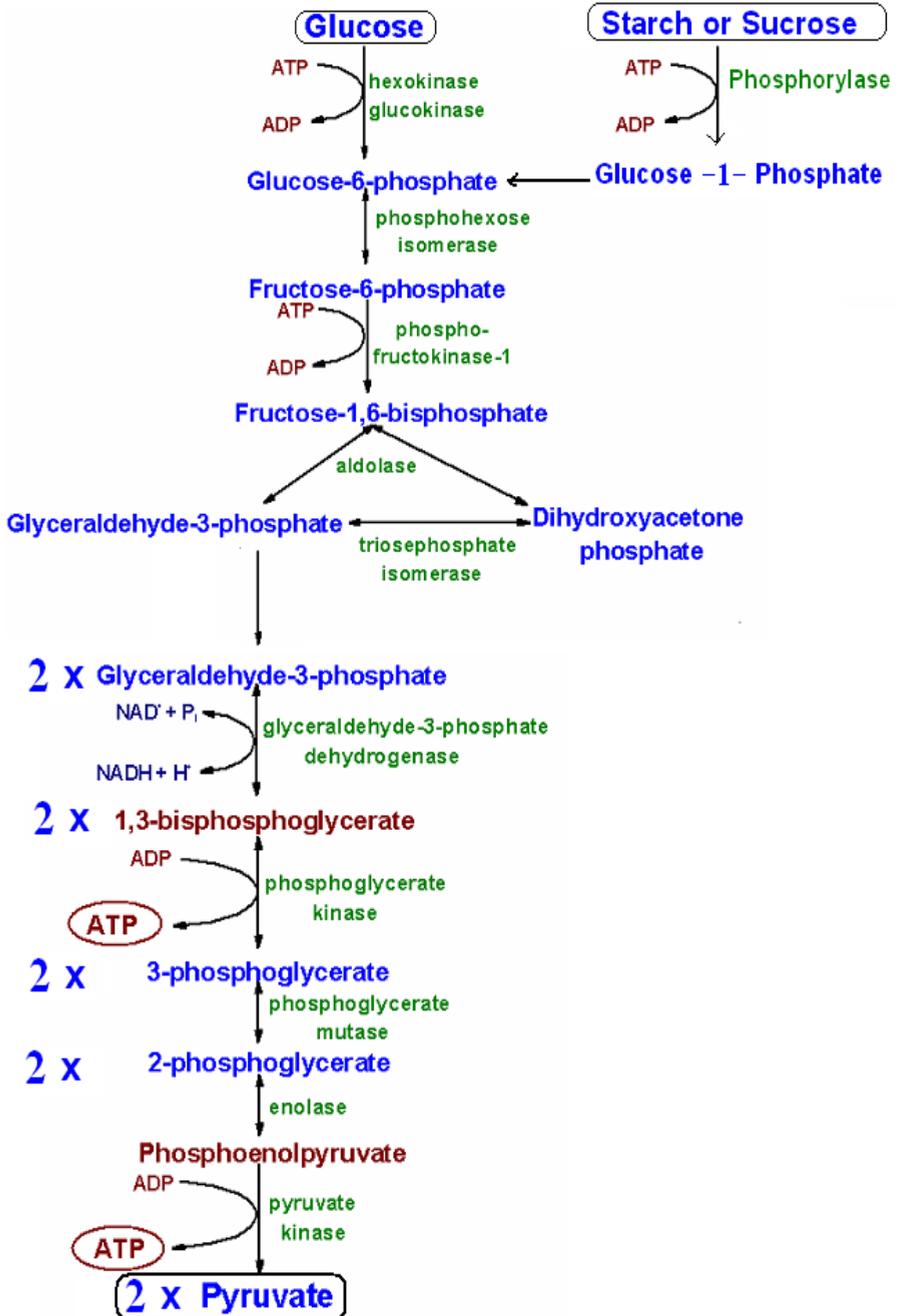
ب- في وجود الأكسجين:

يدخل الأستالدهيد في المرحلة الثانية وهي دورة كريبس ليتحول إلى ثاني أكسيد

الكربون، وتتكون مواد مختزلة يعاد أكسدتها في المرحلة الثالثة (مرحلة السلسلة التنفسية)،

وينطلق نتيجة لذلك الطاقة.



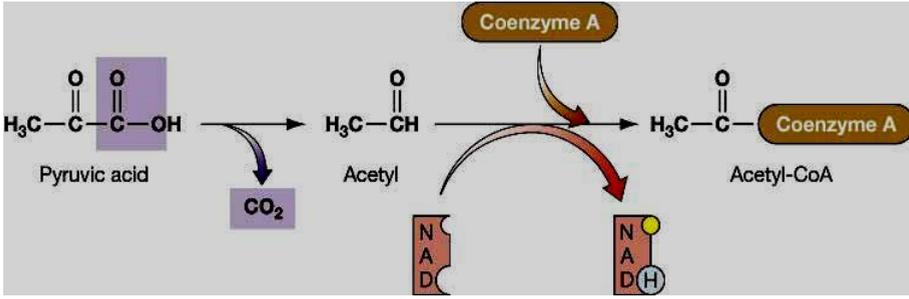


(شكل ٢٦) : يوضح تحويل الجوكوز إلى ٢ جزىء من حامض البيروفيك Glycolysis

٢- المرحلة الثانية (دورة كريس (Kreb's Cycle))

وتتم هذه المرحلة في الميتاكوندريا (شكل ٢٧أ، أو ب)، وذلك وفقا للخطوات الآتية:-

- ١- يتم اتحاد الأسيتالدهيد (الناتج في المرحلة الأولى) مع مساعد إنزيمي خاص (CO-A) ليعطى أستيل المساعد الإنزيمي (Acetyl Co -A) كما يلي:



- ٢- **التفاعل الأول** في دورة كريس يتضمن تكثيف (Acetyl Co-A) -الذي يأتي من السيتوبلازم الى الميتوكوندريا- مع Oxalo acetic acid ليعطى Citric acid ، في وجود انزيم Citric synthetase ، ويتحرر المرافق الإنزيمي (CO-A).

- ٣- يتحول بعد ذلك حمض الستريك إلى أيزو حمض الستريك Isocitric acid، عن طريق نزع جزئ ماء ، فيتكون حمض وسطى هو Aconitic acid، ثم يعاد جزئ الماء مرة أخرى ليتكون ايزو حمض الستريك، وهذان التفاعلان يساعدهما إنزيم واحد هو اكوناتيز

.Aconitase

٤- يتحول Isocitric acid الى Oxalosuccinic acid وذلك بفقد ايزو حمض الستريك

ذرتين هيدروجين، حيث يختزل بواسطتهما NAD إلى $NADH_2$ ، في وجود ديهيدروجينيز

حمض الستريك Isocitric dehydrogenase

٥- أوكسالو حمض السكسينيك يفقد CO_2 ، ويتحول إلى α -Ketoglutaric acid وذلك

بواسطة انزيم Isocitric dehydrogenase

٦- في وجود إنزيم α -Ketoglutaric dehydrogenase والعوامل المرافقة مثل CoA ،

NAD يتأكسد α -Ketoglutaric acid حيث يحدث نزع لجزئ ثانی اكسيد كربون

(Decarboxylation) والهيدروجين (Dehydrogenation)، ويتحول إلى Succinyl

CoA - وينتج CO_2 , $NADH_2$

٧- ينشط Succinyl - CoA إلى Succinic acid و CoA ، في وجود انزيم synthetase

Succinyl - CoA مع استغلال طاقة رابطته لربط مجموعة فوسفات غير عضوية بجزء

ADP لتكوين ATP.

على أن ارتباط الفوسفات بجزء ADP مباشرة ، لا يتم فقط إلا في البكتريا

والخلايا النباتية، أما في الخلايا الحيوانية، فتضاف الفوسفات غير العضوية إلى

فوسفات الجوانوزين Guanosine diphosphate GDP لتكوين GTP الذي يتفاعل

بسهولة في وجود انزيم Nucleosidediphosphate kinase مع ADP مكونا ATP.

٨- يتأكسد Succinic acid إلى Fumaric acid، وذلك بنزع الهيدروجين بواسطة إنزيم

Succinic dehydrogenase فى وجود المرافق الإنزيمى Flavin Adenine

(FAD) Dinucleotide الذى يستقبل الهيدروجين وينتج $FADH_2$.

٩- يتحول حمض الفيوماريك Fumaric acid إلى Malic acid وذلك بإضافة جزيء ماء

إليه فى وجود إنزيم الفيوماريز Fumarase.

١٠- وأخيرا تنتهى دورة كريبس بتأكسد Malic acid فى وجود إنزيم Malic

dehydrogenase والمرافق الإنزيمى NAD الذى يتحول الى $NADH_2$ إلى

Oxalacetic acid الذى بدأت به الدورة وبذلك تكون إنتهت دورة كريبس، والذى يتحد مرة

أخرى مع استيل المرافق الأنزيمى أ، ليكون حمض الستريك وتبدأ دورة كريبس مرة أخرى من

جديد، وهكذا. وبذلك تكون انتهت دورة كريبس ويتكون نتيجة لذلك:-

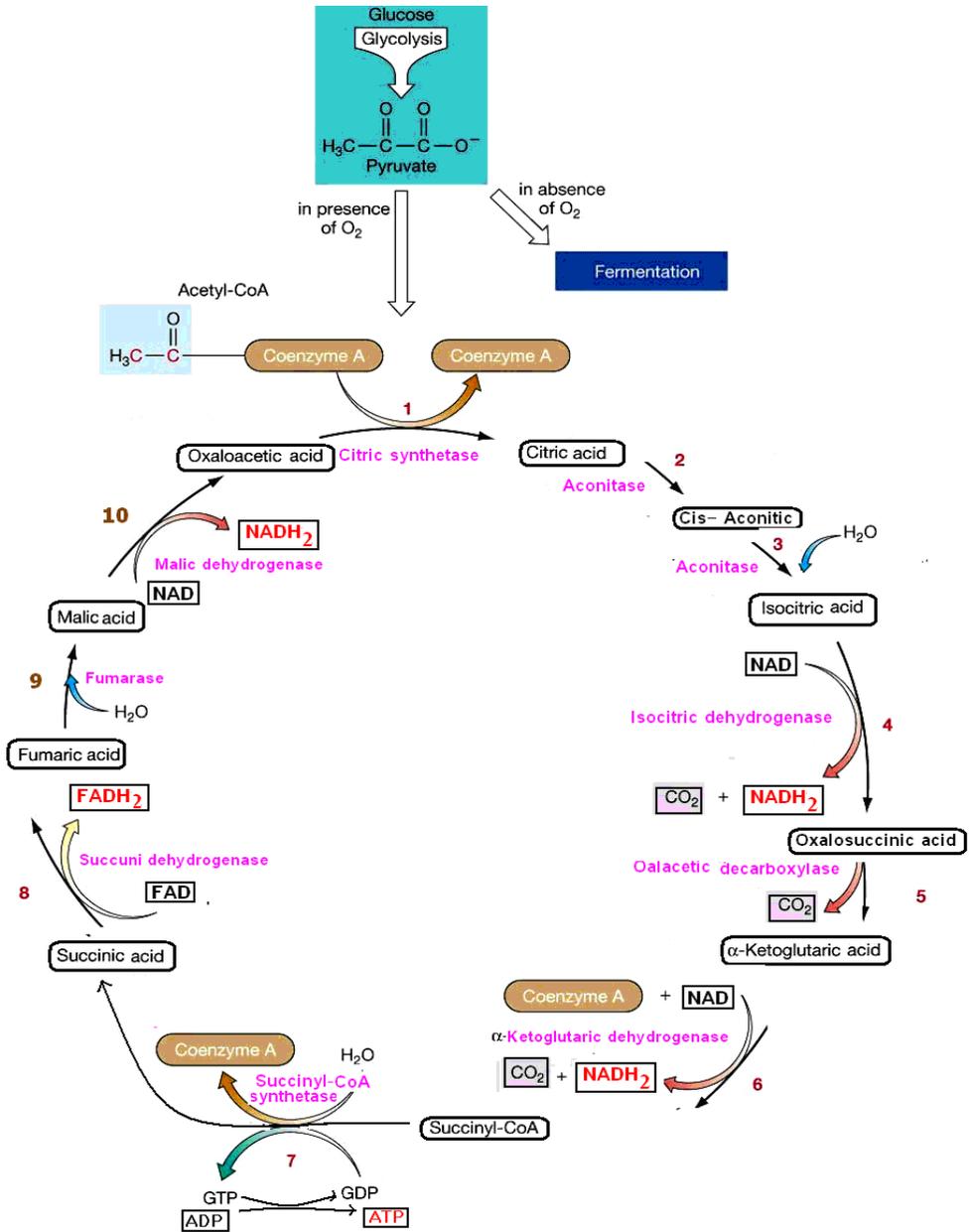
أ- عدد ٣ جزيئات من النيوكيتين اميد أدنين داى نيوكليتيدي المختزلة ($NADH_2$)

ب- عدد ١ جزيء من الفلافين اميد أدنين داى نيوكليتيدي المختزلة ($FADH_2$)

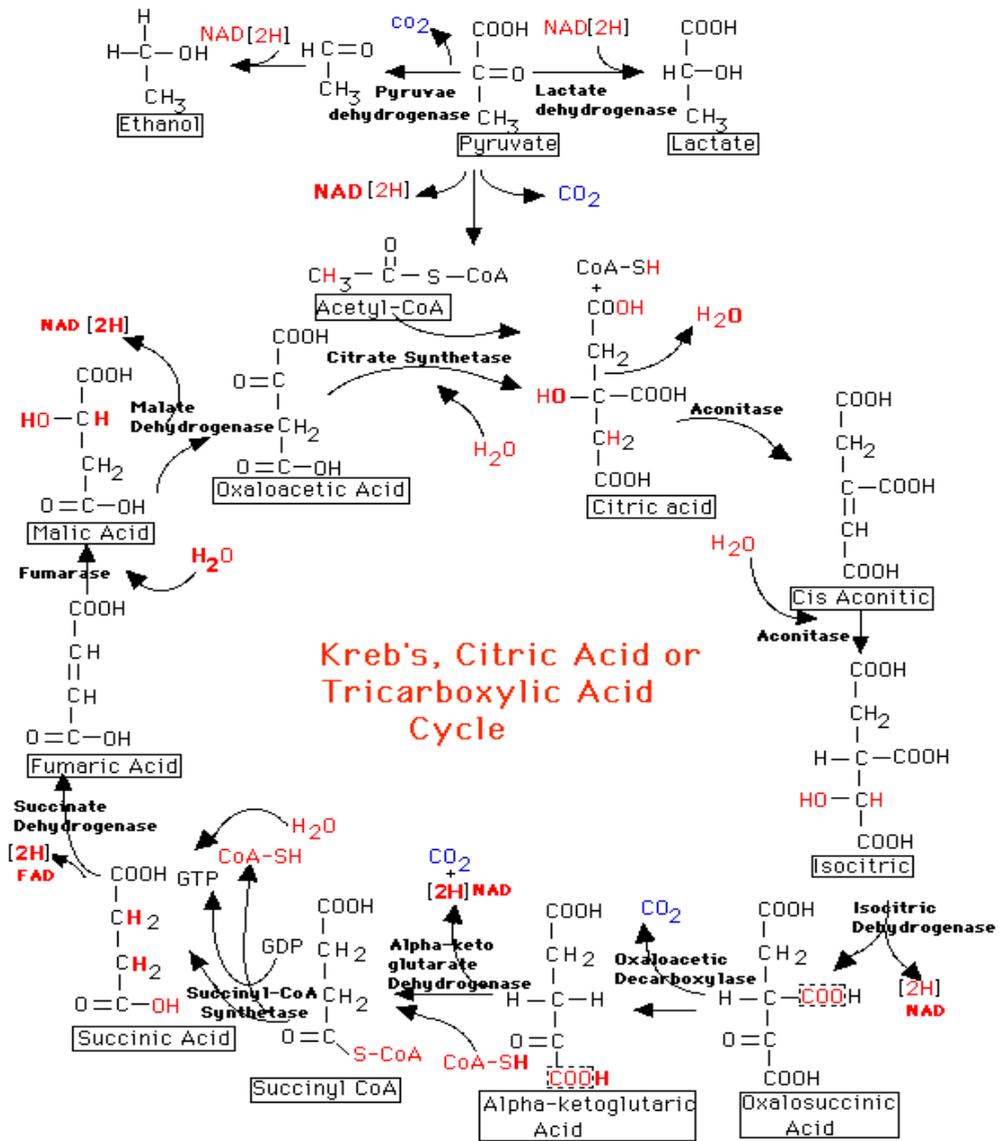
ج- عدد ٢ جزيء من ثانى أكسيد الكربون يتصاعد كل منهما فى الوسط المحيط.

بالنسبة لجزيئات ($NADH_2$) و ($FADH_2$) المختزلة فإنها تدخل فى المرحلة

الثالثة (السلسلة التنفسية) ليعاد أكسدها مرة أخرى.



(شكل ٢٧ - أ): يوضح المرحلة الثانية من عملية التنفس (دورة كريس (Kreb's Cycle))



(شكل ٢٧-ب): يوضح المرحلة الثانية من عملية التنفس (دورة كريبس (Krebs Cycle))

٣- المرحلة الثالثة (السلسلة التنفسية Respiratory Chain)

تسمى بنظام نقل الألكترون Electron Transport System (ETS) أو الفسفرة التأكسدية Oxidative Phosphoylation وتتم في الميتاكوندريا وفي هذه المرحلة يتم الآتى:-

١- يعاد أكسدة المرافقات الإنزيمية المختزلة مثل $NADH_2$, $FADH_2$ الذى تكون فى المرحلة الأولى والثانية الى NAD , FAD على التوالي، وتحرر طاقة تستغل فى تخليق جزيئات ATP من ADP، والتي يمكن استعمالها فى العمليات الحيوية المختلفة. وحيث أن عملية فسفرة ADP إلى ATP هذه تتم بطاقة آتية أساسا من عملية أكسدة، فإن هذه الفسفرة تسمى **فسفرة تأكسدية Oxidative Phosphorylation**.

٢- كمية الطاقة المتحررة أثناء مرور الهيدروجين والإلكترونات خلال السلسلة التنفسية، تكفى لفسفرة ٣ جزيئات من ADP وتحويلها إلى ATP فى حالة أكسدة جزيء واحد من $NADH_2$ بينما تكفى لفسفرة ٢ جزيء فقط من ADP وتحويلها إلى ATP فى حالة أكسدة جزيء واحد من $FADH_2$.

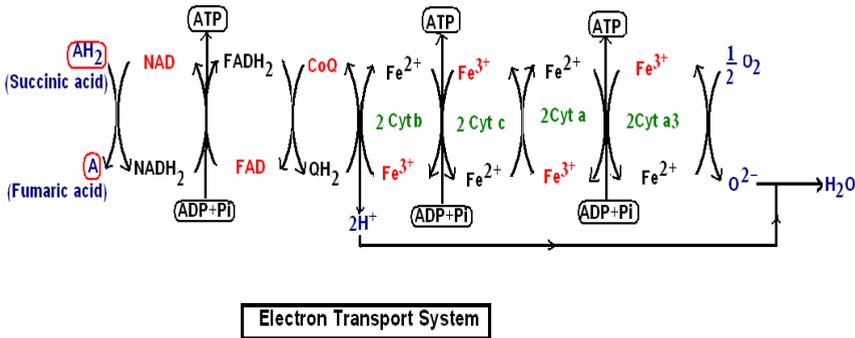
٣- يتكون فى النهاية الماء نتيجة إتحاد الأكسجين الجوى مع الهيدروجين المنطلق من $NADH_2$ أو $FADH_2$ وذلك بعد حركة الإلكترونات فى نظام يسمى Electron Transport System. والتي تتم طبقا للخطوات الآتية:-

نظام نقل الإلكترون (Electron Transport System (ETS)

نظام نقل الإلكترونات شكل (٢٨) يتكون من سلسلة من الحوامل Carriers مثل NAD, FAD، المرافق الإنزيمي كيو Co Q، والسيتوكرومات، وفي هذا النظام فإن كل خطوة من خطواته تقل مستوى طاقتها عن الخطوة السابقة لها، أي أن الإلكترون يسرى من مستوى أعلى للطاقة إلى مستوى أقل، وينتقل فرق الطاقة لتحويل ADP إلى ATP، وتتم الإلكترونات في اتجاه سلسلة السيتوكرومات والذي يتضح منه:-

١- كل زوج من الإلكترونات يمر في نظام نقل الإلكترون يترتب عليه تخليق ٣ جزيئات من ATP، ويحدث تخليق جزيئات ATP عند أكسدة NADH₂ وعند أكسدة سيتوكروم ب (Cyt b) وعند أكسدة سيتوكروم أ (Cyt a)

٢- عند أقل خطوات نقل الإلكترون طاقة، يمر الإلكترون من سيتوكروم (Cyt a3) إلى الأوكسجين الجزيئي وبذلك ينشط الأوكسجين، ويستقبل أيونات الهيدروجين الحرة ويتكون الماء في النهاية، ولذلك تسمى السلسلة التنفسية أحيانا بالأكسدة النهائية Terminal Oxidation .



(شكل ٢٨): يوضح المرحلة الثالثة من عملية التنفس (نظام نقل الإلكترون ETS)

طاقيات التنفس: Energetics of Respiratory:

تتم في عملية التنفس إنتاج طاقة تختزن في شكل ATP تستعمل عند اللزوم، لاستغلالها

في التفاعلات التخليقية والبنائية في الخلية. ولقد وجد أن ناتج الطاقة من تكسير واحد جزىء من

الجلوكوز أثناء عملية التنفس هو ٣٨ جزىء ATP، يمكن حسابهم كالتالى:-

١- عدد ٨ جزىئات من ATP نتيجة لهدم جزىء واحد جلوكوز إلى ٢ حمض بيروفيك.

٢- عدد ٦ جزىئات من ATP نتيجة لأكسدة حمض البيروفيك الى Acetyl CoA

٣- عدد ٢٤ جزىء من ATP نتيجة لأكسدة Acetyl CoA إلى CO₂ وماء

حيث أن كل جزىء من NADH₂ يعطى عند تأكسده ٣ جزىئات من ATP، بينما كل

جزىء من FADH₂ يعطى عند تأكسده عدد ٢ جزىء من ATP.

جدول : يوضح طاقيات التنفس

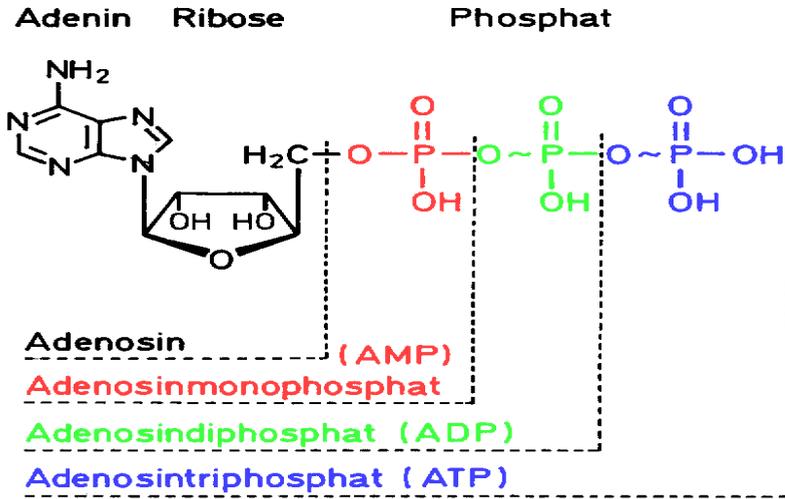
Respiration Stages	Total Input	T. Outpt	Net Gain
Glycolysis	2 NADH ₂ 4 ATP	2ATP	2 NADH ₂ = 6 ATP 2ATP = 2ATP
Conversion of Pyruvic Acid to Acetyl CoA	2 NADH ₂	Zero	2 NADH ₂ = 6ATP
Krebs Cycle	6 NADH ₂ 2 FADH ₂ 2 ATP	Zero	6 NADH ₂ = 18ATP 2 FADH ₂ = 4ATP 2ATP = 2ATP
Total	10 NADH ₂ 2 FADH ₂ 6 ATP	Zero Zero 2 ATP	10 NADH ₂ = 30ATP 2 FADH ₂ = 4ATP 4ATP = <u>4ATP</u> 38 ATP

تركيب جزئ أدينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP):

يتركب جزئ أدينوسين ثلاثي الفوسفات (شكل ٦٩) من ٣ مركبات هي:-

- ١- جزئ سكر خماسي يسمى الريبوز.
- ٢- قاعدة تسمى الأدينين متصله بأحد جوانب سكر الريبوز.
- ٣- مجموعات الفوسفات متصله بالجانب الآخر لسكر الريبوز، وهي مفتاح نشاطه.

والشكل التالي يوضح تركيب جزئ أدينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP)



تركيب جزئ أدينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP)

دور أدينوسين ثلاثي الفوسفات ATP في النبات

تحدث جميع تفاعلات إنتاج الطاقة واستهلاكها داخل الخلية النباتية الحية. ولكن كثيرا

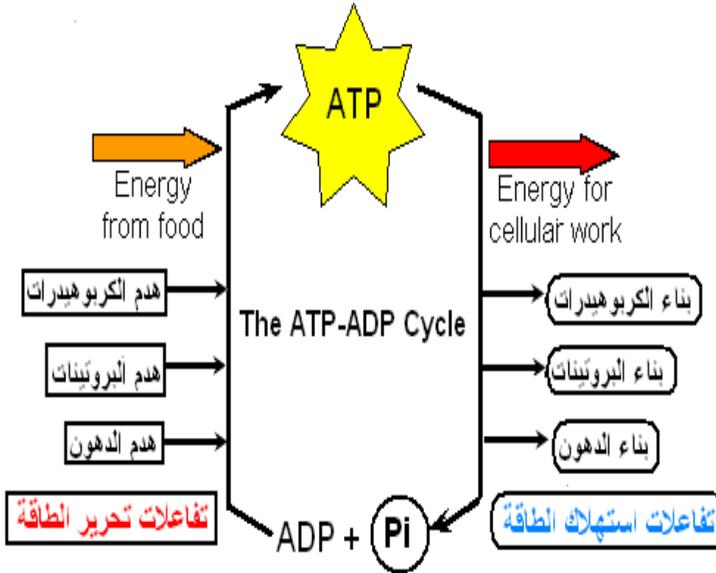
من تفاعلات إنتاج الطاقة تحدث في غياب أو عدم وجود تفاعلات لإستهلاك هذه الطاقة الناتجة.

والطاقة المتحررة تكون في صورة حرارة، وبالتالي لابد للكائن الحي أن يفقدها، ولقد منحت الطبيعة الخلية الحية وسيلة حفظ للطاقة المؤقتة، وهي جزئ أدينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP)، أي أن الطاقة المتحررة نتيجة لأكسدة المواد الكربوهيدراتية والدهنية والبروتينية تستغل في تكوين ATP ، وذلك من الفوسفور غير العضوي (Pi) ومركب جزئ أدينوسين ثنائي الفوسفات (ADP)، حيث تستخدم هذه الطاقة التي اختزنت في جزئ ATP لتسيير التفاعلات البنائية في الخلية النباتية، وينتج مرة أخرى مركب ADP، Pi طبقا للمعادلة الآتية:-



يتضح مما سبق أن جزئ ATP، في الخلية هو مركب بسيط، له القدرة على إستلام

وإستقبال الطاقة من تفاعل ما ثم نقلها لتسيير تفاعل آخر كما في المخطط التالي:



مخطط يوضح استقبال الطاقة ونقلها بواسطة ATP

العوامل المؤثرة على عملية التنفس

١- الماء Water

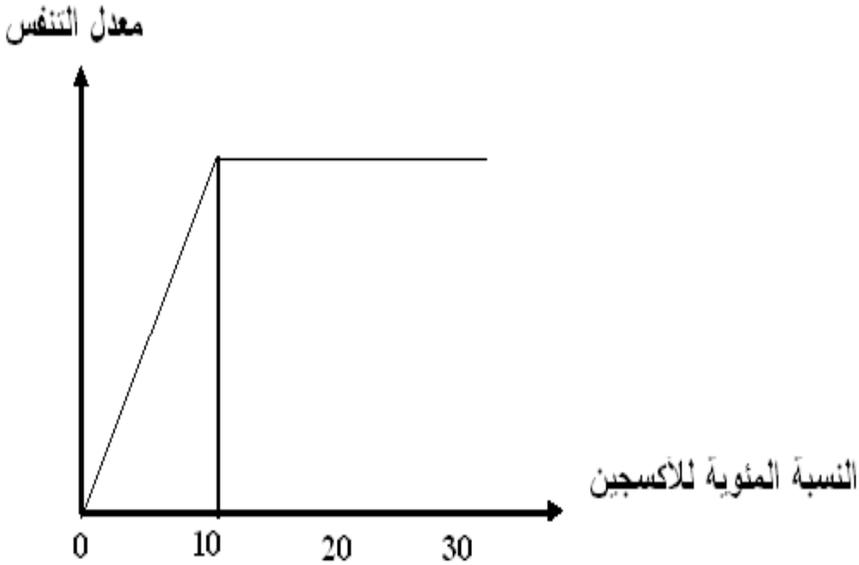
يمثل الماء حوالي ١٠-١٢% في البذور الجافة ولذلك فإن سرعة التنفس في هذه البذور قليلة جدا لدرجة لا يمكن قياسها، ولكن عندما توضع البذور في الماء، وتمتص جزء منه فإن سرعة التنفس تزداد، حتى تصل بازدياد امتصاص الماء إلى الحد الطبيعي لعملية التنفس (شكل ٢٩). حيث أن الماء يعتبر الوسط الذي تتم فيه العمليات المختلفة للنبات، وعندما تنقص نسبته تقل حيوية الخلية وبالتالي تقل العمليات الحيوية المختلفة للنبات.



(شكل ٢٩): العلاقة بين كمية الماء ومعدل التنفس

٢- تركيز الأكسجين Concentration of Oxygen

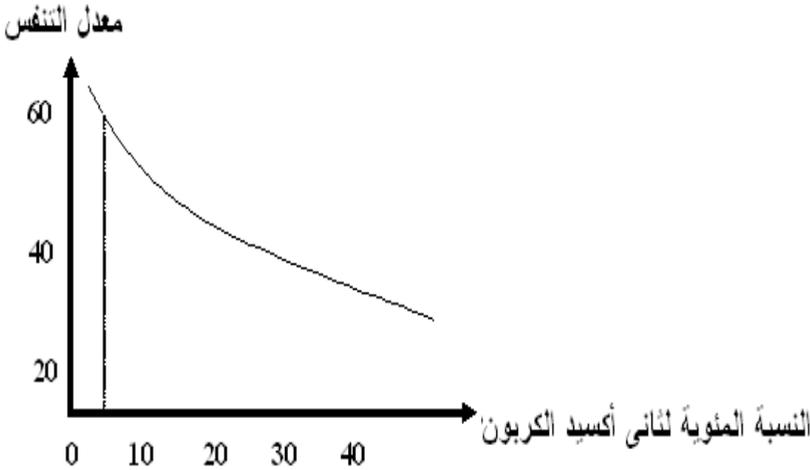
الأكسجين ضروري لحدوث دورة كربس كما أنه هو المستقبل النهائي للإلكترونات في نظام نقل الكترولونات، لذلك فإن معدل التنفس يكون شديد الحساسية للتغيرات في تركيز الأكسجين. ويمثل الأكسجين حوالي ١٠% من الغازات الحيوية المحيطة بالكرة الأرضية. ولا تتأثر عملية التنفس بإنخفاض الأكسجين حتى ١٠%، ولكن إذا انخفضت نسبة الأكسجين عن ذلك تقل سرعة التنفس حتى تتوقف نهائيا عند الإنخفاض الكبير في نسبة الأكسجين (شكل ٣٠). كما أن زيادة نسبة الأكسجين عن الحد اللازم لعملية التنفس لا تعمل على زيادة عملية التنفس.



(شكل ٣٠): يوضح العلاقة بين النسبة المئوية للأكسجين ومعدل التنفس

٣- تركيز ثاني أكسيد الكربون Concentration of Carbon Dioxide

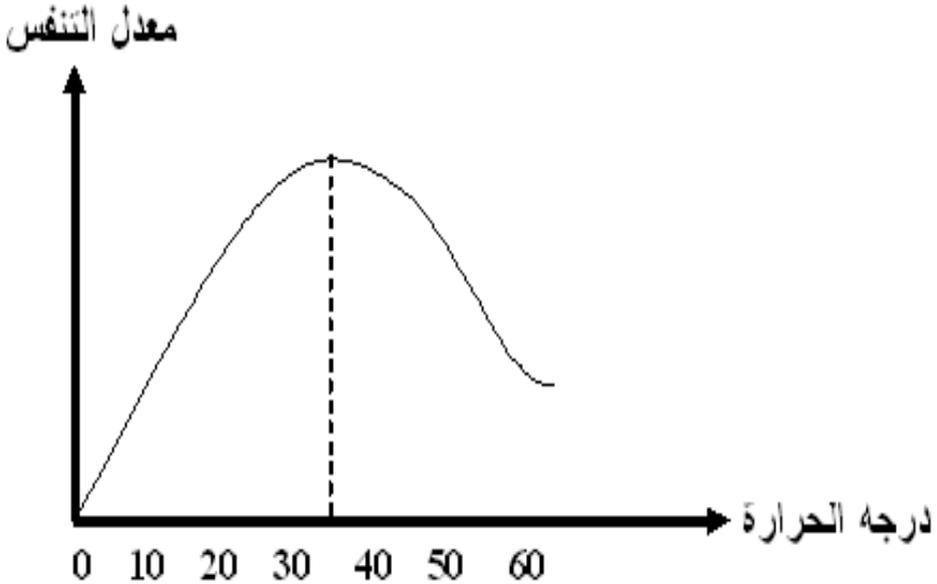
تمثل نسبة CO_2 في الجو حوالي ٠.٠٣ % وعند زيادة هذه النسبة حتى ٥% فإن سرعة التنفس في النبات لا تتأثر، وعند ازدياد تركيز ثاني أكسيد الكربون في الجو لأعلى من ذلك فإن سرعة عملية التنفس تبدأ في الانخفاض (شكل ٣١)، وهذه ميزة تتميز بها النباتات عن الحيوان حيث أن النبات له القدرة على تحمل نسبة أعلى من ثاني أكسيد الكربون، بينما هذه النسبة قاتلة بالنسبة للحيوان. والتأثير المثبط لثاني أكسيد الكربون يكون جزئياً بطريقة غير مباشرة، حيث أن ثاني أكسيد الكربون قد يسبب غلق الثغور في الورقة، وبذلك يحد من عملية تبادل الغازات، مما قد يؤدي إلى رفع نسبة التركيز الداخلي لثاني أكسيد الكربون، وبذلك يحد من معدل التنفس.



(شكل ٣١): يوضح العلاقة بين النسبة المئوية لثاني أكسيد الكربون ومعدل التنفس

٤- درجة الحرارة Temperature

من المعروف أن تفاعلات التنفس تحفزها الإنزيمات، وبالتالي فهي حساسة للتغيرات في درجة الحرارة، حيث أن مدى درجة الحرارة التي تحدث فيه هذه التفاعلات ضيق للغاية. وبالتالي فإن معدل التنفس عند صفر درجة مئوية يكون منخفض جداً، ثم تزداد سرعة التنفس بازدياد درجة الحرارة حتى تصل إلى درجة الحرارة المحطمة لفعالية الإنزيمات، وعموماً يكون أعلى معدل للتنفس يمكن الحصول عليه بين درجة حرارة ٣٥ - ٤٥ م°، وعندما ترتفع درجة الحرارة أكثر من ذلك فإن سرعة التنفس تبدأ في الهبوط، حتى إذا وصلت درجة الحرارة إلى الدرجة القاتلة تتوقف عملية التنفس نهائياً (شكل ٣٢).



(شكل ٣٢): يوضح العلاقة بين درجة الحرارة ومعدل التنفس

٥- إتاحة مادة التفاعل (المستخدمة في التنفس) Substrate Availability

تعتمد سرعة التنفس على نوع وطبيعة المادة العضوية المستغلة في عملية التنفس، وتمثل المواد السكرية الأساس في هذه العملية، يليها المواد الدهنية ثم المواد البروتينية. أى أن الخلية تلجأ أولاً إلى استغلال المواد السكرية، حتى إذا نفذت هذه المواد لجأت إلى استغلال المواد الدهنية حتى إذا نفذت هذه المواد لجأت إلى استغلال المواد البروتينية، وعندها تتأثر حيوية الخلية إذ أن المواد البروتينية تمثل المادة البنائية لجسم الخلية النباتية. وبالتالي فإن هدم البروتينات يعتبر ضار بالخلايا النباتية.

٦- الأملاح غير العضوية Inorganic Salts

لوحظ أن معدل التنفس يزداد إذا نقل النبات أو النسيج النباتي من الماء إلى محلول ملحي، وكمية الزيادة في معدل التنفس في هذه الحالة تسمى بالتنفس الملحي Salt Respiration.

ومن أهم غير العضوية التي تؤثر بطريقة مباشرة أو غير مباشرة عناصر كل من الفوسفور - الكالسيوم - المنجنيز - الزنك - الحديد.

٧- الجروح Wounds

من المعروف أن جرح أحد أعضاء النبات يزيد من معدل التنفس، والسبب في ذلك أن جرح النبات يترتب عليه حدوث نشاط مرستيمي في منطقة الجرح ، نتيجة لتكوين كالوس الجرح Wound Callus، ومن هنا يمكن تفسير العلاقة بين الجروح وزيادة معدل التنفس، وهو أن زيادة معدل النشاط المرستيمي يحتاج الى معد اكبر في معدل التنفس، كما أن الزيادة في

معدل التنفس بعد إحداث الجرح يكون نتيجة لوفرة مادة التنفس وهى السكريات، فقد لوحظ زيادة فى المحتويات السكرية للبطاطا بعد قطعها.

٨- التنبیه (أو الحث) الميكانيكى Mechanical Stimulation

فى كثير من الدراسات لوحظ أن معدل تنفس الأوراق يزداد بمسك هذه الأوراق باليد أو ثنيها، حيث لوحظ بمسك أو لمس أوراق بعض النباتات باليد بلغت زيادة فى معدل التنفس حوالى ١٨.٣%، ولكن تقل هذه الإستجابة بتكرار هذه العملية.

الباب الأول

الأيض النباتي

الفصل الرابع

٤- الأيض النيتروجيني Nitrogen Metabolism

٤- الأيض النتروجينى فى النبات Nitrogen Metabolism in Plant

١ - تثبيت النيتروجين .

٢ - تحويل الأمونيا إلى أحماض أمينية (تخليق الأحماض الأمينية).

٣- تخليق البروتين (تحويل الأحماض الأمينية إلى بروتين).

• البروتينات البسيطة .

• البروتينات المرتبطة (المتقارنة) .

٤ - هدم البروتينات

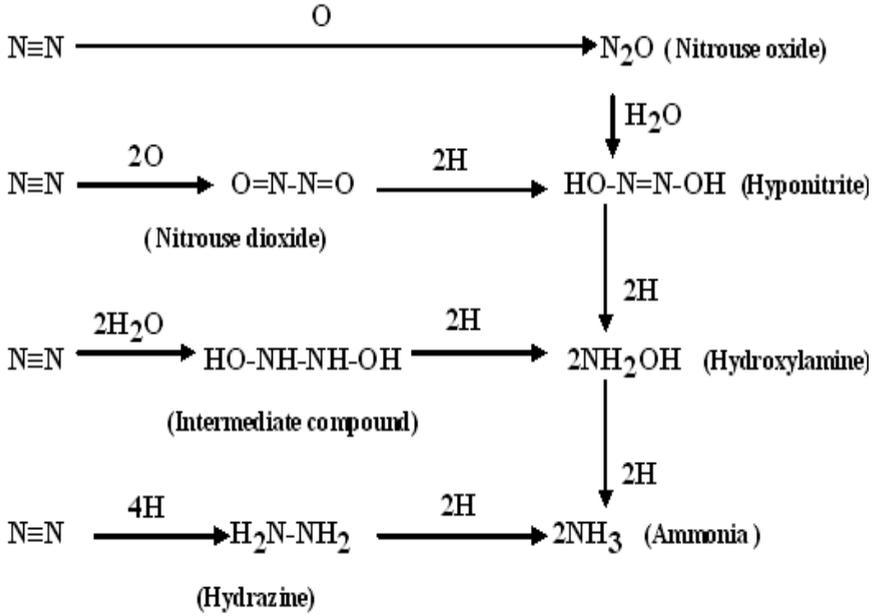
٤- الأيض النيتروجيني في النبات Nitrogen Metabolism in Plant

يلى النيتروجين الكربون في الأهمية بالنسبة للتركيب والتكوين الحيوي للنبات، إذ أنه يدخل في تركيب البروتينات والتي تشكل الهيكل النباتي لمعظم الخلايا. يوجد النيتروجين في الجو بنسبة حوالى ٧٨% ويعتبر غازا خاملا، ولذلك لا يمكن للنبات الراقى استغلاله مباشرة. ولكى يُستغل النبات النيتروجين فلا بد أن يكون على صورة أخرى مثل النترات وأملاح الأمونيوم أو فى مركبات عضوية، وحيث أن التربة لا تحتوى على نيتروجين فان النبات يلجأ إلى المركبات النيتروجينية الموجودة بها، والتي تقوم بتثبيتها الكائنات الدقيقة الموجودة فى التربة.

والنبات هو الكائن الحى الذى يستطيع أن يختزل النيتروجين غير العضوى الى نيتروجين فى صورة عضوية يمكن الإستفادة منه، ويوجد النيتروجين فى حالة مختزلة فى شكل أحماض أمينية أو أميدات. ولكن معظم النيتروجين يوجد فى البروتينات والأحماض النووية، حيث يتحول النيتروجين إلى أحماض أمينية والتي تتحول بدورها إلى بروتين ويتم ذلك على ثلاثة مراحل هى:

١- تحويل النيتروجين إلى أمونيا (تثبيت النيتروجين).

٢- تحويل الأمونيا إلى أحماض أمينية (تخليق الأحماض الأمينية).



٢- تحويل الأمونيا إلى أحماض أمينية (تخليق الأحماض الأمينية):

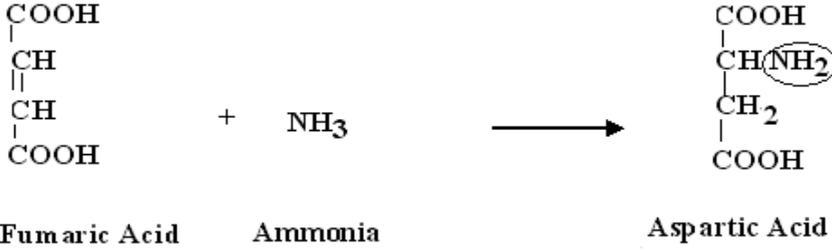
بعد تثبيت النتروجين في شكل أمونيا يتم التفاعل مع المركبات العضوية المشتقة من

السكر الناتج من عملية البناء الضوئي، حيث تتحد مجموعة الأمين مع هذه المركبات لتكوين

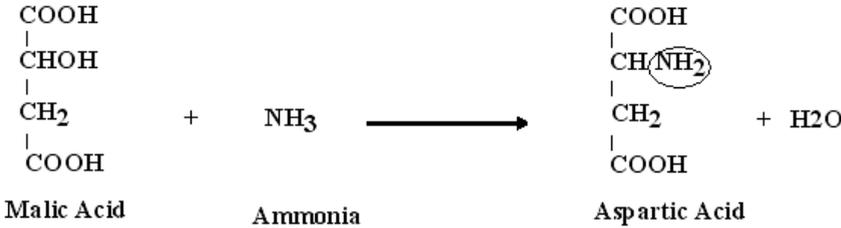
عددا من الأحماض الأمينية، وذلك في وجود الإنزيمات المناسبة بإحدى الطرق التالية :-

أ- **إضافة الأمونيا إلى الأحماض العضوية** ذات الروابط المزدوجة مثل حمض الفيوماريك ليعطى

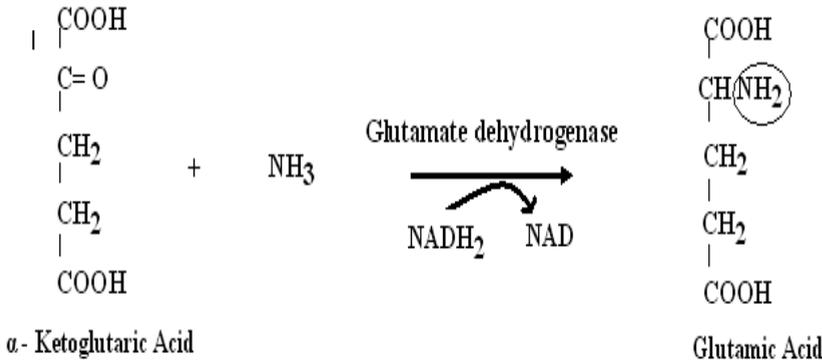
حامض الأسبرتيك الاميني .



ب- تفاعل الأمونيا مع أحماض عضوية تحتوي على مجموعة الهيدروكسيل، مثل حامض المالكيك مكونا حامض الأسبرتيك والماء .

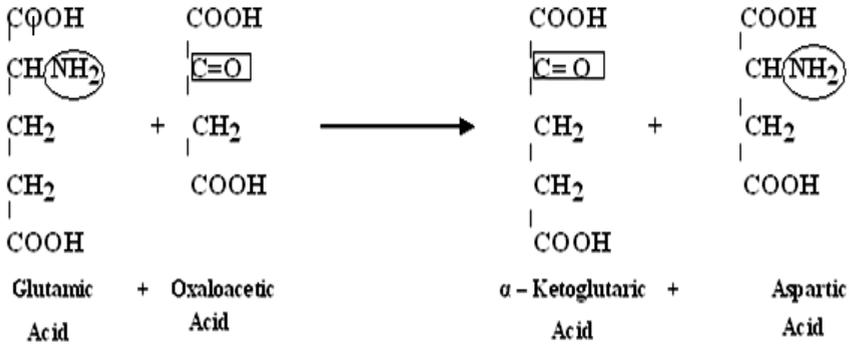


ج- تفاعل الأمونيا مع حامض الفاكيتوجلوتاريك، الذي يتكون أثناء دورة كريبس ليعطي حامض جلوتاميك والذي يستغل فيما بعد في عملية النقل الاميني .

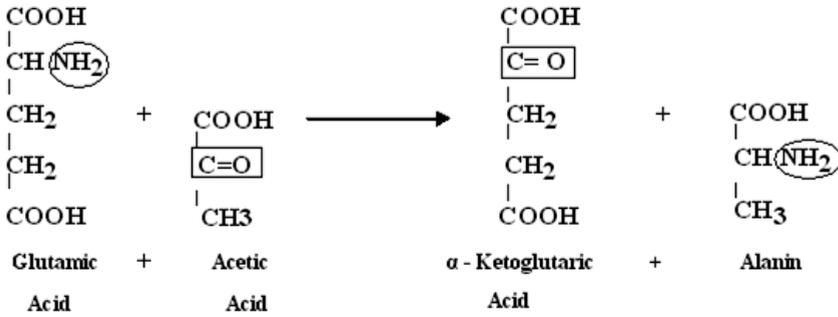


ويُستغل حامض الجلوتاميك في تكوين أحماض أمينية اخرى بعملية النقل الاميني مثل:-

١ - تحويل حمض اوكسال حمض الخليك إلى حمض الأسبرتيك:



٢ - تحويل حمض الخليك إلى حمض الآلانين:



ويمكن تكوين معظم الأحماض الأمينية بهذه الوسيلة عدا وسائل أخرى تساعد في تكوين وتخليق هذه الأحماض، على أنه يجب أن يؤخذ في الاعتبار أن لكل هذه التفاعلات أنزيمات خاصة تساعد على أتمامها. والأحماض الأمينية كثيرة جدا ولكن ما يدخل منها في تكوين البروتينات عدد بسيط لا يتعدى العشرين وهذه الأحماض هي التي توجد في الخلايا الحية، وقد توجد أحماض أخرى غير بروتينية في الخلية وتكون في هذه الحالة مكونات لمركبات أخرى غير بروتينية، وتمتاز الأحماض الأمينية بأن مجموعة الأمين بها توجد في ذرة الكربون ألفا.

٣- تخليق البروتين (تحويل الأحماض الأمينية إلى بروتين):

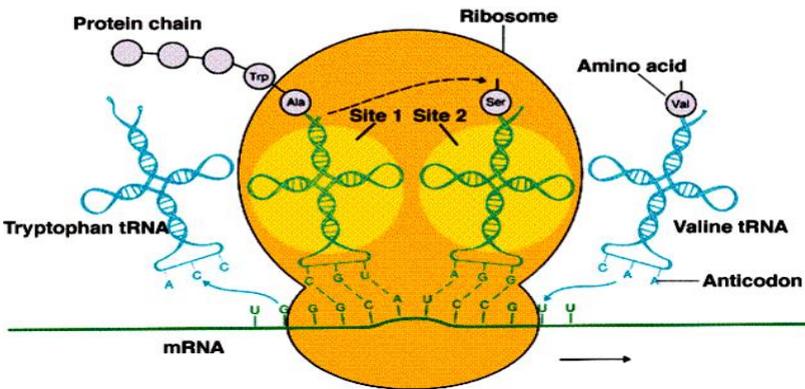
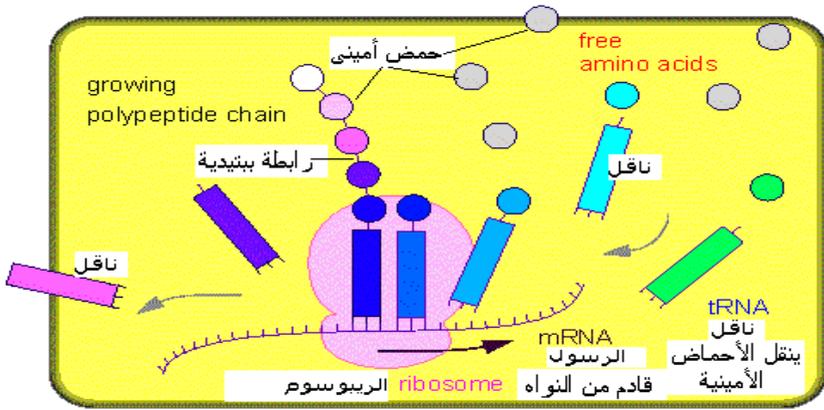
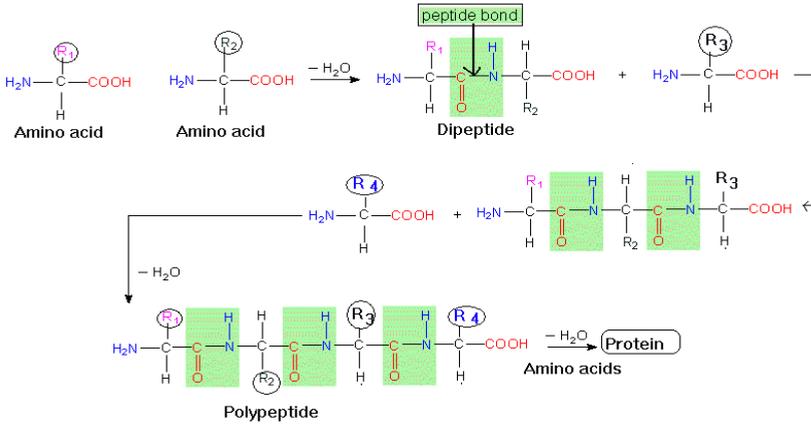
تعتبر الأحماض الأمينية وحدات لبناء البروتينات، حيث تتكون البروتينات من وحدات متكررة من الأحماض الأمينية، ويتم تخليق البروتين بتكاتف عددا من الأحماض الأمينية مع بعضها فى سلسلة عن طريق تكوين رابطة تصل ما بين المجموعة الكربوكسيلية لأحد الأحماض الأمينية وبين المجموعة الأمينية لحمض آخر، وتسمى هذه الرابطة الناتجة من إتحاد حامضين أمينين بهذا الشكل بالرابطة الببتيدية. وباستمرار عملية الإتحاد بين الأحماض الأمينية المختلفة يتكون فى النهاية البروتين (شكل ٣٣). وتحتوى أصغر الجزيئات البروتينية على عدة مئات من وحدات الأحماض الأمينية، تمثل بعض أو كل الأحماض الأمينية المعروفة مكررة عدة مرات. ولذلك نجد أن البروتينات تختلف عن بعضها البعض فى عدد وترتيب الأحماض الأمينية المكونة لها، حيث يعطى ذلك احتمالات عديدة لا يمكن حصرها، ومن هنا كانت الاختلافات بين الكائنات الحية إذ أن البروتينات هى المسؤولة عن هذا العدد الهائل من الكائنات الحية المختلفة، ويوجد نوعان من البروتينات هما:-

أ- البروتينات البسيطة Simple Proteins

تتركب من أحماض أمينية فقط، ومن أمثلتها الألبومينات Albumins

ب- البروتينات المرتبطة (المتقارنة) Conjugated Proteins

تحتوى على مركبات أخرى بالإضافة إلى الأحماض الأمينية، وهذه المركبات تسمى المجموعات النشطة، ومنها البروتينات النووية التى تحتوى على أحماض نووية بجانب الأحماض الأمينية.



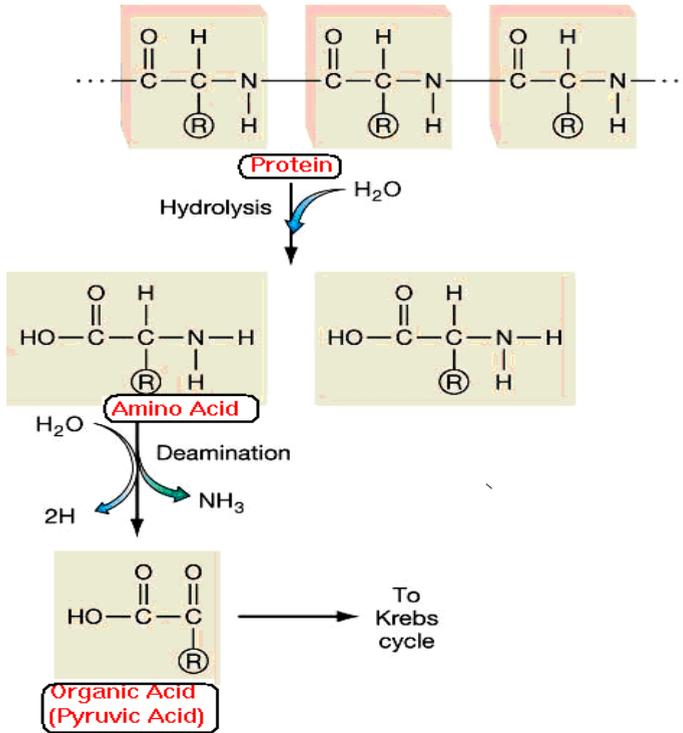
(شكل ٣٣): رسم تخطيطي يوضح كيفية تخليق البروتين من الأحماض الأمينية

٤- هدم البروتينات: Catabolism of Protein

هدم أو تكسير البروتينات (شكل ٣٤)، تتم بالتحليل المائي للبروتينات بواسطة إنزيمات التحلل المائي للبروتين، مثل إنزيم البروتينيز والبيبتيديز حيث يتحول إلى وحدات من الأحماض الأمينية.

ويمكن هدم الأحماض الأمينية لتتحول إلى مواد عضوية مثل حمض البيروفيك، والتي

تستغل في عمليات هدم أو بناء مواد أخرى في عمليات أخرى كالتالي:-



(شكل ٣٤): يوضح هدم البروتين إلى أحماض الأمينية وكذلك أحماض عضوية

الباب الأول

الأيض النباتي

الفصل الخامس

٥- ايض الدهون Fats Metabolism

٥- أيض الدهون في النبات Fats Metabolism in Plant

١ - الدهون الحقيقية

٢ - الشموع

٣ - الفسفوليبيدات

٤ - الجليكوليبيدات

التحولات الأيضية للدهون

تخليق الدهون

*تخليق الأحماض الدهنية

*تخليق الجليسرين

*تخليق الدهون (عملية الأسترة)

٢- هدم الدهون

*التحليل المائي للدهون

*تكسير الجليسرين

- تكسير الأحماض الدهنية:

١ - أكسدة بيتا β - Oxidation للأحماض الدهنية

٢ - أكسدة ألفا α - Oxidation للأحماض الدهنية

٥- أيض الدهون في النبات

Fats Metabolism in Plant

تمثل الدهون مواد إختزانية مهمة بالنسبة لمعظم النباتات وأعضائها المختلفة من البذور والثمار حتى جراثيم بعض النباتات والفطريات، وتتميز هذه المركبات بأنها لا تذوب في الماء، ولكنها تذوب في المذيبات العضوية مثل الاثير والكلورفورم وخلافه. وعند تحليلها مائيا تعطى أحماضا دهنية و جلسرين. وهي تتكون أساسا من الكربون والهيدروجين والقليل من الأكسجين بالمقارنة بالكربوهيدرات، ويمكن تقسيمها إلى المجموعات الآتية :

١- الدهون الحقيقية True Fats

٢- الشموع Waxes

٣- الفسفوليبيدات Phospholipids

٤- الجليكوليبيدات Glucolipids

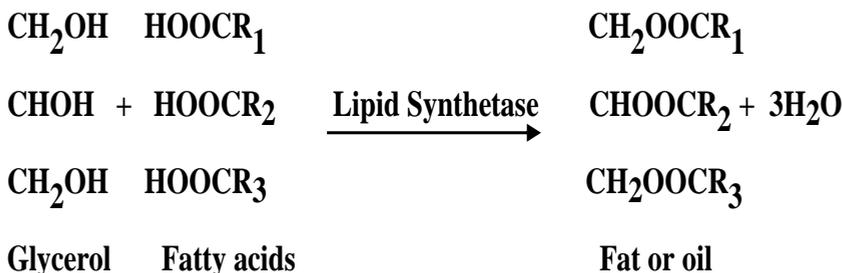
وسوف نتعرض بشئ من التفصيل لكل من هذه المجموعات.

١-الدهون الحقيقية True Fats

هذه المواد تمثل استترات للأحماض الدهنية والجليسرين. وتنتمي إليها **الزيوت**

والدهون وهي مواد متشابهة كيميائيا ولكنها تختلف في الخواص الطبيعية، فالزيوت تكون

سائلة بينما الدهون تكون **صلبة** في درجة الحرارة العادية.



وجميع الزيوت والدهون يمثلها هذا التركيب، ولكن في العادة لا تكون الأحماض الدهنية المشتركة في تكوين جزئ الدهن من نوع واحد، وهذا هو السبب في وجود اختلافات بين كل زيت وزيت أو دهن ودهن، حيث يكون ذلك راجع لشكل الأحماض الدهنية الممثلة بالرمز (R). فإذا ما كان بعضها غير مشبع (يحتوي على عدد كبير من الروابط الزوجية) فإن الدهن يكون سائل (زيوت Oils) وإذا ما كانت كلها مشبعة كانت دهون متصلبة (دهون Fats) عند درجة الحرارة العادية. تتكون الدهون أساسا من :-

أ- الجليسرين Glycerol وهو ثلاثي مجموعة الهيدروكسيل.

ب- الأحماض الدهنية Fatty Acids وهي سلسلة مستقيمة من ذرات الكربون يتراوح عدد ذراتها من ٦ ذرات الى حوالي ٣٢ ذرة كربون أو ربما أكثر. وتحتوي الأحماض الدهنية التي توجد في الطبيعة في الغالب على عدد زوجي من ذرات الكربون، ومنها ما هو فردي ولكن نادر الوجود في الطبيعة ولا يوجد إلا في النبات فقط.

قانون عدم التجانس فى الدهون:

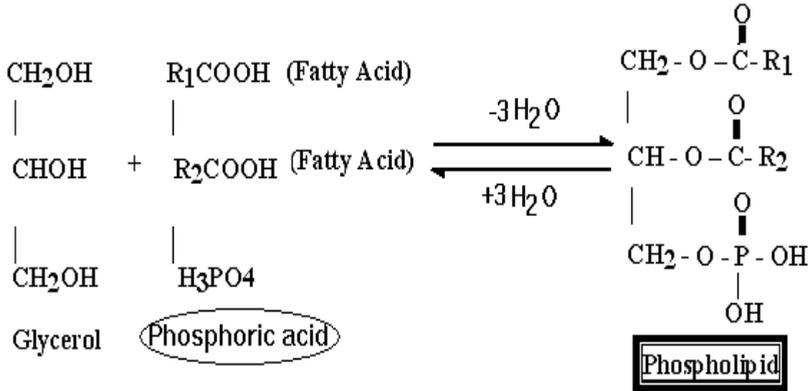
عندما تتم عملية الأسترة بين الأحماض الدهنية وبين الجليسرين، فإن التفاعل يكون فى الغالب مع ثلاثة أحماض دهنية مختلفة. فلو رمزنا للحامض الدهنى بالحرف F والجليسرين بالحرف G، فإن معظم **الدهون** تكون فى الغالب $G F_1 F_2 F_3$ أى أن الجليسرين يتحد مع ثلاث أحماض دهنية مختلفة. وقد يتم التفاعل بين حامضين دهنيين متشابهين وآخر مختلف فيكون $G F_1 F_1 F_2$ وهذا **قليل الحدوث**، أما التفاعل مع ثلاث أحماض دهنية متشابهة مثل $G F_1 F_1 F_1$ فهذا **نادر** جدا وقلما يوجد فى الطبيعة. وتوجد الزيوت والدهون فى النباتات والأخص فى الثمار والبذور، وقد تحتوى بعض البذور على حوالى ٥٠% زيت من وزنها الجاف. وتمثل الدهون مصدرا هائلا لإنتاج الطاقة أثناء التنفس، إذ أن كمية الطاقة التى تنتج من أهم زيت تعادل ما يساوى ضعفها تقريبا من أهم سكريات.

٢- الشموع Waxes

تختلف الشموع كيميائيا عن الزيوت، حيث أن عملية الأسترة تتم بين **أحماض دهنية** ذات عدد كبير من ذرات الكربون و**كحول** ليس له علاقة بالجليسرين على الإطلاق، ويحتوى على عدد كبير من ذرات الكربون. وتعتبر الشموع مادة خاملة إذ أنها توجد فى النباتات للحماية فقط فهى تغلف بعض الأوراق والثمار والبذور، ويعتبر الكيوتين الذى يغلف خلايا البشرة، وكذلك السوبرين الذى يمثل مادة هامة فى جدار خلايا الفلين من مركبات الشموع.

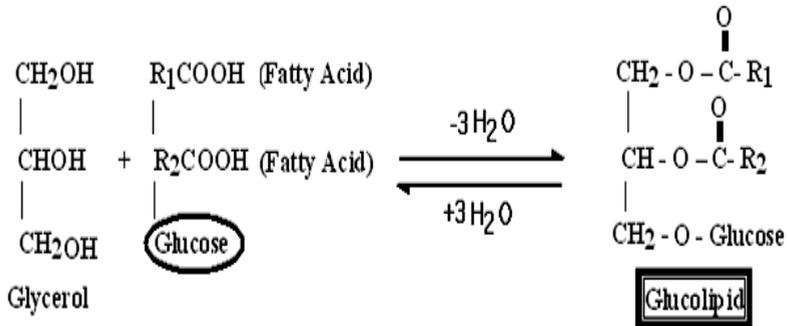
٣- الفسفوليبيدات Phospholipids

هذه المركبات تمثل دهون مفسفرة وتكون المركب الرئيسي في الأغشية البلازمية للخلايا، وهي لا تعتبر مادة اختزانية. وتتكون كيميائيا نتيجة أسترة الجليسرين مع حامضين دهنيين وثالث هو **حامض الفوسفوريك** كالتالي:-



٤- الجليكوليبيدات Glucolipids

تمتاز هذه المركبات بأنها تحتوي على سكريات بالإضافة إلى الأحماض الدهنية، إذ أن عملية الأسترة تتم مع حامضين دهنيين و**جزئ سكري** كما هو مبين.



التحويلات الأيضية للدهون Fats Metabolism:

التحويلات الأيضية للدهون تشمل عمليتين هما البناء (التخليق) والهدم.

أولاً: تخليق الدهون Fat Biosynthesis

تتكون الدهون من الجليسرين والأحماض الدهنية لذلك لابد للنبات قبل أن يكون الدهون أن

يبني هذه الوحدات، وبالتالي فإن تخليق الدهون يمر بالخطوات الآتية:-

١- تخليق الأحماض الدهنية.

٢- تخليق الجليسرين.

٣- الأسترة بينهما ليكونا معا الدهون.

١- تخليق الأحماض الدهنية:

المكون الأساسي للأحماض الدهنية (يتراوح عدد ذرات الكربون في الدهون الطبيعية

من ٨-١٨) هو أستيل المساعد الإنزيمي (Acetyl Coenzyme A) الناتج من تكسير

السكر في المرحلة الأولى من التنفس Glycolysis، ويساعده في ذلك ثنائي أكسيد الكربون

وبعض الأنزيمات المعنية، في وجود ATP، NADPH₂ كممولين للطاقة (شكل ٣٥) وذلك كما

يأتي:-

١- إضافة ثنائي أكسيد الكربون إلى أستيل المساعد الإنزيمي Acetyl CoA، ليكون بذلك

مالونيل المساعد الإنزيمي Malonyl CoA، والإنزيم الحافز لذلك هو Acetyl-CoA

Carboxylase

٢- يتحد مالونيل المساعد الأنزيمي الناتج من الخطوة الأولى، مع جزئ آخر من استيل المساعد الأنزيمي أ، ليكون مركب به أربعة ذرات من الكربون، **ويتصاعد في هذه الأثناء جزئ من CO₂**

٣- بتكرار ذلك يتم إضافة ذرتين كربون في كل تفاعلين متتاليين، أي أن سلسلة ذرات الكربون تزداد في كل مرة ذرتين كربون في العدد، ويستمر ذلك حتى يكتمل العدد المطلوب لكل حمض.

ويتضح من ذلك أن إضافة ك أ م إلى استيل المساعد الأنزيمي لا يدخل أساسا في

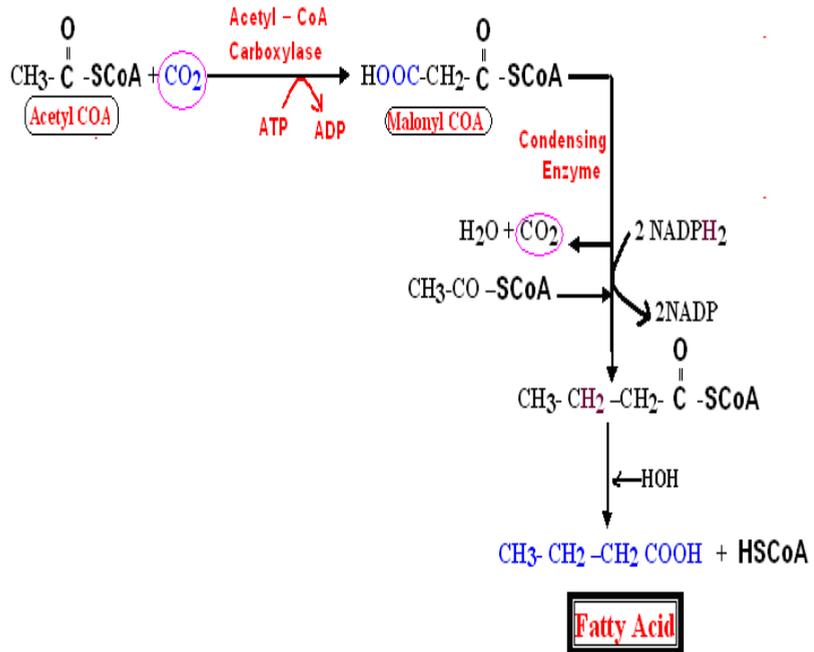
التفاعل بل يتصاعد مرة أخرى في التفاعل التالي، ولذلك يقال أن وظيفة CO₂ هنا كعامل مساعد فقط. أي أن CO₂ لا يدخل في تخليق الأحماض الدهنية. ولكن المكون الأساسي لتخليق الأحماض الدهنية هو Acetyl Coenzyme A ، والذي بتكاثفه (حيث أنه يحمل ذرتين من الكربون)، تضاف للسلسلة ذرتين من الكربون في كل خطوة حتى يتكون الحامض الدهني المطلوب.

٢- تخليق الجليسرين:

يمكن تخليق الجليسرين من خلال طرق مختلفة، أهمها من مركب ثنائي فوسفات

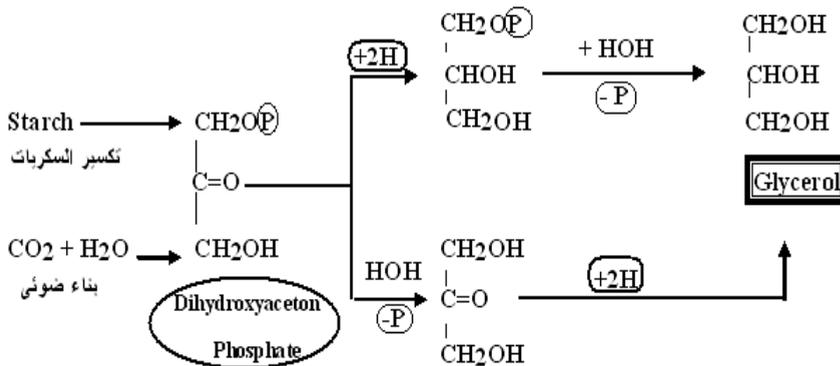
الأسيتون Dihydroxyacetone phosphate، الذي يتكون أثناء عملية البناء الضوئي، والذي

ينتج أيضا من تكسير السكريات أثناء عملة التنفس، كما هو موضح بالمعادلات (شكل ٣٦).



تخليق الأحماض الدهنية

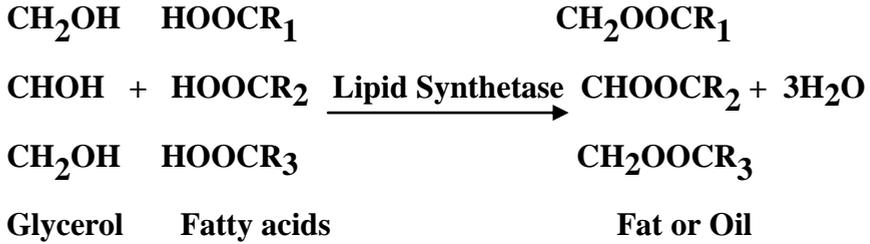
(شكل ٣٥): يوضح كيفية تخليق الأحماض الدهنية



(شكل ٣٦): يوضح كيفية تخليق الجلسرين

٣- عملية الأسترة (تخليق الدهون)

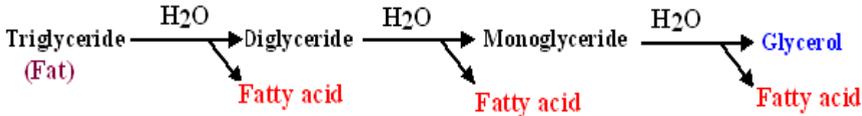
تتم بعد ذلك عملية الأسترة بين ٣ أحماض دهنية والجليسرين، وتتكون نتيجة لذلك الدهون والزيوت الخاصة بالنبات.



٢- هدم الدهون Catabolism of Fats

هدم أو تكسير الدهون (شكل ٣٧)، تتم أولاً بعملية تحليل مائي بواسطة إنزيم الليبيز (Glycerol Ester Hydrolase)، والذي يوجد تقريباً في كل الأنسجة النباتية، حيث يحلل الدهون مرة أخرى إلى الجلسرين والأحماض الدهنية (٣ أحماض دهنية) وذلك بإضافة الماء إليه، - وتتم هذه الخطوة في ثلاث مراحل - ثم تتم بعد ذلك عملية تكسير كل من الجلسرين والأحماض الدهنية. إذ يدخل كل منهما في التحولات الغذائية المختلفة كما يأتي:-

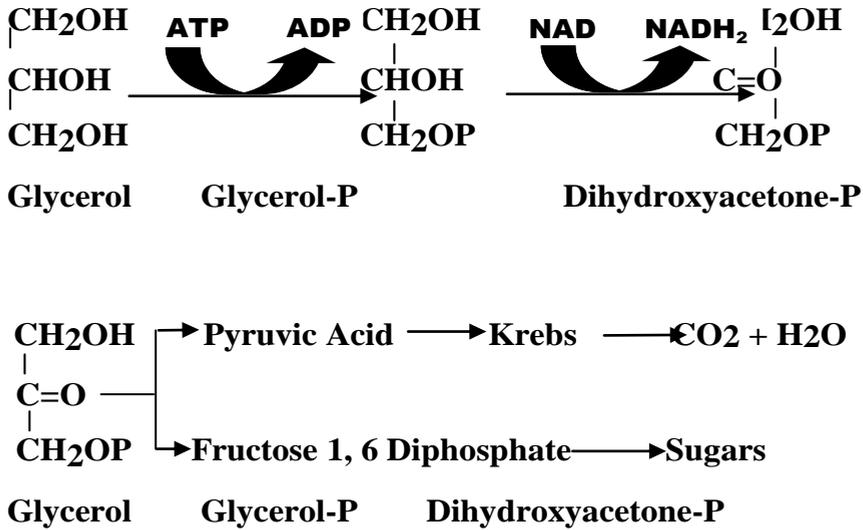
١- التحليل المائي للدهون



(شكل ٣٧): يوضح كيفية تخليق الجلسرين

٢- تكسير الجلسرين Catabolism of Glycerol

بعد عديد من التحولات، يمكن للجليسرين أن يتحول إلى **سكريات**، أو أن يتأكسد ليعطى **ثاني أكسيد الكربون وماء** (شكل ٣٨)، وتحرر الطاقة وذلك من خلال دورة كريس والسلسلة التنفسية، وذلك بعد فسفرته وتحوله في وجود ATP وإنزيم جليسرول كائيز إلى ٣- فوسفات الجليسرول، والتي تختزل بدورها في وجود NAD وإنزيم فوسفات جليسرول ديهيدروجينيز إلى فوسفات ثنائي هيدروكسي أسيتون كالتالي:-



(شكل ٣٨): يوضح كيفية هدم الدهون إلى أحماض دهنية وجليسرين

للأحماض الدهنية، والتي تسفر عن هدم هذا المركب كليا إلى وحدات متماثلة ثنائية الكربون في صورة Acetyl CoA ، حيث تتم هذه الأكسدة (شكل ٣٩) في أربعة خطوات هي -

١- الخطوة الأولى Dehydrogenation:

نزع ذرتي هيدروجين من ذرة الكربون الموضع α و ذرة الكربون الموضع β بالسلسلة الهيدروكربونية، حيث تتكون بينهما رابطة مزدوجة بفعل إنزيم Acyl-CoA Dehydrogenase والذي تعمل مجموعته FAD الإضافية مستقبلا للهيدروجين.

٢- الخطوة الثانية Hydration:

إضافة الماء عبر الرابطة المزدوجة بين ذرتي الكربون ألفا وبيتا.

٣- الخطوة الثالثة Oxidation:

نزع ذرتي هيدروجين من ذرة الكربون الموضع بيتا β ، متحولا بذلك إلى الصورة الكيتونية المقابلة، وذلك في وجود β - Hydroxyacyl - CoA ومرافقه NAD كمستقبل لذرتي الهيدروجين.

٤- الخطوة الرابعة Thiolysis:

وهي شطر جزئ المركب الكيتوني الناتج من الخطوة السابقة بين موضعي ألفا وبيتا. ونقل الشق الأسيلي (R-C=O) إلى جزئ آخر من المرافق الإنزيمي أ، حيث يتكون مشتق أسيلي جديد لهذا المرافق، تنقص سلسلته الكربونية ذرتي كربون عن جزئ الحمض الدهني الذي بدء بأكسده . أما الجزء الآخر من الجزئ المنشطر، فيكون في صورة أستيل المرافق الإنزيمي أ ، ويحفز هذا التفاعل إنزيم β - Ketoacyl-CoA

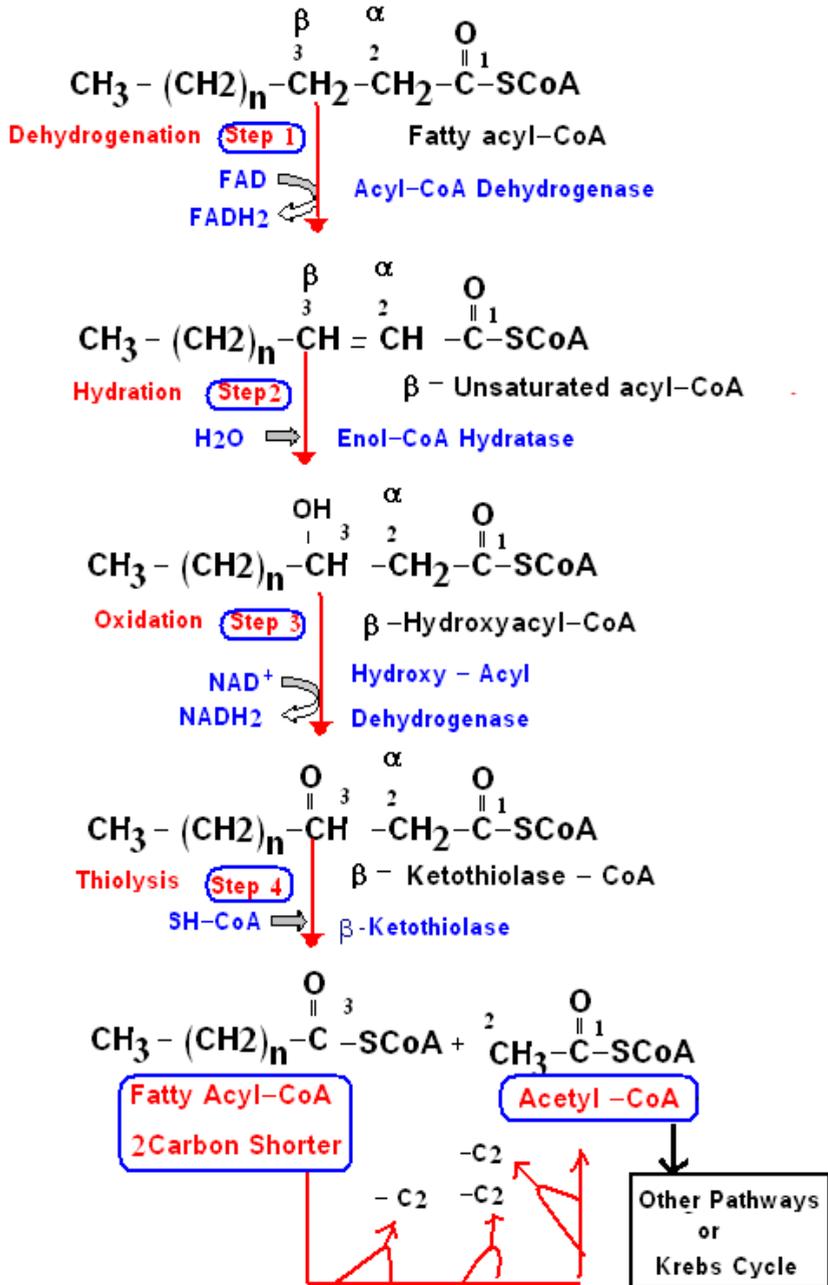
وبمرور هذا الناتج الذي نقص ذرتي كربون في سلسلة مماثلة للتفاعلات السابقة، وتكرار ذلك بالنسبة للنواتج المتتالية، يمكن هدم السلسلة الهيدروكربونية بأكملها إلى وحدات ثنائية من الكربون ، في صورة أستيل المرافق الإنزيمي أ، حيث يبلغ عددها نصف عدد ذرات الكربون لجزء الحمض الدهني المتأكسد، والذي يدخل بعد ذلك أما في:-

١- دورة كريبس ليتكسر كل جزئ ليعطى ٢ جزئ من ك أ^٢ وتنتج الطاقة،

٢- أو يدخل في تحولات بنائية لمواد أخرى.

Summary of one round of the β -oxidation pathway

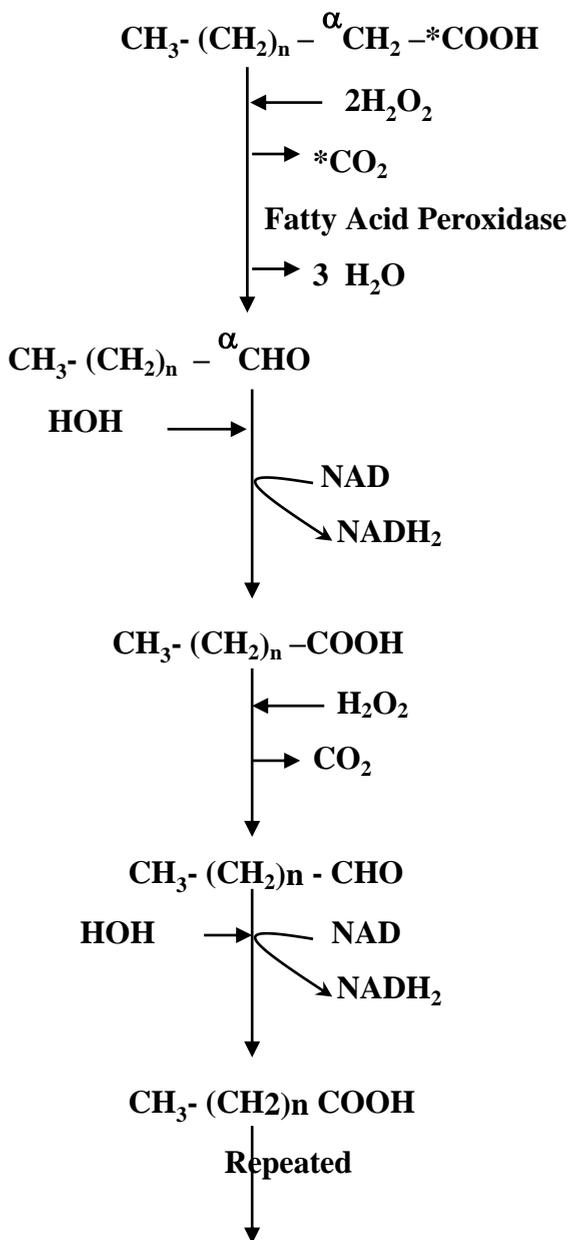




(شكل ٣٩): يوضح أكسدة بيتا β -Oxidation للأحماض الدهنية

٢- أكسدة ألفا α -Oxidation للأحماض الدهنية

- لقد أكتشف في بعض الأنسجة النباتية (مثل بعض البذور المنبته)، مسار تأكسدي آخر للأحماض الدهنية، يسمى مسار تأكسد ألفا. ويحدث هذا النوع من الأكسدة في الأحماض الدهنية أحادي ذرات الكربون، والتي توجد في النبات فقط، ويتحول بالتالي إلى حامض دهني زوجي ذرات الكربون، والذي قد يدخل بعد ذلك في أكسدة بيتا، وفيها (شكل ٤٠) تحدث أكسدة ألفا كالتالي:
- ١- يتم سحب جزئ ثاني أكسيد كربون من الحامض الدهني، في حين تتأكسد ذرة الكربون ألفا (لذلك سميت الأكسدة بأكسدة ألفا) إلى مجموعة الألدريد.
 - ٢- تتأكسد مجموعة الألدريد بدورها مرة أخرى إلى مجموعة الكربوكسيل، و تتكرر دورات هذا المسار معطيا كل دورة حمض دهني أقل بذرة كربون عن سابقه.
 - ٣- تتحرر اثناء ذلك مواد مختزلة والتي يمكن انم تتأكسد في السلسلة التنفسية.



(شكل ٤٠): يوضح أكسدة ألفا-Oxidation للأحماض الدهنية

الباب الثاني: منظمات النمو

الفصل الأول

١ - منظمات النمو النباتية Plant Growth Regulators

منظمات النمو Growth Regulators

هى مركبات طبيعية تنتج بواسطة النبات، أو مركبات صناعية لا تنتج بواسطة النبات ولكن تصنع فى المصنع أو المعامل، والكميات الصغيرة منها يكون لها تأثير منظم على العمليات الكيموحيوية فى النبات، وتنقسم منظمات النمو النباتية من حيث تأثيرها إلى:

أ- منشطات النمو Growth Activators.

ب- مثبطات النمو Growth Inhibitors

أنواع منظمات النمو

١- منظمات نمو هرمونية.

٢- منظمات نمو غير هرمونية.

منظمات نمو هرمونية (الهرمونات النباتية Phytohormones)

هى منظمات النمو الطبيعية، أى التى تنتج طبيعيا فى النبات، وكلمة Phyto تعنى نبات، وهى كلمة لاتينية، أما كلمة Hormone فهى أيضا كلمة لاتينية وتعنى القوة المحركة أو القوة الدافعة أو القوة الباعثة.

تتحرك هذه الهرمونات من أماكن إنتاجها إلى أماكن تأثيرها، والكميات الصغيرة منها تنظم العمليات الفسيولوجية فى النبات.

منظمات نمو غير هرمونية (منظمات النمو Growth Regulators)

هى منظمات نمو لا تنتج بواسطة النبات، ولكنها تصنع خارج النبات سواء فى المصنع أو المعمل، وتقوم بنفس الدور الذى تقوم به الهرمونات النباتية الطبيعية. حيث تلعب دورا كبيرا

فى فننظم النمو فى النبات، وبالتالى فهى لا تسمى بالهرمونات النباتفة، ولكن تسمى بمنظمات النمو.

تشمل منظمات النمو الهرمونية ورفر الهرمونية على مركبات كثرفة فمكن وضعها فى ٥

مءامفع هف:-

١- الأوكسفنات Auxins.

٢- الجبرفلنات Gibberellins.

٣- السفءوكفننات Cytokinins.

٤- ءامض الأبفسفسك Abscisic Acid.

٥- ءاز الإفءفلن Ethylene.

الباب الثاني

منظمات النمو

الفصل الثاني

٢- إكتشاف الهرمونات النباتية

٢- اكتشاف الهرمونات النباتية

ساهم عدد كبير من العلماء والباحثين في اكتشاف الهرمونات النباتية والتي يمكن ايجاز

ذلك فيما يلي:

١- داروين Darwin عام ١٨٨٠:

كان أول دليل على وجود الهرمونات النباتية نتيجة لبحوث العالم داروين Darwin عام

١٨٨٠، حيث كان دارون مهتماً بغمد الريشة Coleoptile وهو عبارة عن ورقة متخصصة

ومتحورة على صورة اسطوانة مجوفة تغلف وتحيط بالسويقة الجنينية العليا Epicotyl ومتصلة

بالعقدة الأولى، وهي توفر الحماية للقمة النامية الرهيفة لبادرات النجيليات، حتى تبرز الورقة

الأولى ذات النمو السريع فوق سطح التربة. وتوصل دارون إلى الآتي:-

١- إذا عرضت قمم تلك الأغمد إلى مصدر ضوئي من جانب واحد Unilateral فإن الأغمد

تنحني في إتجاه الضوء.

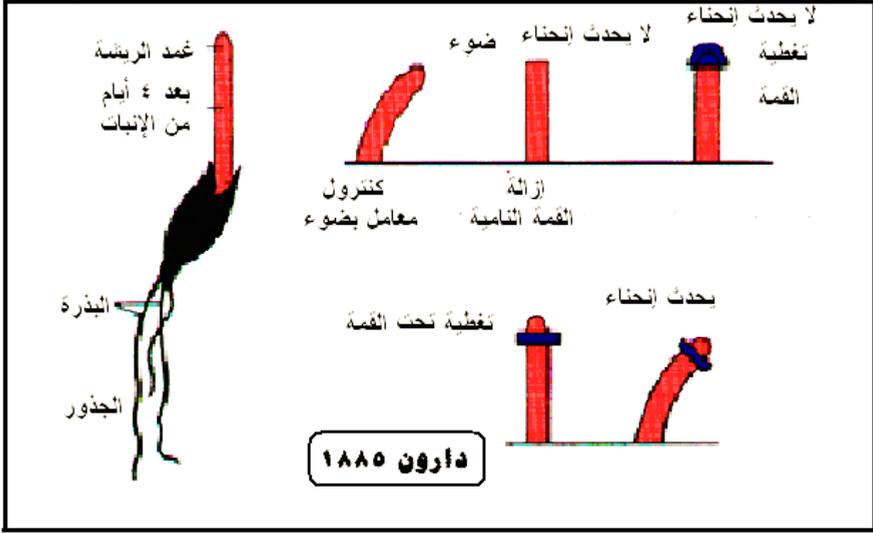
٢- إذا غطيت قمة الغمد بحيث لا يصله الضوء فإن ذلك يسبب عدم حساسية الغمد للضوء

وبالتالي عدم استجابة الغمد للانحناء.

٣- عند تغطية منطقة تحت القمة وترك القمة بدون تغطية، وتعريض الغمد إلى مصدر ضوئي

من جانب واحد، فإن ذلك يؤدي إلى حدوث انحناء الغمد ناحية الضوء.

* أدت تلك النتائج إلى أن يعلن دارون أن قمة الريشة (الغمد) هي فقط القادرة على استقبال الضوء , وتحويله إلى حالة نشطة حيث يظهر تأثيره أسفل القمة, مؤدية إلى ما يسمى بالانتحاء الضوئي (شكل ٤١).

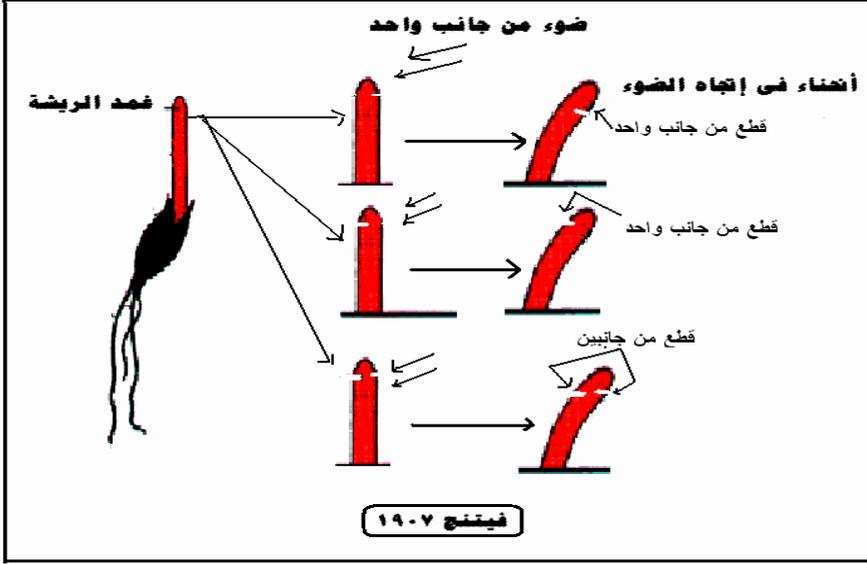


شكل (٤١) : رسم تخطيطي يوضح تجارب داروين

٢- فيتنج Fitting عام ١٩٠٧ :

أثبت أن أحداث قطع على جانب واحد أو على كلا الجانبين لقمة غمد ريشة الشوفان لا يمنع التأثير الأنتحائي للضوء طالما أن الأسطح المقطوعة لم تنفصل وما زال الجزء المقطوع متصل بباقي الغمد شكل (٤٢) .

وقد أظهرت تلك التجربة أن الترابط الخلوي الكامل ليس ضرورياً لمرور المحفز الداخلى .



شكل (٤٢) : رسم تخطيطي يوضح تجارب فيتنج

٢- بويزن جنسن Boysen – Jensen ١٩١٣:

استطاع أن يقدم دليلاً آخر عن طبيعة المادة المنبهاة للانحناء الضوئي لغمد الريشة

وعلاقة هذا المنبه بعملية الانحناء الضوئي، حيث قام بالآتي:

١- إزال القمة الطرفية لغمد الريشة أسفل القمة ببضع ملليمترات من الطرف، ووضع مكانها مكعب من الجيلاتين.

٢- أعاد وضع القمة المزالة فوق قطعة الجيلاتين وقام بإسقاط الضوء من جانب واحد.

نتج عن ذلك انحناء للغمد في اتجاه المصدر الضوئي تماماً كما يحدث في الغمد العادي.

وهذا يعني أنه يوجد منشط Stimulus (مادة أو مواد) تنتقل من القمة إلى أسفل وتنتشر خلال

الجيلاتين وذلك في الجزء البعيد من الضوء، وهذا المنشط يمكن أن ينتشر في الجيلاتين دون أن

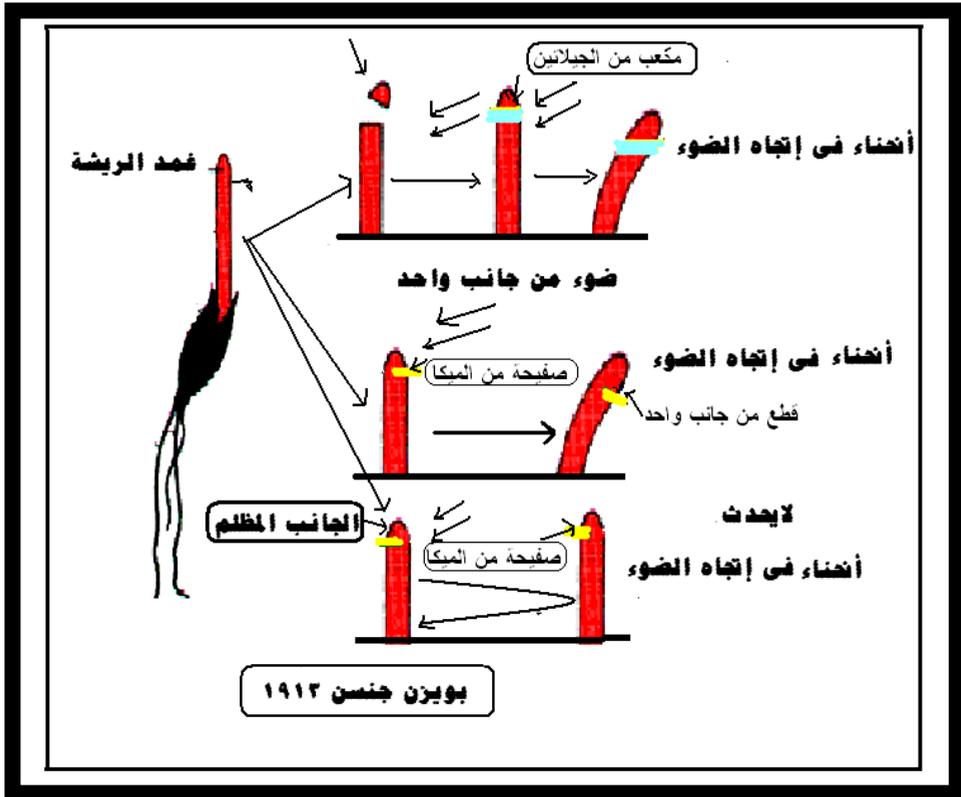
يفقد خواصه.

وقد أثبت بويزن جنسن أيضاً أن :

١- الأنتحاء الضوئى الطبيعى لغمد الريشة يمكن منعه بإغماذ شريحة رقيقة من الميكا Mica، حيث قام بوضع قطعة من الميكا عرضياً أسفل الغمد ببضع ملليمترات فقط لنصف المسافة أى فى الجانب المظلم لبادرات النجيليات المضاءة من جانب واحد، حيث كان من نتيجة ذلك عدم حدوث إنحناء ناحية الضوء شكل (٤٣).

٢- أما إغماذ قطعة الميكا جزئياً فى الجانب المضاء لغمد البادرات لا يمنع الأنتحاء وبالتالي قدم

دليل على أن المحفز للأنتحاء يمر إلى أسفل فى الجانب المظلم لغمد الريشة.

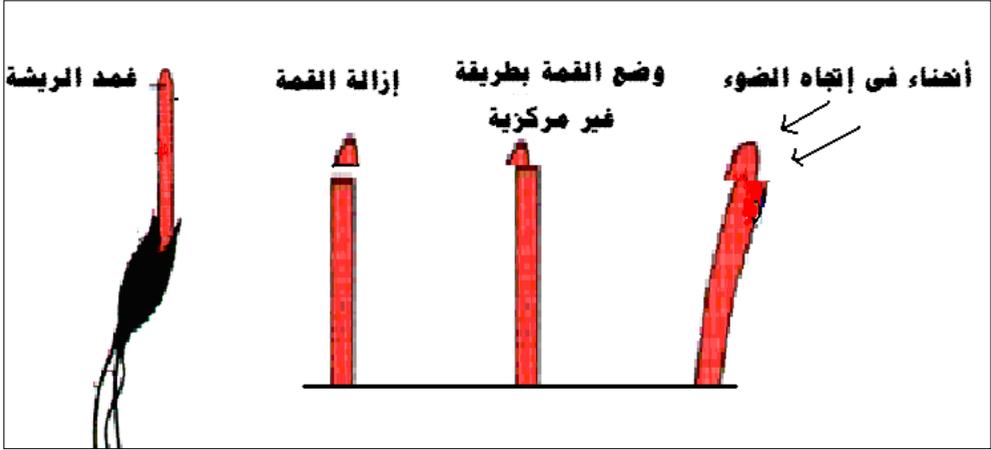


شكل (٤٣) : رسم تخطيطى يوضح تجارب بويزن جنسن

٤- بائيل Paal ١٩١٩:

فى عام ١٩١٩ أزال بائيل قمة غمد الريشة ثم وضع القمة بطريقة جانبية غير مركزية، فوجد أن غمد الريشة ينحني بعيداً عن الجانب الذى يحمل أعلاه القمة الغير مركزية الوضع حتى فى الظلام شكل (٤٤) .

وقد أوضحت تجارب بائيل أن المادة المنبعثة من القمة هى المسئولة عن الانحناء .



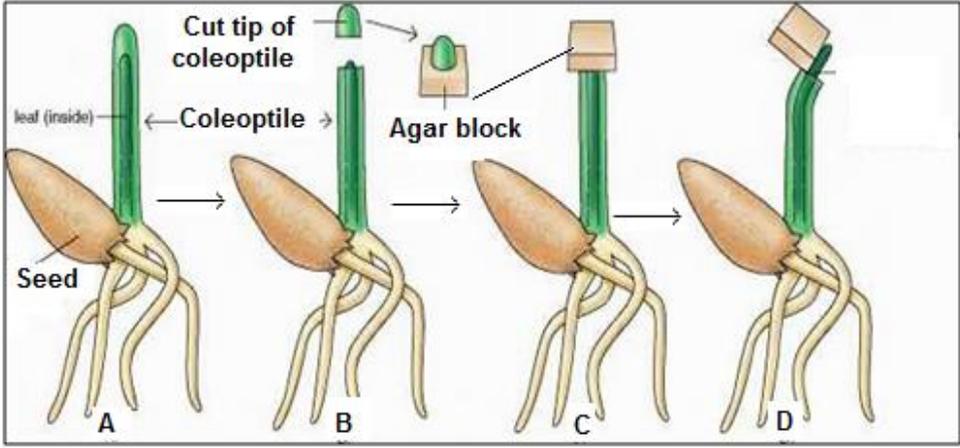
شكل (٤٤) : رسم تخطيطى يوضح تجارب بائيل

٥- سودنج Soding ١٩٢٥:

أوضح أن المادة الآتية من القمة لا بد أن تكون هى المسئولة عن استطالة غمد الريشة، حيث أزال عدة ملليمترات من قمة الغمد، فوجد أن قمة الساق تنمو ببطء، وعندما أعاد وضع القمة مرة أخرى، حدث نمو طبيعى للساق، ومن ذلك استنتج أنه: يوجد فى القمة مركبات نشطة تنتقل من القمة إلى القاعدة لكى تظهر تأثيرها وأن عدم وجود جزء كبير من القمة يسبب عدم نمو الساق.

٦- ستارك Starke:

وجد أن العصير الذي جمع من اغماد ريشة الشوفان يمكن أن ينتشر في مكعبات الآجار، وعندما وضعت هذه البلوكات (المكعبات) في وضع جانبي غير مركزي على أغماد الريشة المنزوعة القمة الموضوععة في الظلام فإن الأحناء يحدث شكل (٤٥).



شكل (٤٥) : رسم تخطيطي يوضح تجارب ستارك

٧- فنت Went ١٩٢٨-١٩٣٥ :

أصبحت الخطوات التالية بعد هذه التجارب هي إمكانية عزل تلك المادة من النبات وإثبات أنها تنشط نمو النبات عند معاملته بها، وهذه الخطوة قام بها عالم النبات الألماني فنت Went كالآتي:-

١- وضع فنت Went قمم الأغماد المقطوعة حديثاً على بلوكات صغيرة من الآجار لفترة زمنية محسوبة، ثم وضع هذه البلوكات بعد ذلك جانبياً على أغماد منزوعة القمة لمدة ساعتين في الظلام .

٢- أظهرت أعماد الريشة انحناءات مشابهة لتلك الانحناء للأعماد ذات القمم الموضوعة

جانبياً (غير مركزية).

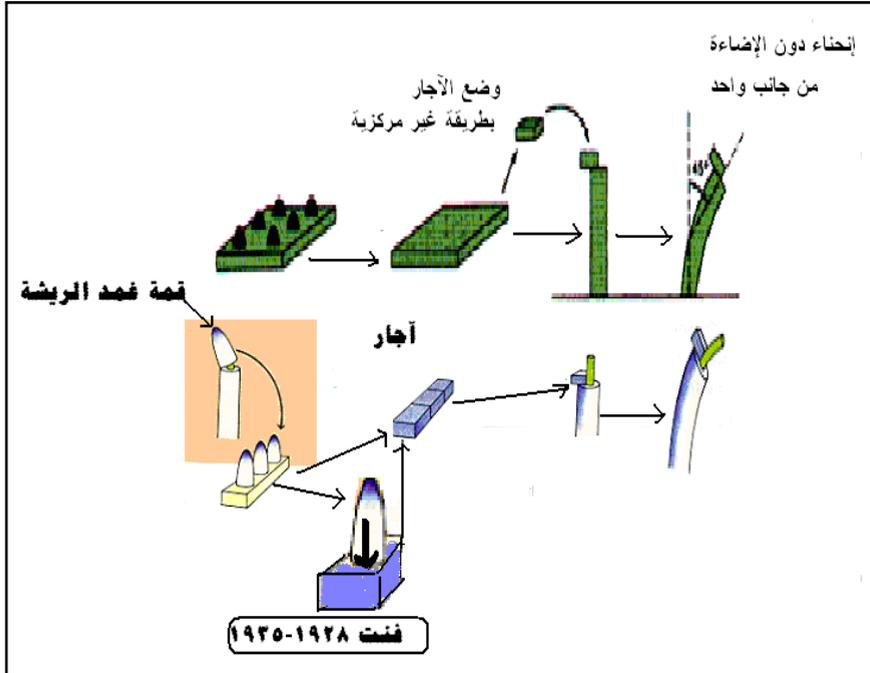
وبناء على ذلك أمكنه التوصل إلى طريقة لتقدير كمية نشاط المادة في قمم أعماد

الريشة - وبمعنى آخر فقد أوجد طريقة للتقدير الحيوي للأوكسين **Abioassay for Auxin** .

فقد وجد فنت أن درجة الانحناء للغمد تتناسب طردياً في حدود معينة مع كمية المادة الفعالة في

بلوكات الآجار (شكل ٤٦). وبسبب استخدام نبات الشوفان في هذا الاختبار لذلك فقد عرفت هذه

الطريقة باختبار غمد ريشة الشوفان.



شكل (٤٦) : رسم تخطيطي يوضح تجارب ستارك وفنت

وباستخدام اختبار الشوفان للعديد من المواد فقد ظهر أن بول الإنسان Human Urine غنى فى مواد النمو. وقد قام كوجل وزملاؤه بسلسلة من الخطوات لتنقية وتقطير ثلاثة وثلاثون جالونا من بول الإنسان تحت تفريغ عالى وتقدير نشاط المواد الناتجة، والتي قدرت بواسطة اختبار انحناء غمد ريشة الشوفان. وبعد التقطير تحت تفريغ عالى فإن الخطوة النهائية أنتجت ٤٠ ملليجرام من بلورات لها نشاط وفعالية يعادل خمسون ألف مرة نشاط البول العادى. وقد أعطى الناتج النهائى اسم **أوكسين (أ) Auxin A**. وباستخدام نفس طرق التنقية التى اتبعت مع بول الإنسان تقريباً تم عزل مادة نشطة فعالة أخرى من زيت جنين الذرة، وقد وجدوا أن هذه المادة تشبه أوكسين (أ) من حيث التركيب والنشاط الفعال وقد أطلق عليها **أوكسين (ب) Auxin-B**. وفى نفس العام كانت هناك مادة أخرى قد عزلت من بول الإنسان، وذلك بإعادة العزل على نطاق واسع من بول الإنسان باستخدام طريقة ادمصاص الفحم لإزالة المادة الفعالة النشطة وسميت **بالميتيروأوكسين (Heteroauxin)** أو كما يطلق عليه **اليوم أندول-٣-حمض الخليك**

Indole-3-Acetic Acid (IAA)

واليوم يوجد شك كامل فى وجود أوكسين " أ " و أوكسين " ب " حيث أنه لم يعزلها أحد على الإطلاق منذ عزلها لأول مرة بواسطة كوجل وزملاؤه. وعلى النقيض من ذلك فقد تمكن العديد من الباحثين عزل أندول حمض الخليك فى صورة بلورية من مصادر متعددة . وفى عام ١٩٤٦ أعلن وجود الـ IAA فى النباتات الراقية . وعليه قدم **ثيمان Thimann** **التعريف التالى للأوكسين**: هو مادة عضوية وبتراكيزات منخفضة تحفز النمو على طول المحور عند إضافتها للمجموع الخضرى للنبات والخالى بقدر الإمكان من منشطات النمو.

تعريفات هامة

١- المنظمات النباتية Plant Regulators

هى مركبات عضوية غير المغذيات والتي بكميات صغيرة تشجع Promote ، أو تثبط Inhibit، العمليات الفسيولوجية فى النبات .

٢- الهرمونات النباتية Plant Hormones, or Phytohmones

منظمات للنمو تنتجها النباتات، وتتحرك من أماكن إنتاجها إلى أماكن تأثيرها، وبكميات صغيرة تنظم العمليات الفسيولوجية النباتية، وتسمى بهرمونات الحياة (Phytohormones).

٣- منظمات النمو Growth Regulators

هى منظمات تؤثر على النمو .

٤- هرمونات النمو Growth Hormones

هى تلك الهرمونات التى تنظم النمو .

٥- منظمات التزهير Flowering Regulators

هى منظمات تؤثر على الإزهار .

٦- هرمونات التزهير Flowering Hormones

هى التى تبدأ فى إنشاء منشآت الأزهار أو تشجع إنمائها.

٨- مولدات الأوكسين Auxin Precursors

هى مركبات يمكن أن تتحول داخل النبات إلى الأوكسينات .

٩- مضادات الأوكسينات Antiauxins

هى مركبات تثبط فعل الأوكسينات

الباب الثاني

منظمات النمو

الفصل الثالث

٣- الأوكسينات The Auxins

٣- الأوكسينات The Auxins

كلمة Auxin كلمة مشتقة من الكلمة اليونانية Auxein وهي تعنى الزيادة أو النمو.

وهو تعبير عام للمركبات التي تتميز بقدرتها على استحثاث استطالة خلايا المجموع الخضرى،

تنقسم الأوكسينات إلى نوعين هما:-

١- أوكسينات طبيعية Natural Auxins

وهي التي تتكون وتتوزع داخل النبات. مثال ذلك: أندول حمض الخليك.

٢- أوكسينات صناعية أو تخليقية Synthetic Auxins

وهي التي لا توجد داخل النبات، ولكن يتم تصنيعها في المصانع والمعامل، ولها خصائص

المركبات الأوكسينية. ومنها مشتقات الإندول، ومشتقات حمض البنزويك.

الحالات التي توجد عليها الأوكسينات

توجد الأوكسينات في حالتين هما:-

١- أوكسينات حرة Free Auxins:

هي الأوكسينات القابلة للإنتشار. ومن السهل فصلها وعزلها. ونسبتها لا تتجاوز حوالى

١٠% من التركيز الكلى للأوكسينات في النبات.

٢- أوكسينات مقيدة Bound Auxins:

هي أوكسينات توجد داخل النبات في صورة أخرى غير حرة، حيث تكون مرتبطة

بمكونات الخلية، ولذلك تكون غير قابلة للإنتشار وبالتالي لعزل وفصل هذه الأوكسينات لابد من

سحق العضو النباتي المراد استخلاص الأوكسين منه. حيث تحدث عملية الإستخلاص للأوكسين بواسطة مذيبات عضوية معينة مثل الكلورفورم والكحول الإيثيلي. ونسبتها حوالى ٩٠% التركيز الكلى للأوكسينات في النبات .

يتكون الأوكسين الحر من الأوكسين المقيد أو المرتبط، أو من مركب بدائى الأوكسين Precursor. وفى الحالة الأوكسين المقيد أو المرتبط، فإن الأوكسين الحر يتم تحرره من المركبات المرتبط بها ويصبح حرا. أما فى حالة مركب بدائى الأوكسين، فإن الأوكسين الحر يتكون بواسطة تفاعلات وسطية من الحامض الأمينى التربتوفان Tryptophan

التمثيل الحيوى لأندول ٣- حمض خليك Biosynthesis of 3-Indol Acetic Acid

يعتبر التربتوفان Tryptophan المركب الأصل Precursor الذى يتكون منه إندول

حمض الخليك، ويتم ذلك خلال طريقتين مختلفتين (شكل ٤٧) هما:-

١- نزع مجموعة الأمين Deamination

وفىها يتم نزع مجموعة الأمين من التربتوفان حيث يتكون أندول حمض البيروفيك، ثم

يتبع ذلك نزع مجموعة الكربوكسيل من أندول حمض البيروفيك ويتكون أندول الأستالدهيد.

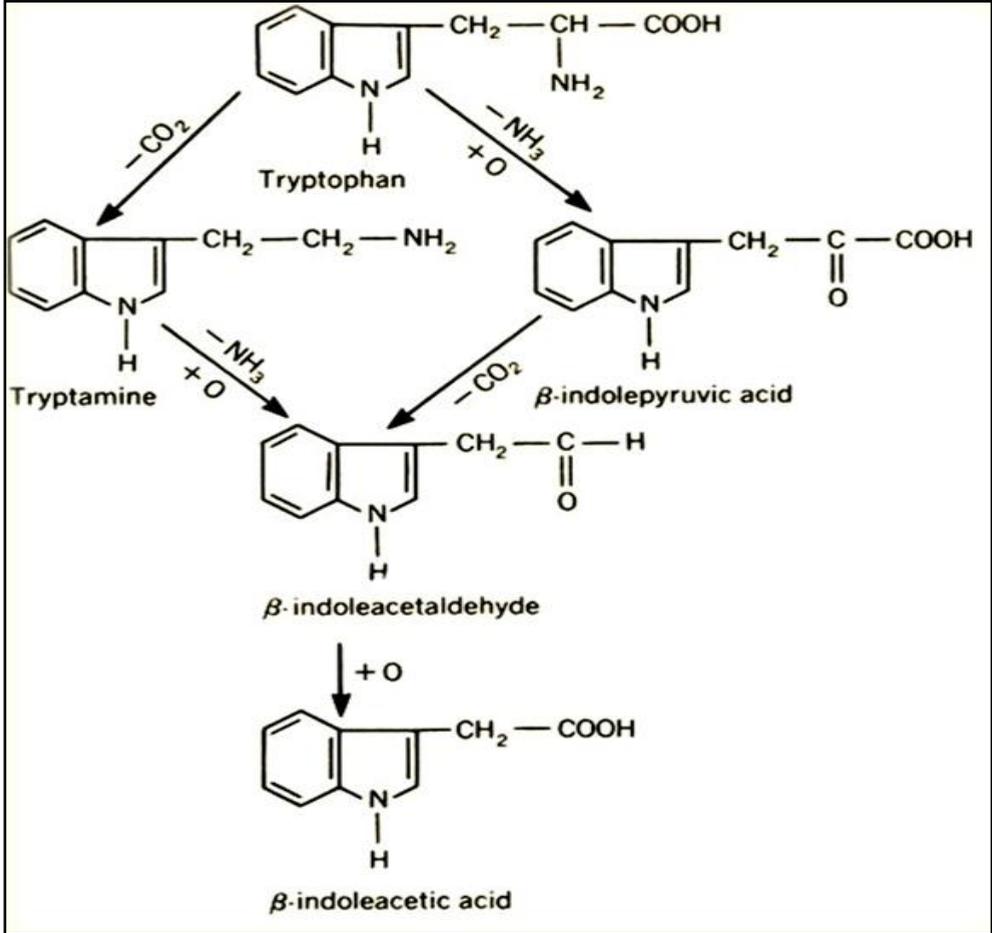
٢- نزع مجموعة الكربوكسيل Decarboxylation

حيث يتم نزع مجموعة الكربوكسيل من التربتوفان ويتكون التربتامين، ثم يتبع ذلك نزع

مجموعة الأمين من التربتامين ليتكون أندول الأستالدهيد. وعليه يكون الناتج النهائى فى كلا

الطريقتين هو **أندول الأستالدهيد** ، والذى يتحول فى النهاية الى IAA . وبالتالي يعتبر

أندول الأستالدهيد هو المركب الوسطى المولد (precurso) للـ IAA فى النباتات.



شكل (٤٧): التخليق الحيوي لإندول حمض الخليك Biosynthesis of Indole 3-Acetic Acid

هدم الأوكسين أو تثبيط فاعلية IAA هي تشابه أندول - ٣ - حمض الخليك (IAA)

التركيز الزائد من اندول حمض الخليك يسبب ضرر لأنسجة النبات، ولذلك يوجد في النبات

ميكانيكية معينة تساعد على ثبات تركيز أندول حمض الخليك نسبيا في النبات بحيث تمنع من

زيادة تركيزه بدرجة غير مرغوب فيها بالنسبة للنبات، حيث توجد ثلاثة طرق يمكن بها تثبيط

نشاط هذا الأوكسين وهذه الطرق هي:

١ - الأكسدة الضوئية Photooxidation

٢ الأكسدة الأنزيمية Enzyme Oxidation

٣- الارتباط Conjugation

١- الأكسدة الضوئية Photooxidation

يتم ذلك عن طريق تنشيط صبغة الريبوفلافين والتي تقوم بامتصاص الضوء الأزرق بشدة, حيث أن الضوء الأزرق هو الفعال من الضوء العادي في عملية هدم أو أكسدة الأوكسين, وتحويله إلى مركب غير نشط كيميائيا وحيويا وهو أندول حمض الكربوكسيلك .Indolcarboxylic Acid

٢- الأكسدة الأنزيمية Enzyme Oxidation

في هذه الحالة تتم أكسدة الأوكسينات بواسطة الإنزيمات بدلا من الضوء, حيث يتم أكسدة الأوكسين بواسطة إنزيم أكسيداز إندول حمض الخليك, ليتحول إلى مركبات خاملة أهمها مثيلين أوكسى أندول و هيدروكسى مثيل أوكسى أندول.

٣- الارتباط Conjugation

يمكن لIAA أن يدخل (يرتبط) في تفاعل مع مركبات أخرى, ويصبح عديم الفاعلية, وهذا يقلل من تراكم IAA في الخلية. كما أنه يمكن أن يكون رابطة جليكوسيدية مع الجلوكوز مكونا IAA- Glucoside, أو غيره من المركبات, ويمكن تحرير الأوكسين من هذه المركبات بواسطة تفاعلات إنزيمية مختلفة ليصبح أوكسين حر نشط فعال.

فوائد الارتباط Conjugation

الارتباط يعتبر طريقة يمكن بها المحافظة على تركيز الأوكسين فى أنسجة النبات فى الظروف البيئية المختلفة فى أعمار النبات المختلفة, حيث أن للمرتبطات مع IAA وظائف فسيولوجية عديدة منها:-

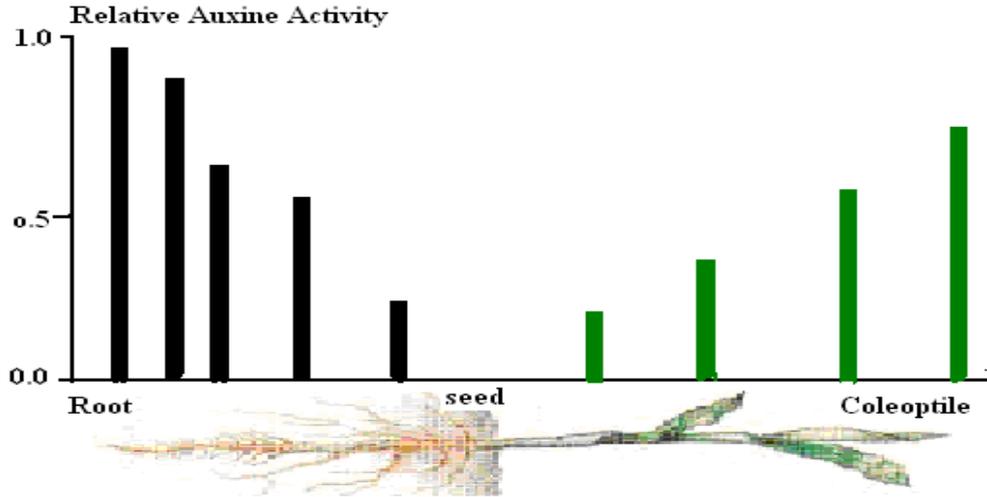
- ١- تعمل المرتبطات كإحدى صور تخزين IAA, حيث يتم تخزين IAA أثناء نضج الحبوب والبذور لكى يستعمل أثناء عملية الإنبات.
- ٢- تقاوم المرتبطات تأثير أنزيم البيروكسيداز ولا تتأثر به, حيث أن IAA يمكن أن يتأثر بإنزيم البيروكسيداز ويصبح مركب آخر عديم الفعالية

أماكن تكوين او تخليق الأوكسينات فى النبات

يتم تخليق الأوكسينات فى القمم النامية، والأنسجة المرستيمية.

توزيع الأوكسينات فى النبات

توجد أعلى تركيزات الأوكسين فى القمة النامية للنبات، وهذا يعنى أن أعلى التركيزات توجد فى قمة غمد الريشة، وفى البراعم وفى القمم النامية للسيقان والأوراق الحديثة النامية والجدو . كما وجد أيضاً إن تركيز الأوكسين يتناقص باستمرار من القمة إلى قاعدة غمد الريشة، كلما ابتعدنا عن القمة فى اتجاه القاعدة ، وأعلى محتوى يوجد فى القمة وأقل كمية توجد عند القاعدة ، ثم تستمر من قاعدة الريشة على طول الجذر، ويزداد المحتوى الأوكسينى مرة أخرى فى الجذر حتى تصل إلى ذروتها عند قمة الجذر . وتركيز الأوكسين الذى يوجد عند قمة الجذر قد يقترب من التركيز الموجود فى قمة غمد الريشة (شكل ٤٨) .



شكل (٤٨): يوضح توزيع الأوكسينات في النبات

انتقال الأوكسين Auxin Transport

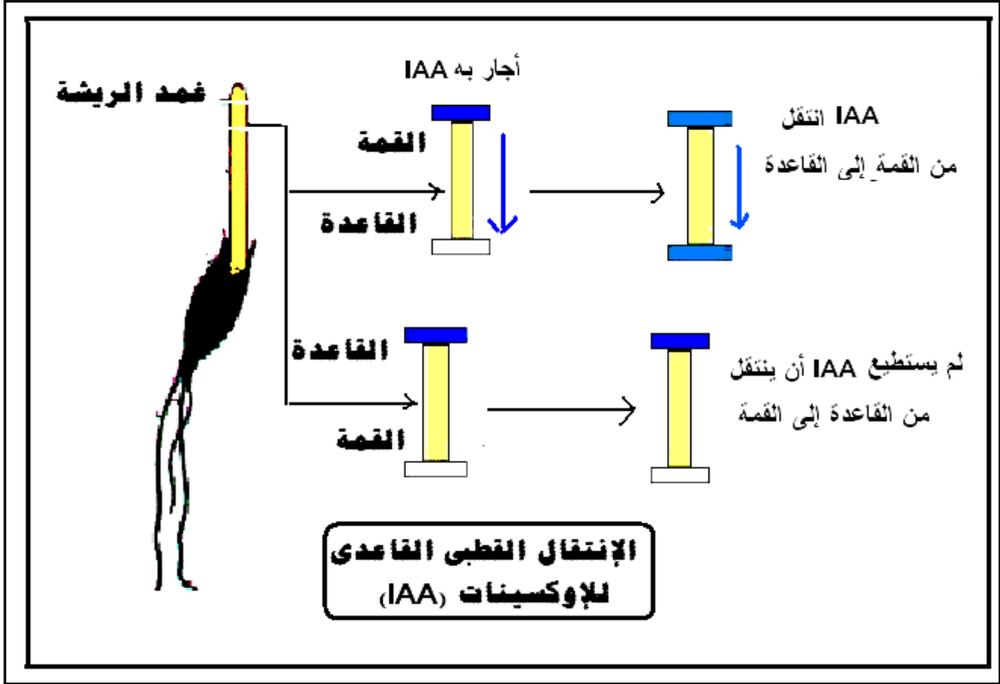
التجارب التي أجراها بعض العلماء أوضحت أن تحرك الأوكسين يكون من قمة غمد الريشة إلى قاعدتها (قطبياً Polar)، ذلك الانتقال غير راجع للجاذبية الأرضية بل هو نتيجة لعوامل فسيولوجية، فسرتها بعض النظريات ببعض التفسيرات منها:

١- انتقال الأوكسينات قاعدي الطراز Basipetal Fashion , أي يتم من القمة المورفولوجية إلى القاعدة المورفولوجية (شكل ٤٩ - أ).

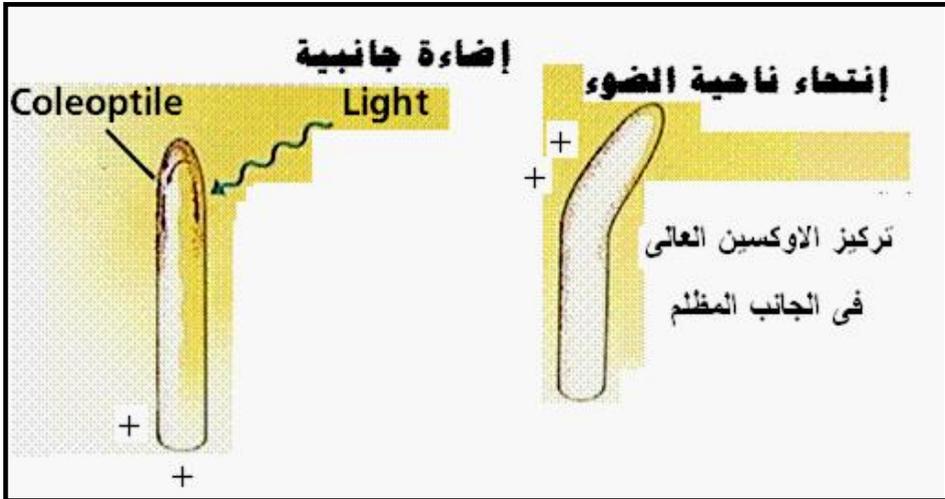
٢- إختلاف الجهود الكهربائية بين قمة وقاعدة غمد الريشة يتحكم في انتقال الأوكسين وبالتالي فإن قاعدة غمد الريشة ذات كهربية موجبة أكثر عن القمة، الجانب المظلم ذا كهربية موجبة أكثر عن الجانب المضاء (شكل ٤٩ - ب).

٣- النشاطات الحيوية في الخلية تتحكم في انتقال الأوكسين، وبالتالي فإن الطاقة تلعب دوراً في

هذا المجال.



شكل (٤٩-أ) : الانتقال القطبي القاعدي للـ IAA في مقاطعات غمد الريشة



شكل (٤٩ - ب): إختلاف الجهود الكهربائية بين القمة والقاعدة والجانب المضيء والمظلم

الأختبارات الحيوية Bioassays

يستخدم اصطلاح الإختبار الحيوى لوصف استخدام المادة الحية كاختيار لبيان تأثير المواد ذات النشاط الحيوى المعروفة والمفترضة. وعندما نتناول المواد الفعالة حيويًا مثل الهرمونات النباتية فلا بد لنا من طريقة لقياس نشاطها الحيوى. واختبار غمد ريشة الشوفان تعتبر واحدة من الطرق المستخدمة للتعرف على الأوكسينات وبالتالي الخصائص الهرمونية لها، ومن أمثلة الاختبارات الحيوية لغمد ريشة الشوفان ما يلي:-

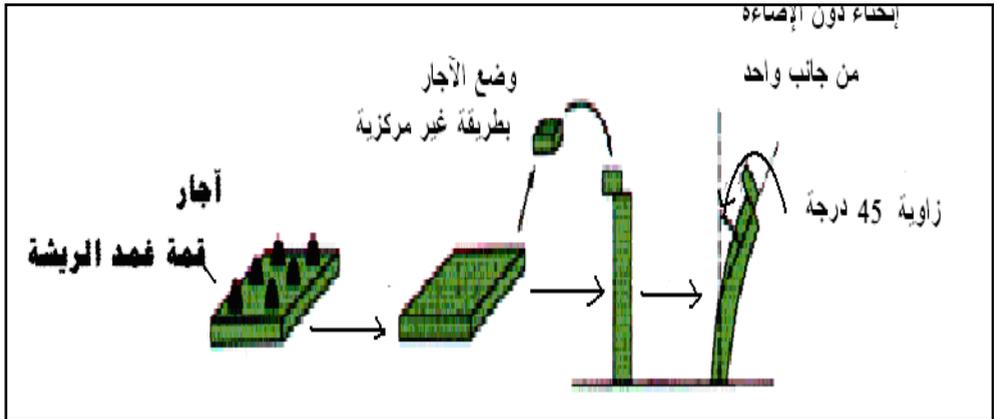
أ- إختبار انحناء غمد ريشة الشوفان

يعتمد قياس نشاط الأوكسين باستخدام اختبار انحناء غمد ريشة الشوفان على دقة الانتقال القطبى السريع (أى من القمة المورفولوجية إلى القاعدة المورفولوجية لمحور النبات) للأوكسين فى غمد ريشة الشوفان، وبسبب هذه الخاصية (قطبية الانتقال) فإن الأوكسين يضاف أعلى قمة جانب واحد لغمد ريشة منزوعة القمة حيث ينتشر إلى أسفل فى هذا الجانب بسرعة ، لذلك يحدث اختلاف فى النمو بين جانبي غمد الريشة نتيجة لانتقال الأوكسين إلى أسفل فقط فى جانب واحد من هذا الغمد، لذلك فيتسبب فى انحناء هذا الغمد الذى **يتناسب فى حدود معينة مع كمية الأوكسين المضافة (شكل ٥٠).**

خطوات اختبار انحناء غمد ريشة الشوفان تتم كما يأتى :-

١- يتم إنبات بذور الشوفان وكذلك إنماء بادراتها فى الظلام، حيث تقل حساسية غمد الريشة للأوكسين عند تعرضها للضوء .

- ٢- يزال ١ مم من القمة الطرفية لغمد الريشة بعد وصول البادرات إلى طول يتراوح ما بين ١٥ إلى ٣٠ مم ، وبالتالي إزالة المصدر الطبيعي للأوكسين .
- ٣- بعد مدة ثلاث ساعات من الإزالة الأولى يزال مرة ثانية حوالي من ٢-٣مم وذلك لإزالة الأنسجة التي تتجدد وتنتج الأوكسين .
- ٤- يوضع مكعب الآجار المحتوى على الأوكسين على جانب واحد في النهاية المقطوعة لغمد الريشة ، وعليه سوف ينتقل الأوكسين إلى أسفل في جانب غمد الريشة الذي يحمل فوقه مكعب الآجار المحتوى على الأوكسين .
- ٥- بعد حوالي ساعة ونصف من الخطوة السابقة يقاس الانحناء ويسجل بواسطة قياس الزاوية المحصورة بين الخط العمودي المرسوم والخط المرسوم والموازي للجزء المنحني من الغمد، وعليه سوف نلاحظ أن هناك علاقة خطية مستقيمة بين التركيز وكمية الإنحناء من خلال مدى مجال معين لتركيزات الـ IAA كما هو واضح في شكل (٥٠)، ومجال هذا المدى للـ IAA يصل إلى الذروة المثلى Optimum Peak عند حوالي ٠.٢ ملجم/ لتر.



شكل (٥٠): يوضح إحناء غمد ريشة الشوفان

ب- اختبار قطاعات غمد ريشة الشوفان

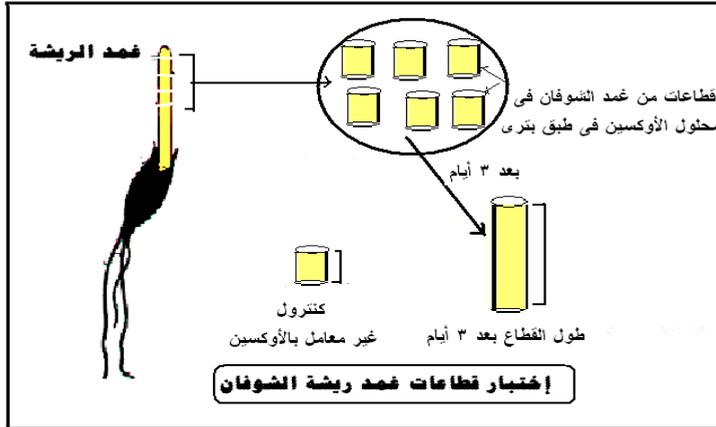
هذا الاختبار مبني على أساس قابلية الأوكسين في استحثاث استطالة الخلية.

وطريقة القطاعات هذه تقدر منظمات النمو على مدى أوسع من التركيزات بخلاف اختبار انحناء

غمد ريشة الشوفان والذي يكون أكثر حساسية للتركيزات المنخفضة للأوكسين (شكل ٥١).

خطوات إجراء اختبار قطاعات غمد ريشة الشوفان تتم كالآتي :

- ١- يتم انبات حبوب الشوفان في الظلام عند ٢٥ م° ورطوبة نسبية حوالى ٨٥%.
- ٢- عندما يصل طول الريشة إلى حوالى من ٢٥-٣٠م، تجمع البادرات ثم تزال القمة الطرفية لمسافة ٤م ثم يقطع باقى غمد الريشة إلى قطاعات طول كل منها من ٣-م .
- ٣- تغمس جميع القطاعات في ماء مقطر لمدة لاتقل عن ساعة ثم توزع عشوائياً إلى أطباق بترى تحتوى على ٢٠مل من محلول الإختبار.
- ٤- تحضن القطاعات لفترات زمنية ١٢ أو ٤٨ ساعة عند درجة ٢٥°.
- ٥- تقاس القطاعات باستخدام ميكروسكوب مزود تشريح بمنظار ذو تدريج دقيق خاص.



شكل (٥١): اختبار قطاعات غمد ريشة الشوفان

التأثيرات الفسيولوجية وآليات عمل الأوكسين

Physiological Effects and Mechanisms of Auxin Action

منذ اكتشاف الـ IAA والتعرف على خصائصه كهرمون نباتي ، فقد تم نشر عديد من الدراسات والتي أظهرت معلومات هائلة عن التأثيرات الفسيولوجية للأوكسين في النبات والعديد من هذه التأثيرات الفسيولوجية ذات أهمية علمية وتطبيقية معاً ، ومنها:

١- الاستطالة الخلوية Cellular Elongation

٢- نقص الضغط الجداري وارتخاء الجدار الخلوي

٣- فعل الأوكسين ونوعية الـ RNA وبناء البروتين

٤- الانتحاء الضوئي Phototropism

٥- الانتحاء الأرضي Geotropism

٦- السيادة القمية Apical Dominance

٧- إنشائية الجذر Root Initiation

٨- الثمار البكرية Parthenocarpy

٩- التساقط Abscission.

١٠- التنفس Respiration

١١- تكوين الكالوس Callus Formation

١- الاستطالة الخلوية Cellular Elongation

تعتبر الاستطالة الخلوية محصلة أساسية للعديد من الاستجابات التي تتأثر بالأوكسينات،

وقد أقرحت عدة نظريات لتفسير فعل وعمل الأوكسين على استطالة الخلية منها:-

١- الأوكسين بطريقة ما يزيد الجهد الأسموزى للخلية مما يزيد نفاذية الخلية للماء .

٢- يحفز تخليق البروتينات (الإنزيمات) التي تعمل على تكوين مكونات الجدار الخلوى .

٣- يسبب نقص فى الضغط الجدارى .

٤- الأوكسينات ربما تعمل على المستوى الجينى وذلك يؤثر مباشرة فى نقص الضغط الجدارى

والذى يأخذ طريقه كنتيجة لتحفيز تغير طبيعة الجدار (فقد أو تغير التركيب الجدارى) وهذا هو

الفعل الأولى الابتدائى والذى بواسطته تعمل الأوكسينات على تحفيز استطالة الخلية .

٢- نقص الضغط الجدارى وارتقاء الجدار الخلوى Reduction in Wall Pressure and Cell Wall Loosening

مكونات الجدار الخلوى من العوامل الأساسية والضرورية لتمدد الجدار. والأكثر أهمية من

ذلك هو تقطع وأنفصال الروابط بين مكونات الجدار الخلوى وإعادة تكوينها فى مرحلة الاستطالة

الخلوية. وبالتالي فإن الروابط غير التساهمية بين بوليميرات الزيلوجلوكونات Xyloglucan

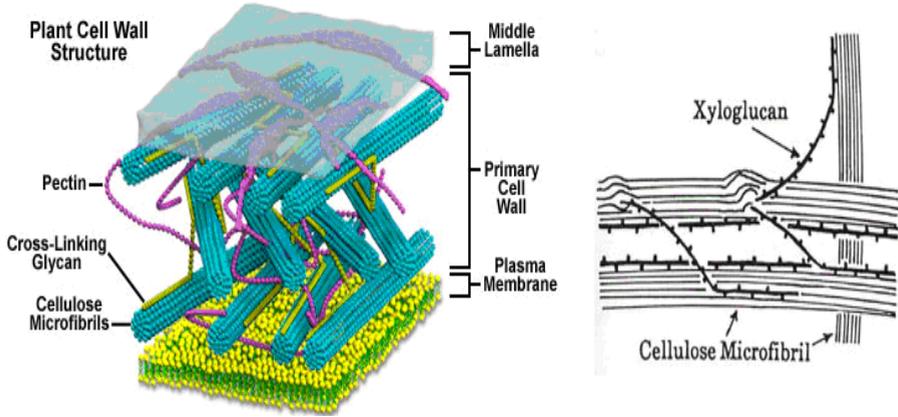
Polymers ولويفات السليلوز الدقيقة من المحتمل أن تتقطع كنتيجة لفعل الأوكسين والذى قد

يكون من خلال الفعل الإنزيمى أوغير الإنزيمى، وهذا التفاعل يبدو أنه يشجع زيادة مرونة (

Plasticiry) أو أرتقاء الجدار (Loosening) مع زيادة مطاطيته (Elasticity). ونتيجة

لإستمرار تكسر الروابط وإعادة تكوينها فإن الزيلوجلوكونات من المحتمل أن تتسلل إلى السليلوز

لينتج عنها انبساط غير عكسى فى جدار الخلية (شكل ٥٢).



شكل (٥٢): يوضح تقطع وأنفصال الروابط بين مكونات الجدار الخلوي وإعادة تكوينها

٣- فعل الأوكسين ونوعية الـ RNA وبناء البروتين Auxin Action , Specific RNA , and Protein Synthesis

يمكن للأوكسينات أيضاً أن تتفاعل عند مستوى الجين، حيث أظهرت الدراسات أن فعل

الأوكسينات في تنظيم النمو تكون مصاحبة ومرتبطة ببناء الأحماض النووية، وإضافة الـ IAA خارجياً يمكن أن يحفز تخليق RNA وبروتين جديدين وقد أمكن إثبات ذلك في عديد من الأنسجة النباتية.

النتائج السابقة تبين أن التأثير الأولى للأوكسينات يرتبط ويلزم المستوى الجيني

للخلية، فجميع خلايا نبات معين تحتوى على مجموعة متكاملة من الـ DNA مميزة وخاصة بهذا النبات. وجميع الجينات موجودة في هذا النبات ولكن ليس جميعها تكون نشطة في

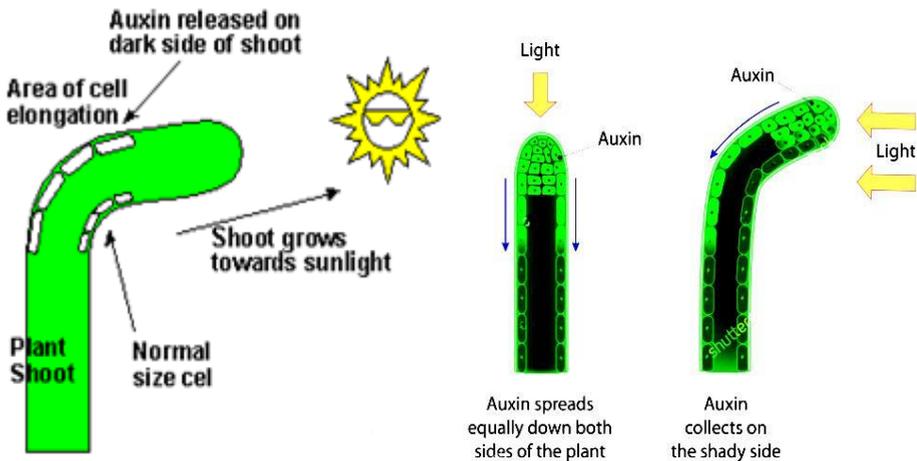
أى وقت، بمعنى أن كل خلية تحتوى على عدد من الجينات نشطة وآخرى غير النشطة (موقوف نشاطها Repressed Genes) في نفس الوقت. وبالتالي نجد أن هناك اختلاف بين الخلايا التي

تحتوى على نفس الجينات المتكاملة حيث أن هناك من الجينات ما يكون غير نشط أو كامن.

وتتضمن إحدى النظريات أن الأوكسينات ربما بطريقة ما تستحث الجينات الموقوفة عن العمل (الكامنة) إلى النشاط وبالتالي تطلق وسادة الـ DNA (أى مكان طبع الـ RNA) اللازمة لتمثيل وتخليق الـ RNA وربما يكون الـ RNA الجديد والنتاج من هذا الفعل هو الـ RNA الرسولى (m RNA) والذى يؤدي إلى إنتاج واحد أو أكثر من الإنزيمات والتي بالتالى تزيد من مرونة جدار الخلية وأنبساطها.

٤- الانتحاء الضوئى Phototropism :

عندما يتعرض النبات النامى للضوء من جانب واحد فإنه يتنحى جهة الضوء، وانتحاء النبات ينتج بسبب استطالة الخلايا التى توجد بالجانب المظلم بمعدل أكبر من الخلايا بالجانب المضاء، وهذا الاختلاف فى الإستجابة لمعدل النمو بسبب الضوء يسمى بالانتحاء الضوئى Phototropism وهو ناتج عن التوزيع غير المنتظم للأوكسين، حيث التركيز الأعلى لهرمون النمو يوجد فى الجانب المظلم (شكل ٥٣).



شكل (٥٣): يوضح الإنتحاء الضوئى

تفسير الانتحاء الضوئي

تقول نظرية كولودنى – ونت Cholodny Went بأن الإنتحاء الضوئي يكون بسبب أن هناك تركيزاً أعلى من الأوكسين في الجانب المظلم عن الجانب المضيء لغمد الريشة المعرضة للإضاءة من جانب واحد. وهذا التوزيع غير المنتظم للأوكسين يمكن أن يكون نتيجة لأن الضوء يقوم بإحدى المهام الآتية:-

١- يحفز الضوء عدم نشاط الأوكسين في الجانب المضاء .

٢- أو أن الضوء يعمل على انتقال الأوكسين جانبياً من الجانب المضاء إلى الجانب المظلم.

٣- وأن الضوء يثبط الأنتقال القاعدي للأوكسين .

بعض التفسيرات لا تميل بأن الضوء يعمل على عدم نشاط الأوكسين. ولكن تميل بأن الضوء إما أن يعمل على انتقال الأوكسين من الجانب المضاء إلى الجانب المظلم أو يعمل على تثبيط الأنتقال القاعدي، ويعتبر ذلك أكثر قبولاً كأساس لميكانيكية توزيع الأوكسين في الأغصان.

٥- الانتحاء الأرضي Geotropism

إذا وضعنا بادرة كاملة في وضع أفقي فإنها سوف تستجيب لتأثير حقل الجاذبية الأرضية بنظام نمو خاص، والسيقان تحت هذه الظروف سوف تنحني إلى أعلى حتى تصير رأسية مرة أخرى وكذلك فإن الجذور سوف تنحني إلى أسفل لكي تصبح رأسية كذلك (شكل ٥٤) ، لذلك فإننا نطلق على الساق أنه عضو ذو انتحاء أرضي سالب بينما نطلق على الجذر أنه عضو ذو انتحاء أرضي موجب وبالتالي فإن أدراك أو إحساس الجزء النباتي للجاذبية الأرضية ربما تنتج عنه اتجاهات أو انحاءات مختلفة كأستجابة لتأثير الجاذبية الأرضية .

والجذور والسيقان الابتدائية تكون موجبة وسالبة للجاذبية الأرضية على التوالي أما الجذور والسيقان الثانوية فإنها غريبة أو شاذة فى انتحاءها الأرضى **Plagiogeotropic** حيث أنها تنمو إلى وضع يعمل زاوية منفرجة مع الجاذبية الأرضية، والريزومات يمكن أن يطلق عليها محايدة للانتحاء الأرضى **Diageotropic** لأنها تنمو أفقياً .



شكل(٥٤): يوضح الإنتحاء الأرضى

تفسير الانتحاء الأرضى

تعتبر نظرية كولودنى – ونت منطقية فى تفسير الانتحاء الأرضى والانتحاء الضوئى حيث افتراضاً أن الأختلاف فى معدل النمو الناتج عن وضع الساق أو الجذر فى وضع أفقى راجعاً إلى تراكم أو تجمع الأوكسين على السطح السفلى، وتراكم الأوكسين هذا على الجانب السفلى للساق والموضوعة أفقياً يسرع من النمو على هذا الجانب السفلى وينتج عن ذلك انحناء الساق إلى أعلى (انحناء أرضى سالب) . وهذه النظرية التى تفسر انحناء الساق يبدو أنها ما زالت

٧-إنشائية الجذر Root Initiation

إزالة القمة النامية للمجموع الخضري يعمل على تقليل معدل النمو لهذا العضو وعلى العكس من ذلك فإن إزالة قمة الجذر لا يؤثر على معدل النمو، حيث وجد أن إزالة أقل من ١ سم من قمة الجذر ينتج عنه نشاطاً معنوياً بسيطاً لمعدل النمو . بينما إعادة وضع قمة الجذر يعمل على إعاقة نمو الجذر . هذا يوضح أن فعل الأوكسينات فى الجذور يكون مشابهة لفعالها فى السيقان ولكن نفس تركيز الأوكسين الذى يعتبر منشط لنمو الساق يكون مثبطاً لنمو الجذر . وبعبارة أخرى فإن الجذور تكون أكثر حساسية للأوكسينات عن السيقان، وأن هناك تنشيط حقيقى لاستطالة الجذور ممكن أن يحدث عند استعمال تركيز منخفض بدرجة كافية من الأوكسين. ولكن عند إضافة تركيزات عالية نسبياً من IAA إلى الجذر ليس فقط معناه أنها تعوق استطالة الجذر، ولكنها تؤدى الى زيادة ملحوظة فى عدد تفرعات الجذور

٨-الثمار اللابذرية Parthenocary

عملية التلقيح والذى يعقبها الإخصاب للبويضة فى الزهرة يتبعها عملية نضج الثمار . و من المعروف أن عمليتى التلقيح والأخصاب تكونا مرتبطتان بنمو الثمار، والذى ربما يكون ناتجاً عن انطلاق منبه من نوع معين . ولكن قد تحدث انمائه الثمار مع عدم حدوث التلقيح وفى هذه الحالة تسمى إنماء لا بذرى Parthenocarpic Development والثمرة الناتجة يطلق عليها ثمرة لالبذرية Parthenocarp Fruit .

وفى عديد من الحالات فإن نمو الثمار لا يمكنه الحدوث إذا لم تتم عملية الأخصاب وعليه كيف

يمكن لعملية إخصاب البويضة أن تعمل على تنبيه واستجابة معينة لحدوث انمائية الثمار؟

فى عام ١٩٠٢ أثبت بعض العلماء أن أنتفاخ جدار مبيض زهرة الأوركيد Orchids يمكن أن ينشط بواسطة حبوب لقاح ميتة. وفى عام ١٩٣٤ نجح آخرون فى أحداث ثمار لابذرية بإضافة مستخلص حبوب اللقاح إلى أزهار الخيار وتحليل هذا المستخلص وجد أنه يحتوى على الأوكسينات. وأخيراً وجد أن نمو الثمار اللابذرية من الممكن إحداثه بإضافة IAA إلى عجينة الأنولين إلى ميسم الزهرة. ولقد لاحظ ميور Muir أخيراً زيادة طارئة فى كمية الأوكسين فى مبيض نبات الدخان عقب عملية التلقيح مباشرة. ولكن بغياب عملية التلقيح لا يحدث أى زيادة فى كمية الأوكسين كما لاحظ أيضاً أن زيادة نمو أنبوبة اللقاح تسبب زيادة كمية الأوكسين المستخلص فى قلم نباتات الدخان وهذه الظاهرة جعلته يقترح أن هناك إنزيم معين يمكن أن يحرر بواسطة أنبوبة اللقاح التى ينتج عنها تحرير وأنتاج الأوكسين. وهذا الأقتراح أمكن تأكيده بواسطة لند Lund الذى أقتراح أن أنبوبة اللقاح تفرز إنزيم له القدرة على تحويل التريتوفان إلى أوكسينات.

٩- التساقط Abscission

عرف تأثيرالأوكسين الطبيعى على تساقط الأوراق عام ١٩٣٣ عندما أوضح ليباش Laibach إن مادة ما فى مستخلص نبات الأوركيد قادرة على منع حدوث عملية التساقط. وهذه الملاحظة أمكن تأكيدها بواسطة لارو Larue الذى أثبت تأخير عملية التساقط بواسطة الأوكسينات المختلفة المخلفة صناعياً. منذ ذلك الحين تواردت المعلومات أن أندول -٣- حمض الخليك (IAA) له دور كبير فى التحكم فى عملية تساقط الأعضاء النباتية.

كيفية حدوث عملية التساقط

قبل حدوث عملية تساقط الأعضاء النباتية تتكون طبقة من الأنسجة في قاعدة العضو

النباتي ويطلق على هذه الطبقة من الخلايا بمنطقة التساقط (الانفصال) **Abscission Zone**

وجدر خلايا هذه المنطقة تكون سميكة وتكون فقيرة في محتواها من اللجنين والسوبرين

وهناك ثلاثة طرق لإذابة الجدر الخلوية والتي من المحتمل أن تكون السبب في عملية التساقط

هي:

١ - إذابة الصفيحة الوسطية بين الخلايا مع بقاء الجدار الابتدائي

٢ - أو إذابة كل من الصفيحة الوسطية والجدار الابتدائي.

٣ - أو في حالات قليلة فإن الخلية بأجمعها يحدث لها ذوبان .

الأوكسين والإيثيلين وعلاتهما بعملية التساقط

إن الأوكسين والإيثيلين يبدو أنهما الهرمونان الرئيسيان اللذان يتحكما في عملية تساقط

الأوراق . فيعتبر الإيثيلين عادة العامل النشط الرئيسي للتساقط في خلال المرحلة المبكرة ومرحلة

النمو للأوراق وعدم تساقطها. ويتقدم عمر الورقة فإن إنتاج الأوكسين يميل إلى التناقص بينما

يزداد معدل نشاط الأيثيلين والذي يشجع عمليات التساقط في أنسجة أعناق الأوراق المسنة من

خلال تأثيره المباشر على تشجيع تخليق إنزيم السيليلوليز **Cellulase**

(إنزيم يحلل السيلولوز **Cellulose – Degrading Enzyme**) وتحرره من خلايا منطقة

الانفصال .

١٠- التنفس Respiration

الأوكسين له تأثير منشط في عملية التنفس، وهذا أدى إلى الاقتراح بأن نشاط الأوكسين يكون في وجود عملية أكسدة المواد الغذائية . وقد وجد أن هناك ارتباط بين زيادة النمو التي ترجع إلى المعاملة بالأوكسين وزيادة التنفس. ولقد ناقشنا بالفعل التأثير المنشط لـ IAA في تخليق RNA والبروتين. وكلاً من المركبين المخلقين يحتاج إلى طاقة وبالتالي يؤدي إلى زيادة التنفس.

١١- تكوين الكالوس Callus Formation

بالرغم من أننا قد أوضحنا أن نشاط الأوكسين يكون من خلال تأثير تنشيطي لاستطالة الخلية فإنه يكون أيضاً راجعاً لتنشيط انقسام الخلية. فعند إضافة ١% IAA إلى عجينة اللانولين إلى الأعناق المفصول أنصالتها لأوراق نبات الفاصوليا لوحظ حدوث انتفاخ في المكان الذي وضع عليه الأوكسين، وهذا الانتفاخ يكون ناتجاً عن نمو أنسجة الكالوس الناتج عن الخلايا البرانشيمية المنقسمة بسرعة. ولذلك فإن الـ IAA ليس فقط يسبب تكوين خلايا ولكن أيضاً تحت ظروف معينة يؤدي إلى إعادة تكشف هذه الخلايا والتي ستكون سبباً في تكوين الجذور العرضية . أيضاً في كثير من المزارع الصناعية للأنسجة والتي ينمو فيها الكالوس نمواً عادياً فإن إضافة الأوكسينات يكون ضرورياً لاستمرار نمو خلايا الكالوس. وكمية نسيج الكالوس الناتجة تكون مرتبطة بالتركيز المضاف من IAA فالتركيز العالي يسبب زيادة نمو نسيج الكالوس .

الباب الثاني

منظمات النمو

الفصل الرابع

٤- الجبريلينات Gibberellins

٤ - الجبريلينات Gibberellins

الجبريلينات لها دور لا يقل أهمية عن الأوكسينات. ولقد أدى مرض الباكانا او ما يسمى بالبللورات الهوجاء (Foolish Seedling) - والذي سبب تأثيرات مدمرة على اقتصاديات الأرز في اليابان خلال القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين - إلى اكتشاف والتعرف على صفات ومميزات الجبريلينات - وفي أواخر القرن التاسع عشر وصف المزارعون اليابانيون أن نباتات الأرز المصابة بالمرض كانت أطول وأشعب لوناً عن مثيلاتها الطبيعية ، وكانت النباتات المصابة عقيمة Sterile وخالية من الحبوب .

وفي بداية القرن العشرين تم وضع برنامج مكثف للأبحاث لمعرفة سبب المرض، وفي أول الأمر أثبت علماء أمراض النبات اليابانيون أن هناك علاقة بين مرض البادرات المجنونة (Bakanae) وفطر الجبيريللا فيوجيكوروى (*Gibberelia fujikuroi*) وأن هذا المرض ينتج عن شيء ما يفرزه الفطر ، ولقد دعم هذا الافتراض العالم كوروساوا Kurosawa الذي أثبت أن راشح الفطر المعقم سبب أعراض مرض البادرات " المجنونة " وذلك في بادرات الأرز الطبيعية أى الغير مريضة، فى عام ١٩٣٥م تمكن العلماء من عزل حالتين بلورتين من المواد النشطة من راشح مزروعة فطر *G. fujikuroi* سميت هاتين المادتين جبريلين (أ) ، (ب)

أماكن تخليق الجبريلينات

يتم تخليق الجبريلينات فى الجذور والقمم النامية للسيقان والأوراق، وكذلك فى البنور والثمار أثناء تكوينهما.

هدم أو التخلص من تأثير الجبريلينات

وجود الجبريلينات بتركيزات عالية نسبيا لا يؤثر تأثيرا ضارا على النباتات، وهذا بعكس ما يحدث في حالة الأوكسينات، ولكن بالرغم من ذلك فإن الجبريلينات تتحد مع بعض أنواع من السكريات مثل الجلوكوز، وينتج عنها مركبات تعرف بإسم جليكوسيدات Glycoside ويتكون نتيجة لذلك جبريلين غير نشط فسيولوجيا. كذلك توجد هناك بعض الطرق التي يمكن للنبات من خلالها التحكم في تركيز الجبريلينات داخله، ومنها:-

- ١- الإرتباط بين سكر الجلوكوز والجبريلين، ليتكون جليكوسيد الجبريلين.
- ٢- الإرتباط مع البروتينات ويصبح الجبريلين مقيد وغير نشط فسيولوجيا.
- ٣- تحلل الجبريلينات وخاصة حمض الجبريليك في البيئة الحامضية، إلى مركبات منخفضة أو عديمة التأثير فسيولوجيا.

إنتقال الجبريلين Gibberellin Transport

أظهرت الدراسات أن إنتقال الجبريلين يكون في أغلبية غير قطبياً (Non-Polar) على الرغم من أن بعض الباحثين يدعوا أنهم لاحظوا الإنتقال القطبى في بعض الحالات) . وينتقل الجبريلين في اللحاء تبعاً لنمط السريان Flow Pattern مشابهاً بذلك إنتقال الكربوهيدرات والمواد العضوية الأخرى، ولقد وجد كذلك أن الجبريلين ينتقل في نسيج الخشب بسبب الحركة الجانبية Lateral Movement بين النسيجين الوعائين. ويبدو أنه لا توجد ميكانيكية خاصة لتوزيع وانتشار الجبريلين.

الأختبارات الحيوية Bioassays

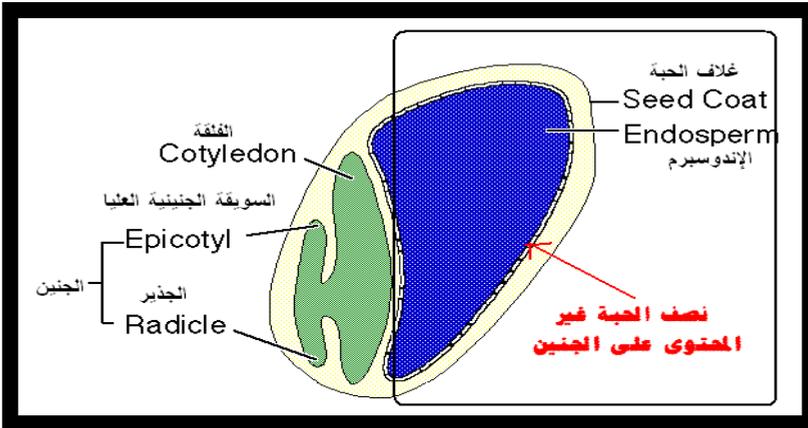
من الطرق المستخدمة في الأختبارات الحيوية للجبريلين هي:-

أ- أندوسبرم الشعير Barley Endosperm

هذه التجربة توضح أن الجزء الوحيد في الحبة القادر على إفراز الجبريلين هو الجنين، حيث ينتقل الجبريلين إلى طبقة الأليرون، مسببا تخليق أنزيم ألفا الأميليز والذي ينتقل إلى نسيج الإندوسبرم ليقوم بتحليل النشا إلى سكريات أحادية قابلة للذوبان في الماء، تنتقل إلى منطقة الجنين لتساعده على الإنبات والنمو (شكل ٥٥) وللتأكد من ذلك يمكن إجراء الآتى:

١- توضع أنصاف من حبوب الشعير (النصف الخالي من الجنين) في محلول حمض الجبريليك والبعض الآخر في ماء (كنترول) لمدة يوم واحد.

٢- نلاحظ نقص في كمية النشا وزيادة في كمية السكريات المختزلة في حالة حمض الجبريليك حيث أن وجود الجبريلين يشجع نشاط إنزيم الأميليز Amylase الذى يساعد على تحلل النشا الى سكريات مختزلة، بينما لا يحدث تحلل للنشا في حالة الماء.



شكل(٥٥): يوضح الإختبار الحيوي للجبريلين في إندوسبرم الشعير

ب- ورقة نبات الحميض Rumex Leaf

إذا حضنت أقراص أو أوراق الحميض في محلول الجبريلين فإنها تحتفظ بالكلوروفيل بكميات معنوية مدة أطول من غير المعاملة (الكنترول) - وفترة هذا الأختبار الحيوي تستمر تقريباً لمدة خمسة أيام. وقد يكون ذلك من خلال قدرة الجبريلينات على تخليق الحامض النووي الـ RNA وبعض البروتينات التي تعيق عملية تحلل الكلورفيل (شكل ٥٦).



- جبريلين
لا يحتفظ باللون الأخضر



+ جبريلين
يحتفظ باللون الأخضر

شكل (٥٦): يوضح الإختبار الحيوي للجبريلين في أوراق نبات الحميض

التأثيرات الفسيولوجية Physiological Effects

تقوم الجبريلينات بالعديد من التأثيرات الفسيولوجية في النبات منها الظواهر التالية:-

- ١ - التقزم.
- ٢ - إنتاج الأفرع الزهرية " الحنطة " والتزهير.
- ٣ - تثبيط الضوء لنمو الساق.
- ٤ - الثمار اللابذرية.
- ٥ - تحريك الكربوهيدرات المختزنة أثناء عملية الأنبات.

١-التقزم الوراثي Genetic Dwarfism

من أهم الصفات الملقطة للجبريلينات هي مقدرتها في التغلب على الطرز المظهرية للتقزم الوراثي في نباتات معينة - وفي بعض الأحيان فإن التقزم الوراثي يرجع إلى طفرة جينية Gene Mutation ومن أمثلة ذلك هي إحدى طفرات نبات الذرة تسمى (d₅) - Dwarf والتي ترجع إلى حدوث طفرة في جين واحد Single Gene ويظهر الطراز المظهري Phenotype لهذه الطفرة قزماً بسبب نقص الجبريلينات، والنباتات التي لها مثل هذا النموذج من التقزم تكون سلامياتها قصيرة وحجمها صغير إذا ما قورنت بحجم النباتات العادية. ولهذا السبب فإن استعمال الجبريلين لطفرة (d₅) أو إحدى الطفرات الجينية المفردة المتقدمة مثل البسلة والفلول يتسبب في استئالة هذه الطفرات حتى تصير غير مميزة عن نظائرها من النباتات العادية (الغير مطفورة)، وعندما يحدث تغير الطراز المظهري Phenotype لنبات ما ذو طراز جيني واحد One Genotype - وذلك باستعمال المعاملات الكيميائية أو الطبيعية - فإنه يماثل

أو يحاكي الطراز المظهري لنبات آخر ذو طراز مختلف – تسمى هذه الظاهرة بالنسخة المظهرية

Phenocopy (شكل ٥٧)

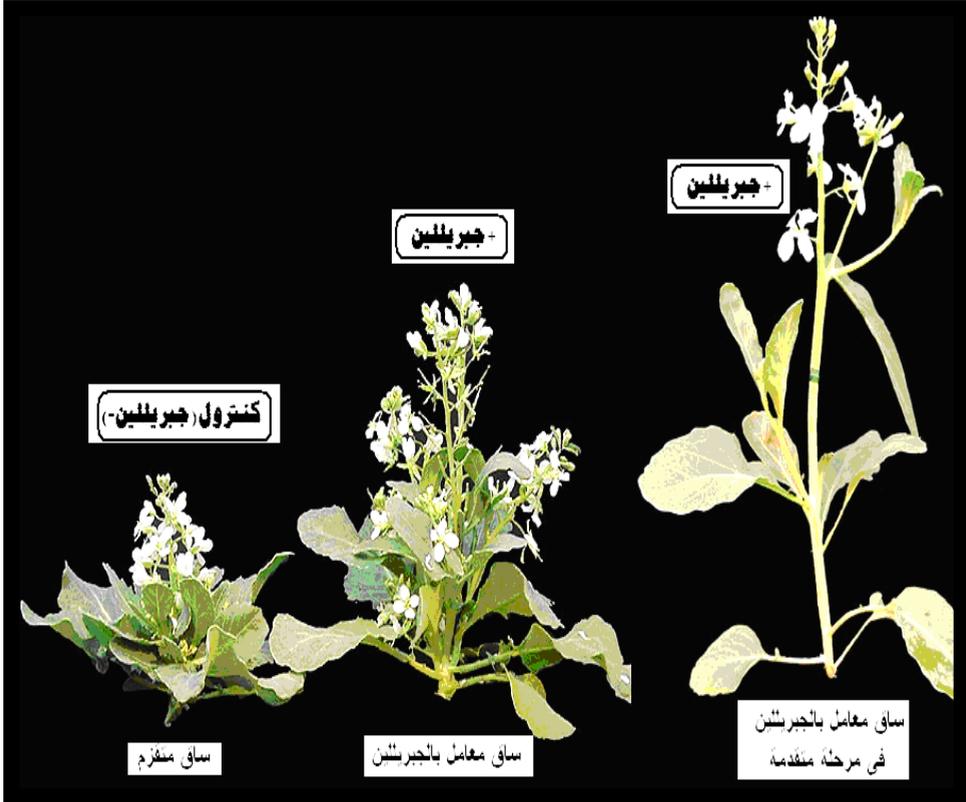
وعلى الرغم من أن تقزم نباتات معينة يرجع إلى نقص الجبريلينات، إلا أن هناك بعض

النباتات المتقزمة لا تستجيب للإضافة الخارجية للجبريلينات، وذلك ربما لأنها:

١- تحتوي على مستقبلات غير نشطة أو فعالة **Ineffective Receptors**

٢- أو بها إعاقة أيضية **Metabolic Blockage**

٣- أو تحتوي على كمية زائدة من المثبطات الطبيعية **Natural Inhibitors**

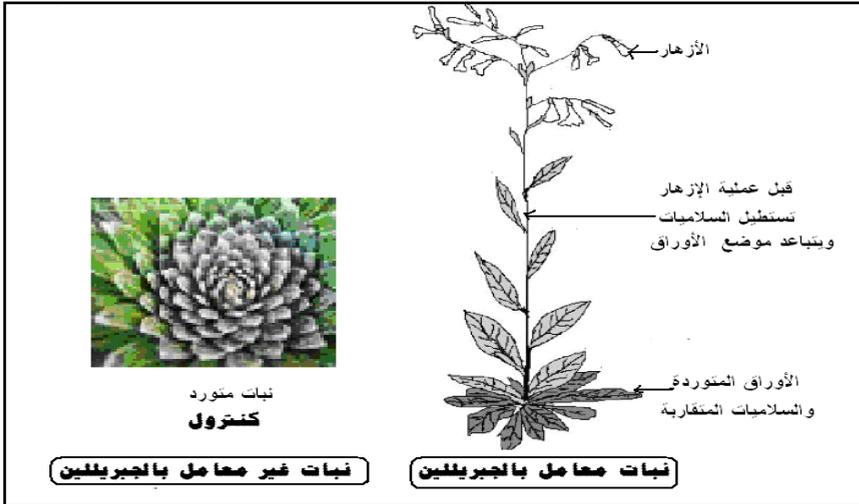


شكل (٥٧): يوضح تأثير الجبريلين في التغلب على التقزم الوراثي

٢- إنتاج الأفرع الزهرية وإزهارها " الحنبطة " Bolting and Flowering

فى مثل هذه النباتات يكون تطور إنماء الأوراق غزيراً ولكن نمو السلاميات معاقاً - وقبل المرحلة التكاثرية مباشرة تستطيل السلاميات بدرجة كبيرة. وعادة يكون مثل هذا النوع من النباتات من نباتات ذات نهار طويل متوردة Rosetted Long Day Plants والتي تحتاج إلى عدد من الساعات ذات حد أدنى من طول النهار لتستطيل سيقانها وتزهر، أو تكون مثل هذه النباتات المتوردة من النباتات التي تحتاج إلى التعرض لدرجات حرارة باردة Cold- Requiring حتى تستطيل سيقانها وتزهر - فإذا حفظت هذه النباتات تحت ظروف اليوم القصير فى الحالة الأولى ولم تتعرض لدرجات الحرارة الباردة فى الحالة الثانية - فإن هذه النباتات تظل فى الحالة المتوردة . ومعاملة هذه النباتات بالجبريلين أثناء هذه الظروف - التي لو تركت فيها تلك النباتات لن تزهر -تسبب استطالة سيقان هذه النباتات وإزهارها (شكل ٥٨). ويشمل تأثير الجبريلين على عملية إنتاج الأفرع الزهرية (الحنبطة) على عمليتي أنقسام الخلية

واستطالتها.



شكل (٥٨): يوضح تأثير إنتاج الأفرع الزهرية وإزهارها

٣- تثبيط الضوء لنمو الساق Light – Inhibited Stem Growth

إذا قارنا نمو الساق في النبات ذو الشحوب الظلامي **Etiolated** بنمو الساق في النبات النامي في الضوء ، فإننا نستطيع أن نستخلص أن للضوء تأثيراً مثبطاً على نمو الساق، واستخدام الجبريلينات في بعض النبات النامية في الضوء يؤدي إلى زيادة كبيرة في نمو سيقانها. وهذا يوضح أن الضوء يسبب تثبيطاً لنمو الساق عن طريق تخفيضه لمستوى الجبريلين المتاح أو الميسور في النبات، وهذا التثبيط الضوئي يمكن التغلب عليه باستخدام الجبريلين الخارجى على النبات. ولقد أوضحت الأبحاث أن زيادة مستوى الجبريلين المتاح أو الميسور يسبب زيادة مطاوعة أو لدونه **Plasticity** جدر الخلايا الحديثة – وأن مرونة الجدار الخلوى تنقص في الخلايا النامية في الضوء. واستخدام الجبريلين يبطل تأثير الضوء المنقص لمرونة الجدار الخلوى.

٤- الثمار اللابذرية Parthenocarpy

الأوكسينات هي هرمونات النمو الموجودة طبيعياً والوحيدة القادرة على أحداث الثمار اللابذرية، ولقد وجد أن الجبريلينات يمكنها إنتاج وعقد الثمار **Fruit -Set** لا بذرياً، وفي حالات عديدة تكون أكثر نشاطاً عن الأوكسينات الطبيعية والأصلية من هذه الوجهة. وفي الواقع توجد أمثلة عديدة أثبتت فيها أن الأوكسينات غير فعالة، أما الجبرينيات فكانت فعالة ومن أمثلة ذلك الثمار التفاحية والحجرية فهي لا تستجيب بصفة عامة لمعاملة الأوكسينات ولكن الجبريلينات سببت نمو الثمار التفاحية لا بذرياً .

٥- تحريك المركبات المختزنة أثناء الإنبات Mobilization of Some Compounds During Germination

المقصود بالتحريك هنا هو الانحلال الإنزيمي للنشا المخزن في الإندوسبرم المحاط

بطبقة من الأليرون إلى سكريات بسيطة وانتقالها إلى الجنين لأمداده بالطاقة اللازم للنمو.

أظهرت الدراسات أن طبقة الأليرون هي التي تكون حساسة لحمض الجبريليك، وأن

إزالتها تجعل الأندوسبرم غير حساس للمعاملة بالجبريلين، كما أن معاملة طبقة الأليرون

المفصولة بحمض الجبريليك يسبب إفراز الإنزيمات التحليلية اللازمة لهضم نشا الإندوسبرم.

وتفسير هذا هو أن الجينات الخاصة بإنزيم الفا - أميليز أو البروتيز تكون مكبوة قبل

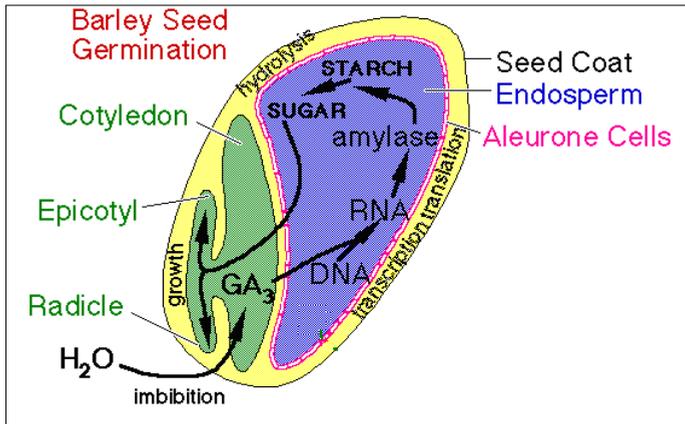
إنبات البذور، وفي خلال مرحلة الإنبات المبكرة يفرز الجنين حمض الجبريليك الذي ينتقل إلى

خلايا الأليرون وبمجرد أن يصل إليها يسبب تنشيط الجينات المتكئة في تخليق هذه الإنزيمات .

وجزئ DNA المنشط أو المفكوك كجه ينتج RNA جديداً والذي بدوره ينتج بروتيناً جديداً. كما

تعمل الجبريلينات على تحويل المركبات عديدة الوحدات (البروتينات والسكريات والدهون) الى

مفرداتها والتي تنتقل الى مواقع النشاط في الخلايا المرستيمية (شكل ٥٩).



شكل (٥٩): يوضح تأثير الجبريلين على تحريك المركبات المختزنة أثناء الإنبات

تشابه واختلاف تأثير الجبريلينات و الأوكسين

تقارن الجبريلينات عادة في نشاطها البيولوجي بالأوكسينات وفي الواقع فإن هذين القسمين من الهرمونات النباتية في بعض الحالات يتشابهان في التأثير – فمثلاً يشجع كلا من الجبريلينات وأندول حمض الخليك IAA كل من:-

١- استطالة الخلية Cell Elongation .

٢- تكوين الثمار اللابذرية Parthenocarp .

٣- النشاط الكميومي Cambial Activity

٤- بناء الأحماض النووية وبناء البروتين

هناك بعض المجالات التي يؤثر عليها الأوكسين أو الجبريلين فقط كما هي مبينة بجدول (١).

جدول رقم (١): يوضح مقارنة بين دور كل من الأوكسينات والجبريلينات في بعض الأنشطة الحية للنبات.

الجبريلينات	الأوكسينات	الأنشطة الحية للنبات
لا	نعم	يشجع السيادة القمية
لا	نعم	يحفز تكوين الجذر
لا	نعم	يؤخر سقوط الأوراق
لا	نعم	يثبط تكوين البراعم الجانبية
لا	نعم	يحفز تكوين الكالوس
نعم	لا	يحفز انبات البذور وكسر الكمون
نعم	لا	يحفز نمو النباتات المتقزمة
نعم	لا	يحفز الإزهار في بعض النباتات

وسنرى فيما بعد أن الجبريلينات تتشابه في نشاطها مع السيتوكينينات Cytokinins ويعتقد أن الهرمونات النباتية الكبرى تعمل عن طريق مستقبلات متشابهة Similar Receptors أو مسالك أيضية متشابهة أو تركيبات خلوية متشابهة .

الباب الثاني

منظمات النمو

الفصل الخامس

٥- السيتوكينينات Cytokinins

٥- السيتوكينينات Cytokinins

نبذة تاريخية

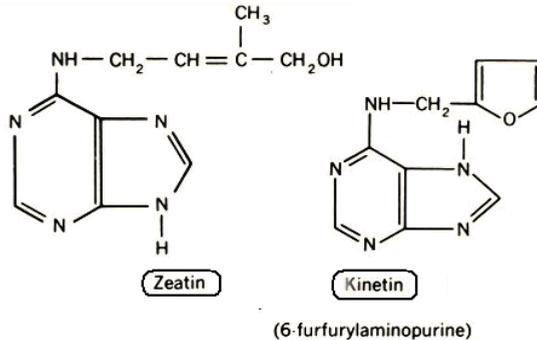
كان تكوين كالوس الجروح Wound Callus في أجزاء النبات التي تمزقت بوسيلة أو بأخرى (مثل التقليم Pruning)، من الظواهر المألوفة التي يمكن ملاحظتها . وقد لاحظ العلماء أن هناك مواد تساعد على الشفاء من الجروح. وفي خلال النصف الأخير من القرن التاسع عشر افترض العلماء أن الأنسجة التي أصابها التمزق أو التجريح تنتج مادة ما تنتشر إلى الخلايا السليمة المجاورة للجرح وتنبه فيها النشاط المرستيمي.

في عام ١٩١٣ أوضح هابرلانديت Haberlandt أن المواد المنتشرة من اللحاء تنبه تكاثر الخلية في نسيج درنات البطاطس. كما أن مستخلص الخلايا التي تمزقت كان له المقدرة في إحداث نشاط مرستيمي عند إضافته إلى خلايا سليمة وسميت هذه المركبات سيتوكينينات لأنها تساعد في عملية انقسام الخلايا وهي مشتقات من الأدينينات Adenines.

في عام ١٩٦٤ تم اكتشافها في النبات وسميت بالكينيتينات, إلا أنه ثبت أن السيتوكينين

الطبيعي في معظم النباتات هو الزياتين وانه أقوى من الكينيتين في بعض الاختبارات الحيوية.

أتفق الكثير إلى عدم وجود الكينيتين في الأنسجة النباتية بل يوجد الزياتين بدلا منه.



أماكن وجود السيتوكينينات

توجد السيتوكينينات في قمم الجذور وتنتقل خلال الخشب لتؤثر في العمليات الفسيولوجية داخل باقي النبات، و يمكن أن تتكون في الثمار و البذور.

تكوين السيتوكينينات في النبات

تنتج السيتوكينينات عن تحلل بعض الأحماض النووية. ولكن وجد أن تركيزه في النباتات يكون أكبر من سرعة تحلل الأحماض النووية، مما يدل على أنه توجد طرق أخرى لتخليقه منها:-

١- عن طريق tRNA :

توجد أنواع من الـ tRNA تحتوي على سيتوكينينات، ويمكن أن تكون مصدر له عند تحولها أو تحللها.

٢- عن طريق الإنزيمات

يحتوى النبات على إنزيمات قادرة على تخليق السيتوكينينات.

انتقال السيتوكينينات Cytokinins Transport

تختلف السيتوكينينات عن الجبريلينات والأوكسينات، في إنها غير قابلة للحركة الذاتية، و لكنها تتحرك في تيار النتح من أسفل إلى أعلى، لتتوزع في جميع أجزاء النبات.

هدم أو تثبيط السيتوكينينات

١- الهدم:

حيث يمكن للسلسلة الجانبية أن تنفصل عن الأدينين بالأكسدة الضوئية أو في وجود حامض.

٢ - معادلة تأثيرها أى منع نشاطها:

حيث تتكون جليكوسيدات للسيتوكينينات نتيجة للإرتباط بين السيتوكينينات والسكريات. وعليه يتعادل تأثيرها وتصبح غير نشطة فسيولوجيا.

الإختبارات الحيوية للكشف عن السيتوكينينات

١- اختبار فلقات الفجل

عند وضع فلقات بذور الفجل فى الماء فإنها تنتفخ بدرجة بسيطة، ولكن بإضافة السيتوكينين للماء فإنها تكبر فى الحجم بدرجة كبيرة، ويتناسب ذلك طردياً مع تركيز السيتوكينين المضاف.

٢- اختبار قرص ورقية الزانثيم

تتحول أوراق الزانثيم الخضراء، عند تعويمها على الماء بعد فترة إلى اللون الأصفر. نتيجة لفقد الكلوروفيل وتعتبر هذه التغيرات من مظاهر مرحلة الشيخوخة. ولكن عند إضافة السيتوكينين للماء فإنه يحدث تأخير لمرحلة الشيخوخة، وتستمر الورقة محتفظة بلونها الأخضر لمدة أطول، ويتناسب ذلك طردياً مع تركيز السيتوكينينات المضاف.

التأثيرات الفسيولوجية Physiological Effects

تنظم السيتوكينينات العديد من الاستجابات التى ربما تنتج أو لا تنتج من التأثير المباشر

للسيتوكينينات ومنها:-

١ - إنقسام الخلية.

٢ - تضخم الخلايا والأعضاء .

٣ - إنبات بذور الخس .

٤ - إنشائية ونمو الجذر .

٥ - إنمائية البراعم ونمو الأغصان

٦ - الحفاظ على الكلوروفيل وتأخر الشيخوخة فى الأوراق

٧ - تكوين البلاستيدات الخضراء

الخلايا كاستجابة لتكوين وإنتاج السكريات المختزلة فى الخلايا الفلقية حيث أنه فى وجود السيتوكينين فإن بناء السكريات المختزلة يبدو أنه يكون نتيجة للتحويل فى الليبيدات وبالرغم من أن السيتوكينين يبدو أنه لا يؤثر على إنزيمات تحويل الليبيدات ، إلا أن الكينتين يزيد من نشاط إنزيم الإنفرتيز فى الفلقات ، وبناءً على ذلك فإن السكروز الذى يبنى فى البداية من تحويل الليبيدات يتحلل بسرعة إلى السكريات النشطة أسموزيا وهى الجلوكوز والفركتوز. كما وجد أن الزيتين Zeatin (من السيتوكينينات) يشجع حدوث تغيرات فى الجدار الخلوى يكون نتيجتها حدوث تحورات فى الجدار الخلوى وزيادة فى مرونته. ومن ثم فإن السيتوكينينات تنبه وتشجع تضخم واتساع الفلقات عن طريق تأثيرها على الأقل على عمليتين فسيولوجيتين هما:

١ - تنشيط امتصاص الماء فى هذه الخلايا

٢ - تشجيع حدوث تغيرات فى الجدار الخلوى .

٣- إنبات بذور الخس Lettuce Seed Germination

يشجع الضوء الأحمر إنبات بذور الخس و'يثبط هذا الإنبات بالأشعة تحت الحمراء ، ولكن إذا نعت بذور الخس فى محلول الكينتين أو أحد السيتوكينينات الأخرى ثم أنبتت فى الظلام فإن إنبات هذه البذور المعاملة يكون أعلى بدرجة معنوية عن إنبات البذور الغير معاملة (الكنترول) النامية فى الظلام ، وكانت نسبة إنبات بذور الخس المعاملة بالكينتين ماثلة لنسبة إنبات البذور التى عوملت بالضوء الأحمر . فضلاً عن ذلك فإن التثبيط الناتج عن معاملة البذور بالضوء الأحمر البعيد يمكن التغلب عليه ولو جزئياً بنقع هذه البذور فى محلول السيتوكينين لمدة ١٢ إلى ١٨ ساعة قبل المعاملة بهذا الضوء .

٤- إنشائية ونمو الجذر Root Initiation and Growth

لقد وجد أن الكينتين يشجع إنشائية وإنمائية الجذور في مزارع كالوس ساق الدخان. كما يعمل على زيادة الوزن الجاف وزيادة استطالة جذور بادرات الترمس، وفي قطع جذر البسلة المفصولة فإن التركيزات المنخفضة من الكينتين كان لها تأثير مشجع محدود على إنمائية الجذور الجانبية، إلا أنه تحت التركيزات المرتفعة فإنه يعتبر مثبطاً في هذا الشأن.

٥- إنمائية البراعم ونمو الأفصان Buds Development and Shoots Growth

للسيتوكينينات دور أساسي في التحكم في نشأة الأغصان والسيادة القمية، ولقد لوحظ أن إضافة السيتوكينينات إلى برعم جانبي متوقف عن النمو يجعل هذا البرعم يبدأ في النمو ويستمر ذلك لأيام فقط، ولكن مع إضافة الـ IAA أو أحد الجبريلينات فإن البرعم الجانبي يستمر في النمو مدة أطول. أي أن إضافة الكينتين مع الـ IAA يحفز وينبه نمو هذه البراعم وهذا يعني أن نسبة التركيزات الداخلية لكل من السيتوكينين والـ IAA هي التي تتحكم في هذه العملية. في ضوء ذلك فقد اقترح بعض الباحثين أن السيتوكينين له تأثير مثبط مباشر على إنتاج إنزيم أوكسيديز أندول حمض الخليك، الذي يحلل الـ IAA ومن ثم فإن الأوكسين المنتشر ربما ينبه نمو البراعم الجانبية وإنمائية الأغصان. وبالإضافة إلى احتمالية تثبيط تحلل الأوكسين فإن السيتوكينينات يمكن أن تنشئ ميكانيكية جذب "بالوعات" "Sinks" في البراعم الجانبية والتي تحفز سرعة إنتقال المغذيات إليها والتي تتضمن منظمات النمو الأخرى والفيتامينات والعناصر المعدنية الغذائية اللازمة لنشأة البراعم ونمو الأغصان .

٦- الأستبقاء الحفاظى على الكلورفيل وتأخر الشيخوخة فى الأوراق

Retention of Chlorophyll and Delayed Senescence in Leaves

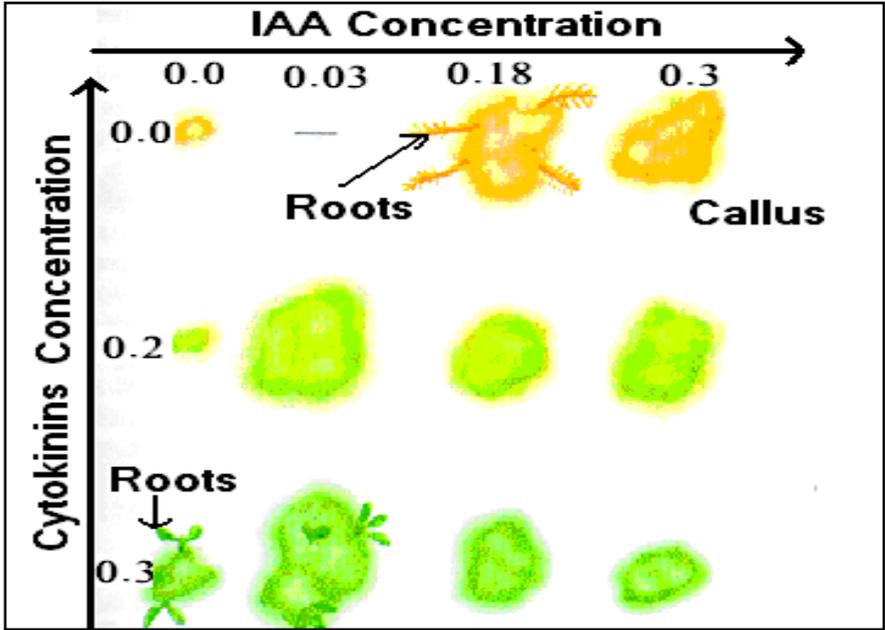
إذا فصلت الأوراق الناضجة عن النبات يحدث تحلل سريع للبروتين فى الأنصال ويصاحب هذا التحلل هجرة كل من : المكونات النتروجينية اللابروتينية - ومكونات الليبيدات ومكونات الأحماض النووية، وذلك من خلال الأغشية المختلفة إلى الأعناق ويعقب ذلك بسرعة تحلل الكلورفيل مع الإسراع فى إختفائه. وقد وجد أن تكوين الجذور على الأوراق المفصولة نتيجة للمعاملة بالـ IAA قد أعاق بداية أعراض الشيخوخة فى هذه الأوراق وظلت هذه الأوراق بما تحمله من منشئات الجذور الأولية النامية فى حالة صحية جيدة لعدة أسابيع، وعزى ذلك بأن الجذور أو الأعناق الخاصة بالأوراق المفصولة تنتج هرموناً ينتقل إلى النصل حيث يعمل على إعاقة الشيخوخة ووجد أن معاملة الأوراق المفصولة بالسيتوكينين يطيل فترة حياتها عن طريق تأخر تحلل البروتين وفقد الكلورفيل (شكل ٦٠).



شكل (٦٠): يوضح تأثير السيتوكينين على الحفاظ على الكلورفيل

٧- تكوين البلاستيدات الخضراء

في حالة كالوس نبات التبغ، لا تتكون البلاستيدات العادية في الضوء أو في الظلام، حيث تتكون البلاستيدات الغير مكتملة في وجود الضوء، ولا تتحول إلى بلاستيدات عادية إلا بعد إضافة السيتوكينين للوسط الغذائي. وهذا يوضح أن تكوين البلاستيدات الخضراء يكون نتيجة للتفاعل بين الضوء والسيتوكينينات (شكل ٦١).



شكل (٦١): يوضح تأثير السيتوكينين على تكوين البلاستيدات الخضراء

الرررر الرررر

منرررر الرررر الررررر

الرررر الررررر

٦- الإئرررر Ethylene

٦- الإيثيلين Ethylene

لقد عرف العلماء أن الإيثيلين يؤثر على العمليات الفسيولوجية المختلفة فى النباتات ابتداءً من الإنبات وحتى نضج الثمار. وقد أدرك المزارعون القدماء قدرة بعض الغازات فى التأثير على نضج الثمار فكانو يشعلون الحرائق بالقرب من أشجار الفواكه لمساعدة الثمار على النضج، وبالطبع فإن الدخان كان يحتوى على غاز الإيثيلين دون أن يعرف المزارعون.

فى عام ١٩٦٠ ثبت وجود الإيثيلين فى أجزاء النبات المختلفة، وفى عام ١٩٦٩ أعترف بالإيثيلين كهرمون نباتى، والإيثيلين يشجع إنضاج الثمار حيث أنه ينبه ويشجع إنزيمات التحلل Degradation Enzymes وتفكك الخلايا Cell Lossing، لذلك يسمى بهرمون نضج الثمار

خواص الإيثيلين

يشبه الإيثيلين الهرمونات النباتية الأخرى فى:-

١- الكميات الدقيقة منه تنتج فى النبات وتسبب تغيرات جوهريّة فى العمليات النباتية .

ويختلف الإيثيلين عن الهرمونات النباتية الأخرى فى:-

١- يكون الإيثيلين على الصورة الغازية فى درجات الحرارة العادية.

٢- ينتشر الإيثيلين خارجاً من الأنسجة النباتية بسرعة.

انتقال الإيثيلين Transport of Ethylene

نظراً لأن الإيثيلين هرمون فى حالة غازية، فإنه:-ينتقل داخل النبات بسهولة وحرية حيث

أنه قابل للذوبان فى الماء، بالإضافة أنه قابل للذوبان فى الدهون

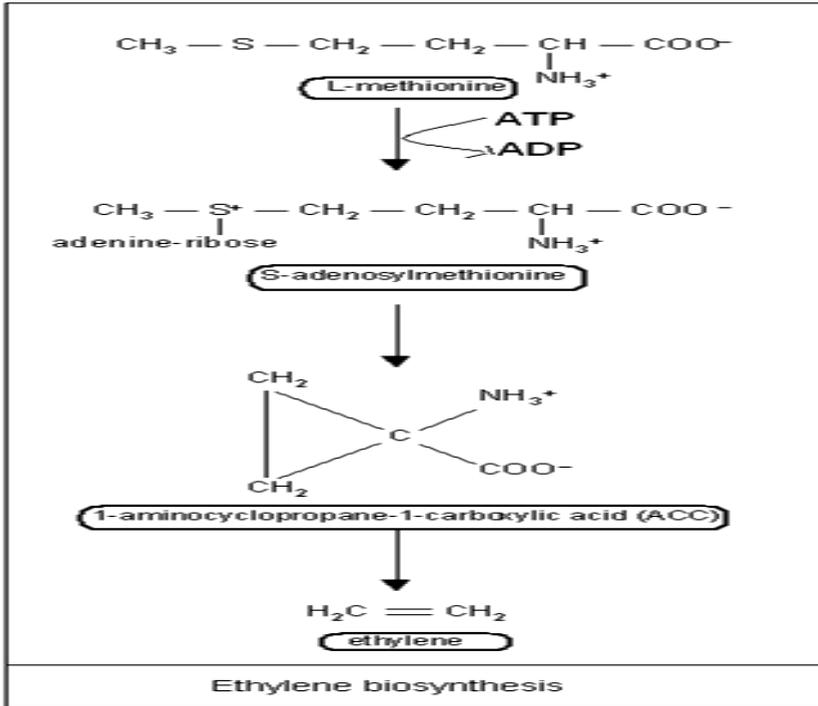
التخليق الحيوي للإيثيلين Ethylene Biosynthesis

يوجد غاز الأيثيلين في كل أجزاء النبات، ولكن تختلف كمياته من نسيج الى آخر ويتم تخليق الأيثيلين بتحويل الحمض الأميني الميثايونين الى الـ الأيثيلين في وجود الأكسجين. ولكن هذه العملية تتوقف في غياب الأوكسجين. ويساعد في ذلك العوامل التي تساعد على نضج الثمار، مثل المستوى العالي من CO_2 ودرجة الحرارة العالية، ويتم كالتالي:-

١- تحويل الميثونين إلى S-أدينوسيل ميثونين (SAM)

٢- يتحول (SAM) إلى ١- أمينوسيكلوبروبان-١- حمض الكربوكسيلك (ACC) بمساعدة

إنزيم ACC synthetase، والذي يتحول إلى الإيثيلين (شكل ٦٢).



شكل (٦٢): يوضح تخليق الإيثيلين من الميثونين

التأثيرات الفسيولوجية للإيثيلين

١- انضاج الثمار .

٢- إنخفاض تركيز الكلورفيل

٣- نمو وانبثاق البادرات .

٤- تساقط الأوراق .

٥- الإنتحاء الأرضى .

٦- السيادة القمية .

٧- ذبول الأزهار

١- إنضاج الثمار Fruits Ripening

لوحظ قبل أكتشاف والتعرف على الإيثيلين كنتاج طبيعي من النباتات أن الثمار الناضجة ينبعث منها " مواد طيارة " تعمل على إسراع إنضاج ثمار أخرى مجاورة لها وقد عرفت هذه المادة بأنها الإيثيلين، والذي تم اكتشافه بكميات صغيرة فى كل الثمار التى تم اختيارها .

وقد أظهرت القياسات التى أجريت على أنسجة الثمار أثناء نضجها أن كمية الإيثيلين تكون صغيرة جداً فى جميع الأوقات ولكنها تزيد أكثر من ١٠٠ مرة قبل " **طور الإنضاج الحرج** " مباشرة أو أثناءه . ولقد وجد أن الظروف التى تعيق النضج مثل درجات حرارة التخزين المنخفضة تعيق أيضاً إنتاج الإيثيلين . وفى النهاية فإن إضافة الإيثيلين للثمار الغير ناضجة سوف يؤدي إلى ظهور " طور الإنضاج الحرج " الذى يسرع من عملية الإنضاج . وهكذا أصبح من الثابت أن

الإيثيلين يعتبر هرمون إنضاج الثمار الحقيقى True Fruit Ripening Hormone

٢- انخفاض تركيز الكلوروفيل Chlorophyll Reduction

تسبب المعاملة بالإيثيلين في النبات إلى تغير اللون من الأخضر إلى الأصفر في ثمار البرتقال والموز، حيث يزيد من نشاط إنزيم الكلوروفيلليز، الذي يؤدي إلى تحلل الكلوروفيل وفقدان لونه الأخضر. وتستخدم هذه المعاملة في تغيير لون بعض الثمار من اللون الأخضر إلى لونها الطبيعي.

٣- نمو وانبثاق البادرات Seedling Growth Emergence

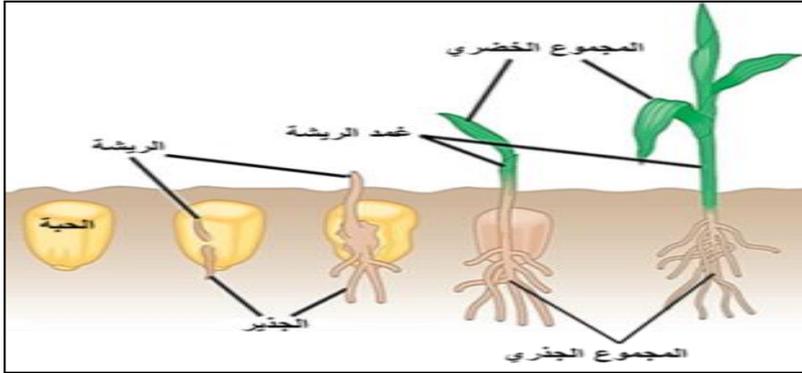
أثناء عملية الإنبات فإن كلاً من الجذير والقمة الخضرية ربما تُحمى بأنسجة معينة متخصصة، وفي ذوات الفلقة الواحدة فإن غمد الريشة وغمد الجذير تمثلان حماية للسويقة الجنينية العليا وقمة الجذير على التوالي (شكل ٦١- أ). ولكن في ذوات الفلقتين فإن أسلوب نمو البادرة في التربة أثناء إنباتها وبدونها يكون مهماً كأسلوب حماية لأجزاء النمو للبادرة النامية. وأحد أساليب نمو البادرة في بعض ذوات الفلقتين هو الإنبات الهوائي حيث تظهر الفلقات فوق سطح التربة مع القمة الخضرية النامية، وذلك نتيجة لاستطالة السويقة الجنينية السفلى (شكل ٦٣- ب) وعندما تستطيل السويقة الجنينية السفلى فإن القمة الخضرية والفلقات تكون محمية وتسحب إلى أعلى خلال التربة، وعندما يظهر وبيزغ الخفاف المنعقد للسويقة الجنينية السفلى ويتعرض للضوء فتستقيم السويقة وتنمو بعد ذلك بتناسق كنتيجة لاستقامة الخفاف المنعقد بفعل الضوء .

أنواع أخرى من ذوات الفلقتين تتميز بالإنبات الأرضي (شكل ٦٣- ج) وفيه تظل الفلقات تحت التربة ولا تستطيل السويقة الجنينية السفلى، وفي هذه الحالة تتقوس الريشة وتستطيل السويقة

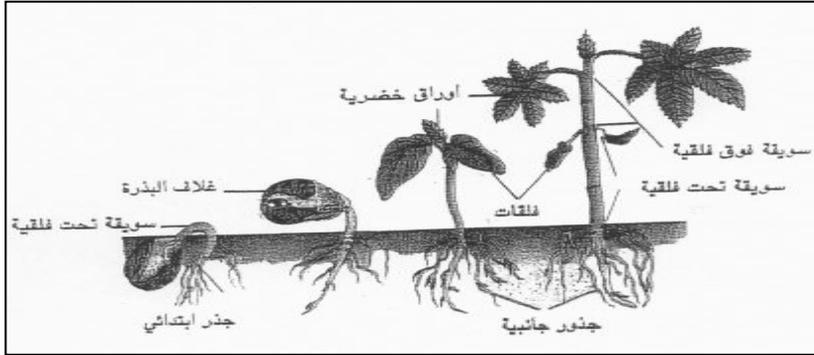
الجينية العليا وتحمي القمة الحساسة كلما اندفع قوس السوقة الجينية العليا إلى أعلى خلال التربة. وعندما يصل قوس السوقة الجينية العليا إلى سطح التربة يستقيم بفعل الضوء .

وخلال نمو بادرات ذوات الفلقتين فإن الإيثيلين ينتج إما في الريشة وقوس الريشة (في حالة الإنبات الأرضي، أو ينتج من منطقة السوقة الجينية السفلى (في حالة الإنبات الهوائي) .

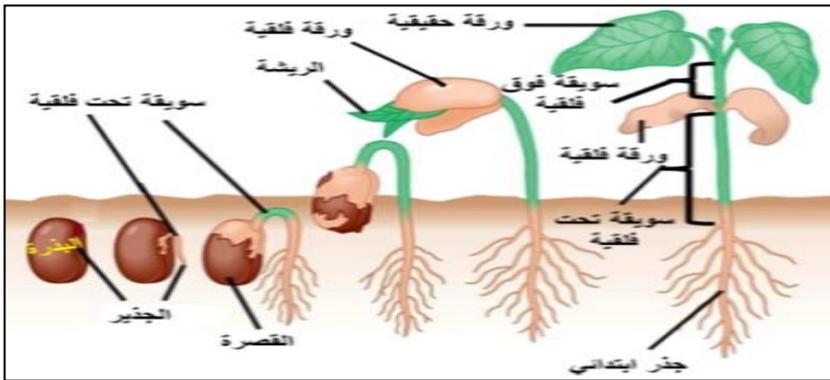
ومكان الإنتاج الخاص بالإيثيلين يكون مسئولاً عن تنشئة وتكوين واستمرارية أى من قوس الريشة أو الخفاف العقيفي للسوقة الجينية السفلى تبعاً لطريقة الإنبات . وأثناء إنماء البادرة الشاحبة ظلامياً داخل التربة فإن الإيثيلين يثبط نحو منطقة الخفاف العقيفي للسوقة الجينية العليا أو منطقة قوس السوقة الجينية السفلى . وعندما يظهر ويبرز خفاف السوقة الجينية السفلى أو قوس الريشة فوق سطح التربة فإن الضوء يسبب انخفاضاً في تخليق الإيثيلين ويسمح للخفاف العقيفي أو قوس الريشة أن تستقيم ويصير النمو متناظراً على جميع الجوانب بعد أن تستقيم (شكل ٦٣- ب) .



(أ) الإنبات في ذوات الفلقة الواحدة (الذرة)



(ب) الإنبات الهوائية في ذوات الفلقتين

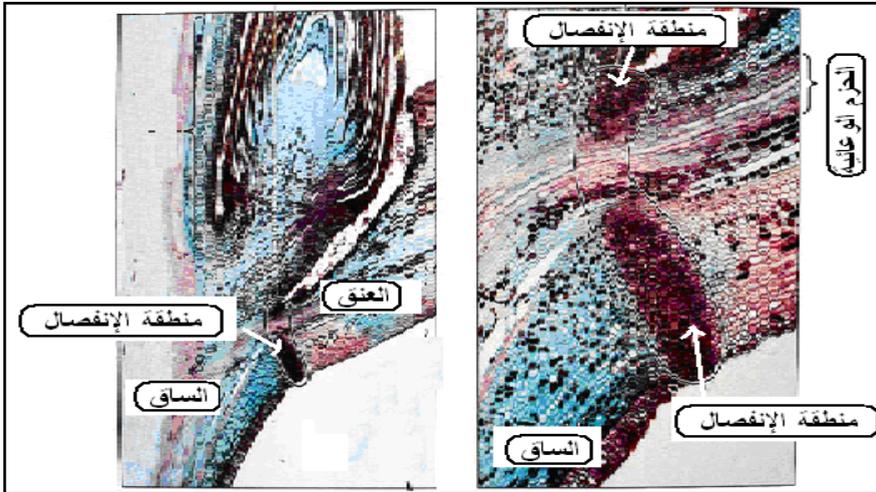


(ج) الإنبات الأرضي في ذوات الفلقتين

شكل (٦٣): يوضح تأثير الإيثيلين على نمو وانبثاق البادرات

٣- تساقط الأوراق Leaf Abscission

تتم عملية سقوط الورقة من خلال تكوين طبقات من الخلايا البرانشيمية عند قاعدة عنق الورقة. فربما ينتج النصل الأوكسين الذي يتدفق منه إلى منطقة الانفصال و يمنع تكوين طبقة الانفصال Abscission Layer، إلا أنه عند نقطة ما يبدأ في تكوين طبقة الانفصال، حيث تقل حساسية الخلايا المسنة Aging Cells إلى التأثيرات المثبطة لتخليق الأوكسين، وعلى النقيض فإنها تصبح حساسة وتستجيب للإيثيلين الذي يسرع من الشيخوخة وتكوين طبقة الانفصال. وهذا التأثير يرجع إلى أن الأوكسين ينبه ويشجع التخليق الحيوي للإيثيلين. وبمجرد أن يتركز الإيثيلين في خلايا منطقة الانفصال، فإنه يشجع إنتاج إنزيم السيلوليز Cellulase الذي يحلل السيلولوز ويسبب تقطيع وتمزيق الجدار الخلوي Cell Wall Disruption وبالتالي تنفصل الخلايا (شكل ٦٤)، وتعمل القوى الميكانيكية مثل الرياح على إتمام عملية انفصال وتساقط الأوراق.



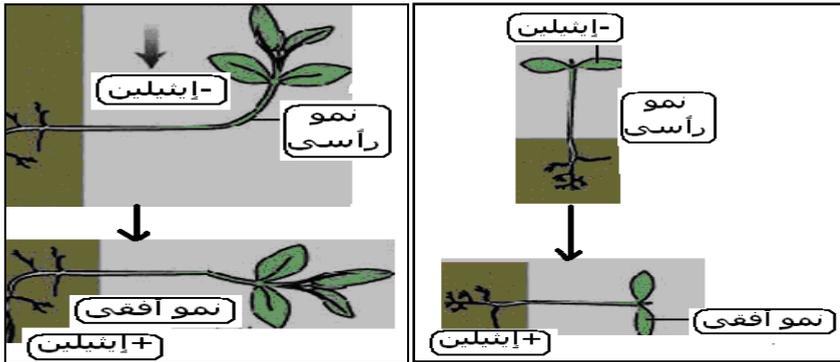
شكل (٦٤): يوضح تأثير الأوكسين والإيثيلين على سقوط الأوراق

الأوكسين والإيثيلين يشتركان في عملية سقوط الأوراق.

أثناء فترة نشاط الورقة يتكون باستمرار أوكسين جديد وينتقل من نصل الورقة خلال العنق إلى الساق ويُقلل هذا من تأثير الإيثيلين. ولكن عندما تصبح الورقة في حالة شيخوخة يقل إنتاج الأوكسين، وعليه يظهر هنا تأثير الإيثيلين الذي يؤدي إلى حدوث تغيرات في منطقة الانفصال وسقوط الورقة. وبالتالي يمكن القول بأن الإيثيلين يعتبر هرمون يسبب سقوط الأوراق، وذلك بإسراعه في حدوث الشيخوخة لمنطقة الانفصال، وتحلل الصفیحة الوسطى لهذه الخلايا، وذوبان جدرانها الخلوية. حيث أنه يشجع تكوين إنزيم السليلوليز في هذه الخلايا فقط دون غيرها، كما أنه ينظم انتقال هذا الإنزيم من سيتوبلازم الخلية إلى جدارها.

٥- الإنتحاء الأرضي Geotropism

عند تعريض الساق النامية رأسياً إلى أعلى للإيثيلين فإنها سوف تنحني وتنمو أفقياً. وعند وضع النبات أفقياً على الأرض فإنه ينمو ويتجه إلى أعلى، وعند تعريضه للإيثيلين فإن الساق يستقيم وينمو أفقياً (شكل ٦٥). وهذا يدل على أن الإيثيلين يُسبب نمو السيقان والجذور نمواً أفقياً. أي أن الإيثيلين يثبط عملية الإنتحاء الأرضي الموجب للجذور أو السالب للسيقان.



شكل (٦٥): يوضح تأثير الإيثيلين على الإنتحاء الأرضي

٦- السيادة القمية Apical Dominance

ظاهرة السيادة القمية تحدث نتيجة لزيادة الأوكسينات في البراعم الإبطية عن البراعم الطرفية (بسبب الأوكسين الموجود في البراعم الجانبية والأوكسين القادم من البرعم الطرفي اليه). هذه الزيادة تؤدي إلى زيادة تخليق الإيثيلين، والذي يسبب منع نمو البراعم الإبطية. ومعنى ذلك فإن تأثير الأوكسين يكون بطريق غير مباشر، حيث أن السبب المباشر في ذلك هو الإيثيلين.

٧- ذبول الأزهار Wilting of Flowers

بعد عملية التلقيح والإخصاب، فإن الزهرة تذبل، وذلك راجع لأن عملية التلقيح ينتج عنها غاز الإيثيلين، والذي يكون السبب في ذبول الأزهار.

الاستجابات الأخرى Other Responses

هناك بعض التأثيرات الأخرى الإضافية للإيثيلين على نمو النبات تشمل:

- ١- تثبيط استطالة الجذور والسوق والأوراق، ومن المعروف أن التأثير المثبط للتركيزات العالية من الأوكسينات يكون نتيجة لتنبه الأوكسين لتخليق الأيثيلين.
- ٢- تشجيع وتنبه الجذور العرضية (Adventitious Roots) على السيقان.
- ٣- يكسر الأيثيلين كمون البذور في بعض النباتات.
- ٤- تعريض الورقة للإيثيلين يشجع النمو المتباين، مع زيادة سرعة النمو على الجانب العلوي، ويمكننا ملاحظة هذا كإنتفاخات جانبية للخلايا عند قاعدة العنق والعرق الوسطى وهذه الظاهرة تعرف بالحركة التأثيرية الإنمائية العلوية Epinasty والتي تسبب انحناء الأوراق إلى أسفل.

الباب الثاني

منظمات النمو النباتية

الفصل السابع

٧- حمض الأبسيسيك Abscisic Acid

٧- حمض الأبسيسيك Abscisic Acid

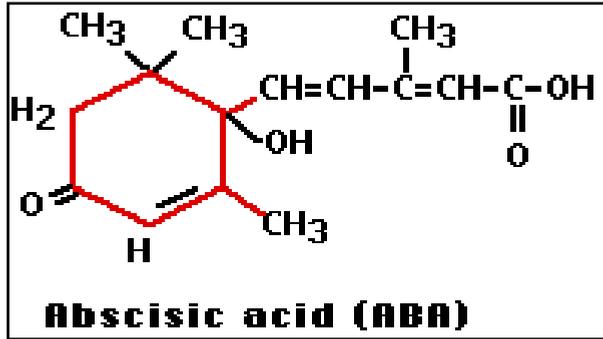
حمض الأبسيسيك يعبر عنه بما يسمى هرمون الإجهاد Stress Hormone حيث يتكون تحت ظروف الإجهاد ومن هذه الظروف المجهدة الملوحة، الجفاف، البرودة والتجمد. ويعمل حامض الأبسيسيك على حماية النبات من هذه الظروف.

نبذة تاريخية:

في عام ١٩٦٤ تم عزل مادة على صورة بلورية من ثمار القطن الناضجة (لوز القطن) وهذه المادة شجعت تساقط أعناق أوراق القطن المنزوعة الأنصال، وسميت أبسيسين Abscisin وقد أدى اكتشاف مادة مشابهة لها تم عزلها من ثمار القطن الحديثة وسموها أبسيسين Abscisin II وأدى التحليل الكيميائي الجزئي لأبسيسين (II) في ذلك الوقت إلى معرفة أنه مركب من خمسة عشرة ذرة كربون. وأثناء ذلك نشرت أبحاث تفيد استخلاص مثبط يتراكم في أوراق نبات التامول الموضوعه تحت ظروف نهار قصير ، وعندما أعيد إضافة هذا المستخلص على أوراق بادرات التامول، ترتب على ذلك الإيقاف الكامل للنمو القمي، وأدت هذه النتائج إلى إقتراح أن هذا المركب هو مشجع الكمون Dormancy Inducer، واطلق على هذا المركب الغير معروف الصفات الكيميائية في ذلك الوقت اسم **دورمين** Dormin (أي المسكن أو المكنم).

وفي عام ١٩٦٥م تمكن العلماء من أقتراح التركيب الكيميائي لمركب ابسيسين كما تمكنوا من عزل الدورمين في حالة نقية من المستخلصات الميثانولية Methanolic Extracts . وقد وجد ان الأبسيسين والدورمين هما مركب واحد ألا وهو حمض الأبسيسيك (شكل ٦٦).

ولتجنب الالتباس التي تنتج من اختلاف الأسماء لنفس المركب الواحد ، قرر تسمية هذا المركب الجديد المكتشف باسم حمض الأبسيسيك (ABA) Absciscic acid واسقطت أسماء أبسيسين (I) و (II) والدورمين. أى أن حمض الأبسيسيك (ABA) هو هرمون وحيد وليس هناك مايشبهه، ويوجد فى معظم المملكة النباتية عدا البكتريا.



(شكل ٦٦) : التركيب الكيميائى لحمض الأبسيسيك

تخليق وانتقال حمض الأبسيسيك Translocation of ABA Biosynthesis and

يتم تخليق ABA فى الأوراق الكاملة النضج فى البلاستيدات الخضراء , والبلاستيدات الأخرى عن طريق حمض الميفالونيك, حيث يحدث تكسير لمادة الزانثوفيل إلى جزيئات من ABA. ينتقل الحمض بسهولة إلى المناطق المختلفة عن طريق عنق الورقة ونسيج الساق . وينتقل الحمض على الأرجح فى اللحاء والخشب كما أنه ممكن أن ينتقل من قنسوة الجذور Root Cap حيث يؤثر على استجابة الانتحاء الأرضى. أى أن إنتقاله فى النبات ليس قطبيا.

هدم أو تثبيط حمض الأبسيسيك

١ - إتحاده بالجلوكوز ليكون مركب ABA-glucose غير نشط, كما فى معظم الهرمونات.

٢ - أكسدته بواسطة الأوكسجين ليكون مركبا آخر مؤكسد غير نشط.

التأثيرات الفسيولوجية لحمض الأبسيسيك

- ١- السكون.
- ٢- تثبيط نمو البراعم وتكوين الأغصان.
- ٣- إنمائية وإنبات البذور.
- ٤- الانتحاء الأرضى.
- ٥- غلق الثغور.
- ٦- الإجهاد المائى وحمض الأبسيسيك.

١-السكون Dormancy

حمض الأبسيسيك يعتبر هرمون الكمون النباتى حيث وجد أنه مشجع لكمون البراعم Bud Dormancy فى الأشجار، والذي يحدث فى النباتات متساقطة الأوراق عند حلول فصل الخريف حيث يتوقف البرعم عن النمو، ويحاط بأوراق حرشفية لتدفئة وحماية البرعم من برد الشتاء (شكل ٦٧-أ)، ويحدث ذلك لأن هذه النباتات يتحكم فيها طول الفترة الضوئية، وبالتالي فالنهار القصير فى الشتاء يسبب سكون البراعم، كما أن النهار الطويل يسبب نموها، ولذلك تحدث هذه التغيرات سنويا فى الأشجار فى الخريف والربيع.

وتعتبر الأوراق المكتملة النمو هى المستقبلية لتأثير النهار القصير أى تشعر بالنهار القصير وتتجاوب معه، وبالتالي فإن هذه الأوراق هى التى تقوم بتخليق حمض الأبسيسيك فى النهار القصير، ثم ينتقل فى اللحاء أو الخشب حتى يصل إلى البرعم الطرفى ويسبب السكون. والبراعم الساكنة تحتاج إلى فترة من الحرارة المنخفضة لى تنمو، ويحدث ذلك فى الشتاء، ولذلك

فإن هذه البراعم تنمو في فصل الربيع (شكل ٦٧-ب), نتيجة لوجود نهار طويل, وكذلك تعرضها في فترة سابقة لحرارة منخفضة في فصل الشتاء.



(ب) نمو البراعم في الربيع



(أ) كمون البراعم في الشتاء

شكل(٦٧): يوضح كمون وانبات البراعم

٢- تثبيط نمو البراعم وتكوين الأنصاف Inhibition of Bud Growth and Shoot Formation

وجد أن أصناف الطماطم التي تتمتع بدرجة قوية من السيادة القمية تحتوى على مستوى عالى من ABA. وعلى النقيض من ذلك فإن الأصناف ذات السيادة القمية الضعيفة كانت محتوية على مستويات منخفضة من ABA الداخلى، وهذا يوضح أن حمض الأبسيسيك يثبط نمو البراعم الجانبية فى نباتات الطماطم.

كما وجد أن النباتات التي تحتوى على مستويات عالية من حمض الأبسيسيك تحتوى أيضاً على مستويات عالية من النشاط الأوكسينى (IAA Activity) .
وتأسيساً على هذه النتائج فقد اقترح توكر أن IAA هو المسئول على استمرار مستويات حمض الأبسيسيك مرتفعة بدرجة كافية لظهور السيادة القمية القوية، والعكس يبدو صحيحاً بالنسبة لأصناف الطماطم الأخرى .

٣- إنمائية وإنبات البذور Seed Development and Germination

أظهرت الأدلة أن حمض الأبسيسيك يخلق فى الأجنة أثناء إنمائية البذور، ويعتقد الباحثون أن زيادة مستواه يكون بصفة أساسية نتيجة عملية التخليق من جديد كما يمكن أن ينتقل حمض الأبسيسيك أو مولداته المنشئة له (Precursors) من الأوراق إلى البذور، حيث أن (ABA) فى المبايض المتطورة إنمائياً يثبط تكوين إنزيمات الإنبات فى الجنين.

لذلك فإنه يبدو أن الـ ABA يلعب دوراً أساسياً فى إنمائية تطور البذور عن طريق

تثبيط "إنباتية الأجنة على النبات".

٤- الانتحاء الأرضي Geotropism

تستجيب قنسنوة الجذر إلى الضوء أو الجاذبية الأرضية عن طريق تخليق تراكم مثبتات النمو. ويعتقد العلماء أن المثبتات تنتج في الجزء السفلي من القنسنوة كاستجابة للجاذبية ثم تنتقل في اتجاه قاعدة الجذر إلى منطقة الاستطالة حيث تثبط استطالة الخلايا في الجانب السفلي من الجذر، ويترتب على هذا النمو المتباين والمتفاوت في الجذر (بسبب زيادة تركيز المثبتات على الجانب السفلي) ظاهرة الانتحاء الأرضي Geotropism، ولا يمكن القول بأن ABA هو المسئول عن الانتحاء الأرضي للجذور، فتوجد مثبتات أخرى غير محققة الهوية في قنسنوات الجذور، ومن المحتمل أن تنتقل أيضاً في اتجاه القاعدة Basipetally، هذا فضلاً عن أن حمض الأبسيسيك له تأثير مثبت قليل على المجموع الجذري. كما أن الفكرة الخاصة بأن الأوكسينات هي الوحيدة التي تتحكم في ظاهرة الانتحاء الأرضي غير مناسبة لتوضيح هذه الظاهرة - ولا بد أن تكون هناك بعض المشاركة لحمض الأبسيسيك ABA أو مثبتات أخرى .

٥- غلق الثغور Stomatal Closing

من أهم الأدوار المعروفة جيداً لحمض الأبسيسيك هو دوره في غلق الثغور، وفعل حمض الأبسيسيك الأساسي على الخلايا الحارسة يبدو أنه يشبط امتصاصها للبوتاسيوم، هذا ويبدو أن انسياب الذائبات Solutes الأخرى يتأثر بحمض الأبسيسيك خلال عملية انغلاق الثغور . فمثلاً ينطلق حمض المالك مع البوتاسيوم من الخلايا الحارسة بمعدل أسرع وذلك في وجود حمض الأبسيسيك.

وإحدى الأفكار التي تعلق تأثير حمض الأبسيسيك على فقد الخلايا الحارسة لامتلائها (Turgidity) هو أن حمض الأبسيسيك يثبط تبادل H^+ / K^+ ويشجع إرتشاح (تسرب) حمض الماليك. كل هذه العوامل السابقة تؤدي إلى نقص الذائبات النشطة أسموزياً في الخلايا الحارسة, وبالتالي تجعل الخلايا الحارسة مرتخية, وهذا يؤدي إلى غلق فتحة الثغر.

ميكانيكية فتح وغلغ الثغور وحامض الأبسيسيك

يتكون ABA تحت ظروف الإجهاد المائى (قلة الماء) حيث يساعد على سرعة غلق الثغور عن طريق تحكمه فى الجهد الأسموزى للخلايا الحارسة.

١- فى الليل ينتقل K^+ من الخلايا الحارسة إلى خلايا البشرة المجاورة, وبالتالي يقل الضغط الأسموزى لخلايا الحارسة وتنكمش ويغلق الثغر.

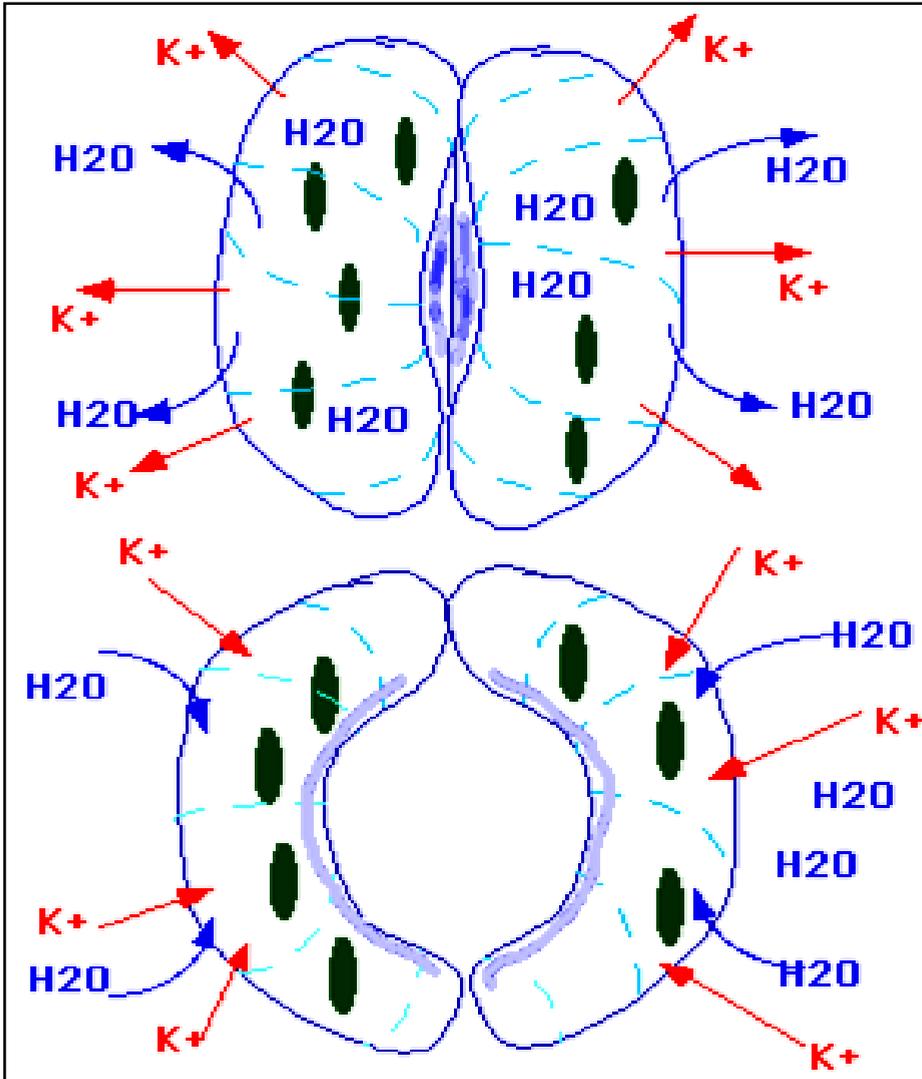
٢- فى النهار فإن K^+ ينتقل من خلايا البشرة المجاورة إلى الخلايا الحارسة وبالتالي ينتقل الماء إلى الخلايا الحارسة فتنتفخ ويفتح الثغر .

٣- وقد وجد أن ABA يساعد أيون البوتاسيوم على ترك الخلايا الحارسة فتتنكمش ويغلق الثغر, وبذلك يقل فقد الماء من النبات, وبذلك يتحمل النبات نقص الماء

٤- وعند رى النبات بالماء فإن الخلايا الحارسة للثغر لا تفتح مباشرة, بل تأخذ أولاً وقت معين

قبل الإنفتاح, لى ينخفض تركيز ABA فى الخلايا الحارسة, ثم بعد ذلك ينتقل إلى الخلايا

الحارسة K^+ من الخلايا المجاورة, وتمتص الخلايا الحارسة الماء, وتفتح الثغور (شكل



شكل (٦٨): يوضح ميكانيكية غلق وفتح الثغور

٦- الإءهاد المائى وءمض الأبلسللك Water Stress and ABA

بلءو أن ءمض الأبلسللك للعب ءورا مءما فى النبات أثناء الإءهاد المائى وظروف الجفاف أو القءط Drought Conditions - ونحن نعرف أن ABA بلشء الإنءلاق الشغرى. كذلك نحن نعرف أن ءمض الأبلسللك للتراكم فى نباتات البلاءة المءوسطة أو الوسلاءة Mesophytes والللى ءعانى إءهاداً مائياً (أى ءعانى من نقص الماء) ، وأن مسءوى ءامض الل يقل عءءما ءصءب النباتاء ءلر مءرضة لهذا الإءهاد المائى لءقرة طواءة. ولمكن ءلءلص ءلفلاء ءنظلم مسءواءاء ءمض الأبلسللك فى النباتاء الللى ءعانى من الأءهاد أو ءءوئر (Stress) والنباءاء الللى لا ءعانى من ذلك من أن ءمض الأبلسللك ABA للنءء فى البلاسلءاءء ءءراء وبلظ فى أوراق النباتاء الللى لا ءعانى من الأءهاد أو ءءوئر، وعءءما بلصء النبات ءء ظروف الإءهاد أو ءءوئر Stress فإن نفاءلاء أءشلاء البلاسلءاءء لءمض الأبلسللك ءزءاء وءسءء لهذا الءرمون أن للءرك وبلءهب إلى ءلاىاء البشرة بما فى ذلك ءلاىاء ءارساء ، ءلء اللؤءى ذلك إلى ءلق الشغور، وبلذلك ءمنع فقء الماء من النبات، وبلءاللى بلمكن للنباء مءاومة هذه الظروف البلاءة ءلر الملاءمة.

مبءانبلءة عمل ءامض الأبلسللك

لعلءر ءلق الشغور وءمون النبات من الوظائف الرلسلءة لءمض الأبلسللك ءلء:-

- ١- ءلق الشغور لءءء نءلءءة لءرء أبلون البوءاسبلوم ءارء ءلاىاء ءارساء.
- ٢- أما السءون الذى للظرأ على النبات فىلءون نءلءءة لءمنع ءمض ءلءلق RNA والبروءلنلاء، والللى ءلعب ءور ءبلر فى ءلءلق الإنزلماء الللاءمة لءلواءة النبات.

الباب الثاني

منظمات النمو النباتية

الفصل الخامس

٧- التأقت الضوئي والفيتوكروم

Photoperiodism and phytochrom

٨- التأقت الضوئي والفيتوكروم Photoperiodism and phytochrome

التأقت الضوئي:

هو استجابة النبات للعلاقة النسبية بين فترة الإضاءة والظلام المتعاقبة التي يتعرض لها النبات. تستجيب النباتات لفترات التعاقب [الضوء والظلام] بطرق مختلفة ، فالتزهير والنمو الخضري وإستطالة السلاميات وإنبات البذور وتساقط الأوراق ما هي إلا أمثلة على إستجابية النباتات للفترة الضوئية بمعناها الشامل من تعاقب فترة الضوء مع فترة الإظلام. ولما كان التزهير هو أول مظاهر الإستجابة للفترة الضوئية إكتشافاً، لذلك سنتناول شرح هذه الظاهرة.

التزهير Flowering

فى عام ١٩٢٠ ظهر أول تفسير واضح لتأثيرات التأقت الضوئي على التزهير حيث لوحظ أن تزهير نبات فول الصويا يتم خلال شهرى سبتمبر وأكتوبر حتى لو أمتدت زراعته لأكثر من ثلاث أشهر فى مايو أو يونيو أو أغسطس فقد لوحظ أن الفرق بين ميعادى الزراعة لشهرى مايو ويونيو والذي يقدر بتسعة وخمسون يوماً يقابله إختلاف يقدر بأحدى عشر يوماً لتفتح أول زهرة. وعلى ضوء ذلك فيمكن الإستدلال من تلك البيانات لفول الصويا على وجود توقيت موسمى لإزهار هذا النبات، وطبقاً لسلوك النبات الزهري فقد تم تقسيم النباتات إلى :

١- نباتات تزهر تحت ظروف اليوم القصير

٢- نباتات تزهر تحت ظروف اليوم الطويل

٣- نباتات تزهر مستجيبة بعض الشيء بين فترة اليوم القصير والطويل .

ويمكن تعريف ذلك حيث ان التعريف هنا مبني على دورة تعاقب الليل والنهار خلال ٢٤ ساعة إلى ثلاثة أنواع من حيث طول فترة الإضاءة الحرجة (فترة الإضاءة اليومية التي قبلها أو بعدها يحدث تغير) اللازمة للنبات لكي تزهر وهي:-

نباتات النهار القصير الزهرية Short-Day Flowering Plants

تزهر هذه النباتات عندما يصل طول النهار إلى أقل من فترة حرجة معينة وتظل تلك النباتات في الحالة الخضرية " أى لا تزهر " إذا ما تعرضت لطول نهار أكبر من تلك الفترة الحرجة. ومن أمثلة نباتات النهار القصيرة الزهرية الدخان وفول الصويا.

نباتات النهار الطويل الزهرية Long-Day Folwering Plants

تزهر تلك النباتات بعد تعرضها لطول فترة نهار أطول من فترة حرجة معينة. ومن أمثلة نباتات النهار الطويل الزهرية السبانخ وبنجر السكر .

النباتات الزهرية المحايدة لطول النهار Day-Neutral Flowering Plants

تزهر تلك النباتات بعد فترة نمو خضري بصرف النظر عن طول الفترة الضوئية أى غير متأثرة بطول فترة ضوئية معينة. ومن أمثلة تلك النباتات الطماطم وأصناف من البسلة. ومن النادر نسبياً وجود بعض النباتات التي تحتاج إلى فترة إضاءة طويلة يعقبها فترة قصيرة لكي تزهر. كما يوجد القليل من النباتات التي تحتاج إلى التعرض لفترة إضاءة قصيرة أولاً ويعقبها فترة إضاءة طويلة لكي تزهر. مثل تلك النباتات التي تحتاج إلى تعاقب نهار طويل ثم قصير أو العكس لكي تزهر، لا تزهر إذا حفظت تحت ظروف فترة إضاءة قصيرة أو طويلة فقط ولا بد لها لكي تزهر أن تتعرض للتعاقب معاً (تعاقب نهار قصير ثم طويل أو العكس).

الفيتوكروم " الصبغ النباتي " Phytochrome

أدت الأبحاث المبكرة إلى اكتشاف وفصل ودراسة الكثير من صفات الصبغ المسئول عن امتصاص الضوء والمشارك في ظاهرة التأقت الضوئي في النباتات "الفيتوكروم" وهي تعنى الصبغ النباتي، والآن يوجد إتفاق عام على أن:

الفيتوكروم هو:

الصبغة المشتركة في الإدراك الحسي الإستثنائي للتأقت الضوئي الذي يتحكم في التزهير ، وإنبات بذور الخس والعديد من الظواهر المورفولوجية الوراثية. الفيتوكروم يوجد في صورتين:

١- صورة الفيتوكروم الممتص للضوء الأحمر pr .

٢- صورة الفيتوكروم الممتص للضوء الأحمر البعيد pfr .

وقد اعتبر الباحثون أن صورة الفيتوكروم الممتص للضوء الأحمر البعيد pfr هي الصورة النشطة الفعالة فسيولوجياً . والصورتان تتحولان فيما بينهما كيميائياً، كما وجد أيضا ان:

أ- في الظلام تتحول صورة (Pfr) ببطء إلى صورة (Pr).

ب- الفيتوكروم الممتص للضوء (Pfr) مهمة جداً في أزهار كل من نباتات النهار الطويل أو القصير.

ج- لكي يحدث الإزهار في النباتات طويلة النهار لابد من تركيز عالي من Pfr.

د- لكي يحدث الإزهار في النباتات قصيرة النهار فلا بد من تركيز منخفض من صبغة Pfr

التحويلات والاستجابيات Conversions and Responses

صورة الفيتوكروم النشطة هي pfr، أما صورة pr فلا تعتبر نشطة، وبالتالي عند تعريض بذور الخس المتشربة للماء والحساسية للضوء الأحمر أو الضوء الأبيض فإن صورة pfr للفيتوكروم تتراكم وتتحول كيميائياً إلى مسئول عن الإنبات وتنبت البذور. إلا أنه عند المعاملة بالضوء الأحمر ثم يعقبها المعاملة بالضوء الأحمر البعيد فإن صورة pfr تتحول إلى الصورة الغير نشطة pr التي لا تؤدي إلى حدوث عملية الإنبات .

أما بخصوص التعرض للضوء خلال اليوم فإن :

١- صورة (Pfr) للفيتوكروم تتراكم فوق مستوى حرج وتحدث تشجيع للإزهار في نباتات النهار الطويل ولكنها لا تشجع إزهار نباتات النهار القصير تحت هذا المستوى الأعلى من المستوى الحرج.

٢- تحت المستوى الحرج لصورة (Pfr) فإن نباتات النهار الطويل تظل في الحالة الخضرية أي لا تزهر. وبمعنى آخر فإن وجود (Pfr) في مستوى أقل من المستوى الحرج سوف يكون هاما ، حيث يشجع تزهير نباتات النهار القصير. ولا بد أن نضع في الاعتبار أن صورة pfr لازمة لتزهير كل من نباتات النهار القصير والطويل أيضاً .

التوزيع Distribution

أوضحت الدراسات أن الفيتو كروم يوجد في العديد من أصناف النباتات، وربما يكون عاماً في النباتات الخضراء. وقد اكتشف الفيتوكروم في الجذور والسيقان والفلقات وأعماد الريشة وأنصال الأوراق والأعناق والبراعم الخضرية والثمار النامية وتخت الزهور وفي النورات.

هرمونات التزهير والجبريلينات Flowering Hormones and Gibberellins

هناك عامل " أو عوامل " تزهيرية تنتج في الأوراق المحثة ضوئياً وتنتقل بسهولة نسبية

إلى البراعم . وقد أطلق (إصطلاح) **فلوريجين** Florigen (**أى عامل التزهير**) على ذلك

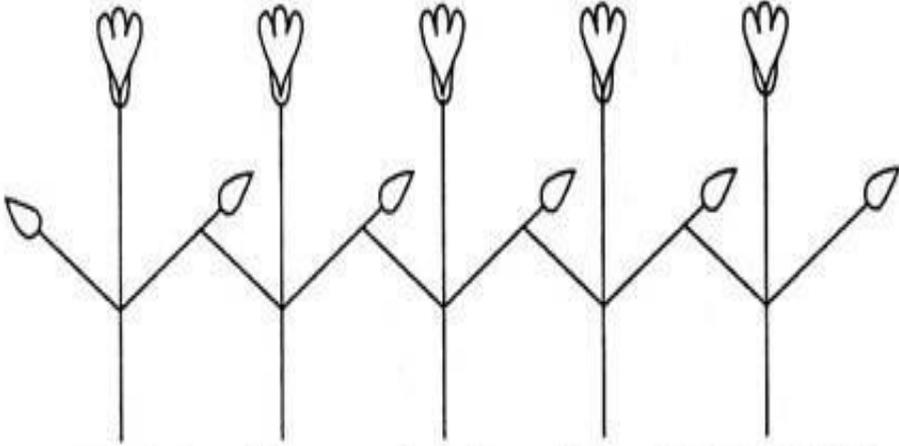
الهرمون الذى لم يحدد ولكنه افترض وجوده فى النباتات المستحث أوراقها ضوئياً .

ومن التجارب المؤكدة لوجود الفلوروجين والمبرهنة على إنتقاله جاءت من خلال تطعيم

فريعين من نباتات الشبيط فى سلسلة من النباتات، فلو أن الفرع الأخير من تلك السلسلة قد

أعطى فترة الإستحاثات الضوئية فإن تعريض هذا الفرع فقط يسبب تزهير جميع النباتات تعاقبياً

والتي تم تعريضها لفترات دائرية لا أستحاثية (شكل ٦٩) .



(شكل ٦٩): يبين انتقال هرمون التزهير. الشكل يوضح لو أن فرع واحد من نبات الشبيط ذو

فريعين، إحدى الفريعين أعطى فترة الإستحاثات الضوئية، والفرع الآخر كان مطعم

فى سلسلة تعاقبية مع ٤ نباتات أخرى من الشبيط. والمعرضة لفترات ضوء غير

إستحاثية، فإن هذا الفرع يسبب تزهير جميع هذه النباتات تعاقبياً ، بالرغم من

عدم تعريضها لفترات ضوئية أستحاثية.

وأيضاً من خلال تطعيم نباتات نهار طويل على نباتات نهار قصير والعكس صحيح . حيث لوحظ انه عندما تم تطعيم نبات نهار طويل (A) على نبات نهار قصير (B) " فإن نبات النهار الطويل (A) يزهر تحت ظروف النهار القصير (شكل ٧٠). وتدل تلك التجارب على أن الفلوريجين ليس نوعاً معيناً لكل نوع نباتي على حده أي أنه ربما يكون عام في التركيب أو على الأقل في الصفات بين الأنواع النباتية المختلفة ذات النهار الطويل والقصير معاً.

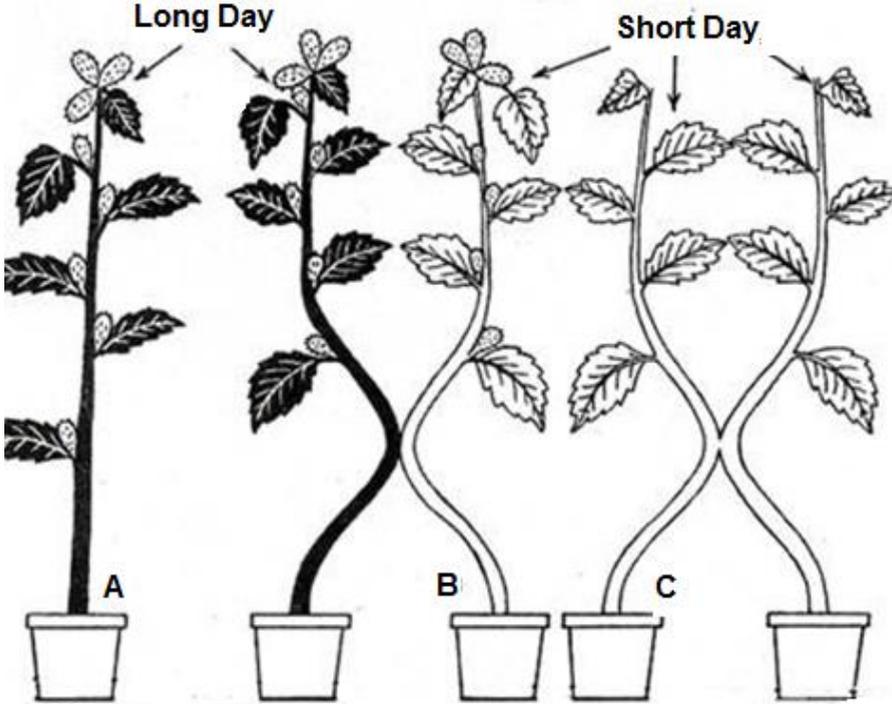
إضافة الجبريلين إلى معظم نباتات النهار الطويل يسبب تزهير تلك النباتات والتي وضعت تحت ظروف الدورات اللا إستحاثية . وعلى الرغم من ذلك فإن الجبريلين لا يقترح ولا حتى يفترض أنه هرمون التزهير أو على الأقل لا يسبب التزهير مباشرة .

أعلن كاجلاجان Cajlachjan نظريته التي – تفترض أن هناك ارتباط بين الجبريلين وهرمون التزهير (الفلورجين) في الإستحاثات للفترة الضوئية للتزهير . وقد أقترح أن هناك خطوتين تدخلان في عملية التزهير ، الأولى وسيطة Mediated بواسطة الجبريلين والثانية بواسطة واحد أو أكثر من عوامل التزهير تسمى الأنثيسينات Anthesins **والجبريلين والأنثيسينات**

تكون الفلوروجين الحقيقي . وطبقاً لاعتقاده ، فإن نباتات النهار الطويل تحت ظروف دورات غير إستحاثية تحتوي على كمية كافية من الأنثيسينات ولكن لا تحتوي على كمية كافية من الجبريلين . وهذه الحالة تنعكس في نباتات النهار القصير في الدورات الغير إستحاثية – فالجبريلين عالي أما الأنثيسينات فهي منخفضة . هذه النظرية تتماشى مع التشجيع التزهيري عندما يضاف الجبريلين إلى نباتات النهار الطويل في الدورات غير الأستحاثية ، كما أنها

تتمشى مع التأثير المتبادل عندما يضاف الجبريلين إلى نباتات النهار القصير المعرضة لدورات

غير إستثنائية .



(شكل ٧٠): يبين انتقال هرمون التزهير

محاضرات في علم الوراثة

مقدمة

يعتبر علم الوراثة من أقدم علوم البيولوجي وأحدثها في نفس الوقت.... أما كونه علما قديما فقد عرفه الإنسان بالفطرة منذ نشأته الأولى.... فمربي الحيوانات يعلم جيدا أن بقرته قبل ولادتها سوف تضع بقرة صغيرة ولا يمكن أبدا أن تضع جاموسة صغيرة وكذلك ربة المنزل تعلم أن بيضة دجاجتها الملقحة سوف تفقس ويخرج منها ديك صغير ولا يمكن أبدا أن تفقس وتخرج منها حمامة.... وبالرغم من التقارب الشديد بين البقرة والجاموسة فكليهما أنواع والدجاجة والحمامة فكليهما طيور إلا أن البيضة لا تخطئ أبدا عبر القرون الطوية منذ وجودها علي الأرض وحتى الآن. هذا الثبات في الصفات الذي يضمن بقاء النوع لاشك وراءه معلومات خفية ثابتة وواضحة ومحفوظة بعناية بالغة تضمن لها هذا الصمود الطويل مع القدرة علي التطور اللازم لهذا الصمود مع تغير الظروف. هذه اللغة المكتوبة داخل الكائن والتي لا تخطئ في التعبير عن نفسها حيرت العلماء عبر القرون. وعندما اكتشفت الخلية ونشأ علم جديد اسمه علم الخلية () أصبح من الجلي الواضح أن جسم الكائن عبارة عن عدد من الخلايا المتشابهة تعمل معا وأن الخلية الواحدة قادرة علي نسخ نفسها بدقة تامة عندها غدا خيال العلماء حقيقة وأن السر الذي ضمن بقاء النوع محتفظا بصفاته دون تغيير يسلبه نوعه أو ينفيه في أغوار نوع آخر حتما موجود داخل الخلية. لكن المعضلة التي ظلت جائئة علي عقول العلماء ومعضلة لانطلاق طموحاتهم هي كيف يمكن رؤية الخلية من الداخل؟.... ثم هبت رياح الفرج مع اكتشاف الصبغات وتطور الميكروسكوبات ثم اكتشاف الجين ثم معرفة علاقته بالكرموسوم ثم الأحماض النووية ومنها وعليها وبها تسلسل فيضان الخرائط الوراثية وغيرها من المعارف التي وضعت العلماء علي عتبة السر الأعظم علي الإطلاق في علم البيولوجي وهو هذه اللغة الكامنة في قلب النواه والتي تحمل كل تفاصيل وخفايا النوع ظاهرة وباطنه... لكن مازال الباب مغلقا.... حتي وقع الانفجار الكبير في 1970 حين اكتشفت أنزيمات القطع ومن رحمها خرج بركان الهندسة الوراثية الهائل الذي فجر الثورة العلمية الثالثة (ثورة البيولوجي) التي تعد بحق الأن أعظم الثورات العلمية وأحدثها علي الإطلاق..... هذه يابنائي قصة الوراثة

وراثة 1

الوراثة العامة (الوراثة المنديلية)

ولد جريجور مندل عام 1822 لأبوين يعملان بالفلاحة في احدى قرى النمسا

و

بالرغم من أنه التحق بدير سانت توماس كراهب

إلا أنه كان يهوى علم الأحياء و يقوم بتدريسه أيضا و دفعة شغفه لتربية النباتات

الى دراسة كيفية توارث الصفات الظاهرة في بعض النباتات كلون الأزهار وطول

النباتات و قصرها. وقد اختار مندل نبات بسلة الحديقة ليكون هو مادة دراسته

حيث ان هذه النباتات تمتاز بكثير من الصفات المميزة و المحددة أهمها

1-قصر فترة نمو هذه النباتات و بذلك يمكن الحصول منها علي أكثر من جيل في

عام واحد

2- يمكن زرعها وتهجينها بسهولة

3- أن نباتاتها تحمل أزهار يتم التلقيح فيها خليطيا تحمل أعضاء التذكير و أعضاء

التأنيث معا

4-نباتات الهجن الناتجة من تهجينها يدويا تكون تامة الخصوبة

و قد أجري مندل تهجيناته في دقة تامة ولكي يمنع حدوث التلقيح الذاتي في الأزهار

المراد تهجينها قام بنزع العضو المذكر من تلك الأزهار المختارة قبل النضج ثم نقل

حبوب اللقاح في الوقت المناسب من الأزهار التي اختارها لتكون أباء الي مياسم

الأزهار الأم ثم ترك البذور المتكونة حتي تنضج وكان مندل قد أجري تجاربه

على 24 سلالة مختلفة في صفاتها من بسلة الأكل و بعد الانتخاب لمدة عامين

متتاليين حصل علي 22 سلالة كل منها تتصف بثبات الصفات و استعمل 14 سلالة

مختلفة عن بعضها في سبعة أزواج من الصفات المتفارقة أو المتضادة وهي

طول النبات (طويل- قصير) ولون الزهرة (قرمزي-أبيض) وموضع الزهرة

(ابطي- قمي) لون البذرة(أصفر- أخضر)

شكل البذرة (مستدير- مجعد) لون القرن (أخضر- أصفر) شكل القرن(منتفخ-

محزز)

وكان مندل قد اجري تلقيحا بين سلالة طويلة و اخري قصيرة من نبات بسلة الحديقة ولما حصل على البذور الناتجة و قام بزراعتها اعطت كلها نباتات طويلة و عندما تركت نباتات الجيل الأول تلقح نفسها ذاتيا لكي يحصل على نسل الجيل الثاني وجد مندل ان من بين نسل هذاالجيل نباتات طويلة و اخري قصيرة و عندما قسم مندل اعدادا كبيرة من نسل هذاالجيل وجد ان ثلاثة ارباع النباتات تقريبا طويلة والربع كان قصيرا . وبالضبط فقد حصل في الجيل الثاني 1064 نبات منهم 787 نبات طويل و 277 نبات قصير أي أن النسبة تقترب من 3 : 1 .

كان من الممكن أن تنتهي التجربة عند هذا الحد ولكن مندل افترض أن هناك عوامل مستقلة مسؤولة عن هذه الظواهر الوراثية فتساءل مندل ماذا يحدث في الجيل الثالث؟ لذلك زرع مندل بذور نباتات الجيل الثاني لاختبار هذا الفرض . وبناءا علي افتراضه فانه تكهن بأن حوالي ثلث نباتات الجيل الثاني الطويلة سوف ينتج نباتات طويلة فقط في الجيل الثالث وأن الثلثين سوف ينتجان نباتات طويلة وقصيرة في الجيل الثالث . أما النباتات القصيرة الناتجة من الجيل الثاني فسوف تعطي نباتات قصيرة فقط في الجيل الثالث. وقد حصل مندل بالفعل علي هذه النتائج المتوقعة حيث أن نباتات الجيل الثاني الطويلة أعطت في الجيل الثالث نباتات قصيرة وطويةا بنسبة 2:1 علي التوالي وأن نباتات الجيل الثاني القصيرة أنتجت نباتات قصيرة فقط.

وفي التهجينات الأخرى والتي درس فيها سلوك أزواج الصفات الستة الأخرى لم يختلف السلوك فيها عن الصفة السابقة فكانت تتغلب أو تسود دئما احدي الصفتين المتفارقتين علي الصفة الأخرى تماما كما سادت صفة الطول التي أطلق عليها مندل الصفة السائدة علي صفة القصر التي أطلق عليها الصفة المتنحية.

بني مندل قواعده علس أساس وحدة الصفات علي النقيض تماما من الاعتقاد السائد لوراثة المزج وأوضح بأن هناك عناصر مادية موجودة في أزواج من الأليلات (بالمعني الحديث صور مختلفة لنفس الجين) في البسلة علي سبيل المثال الجين المسئول عن صفة طول النبات ينكون من أليلين أحدهما للطول والثاني للقصر والأليل الذي يسبب الطول يسلك سلوكا سائدا علي الأليل المتنحي الخاص بالقصر وبالمثل باقي الصفات.

و أثناء الانقسام الميوزي فان اليلى كل زوج

ينفصلان عن بعضهما و يدخلان في جاميطات مختلفة و بالتالي يصلان الي نسل مختلف و أطلق مندل علي عملية الانفصال أو الانعزال هذه اسم (اشنقاق الهجين) و فسر مندل عملية انفصال أزواج محددات الصفة بانها أدت الي نقاء الجاميطات حيث لا تحتوى الجاميطة الا علي اليلى واحد فقط من كل زوج ويمكن تلخيص

مفهوم الانعزال الذي أورده مندل بأن أزواج اليلات الجين الواحد تنفصل عن بعضها و تتوزع علي الجاميطات المختلفة

بعد كل الحقائق السابقة يمكن صياغة ما توصل اليه مندل وسمي فيما بعد القانون الأول

Law of segregation قانون

الانعزال : زواج فردان يختلفان في زوج واحد من الصفات المتضادة أو المتفارقة فان أفراد الجيل الأول تحمل صفة الأب السائد و في الجيل الثاني تنعزل الصفتان السائدة و المتنحية بنسبة 3:1 علي التوالي و لاجراء التحليل الوارثي باستخدام الرموز يؤخذ الحرف الأول من الكلمة الانجليزية التي تصف الصفة المتنحية بحيث يرمز لعامل الصفة السائدة بالحرف الكبير ويرمز للصفة المتنحية بالحرف الصغير.

أمثلة

أجري مندل تهجيناً بين نبات بسلة طويل الساق وآخر قصير فاذا كانت صفة القصر صفة متنحية فعند التحليل الوراثي لهذه التجربة نستخدم الحرف الأول من كلمة

Small

الدالة علي القصر المتنحية ليدل مرة وهو علي الصورة الكبيرة علي عامل الطول وهو علي الصورة الصغيرة علي عامل القصر وبالتالي يكون التحليل الوراثي لهذه التجربة كالتالي:

الأباء : نبات طويل نبات قصير
SS ss
الجاميطات:

s S

Ss

الجيل الأول: طويل هجين

تلقيح ذاتي:

P2: Ss Ss
 G : S s S s
F2: SS Ss Ss ss

إذا الطرز المظهرية

Phenotype

المتحصل عليها في الجيل الثاني اثنان نبات طويل الساق (3) ونبات قصير الساق (1)

إذا النسبة 3:1

بينما

Genotype

نسبة الطرز الجينية 1:2:1

1 نبات طويل نقي

2 نبات طويل هجين

1 نبات قصير نقي

وعليه فانه يلاحظ أن نباتات الجيل الثاني بالنسبة للطرز المظهرية عبارة عن فئتين أما من ناحية الطرز الجينية كما ذكرنا ثلاث عاملة وهي:

1- Homozygous dominants 2- Homozygous recessive

3- Heterozygous dominant

2-

Genotype

determination:

طريقة تعيين التركيب الوراثي:

من السهل معرفة التركيب الوراثي للأفراد المتنحية من شكلها الظاهري لأنها أصيلة دائما من جيل لآخر. أما الأفراد الأصيلة والأفراد الخليطة الحاملة للصفة السائدة فلا يمكن التمييز وراثيا بينهما من الشكل الظاهري. ويمكن التمييز بين هذه الأفراد بواسطة التلقيح الرجعي والتلقيح الذاتي

1- Back cross

2- Self cross

1- التلقيح الرجعي:

و فيه يتم تهجين افراد الجيل الاول الي احد الابوين السائد او المتنحي و النسل

الناتج يسمى نسل التهجين الرجعي . و عندما يتم تهجين افراد الجيل الاول الى الاب المتنحي فقط فعندئذ يسمى هذا التهجين بالتلقيح الاختباري

TEST CROSS

وفيه يتم تلقيح الفرد الذي يحمل الصفة السائدة المراد اختباره بالفرد
المتنحي فإذا
كان النسل الناتج كله يحمل الصفة السائدة فهذا يعني أن الفرد المختبر سائد
أصيل
وإذا كان النسل الناتج نصفه يحمل الصفة السائدة ونصفه يحمل الصفة
المتنحية
فهذا معناه أن الفرد المختبر سائد خليط

2-التلقيح الذاتي

Self-cross

وفيه تترك الأفراد التي تحمل الصفة السائدة المختبرة تتلقح ذاتيا
فإذا أعطي نسلا يحمل كله الصفة السائدة (طويل مثلا) فعندئذ يكون
تركيبه
الوراثي طويل أصيل سائد
أما إذا أعطي نسلا يحمل الصفتان السائدة (طويل) و المتنحية (قصير)
بنسبة 3:1

فعندئذ يكون تركيبه الوراثي خليط سائد.
بصفة عامة يمكن تلخيص جميع النتائج السابقة التي حصل عليها مندل
كالآتي:

تمثل كل صفة (زوج من الصفات المتفرقة) بزواج من العوامل الوراثية في
الخلايا الجسمية للفرد و ذلك فان التركيب الوراثي للفرد يكون ثنائي
 $2n$

بالنسبة الى جميع الصفات التي يحملها.

- تمثل كل صفة في الجاميطات (الخلايا الجنسية) بعامل وراثي واحد)
أليل واحد) من كل زوج من أزواج العوامل الوراثية المتحركة في أزواج
الصفات المتفرقة ولذلك فان التركيب الوراثي للجاميطات يكون أحادي
(n)

- نسبة تكوين جاميطات الجيل الأول متساوية وهي (1:1)
- يأخذ الزوجات عامل وراثي واحد خاص بصفة معينة من الأب من خلال
الجاميطة المذكورة والعامل الوراثي الأخر من الأم من خلال الجاميطة
المؤنثة.

- لا تختلط العوامل الوراثية مع بعضها أثناء وجودها بحالة خليطة في الزيجات وانعزال هذه العوامل الوراثية في الجاميطات ويظل كل عامل محتفظا بشخصيته بدون تغيير أو تلوث.
- كل صفة من الصفات السبع التي درسها مندل تتبع في سلوكها القانون الأول لمندل.

وراثة 2

المحاضرة الثانية

الوراثة المنديلية

قانون التوزيع الحر:

Law of independent assortment

القانون الثاني لمندل وفيه تم دراسة وراثة زوجين من الصفات (الهجين الثنائي)

Dihybrid

وهو ينص علي أنه اذا تزوج فردان يختلفان عن بعضهما في أكثر من زوج من الصفات المتفارقة فان أفراد الجيل الأول تحمل صفات الأب السائد وفي الجيل الثاني ينعزل كل زوج من الصفات مستقلا عن الزوج الآخر بنسبة 3:1 لكل من السائد والمتنحي علي الترتيب.

فبعد ان درس مندل السلوك الوراثي لزوج واحد من العوامل او الجينات (الايلات) التي تتحكم في زوج واحد من الصفات المتفارقة وتوصل الى قانون الانعزال اتجه بعد ذلك الى دراسة السلوك الوراثي بين ازواج العوامل او الجينات التي تحكم الصفات المختلفة اثناء انتقالها من جيل الى اخر.

اجرى مندل تجربة على سلالتين من بسلة الاكل يختلفان في زوجين من الصفات المتفارقة هما لون البذور وشكلها بعد الجفاف

حيث استخدم السلالة التي تحمل نباتاتها بذور صفراء مستديرة كأب به الصفات

السائدة و السلالة التي تحمل نباتاتها بذور خضراء مجعدة كأم بها الصفات

المتنحية و بعد التهجين حصل على نباتات الجيل الاول التي تحمل بذور صفراء

مستديرة مثل الأب السائد في الصفتين. ترك نباتات الجيل الاول للتلقيح الذاتي

فحصل على بذور الجيل الثاني في اربع فئات مظهرية مختلفة

الطرز المظهرية المتحصل عليها

1-أصفر مستدير 9

2 أصفر مجعد 3

3- أخضر مستدير 3

4- أخضر مجعد 1

ومن الجدول الشطرنجي السابق تتضح التراكيب الوراثية للسته عشر طرزا جينيا المتحصل عليها.

الهجين متعدد الصفات:

Polyhybrid cross

ينطبق قانون التوزيع الحر علي الحالات التي يختلف فيها الاباء في اكثر من زوجين من الصفات المستقلة المتفارقة و لتسهيل اجراء تحليل الوراثي لمثل هذه الحالات تستخدم طريقة خطوط متفرعة لاستنباط التراكيب الوراثية للجاميطات ويبدوا ذلك واضحا عند اجراء التحليل الوراثي لاباء تختلف في ما بينها في ثلاثة ازواج من الصفات المتفارقة كما يلي:

أباء طويلة الساق مستديرة البذور صفراء الفلقات

أمهات قصيرة الساق مجعدة البذور خضراء الفلقات بعد التزاوج أعطت أفراد طويلة الساق مستديرة البذور صفراء الفلقات كما يتضح من التحليل الوراثي الآتي:

P: ddwwgg DDWWGG

G: dwg DWG

F1: DdWwGg

تركت الأفراد الناتجة من الجيل الأول تتلقح ذاتيا فكانت النتيجة كالاتي:

1- أربعة وستون طرزا جينيا 1-

2- ثمانية طرز مذهرية وهي:

ا- طويل الساق مستدير البذور أصفر الفلقات

ب- طويل الساق مستدير البذور أخضر الفلقات

ج- طويل الساق مجعد البذور أصفر الفلقات

د- قصير الساق مستدير البذور أصفر الفلقات

ر- طويل الساق مجعد البذور أخضر الفلقات

ز- قصير الساق مستدير البذور أخضر الفلقات

س- قصير الساق مجعد البذور أصفر الفلقات

ش- قصير الساق مجعد البذور أخضر الفلقات

باستخدام طريقة الخطوط المتفرعة يعطي كل أب من الأباء الخليطة الناتجة من الجيل الأول ثمانية احتمالات وراثية لتركيب الجاميطات المتكونة عند اجراء التلقيح الذاتي بين أفراد الجيل الأول كما يلي:

ويستخدم الجدول الشطرنجي كما سيق نحصل علي الطرز الجينية الأربعة والستون

	DWG							
DWG								
DWg								
DwG								
Dwg								
dwG								
dWg								
dwG								
dwg								

يمكنك اذا الآن ملأ هذا الجدول بسهولة والحصول علي الطرز الجينية المتوقعة

الأحتمالات في الوراثة المندلية واسهاماتها:

احتمال وقوع حدث ما هو نسبة تكرار حدوثه الى مجموع الاحداث الممكن وقوعها وتتراوح هذه النسبة بين الصفر (لا يقع مطلقا) الى واحد صحيح (اي يقع دائما)

_ قانون الاحتمالات :

اذا وقع حدثان او اكثر من الاحداث المستقلة فان

احتمال حدوثها معا يساوى حاصل ضرب احتمال وقوع كل حدث منهما على حدة

وبالتالى يمكن حساب نسبة الجيل الأول (1:3) ورفعها الى الأس (ن)

فتصبح (1:3) اس ن حيث (ن) تمثل رقم الهجين فان كان الهجين ثنائيا تكون

على الشكل حيث $3 = أ$, $1 = ب$, و بمفكوك ذات الحدين يكون

($أ+ب$) (تربيع) = $أ^2 + 2أب + ب^2$ (تربيع) تكون النسبة $9 : 3 : 1$

و هكذا بالنسبة ($أ+ب$) اس ن .

_ اختبار حسن المطابقة للافتراض

Fitting hypothesis

بحساب مقدار الانحراف المسموح لقياس اتفاق البيانات مع الافتراض يمكن

تقسيم نتائج التهجينات . و يمثل مربع كاي (تربيع) مقياس مفيد لتحديد

حسن المطابقة . و هو يعتمد على الاعداد الحقيقية لأعداد النبات و ليس على

النسب المنوية بينهما ويحسب كالاتى:

الفرق بين الاعداد المشاهدة و المتوقعة

Observed and expected

و الذى

يمثل مقدار الانحراف , يتم تربيعه وقسمته على العدد المتوقع
نحصل على مربع كاي تربيع كما فى المعادلة التالية:

$$(O-E)$$

(التربيع)

$$X=$$

= الأعداد المشاهدة بالتجربة O

E = الأعداد المتوقعة على اساس الفرض النظري

ثم ننظر في جداول مربع كاي وكتب الاحصاء لمعرفة قيمة الاحتمال (1% - 99%)
اختبار حسن المطابقة للافتراض

Fitting hypothesis

بحساب مقدار الانحراف المسموح لقياس اتفاق البيانات مع الافتراض يمكن تقسيم
نتائج التهجينات . و يمثل مربع كاي مقياس مفيد لتحديد حسن المطابقة و هو يعتمد
على الاعداد الحقيقية لاعداد الصفات وليس على النسب.

اختبار التراكيب الوراثية:

امكن الاستفادة بالاسس التى وضعها مندل للكشف عن تراكيب وراثية غير معرفة
فالجيل الثانى فى تجارب الهجين الاحادى على سبيل المثال , يتكون من افراد سائدة
و افراد متنحية . الافراد المتنحية يمكن معرفة تركيبها الوراثى بسهولة لانها
نقية عند تلقيحها ذاتيا تعطى دائما افراد مشابهة لها , اما الافراد السائدة فمنها
النقى ومنها الخليط و يمكن التمييز بينها باجراء ما يعرف بالتلقيح الاختبارى
حيث يلحق الفرد المراد اختبار تركيبه الوراثى بفرد متنحى الصفة . وعند اجراء مثل

هذا التلقيح فان الفرد السائد النقي يعطي عند تزاوجه مع فرد متنحي أفرادا كلها سائدة الشكل الظاهري وخليطة التركيب الوراثي كما يتضح من التحليل الوراثي الآتي:

P: AA aa

G: A a

F1: Aa

اما اذا كان الفرد المراد اختبار تركيبه الوراثي خليط فانه يعطي عند تزاوجه مع الفرد المتنحي أفرادا سائدة وأخري متنحية بنسبة 1:1 كما يتبين من التحليل الوراثي الآتي:

P: Aa aa

G: A a a

F: Aa and aa

ومن الممكن أيضا اختبار التركيب الوراثي لأفراد تختلف في صفتين عن طريق تلقيحها بفرد متنحي في الصفتين فاذا كان الفرد المراد اختبار تركيبه الوراثي سائد نقي كان ناتج التلقيح كله سائد في الصفتين كما يلي:

P: AABB aabb

G: AB ab

F: Aa Bb

أما اذا كانت الأفراد المراد اختبار تركيبها الوراثي سائدة نقية في احدي الصفتين وسائدة خليطة في الأخرى فان نتيجة التلقيح كما يلي:

P: AABb aabb

G: AB Ab ab

F: AaBb Aabb

أي أن الأفراد الناتجة كلها سائدة في الصفة

A

ويكون نصفها سائد في الصفة

B

والنصف الآخر متنحي في هذه الصفة وإذا كانت الأفراد المراد اختبار تركيبها الوراثي سائدة خليط في الصفتين كانت نتيجة التلقيح كما يلي:

P;	AaBb				aabb
G:	AB	Ab	aB	ab	ab
F:	AaBa	Aabb	aaBb	aabb	

استنباط سلالات جديد :

ادرك علماء الوراثة و تربية النباتات و الحيوانات فور الكشف عن صحة قوانين مندل في أوائل القرن العشرين أن لهذه القوانين تطبيقات هامة في مجال استنباط سلالات جديدة من النباتات و الحيوانات متفوقة في صفاتها المرغوبة. ففي عام 1905 قام بيفين بتهجين سلالتين من القمح احدهما مقاومة للصدأ الأصفر و الأخرى قابلة للاصابة به وتبين أن القابلية للاصابة هي الصفة السائدة حيث كانت نباتات الجيل الأول كلها قابلة للاصابة بفطر مرض الصدأ الأصفر بينما كانت 75% من نباتات الجيل الثاني قابلة للاصابة و كانت 25% منها مقاومة لمرض الصدأ الأصفر. وبتهجين نباتات الجيل الثاني المقاومة للمرض مع بعضها حصل بيفن على نباتات كلها مقاومة لمرض الصدأ الأصفر . وبتهجين نباتات السلالة المقاومة لمرض الصدأ الأصفر مع سلالات وفيرة المحصول أمكن استنباط سلالات

من القمح وفيرة المحصول مقاومة للأمراض الفطرية

وقد وضعت نتائج بيفن الاساس السليم الذي استند اليه مربوا النباتات فيما بعد لاستنباط اصناف جديدة من الاقمح مبكرة النضج وفيرة المحصول , فقد تبين ان

قابلية النباتات للاصابة بالامراض الفطرية و المقاومة لها يتحكم بهما زوجان من

العوامل الوراثية. كما استعان مربو النباتات بتجهين النباتات البرية المقاومة

للأمراض مع نباتات المحاصيل لاكسابها صفة المقاومة. ومن امثلة ذلك تهجين

البطاطس البرية المقاومة لمرض اللفحة الذي يسببه فطرة الفيتثرا

مع البطاطس المزروعة

كبيرة الدرناات و الحصول على نباتات

مقاومة لمرض اللفحة كبيرة الدرناات , اي صنف يجمع بين الصفات التجارية

المرغوبة و المقاومة لمرض اللفحة

ومن التطبيقات العملية لقوانين مندل أيضا الانتخاب الفردي للنباتات أى تهجين

النباتات ذاتيا للحصول على نباتات نقية وراثيا طبقا لنظرية السلالات النقية

ليوهانس ومن النتائج الهامة التى أدى اليها الانتخاب الفردي

التوصل الي سلالة من القطن مقاومة للاصابة بحشرة الكلوريتا فاسيالس

التي كانت تقضى على محصول القطن فى بعض الدول .

وبتطبيق الانتخاب الفردي للنباتات امكن ايضا زيادة نسبة السكر فى درناات نبات

بنجر السكر من 9% الى 18 على مدى لا يزيد عن مائة عام. وباستخدام

الانتخاب الفردي فى جمهورية مصر العربية تم تطوير سلالات من القمح البلدي

تمتاز بمقاومة امراض الصدأ والتفحم مع وفرة المحصول, كما امكن انتخاب

سلالات من القطن المصرى طويل التيلة المقاومة لمرض الذبول الذى يسببه فطر الفيوزاريوم.

وفي مجال تحسين اصناف الحيوانات قام العلماء بتهجين الأبقار الفريزيان الهولندية التي تتميز بوفرة انتاج اللبن مع الأبقار الدمياطية التي تتحمل ظروف المناخ في مصر واستتباط سلالة جديدة وفيرة الحليب وتتحمل ظروف البيئة المصرية. كذلك أمكن بتهجين الأغنام المصرية الأوسيمية بكباش السافلوك والهامبشير البريطانية الحصول علي سلالات تتميز بسرعة النمو وتوزيع اللحم خلال الجسم بدلا من تراكمه في أماكن بعينها. كما تميزت باختفاء الذنب وزيادة الوزن بنسبة 40% عن الأغنام الأوسيمية خلال الشهور الستة الأولى من حياتها كما تميزت هذه الأغنام بتضاعف كمية الصوف وتحسن نوعيته.

كما أمكن باستخدام قوانين مندل انتاج سلالات وفيرة اللحم غزيرة البيض من الدجاج والبط والأوز والأرانب. كما تم أيضا تحسين مقاومة سلالات حيوانات منزلية للأمراض.

أسئلة وتمارين

السؤال الأول:

عند تلقيح نباتات بسلة مستديرة البذور مع اخرى مجعدة البذور كانت نباتات الجيل

الثانى تتكون من 3645

نباتات ذو بذور مستديرة و 1198 نباتات ذو بذور مجعدة . باستخدام الرمز

W للليل المستدير والرمز الصغير من ذات الحرف

للليل المتحى اذكر الاتى :

1 - الطراز الوراثى للأبوين و انواع الجاميطات التى يعطيها كل منهما

2 -الشكل الظاهرى و التركيب الوراثى لنباتات الجيل الثانى

3 - نسب الشكل الظاهرى و الطراز الوراثى للنباتات الناتجة من التلقيح الاختبارى

لنباتات الجيل الاول

السؤال الثانى:

عند تهجين فأران برية رمادية اللون بأخرى بيضاء اللون كان الجيل الأول كله
فأران رمادية اللون , وفى الجيل

الثانى تم الحصول على 178 فار رمادى و62 فأر ابيض . كيف تفسر هذه
النتائج

وضح بالتحليل الوراثى التراكيب الوراثى للأباء ولنسل الجيل الأول والجيل الثانى
السؤال الثالث:

الطرز الوراثى للأباء . احسب نسبة التراكيب الوراثية النقية والخليطة
فى خنازير غينيا يسبب الاليل السائد اللون الأسود بينما يكون التركيب الوراثى
للحيوانات ذات التركيب الوراثى المتنحى بيضاء اللون . تلاقحت مجموعة من
خنازير غينيا السوداء مع بعضها البعض وانتجت نسلا يتكون من 87 خنزيرا اسود
اللون و30 خنزير أبيض اللون . ماهى التراكيب الخلطية فى النسل اسود اللون. وضح
بالتحليل الوراثى التركيب الوراثى للأباء والنسل.
السؤال الرابع:

يعزى اللون الأبيض لصوف الأغنام الي متنحى بينما يعزى اللون الأسود الي
اليه السائد. لقع خروف أسود نعجة سوداء و نتج عن ذلك خروف أبيض اذا تلاقع
هذا الخروف مع أمه فما هو احتمال أن يكون النسل الناتج أسود اللون
السؤال الخامس:

فى الإنسان تظهر صفة المهقة (الألبينو) عند وجودجين متنحى بحالة نقية
بينما تكون الأفراد الخليطة و السائدة النقية طبيعية اللون. اذا أنجب زوجان طبيعيان طفلا
أمهق فما هو التركيب الوراثى للأب والأم. واذا تزوج الابن الأمهق
زوجة طبيعية اللون فما هي احتمالات ظهور صفة المهق بين أبنائها.

السؤال السادس:

في الفاصوليا يسبب الجين

T

نمو الازهار في اباط الاوراق ويسبب الجين

t

نمو

الازهار في قمة الساق . وتكون الأهار ملونة بفعل الجين

R

وعديمة اللون بفعل الجين

r

, وضح بتحليل الوراثة نسب الأشكال الظاهرية والتراكيب الوراثية
للنسل الناتج من التلقيحات التالية:

1 - نبات ذو أزهار ابيطية بيضاء مع اخر ذو أزهار طرفية حمراء.

2- نبات ذو أزهار طرفية بيضاء مع اخر ذو أزهار ابيطية حمراء

السؤال السابع :

في البسلة يسبب

D

الجين طول الساق و الجين

W

شكل البذور المستديرة و الجين

G

لون البذور الأصفر بينما تسبب اليالتهامتنحية

w,g.d

, الساق القصيرة و

البذور المجعدة خضراء اللون على الترتيب , وضح بالتحليل الوراثى نسب الأشكال

الظاهرية والتراكيب الوراثية لنسل الناتج من التلقيحات التالية:

1 - نبات طويل ذو بذور مستديرة خضراء خليط مع نبات قصير مجعد اصفر

البذور

2 - نبات سائد نقلى فى الصفات الثلاث مع اخر متنحى نفس الصفات

3 - نبات من الجيل الاول للتلقيح السابق مع اخر قصير مجعد أخضر البذور

وراثة 3

المحاضرة الثالثة

الوراثة الخلوية

عندما اكتشف الميكروسكوب اكتشف علم الخلية وتطور مع تطوره وباكتشاف الصبغات وبالذات القاعدية التي يمكنها التفاعل مع حمضية المادة الوراثية أمكن مشاهدة الكروموسومات وتقدير أعدادها وأشكالها داخل النوع وبين الأنواع ظهر الفرع الثاني الكبير من أفرع الوراثة المعتمد علي الفحص المجهرى ومازال حتى الآن وهو علم الوراثة الخلوية. وأصبح الكروموسوم هو عمدة الوراثة الخلوية .

الكروموسومات

Chromosomes

سنتناول في هذا الباب بمشيئة الله الموضوعات الآتية:

- 1- التنوع الكروموسومي
- 2- التنوع الكروموسومي خلال الانقسام الميوزي
- 3-العوامل الفيزيائية والكيميائية التي تؤثر علي الكروموسوم
- 4-نظرية الكروموسومات
- 5- الهيئة الكروموسومية
- 6-تركيب الكروموسوم
- 7- الخريطة الكروموسومية

التنوع الكروموسومي

Chromosomal variations

من خلال دراسات كثيرة ومقارنات عدة اجراها علماء الوراثة الخلوية على اشكال الكروموسومات واحجامها واطوالها , اعدادها وطرق صباغتها بين المجموعات الكروموسومية المختلفة لعدد من الخلايا النباتية الراقية تبين وجود مساحة كبيرة من التنوع والاختلاف بين هذه المجموعات الكروموسومية داخل وخارج النوع الواحد ويعتمد هذا التنوع على:

اولا- الاختلاف في الشكل

Variation in chromosome morphology

الكروموسوم هو جسيم خيطي يبدو في اوضح صورة في المرحلة الاستوائية في اثناء الانقسام الفتيلي.

حيث يمكن مشاهدته بالميكروسكوب الضوئي بعد صباغته وأهم ما يميز الشكل الظاهري للكروموسوم في هذه المرحلة وجود الكروماتيدين المكونين له واتصالهما معا عند منطقة السنترومير

Primary constriction or centromer

وكما ان السنترومير يلعب دورا اساسيا في اكمال وانجاح انقسام الخلية حيث تتصل به خيوط المغزل مما يتسبب في تحريك الكروموسومات من وسط الخلية الى الأقطاب عند الطور الانفصالي فهو يلعب دورا هاما أيضا في زيادة مساحة التنوع الكروموسومي حيث يأخذ مواضع مختلفة من مجموعة كروموسومية الى اخرى. على الكروموسوم الواحد وعلى اساس موضع السنترومير تتنوع الكروموسومات كما يلي:

1 - الموضع الطرفي للسنترومير

Telocentric

حيث يكون موضع السنترومير عند طرف الكروموسوم (احد طرفي الكروموسوم)

لذلك يبدو الكروموسوم فى هذه الحالة وكأنه يتكون من ذراع واحد فقط

2 - الموضع تحت الطرفى للسنترومير

Acrocentric

فى هذا الموضع يكون السنترومير بالقرب من احد طرفى الكروموسوم وبالتالي يصبح

للكروموسوم ذراعان احدهما طويل والآخر قصير جدا

3 - الموضع تحت الوسطى

Sub-metacentric

وفى هذه الحالة يكون موضع السنترومير اقرب الى أحد طرفى الكروموسوم من

الطرف الاخر وفى هذه الحالة يكون احد ذراعى الكروموسوم اطول من الاخر

بدرجة ما

4 - الموضع الوسطى

Metacentric

ويكون موضع السنترومير حينئذ عند منتصف الكروموسوم او بالقرب من المنتصف

لذلك يكون ذراعى الكروموسوم فى هذه الحالة تقريبا متساويين فى الطول

المواضع المختلفة للسنترومير على الكروموسوم:

من الملاحظ أنه فى بعد الأحيان حين يتعرض الكروموسوم لمؤثرات خارجية

كيميائية أو فزيائية مثلا قد يتغير موضع السنترومير كما يلي:

1- الكروموسوم ذو السنترومير الطرفى الموضع

قد ينشأ من الموضع المتوسط او الموضع تحت الطرفى فى حالة

حدوث كسر للكروموسوم فى منطقة السنترومير متبوعا بتكوين كمية كافية من

المادة المكونة للسنترومير.

2- الكروموسوم ذو الوضع الوسطي للسنترومير يمكن أن ينشأ باندماج اثنين من الكروموسومات ذات الوضع الطرفي للسنترومير بدون أي تغيير في المادة الوراثية أوفي مواضع الجينات.

ثانيا :التنوع الكروموسومي علي أساس العدد

تحتوي الخلية الجسدية للكائن الحي علي عدد من الكروموسومات ثابت يميز هذا النوع عن غيره من الأنواع ويعبر عنه بالضبط

2n

وقد يتضاعف هذا العدد في الأنواع النباتية مرة أو أكثر فيصبح مثلا

4n

وهو ما يطلق عليه وراثيا

Polyploidy

وقد يختلف هذا العدد داخل النبات من خلية الي أخرى في حالات شاذة مثل خلايا الأندوسبرم في النبات ويبين الجدول التالي التنوع العددي للكروموسومات بين الأنواع المختلفة في عالم النبات.

النوع النباتي	عدد الكروموسومات في خلاياه الجسدية
البصل	16
الفول	12
القمح	20
الأرز	24
الذرة	20
البسلة	14
طحلب الكلاميدوموناس	18
الخميرة	34
عفن الخبز الأسود	16

وتتراوح أعداد الكروموسومات في الكائنات الحية من 4 الي 80 كروموسوم. لكن بالرغم من تميز كل نوع بعدد ثابت من الكروموسومات الا أن هذا العدد قد يتغير زيادة أو نقصا في ظروف طارئة بزيادة كروموسوم أو نقص كروموسوم فينشأ ما يعرف

Aneuploidy

أو تضاف أو تحذف مجموعة كروموسومية كاملة فينشأ مايسمي

Monoploidy

في حالة النقص و

Polyploidy

في حالة الزيادة.

من المعلوم لدينا الآن انه في اثناء الانقسام الميوزي ينفصل كروموسومي كل زوج كروموسومي متماثل ويتجه احدهما الى قطب وبتجة الاخر الى القطب الاخر لكن في بعض الحالات يتعثر هذا الانفصال لسبب او لآخر مما يترتب عليه انتقال المجموعة كاملة الى طرف دون طرف من اطراف الخلية وبالتالي يزيد عدد الكروموسومات في احد الجاميتتين المتكونتين واحدا فيصبح

$$n+1$$

بدلا من

n

في

الجاميتة الطبيعية وعلى النقيض تنقص كروموسومات الجامطة الأخرى الناشئة من نفس الانقسام الميوزي كروموسوما فيصبح العدد الكروموسومي لها

$$n-1$$

بدلا

من الوضع الطبيعي

n

فعد حدوث تلقيح واخصاب لاي من الجاميتتين المشوهتين

في عدد الكروموسومات مع جاميطة طبيعية يكون عدد كروموسومات خلايا الفرد

المتكون في حالة النقص

$$2n-1=n + (n-1)$$

وفي حالة الزيادة

$$2n+1=n + (n+1)$$

ولتوضيح ذلك بصورة اوضح نجرى التحليل الوراثى التالى:

الفرد المشوه

2n

2n

P: 2N (Normal) x 2n (abnormal)

G: n n-1 n+1

F1: 2n-1 2n+1

اما ما يسمى بتضاعف المجموعة الكروموسومية كلها فهذا يحدث عندما يفشل

انفصال الكروموسومات الى مجموعتين فى الطور الانفصالى لخلل ما فى خيوط

المغزل ويمكن حدوث ذلك صناعيا باستخدام الكولشيسين وفى هذه الحالة تنشأ جاميطة واحدة

فى نهاية الانقسام الميوزي وتحتوي على

2n instead of n

فإذا حدث اندماج بينها وبين جاميطة أخرى بنفس العدد الكروموسومي

2n

يتكون الفرد الرباعي

4n

وهكذا بالنسبة للتضاعف الأعلى.

الحالات المرضية الناشئة عن الكروموسوم الزائد:

هو خلل في عدد الكروموسومات فطفل متلازمة داون عنده 47 كروموسوم بدل

46

الكروموسوم الزائد هو نسخة ثالثة لكروموسوم رقم 21 فبدل ان ياخذ الجنين

نسختان فقط من كروموسوم 21 اخذ ثلاث نسخ الرسم اسفل الورقة يبين

كروموسومات طفل متلازمة داون تلاحظ ان الكروموسومات

المحاطة بالدائرة ثلاث نسخ كان من المفروض ان تكون

نسختين توجد هذه الزيادة في جميع خلايا الجسم بدون استثناء. ان

زيادة نسخة من كروموسوم 21

هو الذي يعطى هؤلاء الاطفال اشباه معينه ويؤثر على حالتهم

الصحية بشكل عام

كيف حدث هذا

دعونا نرجع الى تكوين البويضة في المرأة والحيوان المنوى عند الرجل . في

الاصل و بشكل مبسط تخلق البويضة وايضا الحيوان المنوي من اصل خلية

طبيعية تحتوى على 46 كروموسوم وذلك بانشطارها الى نصفين لتكوين بويضتين

او حيوانين منويين يكون في كل نصف 23 كروموسوم فاذا حدث خلل في هذا الانقسام ولم تتوزع الكروموسومات بالتساوي بين الخليتين فحدث خلل في هذا الانقسام ولم تتوزع الكروموسومات بالتساوي بين الخليتين فحدث ان حصلت احدى الخليتين على 24 نسخة و الاخرين على 22 الباقية جينها تبدأ المشكلة .فلو فرضنا مثلا ان هذا الخلل في الانقسام حدث في مبيض المرأة (علما انه من الممكن ان يحدث في الرجل) فأصبحت احدى البويضات فيها 24 كروموسوم بدل 23 . ثم لقحت هذه البويضة بحيوان منوى طبيعي (اي يحمل 23كروموسوم)اصبح مجموع عدد الكروموسومات 47 بدل العدد الطبيعي وهو 46.

فاذا كانت النسخة الزائدة هي من كروموسوم 21 سمي المرض بمتلازمة داون ,واذا كانت من كروموسوم (18) سمي بمتلازمة ادوارد,واذا كانت من كروموسوم(13) سمي بمتلازمة باتاو. هذه اسماء لامراض مختلفة نتيجة زيادة في عدد الكروموسومات. ونتيجة لوجود ثلاث نسخ من كروموسوم 21 فان الاسم الاخر لمتلازمة داون هو متلازمة كرموسوم 21 الثلاثي. كما ذكرنا فان الزيادة قد تحدث في بويضة المرأة او الرجل ولكن في حالة متلازمة داون وجد الاطباء ان الزيادة تكون في البويضة في اكثر من 90 % من الحالات والباقي فيا لحيوان المنوي من الرجل.

ثالثا: تتنوع الكروموسومات علي أساس أطوالها

تختلف أطوال الكروموسومات داخل الخلية الواحدة كما تختلف بين الأنواع المختلفة وتتميز كروموسومات ذوات الفلقة الواحدة بأنها أطول من ذوات الفلقتين. فأقصر الكروموسومات

طولا يصل الي 0.25 ميكرون بينما يصل أطولها الي 30 ميكرون في بعض الفطريات وفي أحد أنواع التريليوم.

رابعاً: اختلاف الكروموسومات علي أساس الحجم

حجم الكروموسوم يعني كمية ماتحتويه النواه من المادة الوراثية

DNA

ولأن أنوية خلايا الأجناس المختلفة تختلف في ما بينها في كمية المادة الوراثية فلذلك تختلف أحجام الكروموسومات خاصة عندما تتماثل أعدادها. فعند مقارنة النباتات الوعائية بالطحالب مثلا أو الفطريات فانه ولاشك يكون حجم المادة الوراثية في النباتات الوعائية أكبر وبالتالي حجم كروموسوماتها أكبر أيضا. بل ان النباتات الوعائية تختلف فيما بينها أيضا فمثلا العائلة الصليبية أو النجيلية خلاياها تحتوي علي كروموسومات أقل حجما اذا ماقورنت مثلا ب

Lycopodium أحد أجناس النباتات الوعائية.

كما أن حجم الكروموسومات تختلف فيما بينها داخل الخلية الواحدة. وقد بينت الدراسات السيتولوجية والسيتوكيميائية في الكائنات مميزة النواة أن كمية

DNA

في الخلية ثنائية العدد الكروموسومي يكون ثابت دائما للكائن الواحد ويساوي ضعف الكمية الموجودة في الجاميطة الأحادية

n

والتي تحتوي علي نصف عدد الكروموسومات.

خامساً: اختلاف الكروموسومات في تجاوبها مع الصبغات

- فقد لوحظ أن الكروموسومات في بعض العائلات النباتية مثل النجيلية تختلف كروموسوماتها في تجاوبها مع نفس الصبغة وبنفس التركيز عن كروموسومات عائلة نباتية أخرى.

مجموعات كروموسومية مختلفة الأحجام



المحاضرة الرابعة

التنوع الكروموسومي خلال الدورة الميوتوزية

Chromosomal variation through mitotic cycle

لمعرفة ما يحدث للكروموسوم من تغييرات أثناء الانقسام الميوتوزي لابد من مراجعة مراحل الأنقسام المختلفة التي تم دراستها من قبل في علم الخلية في الأعوام الماضية ومن خلال دراسة أطوار الانقسام هذه سوف نرصد التغييرات التي تطرأ علي الكروموسومات خلال مرورها بهذه الأطوار. كما الانقسام الميوزي والميوتوزي يلعبان دورا محوريا في عملية التوارث وبدون الميوزي لا يحدث اخصاب وتكون الخلية الأولى التي تماثل الخلية الجسدية للأبوين وبدون الانقسام الميوتوزي لا يظهر الجنين المتكامل الأعضاء مطلقا وسوف يبقى النسل عند خلية واحدة. فتعالى معا نراجعهما مرة أخرى:

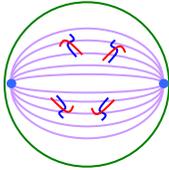
--الانقسام الخلوي

* الانقسام الميوتوزي (غير مباشر) :

- مكان الحدوث : الخلايا الجسمية .
- الهدف : النمو "بزيادة الخلايا" .

- تعتبر المرحلة الوسطية (البينية) للانقسام الميوتوزي لب هذه العمليات .
- لأنه يتم خلالها مضاعفة المادة النووية DNA لنفسها .

Three stages : Gape 1 phase -----Synthetic phase-----Gape 2 phase-

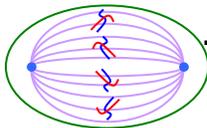


- مراحل الانقسام الميوتوزي :

أ - المرحلة التمهيديّة :

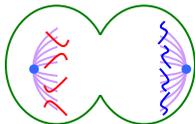
- 1- انقسام الجسم المركزي إلى نجيمين مع تكوين خيوط المغزل .
- 2- اختفاء النوية و الغشاء النووي .
- 3- تفكك الشبكة النووية إلى كروموسومات (2n) و كل كروموسوم عبارة عن كروماتيدين يلتقيان بالسنترومير .

ب - المرحلة الاستوائية :



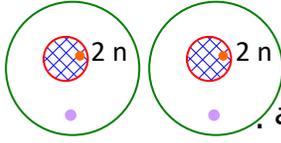
- تنتظم الكروموسومات في وسط الخلية مكونة صفيحة استوائية واحدة .

ج - المرحلة الانفصالية :



- 1- ينقسم السنتروميير و يبتعد كل كروماتيد عن قرينه بفعل تقلص خيوط المغزل .
- 2- تخلص السيتوبلازم .

د - المرحلة النهائية :

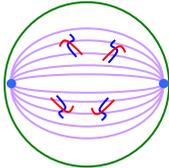


- 1- يتحول كل نجيم إلى جسم مركزي مع اختفاء خيوط المغزل .
- 2- تظهر النوية و الغشاء النووي .
- 3- تتشكل الشبكة النووية .
- 4- تتكون خليتان بهما نفس العدد الكروموسومي للخلية المنقسمة .

• الانقسام الميوزي (الاختزالي) :



- مكان الحدوث : الخلايا الجنسية .
- الهدف : تكوين و زيادة عدد الأمشاج .



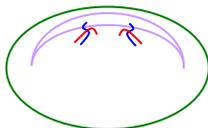
- مراحل الانقسام الميوزي I :

أ - المرحلة التمهيديّة :

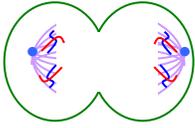
- 1- انقسام الجسم المركزي إلى نجيمين مع تكوين خيوط المغزل .
- 2- اختفاء النوية و الغشاء النووي .
- 3- تفكك الشبكة النووية إلى كروموسومات (2n) و كل كروموسوم عبارة عن كروماتيدين يلتقيان بالسنتروميير . ويتم ذلك خلال خمسة مراحل وهي:

- أ- اللبتوتين leptotene
- ب- الزيجوتين Zygotene تترتب الكروسومات في أزواج ويكون كروموسومي كل زوج متشابهين وملتصقين ببعضهما في ما يسمى بالثنائيات وتعرف هذه الظاهرة بالاقتران
- ج- الباكيتين Pachytene
- د- الدبلوتين Diplotene هنا يحدث العبور بين الكروماتيدات غير الشقيقة في الأزواج الكروموسومية المتشابهة عن طريق بروزات تسمى الكيازما الواحدة منها تسمى كيازماتا وعلي أساس نسبة العبور وعدد الكيازماتا تكون التراكيب الوراثية الجديدة حيث ان نسبتها تتناسب طرديا مع نسبة العبور وعدد الكيازما
- س- التشتتي Diakinesis

ب - المرحلة الاستوائية :



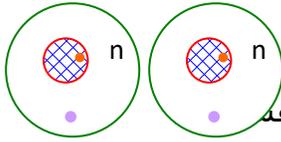
- انتظام الكروموسومات في وسط الخلية لتكوين صفيحتين استوائيتين



ج - المرحلة الانفصالية :

- 1- ينفصل كل كروموسوم عن قرينه بفعل خيوط المغزل .
- 2- تخرس السيتوبلازم .

د - المرحلة النهائية :



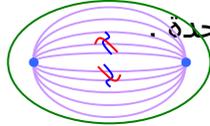
- 1- يتحول كل نجيم إلى جسم مركزي مع اختفاء خيوط المغزل .
- 2- تظهر النوية و الغشاء النووي .
- 3- تتشكل الشبكة النووية .
- 4- يتكون خليتان بكل منهما نصف العدد الكروموسومي للخلية المنقسمة

- مراحل الانقسام الميوزي II :

أ - المرحلة التمهيديّة :

- 4- انقسام الجسم المركزي إلى نجيمين مع تكوين خيوط المغزل .
- 5- اختفاء النوية و الغشاء النووي .
- 6- تفكك الشبكة النووية إلى كروموسومين و كل كروماتيدين يلتقيان بالسنترومير .

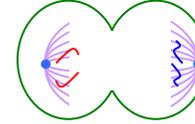
ب - المرحلة الاستوائية :



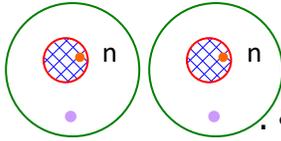
- تنتظم الكروموسومات في وسط الخلية لتكوين صفيحة استوائية واحدة .

ج - المرحلة الانفصالية :

- 3- ينقسم السنترومير و ابتعاد كل كروماتيد عن قرينه .
- 4- تخرس السيتوبلازم .



د - المرحلة النهائية :



- 5- يتحول كل نجيم إلى جسم مركزي مع اختفاء خيوط المغزل .
- 6- تظهر النوية و الغشاء النووي .
- 7- تتشكل الشبكة النووية .
- 8- تتكون خليتان بهما نصف العدد الكروموسومي للخلية المنقسمة .

التركيب الكيميائي للكروموسوم:

المادة الكروماتينية التي يتكون منها الكروموسوم نوعان. نوع يسمى الكروماتين الحقيقي والأخر يسمى الكروماتين المغاير

Heterochromatin and Euchromatin

هذه مقارنة بسيطة لكنها لازمة لفهم الفرق بينها

أساس المقارنة	مغاير	كروماتين حقيقي
المعنى	يسمى الشكل المعبأ بشدة من الحمض النووي في الكروموسوم باسم heterochromatin.	يسمى الشكل المعبأ بشكل فضفاض من الحمض النووي في الكروموسوم باسم كروماتين حقيقي.
كثافة الحمض النووي	عالية DNA كثافة.	كثافة الحمض النووي منخفضة.
نوع من البقع	داكن اللون.	ملطخة بخفة.
أين هم موجودون	تم العثور على هذه في محيط النواة في الخلايا حقيقية النواة فقط.	توجد هذه في الجسم الداخلي لنواة بدائية النواة وكذلك في خلايا حقيقية النواة.
نشاط نسخي	أنها تظهر نشاط نسخية قليلة أو معدومة.	يشاركون بنشاط في عملية النسخ.
مميزات أخرى	يتم لفها بشكل مضغوط.	يتم لفها بشكل فضفاض.
	هم تكرار في وقت متأخر.	هم تكرار مبكر.
	مناطق متغايرة اللون هي لزجة.	مناطق الكروماتين غير لزجة.
	غير نشط وراثيا.	نشط وراثيا.
	النمط الظاهري يبقى دون تغيير عن الكائن الحي.	يمكن ملاحظة الاختلاف ، بسبب التأثير في الحمض النووي أثناء العملية الجينية.
	يسمح بتنظيم التعبير الجيني ويحافظ أيضاً على السلامة الهيكلية للخلية.	ينتج عنه اختلافات جينية ويسمح بالنسخ الجيني.

أوضح التحليل الكيميائي للمادة الكروماتينية المعزولة من أنوية كائنات تنتمي الي حقيقيات النواة أنها تتكون من:

1-بروتين خاص

2-DNA

3- RNA

فأما لبروتين فهو الذي يعطي الكروموسوم الشكل المميز له وهو وهو ينقسم الي نوعين بروتينات هيستونية وهي قاعدية موجبة الشحنة وبروتينات غير هيستونية سالبة الشحنة وتوجد البروتينات الهيستونية في كروموسومات جميع الكائنات الراقية وهي تساوي نفس النسبة الوزنية لمادة الدنا في الكروماتين. ويوجد للهيستونات خمسة أنواع رئيسية هي:

H1 , H2a , H2b , H3 , H4

وهي تكون تركيب معقد خاص مع مادة الدنا مما يؤدي الي انتاج الوحدات التركيبية الأساسية للكروماتين. وتظهر هذه التركيبات في صورة حبيبات بيضاوية صغيرة تعرف بالنكليوسومات

Nucleosomes

وتتشابه أربعة من الخمسة أنواع من الهيستونات بدرجة كبيرة في جميع خلايا الكائنات مميزة النواة. وتندرج الأحماض انوية والبروتينات في الكيمياء الحيوية تحت مايسمي بالجزئات الكبيرة

Macromolecules

وترجع قاعدية الهيستونات الي أنها تحتوي علي الحمضين الأمينيين أرجينين والليسين وهما قاعديان ويحملان شحنة موجبة. أما البروتينات غير الهيستونية فانها تتكون من عدد كبير من البروتينات غير المتجانسة ويختلف تركيبها الجزيئي اختلافا كبيرا بين الطرز المختلفة لخلايا نفس الكائن الحي لذلك تبدو ربما تقوم بدور في تنظيم التعبير الجيني لبعض الجينات.

وتظهر النيوكليوسومات تحت الميكروسكوب الأليكتروني كحبيبات بيضاوية الشكل منظومة في سلسلة علي شكل خيوط رفيعة تبدو كالخرز يتجمع بداخلها الدنا

DNA

ورائة 5

المحاضرة الخامسة

العوامل الكيمائية والفيزيائية المؤثرة علي الكروموسوم

في البيولوجيا الطفرة هي تغيير في المعلومات الوراثية (دنا أو رنا)

DNA or RNA

الطفرات تحدث بسبب اخطاء في النسخ. التعرض للاشعة او المواد الكيماوية أو الفيروسات. في الكائنات الحية متعددة الخلايا يمكن تقسيم الطفرات الى طفرات جنسية التي يمكنها ان تنتقل الى النسل .

وطفرات جسمية التي لا يمكنها الانتقال الى النسل عند الحيوانات ولكن النباتات قد تنقل الطفرة الى النسل اذا ما حدثت الطفرة في الاعضاء الجنسية للنبتة

الطفرات تولد التنوع في الحقل الجيني . فالطفرات المضررة تتم تصنيفها عن طريق الانتقاء الطبيعي. تعرف الطفرات المحايدة على انها لا تضر ولا تنفع الكائن في بيئته التي يعيش بها هذه الطفرات ايضا قد تتراكم وهو ما يسمى بالانحراف الجيني, الأغلبية العظمى من الطفرات لا تؤدي الى تغييرات ملحوظة لان التصحيح الذاتي لل

DNA

يمكنه اصلاح اغلبية الطفرات قبل ان تتفشى هذه التفتية موجودة

عند الكثير من الكائنات

و التغيير الوراثي أو الطفرة تغير في الماد الوراثية لخلايا الكائن الحي وبتغيير

هذه الماد تتغير سمات معينة وبعض التغيرات الوراثية تكون واضحة فنوع العنب المعروف باسم التوافقية مثلا قد نتج عن تغير وراثي هذا التغير جعل كرمة برية تثمر أعنابا أكبر وأحلى من ذي قبل. وبامكان التغير الوراثي أن ينتقل الى الأجيال التالية.

تتألف المادة الوراثية من مورثات وصبغيات. وتحدد المورثات التي تتألف من انحمض النووي الريبوزي منقوص الأكسجى (د ن أ) السمات الوراثية للكائن الحي. حيث تصطف المورثات على امتداد الصبغيات وهي أجسام مجهرية تشبه الخيط. وقد يؤثر التغير الوراثي على مورثة مفردة أو على صبغية بأكملها ويحدث تغير المورثة نتيجة تغير كيميائي طفيف في الحمض النووي (د.ن.أ). وأنيميا الخلية المنجلية مرض دموي يحدثه تغير وراثي حيث يحدث تغير ثانوي في (د ن أ) داخل المورثة التي تتحكم في انتاج كريات الدم الحمراء. ويحدث تغير وراثي صبغي اذا تغير عدد أو ترتيب الصبغيات. أما متلازمة اوون كما ذكرنا من قبل وتسمى أيضا بالمغولية فبعلة عقلية وجسدية يحدثها تغير صبغي وتحدث العلة اذا ولد الشخص وله صبغي زائد. ولا يعرف العلماء الي اليوم مسببات معظم أشكال التغير الوراثي , بيد انها تحدث بمعدلات معروفة فبعضها تسببه عوامل مثل الأشعة فوق البنفسجية او الاشعة السينية , او مواد كيميائية معينة. ولايمكن التنبؤ بنوع التغير الذى يحدثه عامل معين.

ولايستطيع الكائن الحى ان ينقل التغير الوراثى الى ذريته الا اذا أصاب هذا التغير الوراثى خلية تنتج البيوض او النطاف (الحيوانات المنوية) ويعرف هذا النوع من التغير باسم التغير الوراثى الجرثومى, والنوع الأخر منه يعرف باسم التغير الوراثى الجسمي ويحدث فى خلايا الجسم الأخرى

وقد يكون للتغير الوراثى تأثير ظاهر على الجسم الذى يحمله او لا يكون. ومعظم التغيرات

التي لها تأثير ظاهر تكون ضارة
وقد اجريت فى المقابل دراسات كثيرة على بعض المواد التي قد تتمتع بقدرة
وقائية ضد المطفرات والتي تسمى

Antimutagenic

فعلي سبيل المثال أجرى هذ

البحث فى روسيا حيث اكتشف

العلماء ان الثوم يحمى من الطفرات الجينية المشجعة لنمو السرطان وبينت
الدراسات المخبرية على الخلايا البشرية ان خلاصة الثوم تعمل على ترميم واصلاح
المادة الوراثية او الحمض النووى دى ان اية (دنا) وتحمى من التلف الاشعاعى ايضا.
ووجد الباحثون فى معهد فافيلوف لعلوم الوراثة العامة فى موسكو - بعد تعريض
مجموعة من الخلايا لثلاث مواد متلفة لحمض دى ان ايه (دنا) وهى اشعاع جاما
وكلوريد

الكادميوم واكسيد نايتروكوينولين - أن الثوم كان اكثر فعالية ضد

الاشعاع حيث عمل على ترميم واصلاح التلف خلال 15 دقيقة وحمى الخلايا من اثاره السلبية
كما ساعد فى الوقاية من التلف الذى يسببه كلوريد الكادميوم , ولكنه

لم يؤثر على التلف الناتج عن المادة الكيماوية الثالثة.

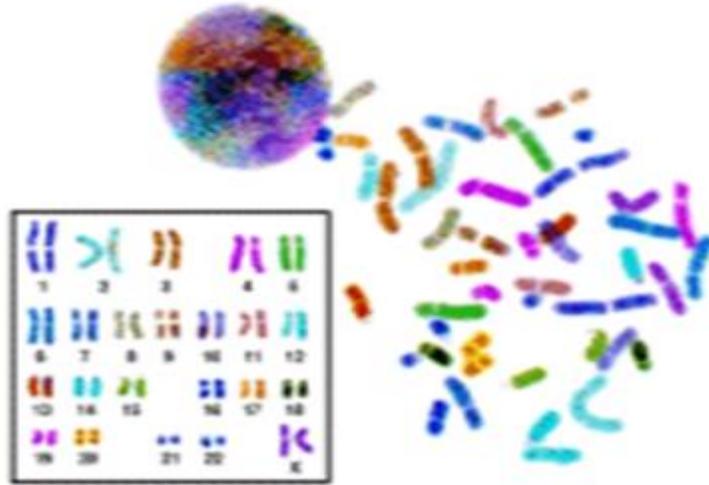
وأوضح هؤلاء أن هذا الأثر الوقائي للثوم يرجع الى نجاحه في التخلص من ذرات الأكسجين
المؤذية المنطلقة من الاشعاع والمواد الكيماوية بصورة أسرع كثيرا مما هو الحال في الظروف
العادية.

الهيئة الكروموسومية

Karyotype

The karyotype is the morphological aspect of the chromosome complement as seen at mitotic metaphase

karyotype



صورة فوتوغرافية لكروموسومات الانسان مبعثرة علي اليمين في الطور الاستوائي و علي اليسار تم عمل الهيئة الكروموسومية

اذا الكاريوتيب يعني الهيئة الكروموسومية وكلاهما يعني التكوين الكروموسومي

داخل نواة الخلي معتدا على ستة عوامل خمسة منها اساسية كالعدد والطول

والحجم وموضع السنترومير وكذلك موضع

Satellite

وواحد اضافية وهي

الأختلاف في مواضع ودرجة توزيع الكروماتين غير المتجانس.

ويعتبر الطور الاستوائى في الأنقسام الميوزي انسب الاطوار لدراسة الهيئة الكروموسومية للانواع النباتية المختلفة حيث ان الكروموسومات تكون فى اقصر واسمك حال وبالتالي بمجرد بعثرتها بعوامل بعثرة مناسبة يتثني بعد ذلك دراسة هيئتها على النحو التالي:

- 1- عد الكروموسومات المبعثرة فى الطور الاستوائى مرات عديدة وكلما كانت البعثرة كاملة كلما كان العد دقيقا ومن المعلوم أن الأنواع النباتية تختلف عن بعضها في عدد الكروموسومات الأساسية.
- 2- قياس طول الكروموسوم الكلي وكذلك قياس طول الأذرع الموجودة علي جانبي السنتروميير وهذه الأذرع تختلف من زوج كروموسومي لأخر فتارة تكون الأذرع متماثلة علي جانب السنتروميير وتارة تكون مختلفة مابين ذراعين أحدهما طويل والأخر قصير وتارة يكون أحدهما قصير جدا بالنسبة للأخر والذراع الأخر طويل.
- 3- كذلك يتم حساب متوسط نسبة ذراعي الكروموسوم ومتوسط دليل السنتروميير. وعند اعداد الهيئة الكروموسومية نتبع الأتي:

1- وضع الكروموسومات المتماثلة من حيث الطول في أزواج في ترتيب رقمي حيث يكون أطول الأزواج يحتل المكانة الأولي في الترتيب ولأقصر منه مباشرة بعده مباشرة حتي يكون أقصر الأزواج يحمل أكبر الأرقام فأقصر الأزواج في البصل مثلا يحمل رقم 8 باعتبار أن عدد كروموسومات البصل 16

2- يرمز للذراع الطويل للكروموسوم بالرمز

q

وللذراع القصير بالرمز

p

3- في حالة وجود زيادة بأحد الكروموسومات توضع علامة + علي ذراع الكروموسوم الذي به الزيادة والعكس علامة - علي الذراع الذي به النقص.

تحليل الكاريوتيب

Karyotype analysis

يستخدم الكاريوتيب أساسا للتصنيف الوراثي بين الأنواع والأجناس النباتية المختلفة حيث أصبح من المعروف أن النباتات البذرية تمتلك أجناسها المختلفة هيئات كروموسومية متباينة بين الأجناس وثابتة للجنس الواحد. كذلك التباين في الهيئة الكارموسومية قائم بين الأنواع أيضا كما هو فعلي بين الأجناس في الصور التالية يبدو الاختلاف بين أربعة أنواع من جنس

Vicia

وهي

V. sativa , V. grandiflora V. punnonica and V. narbonensis

وعند تحليل الكريوتيب ولأول وهلة يبدو الاختلاف الوراثي بين

الأنواع الأربعة جليا

مجموعات كروموسومية مختلفة الأحجام



لقد اشرنا انه من ضمن مفردات الهيئة الكروموسومية الى مايسمى

Heterochromatin

اي الكروماتين المغاير وهو يمكن دراسته بوضوح في
الطور التمهيدى لكن السؤال الملح الان ماذا نعنى بالكروماتين
المغاير؟ فصلنا في ذلك عند دراسة أنواع المادة الكروماتينية لكن دعونا نفصل تاريخيا أكثر
ان الاجابة بدأت خيوطها تنسح مبكرا جدا ومنذ عام 1934 م حيث لاحظ

Leitz

عند دراسته للطور البينى فى الخلية ان المادة الكروماتينية المكونة للنواة لا تقبل الصبغات
بدرجة كثافة واحدة فقط اجزاء داكنة اطلق عليها

Heterochromatin

اما الاجزاء الاخرى فقد اطلق عليها مصطلح

Euchromatin

اي الكروماتين

الحقيقي وتوالت بعد ذلك البحوث لعلماء اخرين لتأكيد ملاحظه

Leitz

من قبل.

وفى عام 1968 م تمكن

Caspersson

واخرين من التمييز بين مواضع

الكروماتين المختلفة باستخدام صبغة الكوناكرين النباتية المستخلصة من نبات

الخردل. فعند صباغة الكروموسومات بهذه الصبغة فانها تشع

وميضاً عند تعريضها للاشعة فوق البنفسجية وهذا الوميض يأتي لامعا براقاً من

بعض اجزاء الكروموسوم بينما يأتي خافتاً من اجزاء اخرى سميت هذه الاجزاء بالحزم.

وقد اصبح من المعلوم الثابت لدي علماء الوراثة ان الكروماتين المغاير يتوزع

على الكروموسوم على شكل حزم كروموسومية ثابتة. بالنسبة للكروموسوم الواحد

وكذلك بالنسبة للمجموعة الكروموسومية داخل النوع الواحد وبالتالي تبرز قيمتها

جلية عند التصنيف الوراثي وفي دراسة التطور وفي الوراثة البشرية وقد يوجد

على الكروموسوم حزمة او اكثر في اي موضع لكن غالباً ما يكون وجودها في

منطقة السنتروميير اكثر شيوعاً و انتشاراً. وتختلف هذه الحزم كما وكيفا باختلاف الصبغة

وبالتالي يفيد هذا الجزء أيضاً في دراسة التنوع الكروموسومي المعتمد على الصبغة كما أسلفنا

ولكثر الصبغات المستخدمة اليوم أصبحت تسمى الحزم باسم الصبغة مثلاً صبغة

Gemsa

تسمى الحزم الناتجة عن صباغة الكروموسوم بها

G-banding

وهكذا.....

ورائة 6

المحاضرة السادسة

نظرية الكروموسومات وتطبيقاتها

Theory of chromosomes and its applications

لم يكن مندل حين اجرى تجاربه على نبات بسلة الحديقة ثم وضع قانونيه

الشهيرين يعرف لفظ جين ولم يستخدمه فى تجاربه مطلقا كذلك ولا لفظ

كروموسوم وانما كان يستخدم لفظ عامل للدلالة على الجين حتى جاء

- فلهم رو 1883 واقترح أن الكروموسومات أجسام منتظمة في سلاسل وأن لها القدرة على التكرار بدقة عند انقسام الخلية وأنها قد تحمل عوامل الوراثة تم جاء

Johannse

- باصطلاح جين بدلا من عامل. قدم كل من بوفري وسوتون 1902 و 1903 علي التوالي الدليل الدامغ علي أن الجين هو جزء من الكروموسوم.

بعدها بسنوات

قليلة 1911 قدم مورجان وسعاونوه ما يسمى بنظرية الكروموسومات والتي تنص

على ان الكروموسومات هى حاملة الجينات وان الجين يعد جزءا محددنا من

الكروموسوم

وقد كانت الاطلالة الاولى على انقسام المادة الكروماتينية المكونة للكروموسومات

فى الخلية من حظ العالم فلمنج 1882 وايضا العالم فان بندين

لاحظ كلاهما الاجسام الخيطية فى انوية الاخلايا المنقسمة , حتى جاء العالم

Wald meyer

1988 فأطلق على هذه الخيوط التي تبدو متشابكة أحيانا ومتقاربة

متلاصقة في احيان اخرى بالا جسام الملونة

Chromosomes

حيث ان المقطع

Chromo

الاغريقي الاصل يعنى الملون

وتعود هذه التسمية الى قدرة هذه الكروموسومات الحامضية علي الاصطباغ بالصبغات القاعدية. ولأن نظرية الكروموسومات تعتمد في صياغتها اساسا على

علمى الخلية والوراثة اسمهمت جهود العلماء فيما بعد فى دمج هذين العلمين معا فيما

سمى الوراثة الخلوية وهو احد افرع علم الوراثة الاثنى

عشرة المعروفة وهى:

الهندسة الوراثية

وراثة الطفرات

الوراثة الكيموحيوية

4- الوراثة الأشعاعية

5- الوراثة الجزيئية

6- الوراثة السيتولوجية

7- الوراثة الكمية

8- الوراثة التكوينية

9- وراثة العشائر

10- وراثة الانسان

11- وراثة الأحياء الدقيقة

12- الوراثة الفسيولوجية

أوجه الشبه بين الكروموسومات و الجينات:

1-الجينات والكروموسومات توجد في أزواج في الخلايا الحية

2- الجينات والكروموسومات تنتقل من جيل الي جيل كوحدات مستقلة

3- تنفصل الكروموسومات المتماثلة عن بعضها في الجاميطات حيث يتجه أحد هما الي

جاميطه بينما يوجه الآخر الي الأخرى وكذلك تنعزل الجينات.

4- بعد الاخصاب تحتوي خلية الزيغوت علي مجموعتين كروموسوميتين كما

تحتوي علي اليدين لكل جين

5- أليي كل جين أحدهما يأتي من الأب والأخر يأتي من الأم كذلك زوج

الكروموسومات المتشابهة أحدهما يأتي من الأب والأخر يأتي من الأم

الأدلة العملية علي صحة نظرية الكروموسومات في الوراثة:

1-في اناث بقرة البروتينور أربعة عشر كروموسوم تنتظم في

سبعة أزواج عند الانقسام الميوزي حيث تنعزل بكل جاميطة أنثوية سبعة

كروموسومات بينما تحتوي ذكور هذه الحشرة علي ثلاثة عشر كروموسوما و

لذلك فان الذكور تعطي جاميطات بها سبعة كروموسومات وأخرى بها ستة كروموسومات

فقط. وعند اخصاب جاميطة أنثوية بها سبعة كروموسومات بجاميطة ذكرية بها سبعة

كروموسومات يكون الفرد الناتج أنثي. أما عند اخصاب جاميطة ذكرية بها ستة

كروموسومات مع جاميطة أنثوية فان الفرد الناتج يكون به ثلاثة عشر كروموسوما ويكون

ذكرا. أي أن وجود أحد الكروموسومات في الأناث يجعلها اناثا بينما غياب هذا الكروموسوم

في الذكور يجعلها ذكورا.

2- مما عضد نظرية الكروموسومات فى الوراثة ايضا مشاهدات نيتى - ستيفنر على دودة الدقيق العادية حيث ان اناث و ذكور هذه الحشرة تحتوى على عدد متساوى من الكروموسومات , ولكن الاناث تحتوى على أزواج من الكروموسومات متماثلة كلها بينما تحتوى الذكور على احد أزواج الكروموسومات غير المتماثلة. ولوحظ ان أحد كروموسومات هذا الزوج يشبه زوج من الكروموسومات الموجودة فى الاناث أما الكروموسوم الاخر فله شكل مختلف وقد اطلقت ستيفنر على هذا الزوج من الكروموسومات كروموسومات الجنس يرمز لهما فى الاناث بالتركيب الكروموسومى

XX

بينما يرمز لكروموسوم الذكر ذو الشكل المختلف بحرف

Y

و بالتالى يكون

التركيب الكروموسومى لكروموسومى الجنس فى الذكور

XY

3 - وجد توماس مورجان ان اناث حشرة الدروسوفيللا

(ذبابة الفاكهة) تحتوى على اربعة ازواج من

الكروموسومات احدهما عصى الشكل مختص بتحديد الجنس يطلق عليه

XX

و فى الذكور يوجد ايضا اربعة ازواج من الكروموسومات و لكن الزوج المختص

بتحديد الجنس يكون احد كروموسوماته نظير لكروموسومى

X

فى الاناث (عصى)

الشكل) بينما يكون شكل الاخر عصى منحنى ويرمز لكروموسومى الجنس فى الذكور بالحرفين

XY

و تعرف الكروموسومات غير الجنسية

بالكروموسومات الجسدية وهى متشابهة تماما ويرمز لكل

مجموعة منها بالرمز

A

عند التزاوج يكون التحليل الوراثى للاباء و الابناء كما يلى:

P:	3AA+XX female	x	3AA+XY male
G:	3A+X		3A+X 3A+Y
F1:	3AA+XX female		3AA+XY male

وأدى التعرف على كروموسومات الجنس وتحديدتها اذا الي التأكد بما لا يدع مجالاً

للشك أن الجنس يتحدد بوجود كروموسومات معينة مما يعضد النظرية

الكروموسومية

4- وجد مورجان دليلاً آخر أقوى تعضيضاً حين درس لون العين فى حشرة

الدروسوفيليا ووجد أن اللون الأحمر للعين هو الصفة السائد فى الطراز البري

للحشرة

Wild type

وكان قد أجري التلقيح الأتى:

بري أحمر العين

أبيض العين

P: XrXr wild eyes x XY white eyes

G: Xr X Y

F1: XrX wild eyes XrY wild eyes

وعند اجراء التلقيح الذاتي بين أفراد الجيل الأول الناتجة حصل علي التحليل الوراثي الآتي:

P: XrXr x XrY

G: Xr X Xr Y

F2: XrXr XrY XXr XY

ذكر أبيض العين .. أنثي حمراء العين... ذكر أحمر العين ... أنثي حمراء العين (أي أن النسبة 3 أحمر العين الي 1 أبيض العين) ويستنتج من هذا التلقيح:

أولاً: أن لون العين الأحمر هو الصفة السائدة وقد ميزناها

عن البيضاء المتنحية بالحرف الصغير

r

وواضع ان هذه الصفة يكون الجين

المسئول عنها موجودا علي الكروموسوم الجنسي

X

الموجود في النوع البري فقط

بينما الكروموسوم الجنسي

X

في النوع الآخر يحمل الجين المتنحي.

ثم أجري مورجان هذه التجربة بحيث استخدم في هذه المرة ذكرا بريرا أحمر العين وانثى عادية بيضاء العين فحصل علي النتائج التي تتضح من التحليل الوراثي الآتي:

P: XrY x XX

G: Xr Y X

F1: XrX XY

ذكور بيضاء (50%) واناث حمراء (50%)

ثم تركت لتتلقح ذاتيا فحصل علي الآتي:

P: XrX x XY

G: Xr X X Y

F2: XrX XX XrY XY

اناث حمراء (25%) - اناث بيضاء (25%) - ذكور حمراء (25%) - ذكور بيضاء (35%)

ومن هذا التزاوج استدل مورجان علي أنه مادام الأب كان أحمر العين وانه يحمل

كروموسوم

Y

والجيل الناشئ, يحتوي علي ذكور بيضاء العين وهو يحمل

الكروموسوم

Y

أيضا فمعني ذلك أن هذا الكروموسوم لا يحمل في هذه الحالة أي
جينات مسئولة عن لون العين في حشرة الدروسوفيلا وبالتالي يكون هذا الجين
محمولا علي كروموسوم

X

وليس له أليلا علي كروموسوم

Y

وبالتالي فقد وجد مورجان الأدليل العملي علي نظرية الكروموسومات في الوراثة.

هذه النظرية أصبح لها تطبيقات كثيرة منها علي سبيل المثال:

1- الخرائط الجينية

2- الهندسة الوراثية

المحاضرة السابعة

في هذا الباب سوف نتناول ان شاء الله الموضوعات الآتية:

- 1- الارتباط بنوعيه التام وغير التام
- 2- العبور والخرائط الجينية
- 3- الأساس السيتولوجي للعبور
- 4- الميكانيكية الجزيئية لحدوث العبور

الارتباط

تحتوى خلية باسلاء الحديقة التى اجرى مندل تجاربه عليها فى نواتها على سبعة كروموسومات فقط بينما من غير شك شأنها شأن حقيقيات النواة تحمل كروموسوماتها السبعة الاف الجينات معنى ذلك ان عدد الجينات فى اى كائن يفوق عدد الكروموسومات وكان كل من ساتون وبوفرى قد قدما الادلة الكافية على ان الجينات تنتقل من جيل الى جيل كما تنتقل معا عند انتقال الكروموسومات ثم جاء مورجان ليؤكد ارتباط الجينات بالكروموسومات . ومن البديهي ان ترتبط الجينات الموجودة على كروموسوم واحد مع بعضها بحيث تنتقل معا عند انتقال الكروموسوم. بما ان الكروموسومات فى النسل الناتج عن التزاوج تاتى من الاباء وان هذه الكروموسومات تحمل معها الجينات وان الجينات الموجودة على نفس الكروموسوم لا بد وبناء على هذا الفرض ان تكون دائما موجودة معا وبالتالي يكون الابناء فى كل حال نسخة طبق الاصل من الاباء لكن الواقع بخلاف ذلك فمثلا عندما درس مندل وراثة صفتين من الصفات المتفارقة فى نبات البسلة وهما لون الفلقات وشكل البذور كانت الاباء مستديرة البذور صفراء والاباء الاخرى مجعد البذور خضراء ومع ذلك حصل مندل

في الجيل الثاني على افراد لاتشبه الأباء مثل المجدد الاصفر و المستديرة الخضراء وكان
مجموعة افرادها اقل من مجموع الافراد التي تطابق الاباء تماما . وقد ادت مثل هذه
النتائج الى افتراض ان الجينات يمكنها الانتقال من كروموسوم الى مثيله فيما سمي
بالعبور

الارتباط:

أجري كل من العالمين باتسون وبانيت تهجيناً بين سلالتين من نبات بسلة الزهور
يختلفان عن بعضهما في زوجين من الصفات المتفارقة وهما لون الأزهار وشكل حبوب
اللقاح حيث يسود اللون البنفسجي للأزهار علي اللون الأحمر ويسود أيضاً الشكل
المستطيل لحبوب اللقاح علي الشكل المستدير. فعند إجراء التلقيح التالي:
أباء بنفسجية الأزهار مستطيلة حبوب اللقاح مع حمراء الأزهار مستديرة حبوب اللقاح

P: rppp

x

RRPP

G: rp

RP

F1:

RrPp

بنفسجي الأزهار مستطيل حبوب اللقاح

وعندما تركت لتتلقح ذاتياً كان المتوقع طبقاً لقانون التوزيع المستقل لمندل أن تأتي

النسبة بين الطرز المظهرية 9:3:3:1

لكنهما حصلوا علي النسب التالية

11.1 بنفسجية مستطيلة بدلا من 9 في النسبة المنديلية

0.83 بنفسجية مستديرة بدلا من 3 في النسبة المنديلية

1.03 حمراء مستطيلة بدلا من 3 في النسبة المنдлиية ايضا

3.80 حمراء مستديرة بدلا من 1 في النسبة لمنдлиية

وعند جمع هذه النسب التي حصلنا عليها نجد أنها تساوي النسبة المنдлиية الكلية وهي 16
إذا مالذي حدث ؟

دعنا اولاً نستكمل ما أجراه باتسون وبانيت.....

كما فعل مندل من قبل أجريا تلقيحا اختباريا لنباتات الجيل الأول وكانت المتوقع كما وجد
مندل من قبل أن النسل الناتج يحمل الطرز الأربعة المتحصل عليها في الجيل الثاني من
قبل لكن بنسب متساوية لكن النتيجة كانت خلاف ذلك كما يلي:

43.7 نباتات بنفسجية الأزهار مستطيلة حبوب اللقاح

6.3 نباتات بنفسجية الأزهار مستديرة حبوب اللقاح

6.3 ... حمراء مستطيلة

43.7 مستديرة

في التجربة الأولى والثانية نجد أن النباتات ذات التراكيب الوراثية الأبوية قد ظهرت بنسبة
أكبر من النسب المتوقعة علي أساس التوزيع الحر للجينات علي العكس من ذلك جاءت
نسب التراكيب الجديدة أقل من المتوقع في التجربتين من هذا يتضح ان الجينات
المسئولة عن الصفات التي يحملها الأباء مرتبطة معا لوجودها علي كروموسو واحد
ويسمي هذا النوع من الارتباط بالأرتباط غير التام
وعلي العموم اذا ظهرت الصفات الأبوية دائما معا ولم تظهر تراكيب واتحادات جديدة
فمعني ذلك أنه يوجد ارتباط تام بين الجينات وهذا
النوع من الأرتباط نادر الحدوث.

العبور

Crossing over

ان اكتشاف ظاهرة العبور كان بمثابة الوميض اللامع الذي بدد ظلام الحيرة في التناقض بين ما أجراه مندل وما خالفه كالذي أجراه باتسون وبانيت من بعد.... وكان مورجان أول من وجد علاقة بين الارتباط وانعزال الكروموسومات المتماثلة وحدوث العبور.....

وقد ارجع تكوين اتحادات جديدة بين الجينات المرتبطة الى حدوث عبور في مرحلة الانقسام الميوزي. فأثناء الطور الضام في المرحلة التمهيدية الاولي ينشق كل كروموسوم طوليا الى كروماتيدين متماثلين ويتقارب كل كروموسومين متشابهين لتكوين الثنائيات

Bivalent

في نفس الوقت تحدث عملية العبور عن طريق تبادل اجزاء بين كروماتيدين غير شقيقين بما عليها من جينات وتسمى النقطة التي يحدث عندها التبادل بالكيازما والجمع كيازماتا

Chiasma and Chiasmata

ويمكن مشاهدتها بوضوح في المرحلة التشثيتية وكلما زاد عدد الكيازمات في هذا الطور كلما دل ذلك على زيادة نسبة التراكيب الجديدة.

وتتوقف نسبة العبور على المسافة بين الجينات .حيث تتناسب نسبة العبور طرديا مع

هذه المسافة ويمكن تحديد نسبة العبور بعدد الافراد الناتجة من اتحادات جديدة الى العدد

الكلى الأفراد اد كما يلي

نسبة العبور = عدد الأفراد الناتجة من اتحادات جديدة على العدد الكلى للأفراد

ويعتبر العبور والتوزيع الحر أكثر الميكانيكيات أهمية لانتاج اتحادات جديدة من الجينات.

ويعمل الانتخاب الطبيعي علي حفظ تلك التراكيب التي تنتج كائنات تمتاز بأعلي درجات الموانمة لبقاء واستمرار الكائن الحي.

الأساس السيتولوجي للعبور

1- اقترح مورجان ظاهرة العبور لتفسير ظهور اتحادات جديدة للجينات المرتبطة وقد افترض ان هذا الارتباط كان نتيجة لوجود هذه الجينات علي نفس الكروموسوم. واذا حدث عبور فانه يمكن رصده سيتولوجيا عن طريق الكيازما.

2- وفي عام 1931 تمكن كل من

Clintock , Ctieton and Stern

من التوصل للدليل السيتولوجي المباشر للعبور. كان الأول والثاني يعملان علي نبات الذرة وكان الثالث يعمل علي حشرة الدروسوفيلا وذكروا أن الكروموسومات المتماثلة تتبادل الأجزاء خلال العبور وقد تمكن الثلاثة من الحصول علي أزواج الكروموسومات النظرية التي يمكن التمييز بين أفرادها مورفولوجيا حيث لم تكن متماثلة تماما وكانت الكروموسومات التي تم دراستها بواسطة هؤلاء العلماء تتماثل في أطوالها بحيث تتلاصق وتنعزل طبيعيا اثناء الأقسام الميوزي الا أنها تختلف في نهايتها حيث تحتوي علي صفات مورفولوجية مميزة يمكن التعرف عليها مورفولوجيا.

3- أما

Stern

الذي عمل علي حشرة الدروسوفيلا فقد أجري بحثه التالي :

اختار اناثا من هذه الحشرة بها كروموسومى الجنس

X

غير متشابهين مورفولوجيا

في أطرافهما كما ذكرنا و عرضهما للاشعة السينية فحصل على حالتين شادتين

لكروموسوم

X

فقد حصل على اناث لون عيونها قرنفلي وشكلها عودى وفسر ذلك
على اساس انتقال بين الكروموسوم الرابع واحد كروموسومى

X

حيث انتقلت قطعة من الكروموسوم والتصقت بطرف الكروموسوم الرابع مما جعله
أقصر من مثيله

X

الآخر . وفى نفس الوقت حصل ستيرن على سلالة برية أخرى لذات
الحشرة قد انتقل جزءا كبيرا من كروموسوم

Y

الى كروموسوم

X

مما جعله اطول

من كروموسوم

X

الآخر وبالتالي أصبح عنده سلالتان احدهما تحمل كروموسوما جنسيا
قصيرا والآخرى تحمل كروموسوما جنسيا طويلا واستعمل هذه السلالات فى تجاربه
معتمدا على لون العين وشكلها وهى محمولة على كروموسومات جنسية و للتعبير عن
التراكيب الوراثية لهذه الاناث

1 - يرمز لاليل لون العيون القرنفلى بالحروف

car

اختصارا لكلمة

Carnation

ولشكل العين العودي بالحرف

B

اختصارا لكلمة

Bar

اما لاليل البرى

للون العين الاحمر وشكلها المستدير فيرمز لكل منهما بالرمز

r

2 - عند اجزاء تلقيح بين انثى حمراء العين ذات شكل مستدير مع ذكر يحمل صفة

العيون القرنفلية المستديرة وكروموسوم اكس من النوع العادى نتجت الطرز الظاهرية

الاتية:

أ - حشرات قرنفلية عودية العين

ب - حمراء مستديرة العين

ج - قرنفلية مستديرة

د - حمراء عودية

وقد فسر ذلك بأن المجموعتين ا وب جاءتا بدون حدوث عبور وأن المجموعتين ج,د

جاءتا نتيجة لحدوث عبور وقد أوضح الفحص السيتولوجي لحشرات النسل الناتج من

هذا التلقيح أن الحشرات ألتى في تركيبها الكروموسوم الجنسي اكس الطبيعي تحمل

التراكيب الجينية للأباء الذكور بينما الحشرات التي تحمل الكروموسوم اكس غير

الطبيعي فقد انتقل اليها من الأم . وقد أوضح التوافق التام بين التغيرات في شكل

الكروموسوم اكس نتيجة العبور وبين الاتحادات الجديدة للجيبات ان العبور لا بد وان

يشتمل علي تبادل مادي لقطعين من الكروموسومين المتشابهين وان هذا التبادل هو المسئول عن انعزال الجينات المرتبطة عن بعضها في الجينات. أما كريتون ومكليتوك فقد أوضحا أيضا التلازم بين العبور وتبادل أجزاء الكروموسومات المتبادلة كما يلي:

أجريا تلقيحا بين نباتات ذرة تحتوي علي جينين مرتبطين يتحكم أحد الجينين في لون الحبوب.

C

للحبوب الملونة

c

للحبوب غير الملونة (كما يتحكم الجين الآخر في نوع المادة الكربوهيدراتية في الحبة للنشوي

Wx

و للشمعي

wx

وقد حصلنا علي

كروموسوم يحتوي علي عقدة كثيفة الصبغ

Knob

في أحد الأطراف وقطعة زائدة

منقولة من كروموسوم آخر في الطرف الآخر وعند اجراء تلقيح اختباري لنبات خليط

تنافري ذو حبوب ملونة نشوية الكربوهيدرات تركيبها الوراثي

Cwx/Cwx

مع أخرمتنحي مزدوج ذو حبوب عديمة اللون شمعية الكربوهيدرات تركيبها الوراثي

Cwx/cwx

وجد بالنسل تراكيب وراثية تحمل كروموسوما ذا توافق جديدة متسقة مع

أدلة مستمدة من خصائص الشكل الظاهري. وباجراء التحليل الوراثي تبين ان كل نباتات

النسل تحتوي علي كروموسوم عادي انتقل اليها من الاب الاختباري كما وتحتوي نباتات نصف النسل علي كروموسوم انتقل اليها من الاب الخليط دون تغيير اما نصف النسل الاخر فيوجد بها كروموسوم مميز الشكل نتيجة لحدوث عبور.

الميكانيكية الجزيئية لحدوث العبور

Molecular mechanism of crossing over

هناك تصوران لتفسير ظاهرة العبور

1- الكسر واعادة الالتحام

وتعني حدوث كسر بكروماتيدين غيرشقيقين في الكروموسومين المتماثلين المقترنين

واعادة الألتحام بين أجزاء الكروماتيديين غير الشقيقين بتراكيب جديدة

وتتفق هذه النظرية مع تجارب شتيرن وكرايتون وماكلينتوك السابقة كما حصل العلماء

علي نتائج تؤيد هذه النظرية من خلال التصوير الشعاعي الذاتي حيث يتم تعليم الكروموسوم بالمادة المشعة مثل الثيميدين المشع وبالتالي يمكن تصوير تبادل الأجزاء بعد عملية الكسر والالتحام.

2- اختيار النسخ

وقد بنيت هذه النظرية علي افتراض أن جزيئات دنا اثناء عملية التضاعف يمكن

ان تستبدل باستخدام دنا الكروماتيد المقابل في الكروموسوم الاخر

وقد افترضت هذه النظرية ان تضاعف دنا يتم فقط بالطريقة المحافظة

لكن بعدما تأكد ان التضاعف يحدث بالطريقة شبه المحافظة
انخفضت شعبية التأييد لهذه النظرية بين العلماء.

العبور بين الكروماتيدات الشقيقة:

الكروماتيدان الشقيقان هما الموجودان في نفس الكروموسوم والكروماتيدان غير
الشقيقان هما الذان يوجد أحدهما على كروموسوم والاخر على الكروموسوم الآخر في
زوجي الكروموسومين المتماثلين وقد جرت العادة ان العبور يحدث بين الكروماتيدات
غير الشقيقة فقط واثناء الانقسام الميوزي لكن جاءت بعض التجارب الحديثة بما يشير
الى انه قد حدث عبور بين كروماتيدات لكروموسومات خلايا جسدية اطلق عليه العبور
بين الكروماتيدات الشقيقة. ففي احد التجارب تركت الخلايا الجسدية لمدة دورتين في
وجود مادة مشعة تحتوي علي فوسفور مشع وهي البرومويوراسيل وبعد دورتين أمكن
التمييز بين الكروماتيدات التي تحوي البرومويوراسيل في سلسلتي دنا والتي تحوي
المادة المشعة في سلسلة واحدة فقط ويشير وجود المادة المشعة في السلسلتين علي
عدم حدوث انتقال من كروماتيد الي الكروماتيد الآخر بنفس الكروموسوم بينما
يدل وجود المادة المشعة في سلسلة واحدة علي انتقال جزيء من كروماتيد الي
الكروماتيد الآخر. وقد وجد أن معدل التبادلات بين الكروماتيدات الشقيقة يزداد بتأثير
بعض المركبات المطفرة كيميائية وفيزيائية (اشعة اكس والأشعة فوق البنفسجية) لذا
كان اهتمامنا بدراسة أثر المطفرات الكيميائية والفيزيائية علي الكروموسوم امرا ذوبال
في هذا الموضوع وفي غيره حيث تتعاضد فروع العلم تعاضد فروع الشجرة المثمرة.

ورائة 8

العبور والخرائط الجينية

Crossing over and genetic maps

العبور والخرائط الجينية:

مصطلح الخريطة الجينية أو الوراثة يعني تحديد مواقع الجينات علي الكروموسوم وايضا ترتيبها بالنسبة لبعضها وكذلك تحديد المسافة بينها وبين بعضها علي الكروموسوم.....فماهي العلاقة بين العبور والخريطة الجينية ؟

من المعلوم أن الجينات موجودة علي الكروموسوم في تتابع طولي حيث لايشغل الموقع الواحد علي الكروموسوم أكثر من جين واحد اذا للجين موقع ثابت ومحدد علي الكروموسوم وبالتالي الجينات الموجودة علي نفس الكروموسوم يتعذر انتقالها بدون انتقال الكروموسوم نفسة الا في حالة حدوث العبور اذا العبور يسمح للجينات أن تتوزع توزيعا حرا ومن المؤكد ان نسبة الفئات العبورية في أفراد النسل تتناسب مع نسبة الخلايا التي تتكون بها الكيازومات , و تعتمد فرصة تكوين الكيازومات علي المسافة بين الجينات علي الكروموسومات , فكلما كانت الجينات متباعدة عن بعضها علي الكروموسوم كان احتمال حدوث الكيازومات بينها كبيرا . وعلي ذلك فان نسبة الفئات العبورية في النسل تؤخذ كمقياس للمسافة بين الجينات علي الكروموسومات واذا كان الموقعان لجينين متباعدين لدرجة أن احتمال تكوين الكيازومات بينهما هو 100 % فان 50% من الجاميطات ستكون عبورية حيث لا يمكن أن تزيد نسبة الاتحادات الجديدة عن 50% ووحدة المسافة الوراثة هي 1 و هي ما تسمى وحدة عبور أو سنتيمورجان و تعطى كل كيازما 50% نواتج عبورية و هي ما يعادل 50 وحدة مسافة.

واسهل الطرق للتعرف علي الجاميطات العبورية في هجين ثنائي هي استخدام التلقيح الاختباري. ففي مثل بسلة الزهور كانت نسبة الفئات العبورية في النسل الناتج للتلقيح الاختباري $6.3 + 6.3 = 12.6\%$. وبالتالي فان المسافة بين جين لون الأزهار و شكل حبوب اللقاح هي 12.6 وحدة عبور . أما في مثال الدروسوفيلا فان الفئات العبورية كانت نسبتها $8.5 + 8.5 = 17\%$ و من ثم فان المسافة بين جين لون الجسم و شكل الجناح هي 17 وحدة عبور . وعموما فان نتائج التلقيح الاختباري تستخدم للتعرف علي الجاميطات العبورية في هجين ثنائي و تحديد ترتيب الجينات بالنسبة لبعضها علي الكروموسوم ومن أجل وضع الجينات في تتابعها الطولي الصحيح فان التلقيح الاختباري بثلاث نقاط هو الوسيلة لتحديد ترتيب الجينات علي الكروموسوم ولايضاح

ذلك نفترض ان المسافة بين الجين

A

و الجين

$$12 = B$$

تساوي 12 وحدة عبور و المسافة

$$C - B = 7$$

تساوي سبعة وحدات و المسافة بين

$$A - C = 5$$

وحدات وذلك يدل على ان الجين

C

لا بد وان يكون

فى الوسط بين الجينين وبذلك يكون استنتاج هذا الترتيب للجينات الثلاثة امر
ميسورا وبالمثل اذا افترضنا ان المسافة

$$\text{Between A-B}=20$$

وحدة عبور و المسافة

$$\text{Between B-C}=10$$

وحدات عبور و المسافة

$$\text{A-C}=30$$

وحدة عبور فانه من السهل ايضاح استنتاج ان

الجين

B

فى الوسط بين الجين

A and C

و عند زيادة عدد الجينات يمكن تجميع اجزاء الخريطة من تجارب الارتباط , فاذا
اعتبرنا ان ثلاثة أجزاء من الكروموسوم تدل نتائج الارتباط بينهما على النتائج التالية
وبذلك يكون ترتيب الجينات و المسافة بينهما على هذه الاجزاء كما يلى

D E A B C

5 9 8 20

من الممكن اضافة أجزاء أخرى من الخريطة بهذه الطريقة لكى نتمكن من
الحصول على خريطة كاملة للارتباط تصل الي 100 وحدة عبور (سنتيمور جان)
بالكروموسوم الواحد . وتجدر الاشارة الى أنه كلما زادت المسافة بين جينين زادت

فرصة حدوث عبور مزدوج بينهما , بمعنى أن يحدث عبور في المسافة بين الجينين دون أن تنشأ فئات عبورية في النسل لهذين الجينين و تكون النواتج التي يمكن التعرف عليها من الطرز الظاهرية هي الطرز الابوية فقط. وعلي ذلك فان اكثر التقديرات التي يمكن الاعتماد عليها لتقدير العبور الوراثي يمكن الحصول عليها من الجينات المرتبطة القريبة من بعضها البعض.

طرق تحديد الخرائط الوراثية:

الطريقة الاولى من طرق تحديد الخرائط وتسمى

Tetrad analysis

اي تحليل الرباعيات:

في الفطريات مثل خميرة الخبازو الطحالب مثل الكلاميدوموناس حيث تبقى انوية الخلايا الاربعة الناتجة من الانقسام الميوزي معا دون ان تنفصل في خلايا منفصلة يتم عمل ما يسمى بتحليل الرباعيات وهذا الكائنات ليس بها تراكيب وراثية خليطة اي ان الشكل الظاهري للصفات يعكس تركيبها الوراثي , ونظرا لان الأنوية الأربعة الناتجة من الانقسام الميوزي تترتب طوليا فهذا الترتيب ييسر تحليل نواتج الانقسام الناتجة من انقسام زيجوت واحد حيث يمكن تحديد نسبة الأشكال الظاهرية والتركيب الوراثية الناتجة من انقسام ميوزي واحد كما يعتبر الترتيب الطولي الذي تنتظم به الخلايا تسجيلا دقيقا لانعزال و العبور أثناء الانقسام الميوزي. ويدل موقع هذه الخلايا على موضع النواة التي تكونت منها من حيث الترتيب اثناء عملية الانقسام الميوزي كما يمكن عزلها حسب ترتيبها واستنبات كل منها في مزرعة خاصة للحصول على الطرز الظاهري الناتج من انعزال الاليلات.

الطريقة الثانية تحليل شجرة النسب:

فى بعض الكائنات و بصفة خاصة فى الانسان حيث يتعذر اجراء تجارب تلقيح اختبارى
امكن تحديد موضع الجينات المرتبطة بالجنس و ذلك عن طريق تحليل سجل النسب
اى تتبع وجود الصفة فى نسل عدة اجيال وحيث انه من المعروف ان الجينات
المرتبطة بالجنس تنتقل الى الابناء الذكور من الام فقط فان وجود صفة ما فى الابناء
يؤكد ان جين هذه الصفة لابد و ان يكون موجود فى كروموسوم

X

و من الواضح ان

تحليل سجل النسب لا يفيد كثيرا فى تحديد موضع الجينات الموجودة بالكروموسومات الجسدية
الا ان استخدام تحليل سجل النسب قد ساعد فى تحديد موضع كثير من
الجينات على كروموسوم

X

مثل جين سيولة الدم و عمى اللونين الاحمر و الاخضر و
نقص فيتامين د و غيرها و لكن هذه الطريقة ليست مفيدة فى تحديد المسافة بين
الجينات الموجودة على كروموسومات جسدية.

الطريقة الثالثة هجن الخلايا:

من المعروف أن الخلايا الجسدية المأخوذة من الكائنات حقيقية النواة تنمو وتنقسم على
وسط غذائى مناسب , و.على الرغم أن كثير من الخلايا بالمزارع الخلوية تحدث بها
تغيرات كروموسومية الا أنه بعد فترة من النمو على الوسط الغذائى يستقر ما يسمى
بخط خلوي تتوارث كل خلاياه نفس الكروموسومات و الجينات و يمكن استخدام هذه المزارع
كبدل عن الأفراد فى بعض التجارب العملية . و نظرا لأهمية معرفة موضع جينات الانسان و
حيث أن الغالبية العظمى من جينات الانسان توجد بالكروموسومات الجسدية فقد استخدم بعض
علماء الوراثة طريقة هجن الخلايا الجسدية من خلال استخدام مزارع الخلايا لانتاج هجن خلايا

جسدية عن طريق دمج خلايا جسدية من الانسان مع خلايا بعض القوارض و بصفة خاصة خلايا الفئران و ذلك بخلط خلايا من النوعين في وجود مادة البولى اثيلين جليكول التى تسبب اتحاد الخلايا عن طريق ذوبان أغشيتها عند التصاقها ثم اتحاد أنويتها لتكون نواة واحدة , و تستطيع الخلايا الناشئة عن هذا الاتحاد أن تنقسم ميتوزيا لتعطى خط خلوى من الخلايا المتشابهة وراثيا . وقد كشفت التجارب على هجن الخلايا الجسدية للانسان و الفئران عن خاصيتين لهما أهمية كبيرة فى مجال وراثه الصفات المحمولة على الكروموسومات الجسدية اولاهما:

أن كروموسومات الانسان و الفئران يمكن التمييز بينهما فى خلايا الهجن باستخدام أصباغ الوييض فضلا عن الاختلافات الأخرى فى سمات الكروموسومات مثل الحجم و موضع السننترومير بها .

و ثانيهما :أن عدد الكروموسومات في الخلايا الهجينية (86

كروموسوم) يتناقص تدريجيا , و لأسباب غير معروفة فان التناقص يكون دائما لكروموسومات الانسان . و بانماء هجن خلايا تحتوى على كروموسومات الفئران وأحد كروموسومات الانسان و الكشف عن الجينات البشرية استنباط أن هذه الجينات لا بد وأن تكون موجودة على الكروموسوم البشرى الموجود بخلايا الهجن .

وعن طريق الحصول على خطوط خلوية هجين بها كروموسوم بشرى و الاستدلال على بعض الصفات البشرية فى الخلايا الهجينة امكن تحديد موضع جينات المئات من الصفات من امثلتها جين مجموعات الدم

ABO

فى الكروموسوم التاسع وجينات

العامل الريسيى و التهاب الشبكية الملون و مرض الفينيل كيتون يوريا بالكروموسوم الأول و الحساسية لفيروس الهريس على الكروموسوم السادس . وقد أكدت هذه الطريقة وجود بعد الجينات المرتبطة بالجنس على كروموسوم

X

مثل مرض سيولة الدم وجين الأنتيجين الخاص بتوافق الأنسجة و عامل الخصوبة . ومن
الطريف أن تحديد جين مرض التلون الجلدى

Xeroderma pigmentation

على الكروموسوم التاسع تم الكشف عنه فى عينة من المصريين ولذا يعرف هذا الكروموسوم
بالكروموسوم المصرى .

الطريقة الرابعة :

مسبار الحامض النووي

DNA probe or gene probe

فكرة هذا المسبار تعتمد اساسا على ادخال المادة المشعة الي تركيب الجين حيث يمكن
مراقبة موضعه عن طريق تصوير المادة المشعة . بعد تعليمه بالفسفور المشع مثلا يتم
تهجينه مع

DNA

لتحديد التتابع المشابه له فى الجينوم باستخدام الأشعاع الذاتى فى التصوير أو عن طريق
ميكروسكوب الوميض بعد معاملة الخلايا بمحلول قاعدي مركز لتفكيك سلسلتى

DNA

فى الكروموسومات .

ورائة 9

المحاضرة التاسعة

سوف نتناول في هذا الجزء ان شاء الله ما يلي:

- 1- الدنا مادة الوراثة
- 2- تركيب جزيئ الدنا
- 3- النسخ
- 4- قاعدة شارجاف
- 5- بعض خواص جزيئ الدنا
- 6- الصور المختلفة لجزيئ
- 7- الهندسة الوراثة

الدنا مادة الوراثة

يعتبر د ن أ المخزن الرئيسى للمعلومات الوراثةية كما ان لهذا الجزء القدرة على التكاثر

(التكرار الذاتى) يتم نسخ المعلومات

الموجودة فى جزئ الى نسخ من الذى تحتوى تتابع

نيوكليداته عاى الشفرات (الثلاثية الاحرف) الخاصة بتتابع الاحماض الامينية
عندما يتم

بناء البروتينات فى عملية تعرف بالترجمة لهذه الشفرة يطلق

على تتابع او تدفق هذه الاحداث البيولوجية الهامة اسم المبدأ المركزى

و يمكن تخليصها كالاتى

حيث يتميز

DNA



يعتبر دنا المخزن الرئيسي للمعلومات الوراثية كما ان لهذا الجزئ القدرة على التكاثر

(التكرار الذاتى)

Self-replication

يتم نسخ

Transcription

المعلومات

الموجودة فى جزئ

DNA

الى نسخ

Copies

من

DNA

الذى تحتوى تتابع نيوكليداته عاي الشفرات (الثلاثية الأحرف) الخاصة بتتابع الأحماض
الأمينية عندما يتم بناء البروتينات فى عملية تعرف بالترجمة

Translation

لهذه الشفرة . يطلق على تتابع او تدفق هذه الاحداث البيولوجية الهامة اسم المبدأ المركزي

Central dogma

و يمكن تلخيصها كالاتى:

DNA-Transcription – RNA – Translation – Protein replication

حيث يتميز

DNA

بقدرته على التضاعف الذاتى فى حين يتم نسخ جزئى رن أ على قالب من دنا و يتم عملية بناء
البروتين تحت ادارة تتابع القواعد, (الشفرات) فى جزئى دن ا والتي يقال لها انها ترجم الى
تتابع مقابل من الاحصاض الامينية التى يتم ربطها على الريبوسوم بروابط ببتيدية .

يوجد دن أ فى الكائنات مميزة النواة داخل النواة فى حين يتكون رن أ فى النواة ثم

يمر منها الي السيتوبلازم حيث يتم بناء البروتين على الريبوسومات. هذه هي المعلومات التي
تم توصل اليها حديثا عن دنا ودوره الوراثي لكن منذ مائة عام تقريبا لم يكن يعرف العلماء من
المسئول فعلا عن التوريث البروتين أم دنا وأجريت أبحاث عديدة ثبت منها بما لا يدع مجالا
للشك أن دنا هو مادة الوراثة من هذه الأدلة ما هو نظري وما هو عملي فأما النظري الذي
يوافق المنطق العلمي مايلي:

• الكروموسوم عبارة عن بروتين و دنا والبروتين لا يتحقق فيه:

- 1- القدرة علي التضاعف بانتظام ودقة
- 2- القدرة علي الطفور بنسب منخفضة جدا بحيث تحدث تغيرات وراثية يمكن توريثها للنسل
- 3- لا يحتوي علي جميع المعلومات الوراثية المطلوبة لادارة النشاط
- أما الأدلة العملية فهي:

1- التحول الوراثي

Genetic

transformation

- 1944 حصل Avery علي سلالتين من البكتريا المسببة للالتهاب الرئوي في الانسان أحدهما smooth وتكون كبسولة S-type والثانية Rough لا تكون كبسولة R-type
- التجربة الأولى: نزع بروتين السلالة S ونزع RNA وأضاف DNA الي مزرعة من R-type فحصل علي خلايا من نوع السلالة S-type

التجربة الثانية : تخلص من

DNA with DNase

وأبقي البروتين و

RNA

وأضافهما الي مزرعة

R-type

فلم يحصل علي

S-type

2- الاستنقال الوراثي (النقل الفاجي)

Genetic transduction

- 1952 تمكن Hershey and Chase من عدوي E. Coli بالفاج T2 بعد تعليم بروتينه بالكبريت المشع 32 وال DNA الخاص به بالفوسفور المشع 35 وقد وجدوا أن الفاجات الناشئة كلها تحتوي علي DNA المشع ولا يحتوي علي البروتين المشع مما يؤكد أن ال DNA وليس البروتين هو المسئول عن التوريث

3- الدليل الثالث:

في الكروموسومات DNA يتميز بثبات الكمية في النوع الواحد وهو مايسمي

DNA Content

- 1- هو ثابت أيضا في الخلية
- 2- لا تجري له عمل هدم وبناء عكس البروتين

تركيب جزيئ الدنا

DNA structure

يتكون جزئ الحامض النووي من سكر خماسي (ريبوز في حالة ر ن أ. ديوكوسى ريبوز في حالة د أن) و حامض فوسفوريك و قواعد نيتروجينية من نوع البيورين (أدينين جوانين)

A and G

و هي ثنائية الحلقة أو البيروميدين (أحادية الحلقة) : (سيتوسين و ثايمين أو يوراسيل في حالة ر ن أ).

C and T

يؤدي التحليل المائي الكامل لجزئ د ن ا (أور ن أ) الي:

سكر خماسي + قواعد نيتروجينية + حامض فوسفوريك

يتكون جزئ الحامض النووي من متعدد خطى الوحدات البنائية الأساسية التي يطلق
على كل منها نيوكليوتيدات

Nucleotide

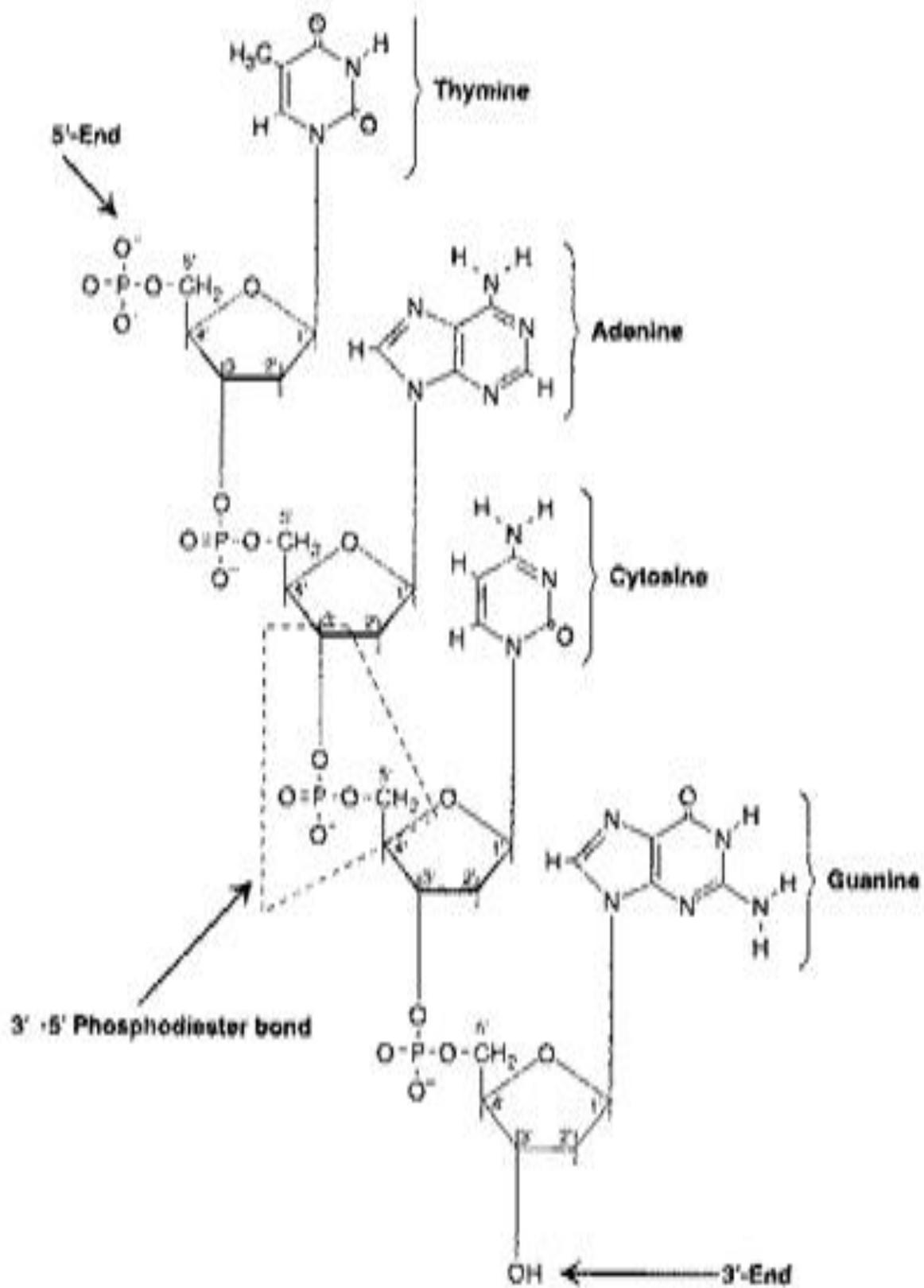
ترتبط مع بعضها بروابط فوسفو استيرية
ثنائية

Phosphodiester bond

تصل هذه الرابطة ذرة كربون رقم 5 فى السكر
الخماسى للنيوكلييدة بذرة الكربون رقم 3 فى السكر الخماسى للنيوكلييدة التالية لها.
و على ذلك فان الهيكل الأساسى للحامض النووى د ن أ يتكون من تعاقب السكر
الخماسى مع حامض الفوسفوريك في حين تتصل القواعد النيتروجينية بهذا السكر الخماسى
برابطة جليكوسيدية.

Glycosidic bond

كما ترتبط القواعد النيتروجينية مع بعضها في السلسلتين بروابط هيدروجينية ثلاثية بين
الجوانين والسيتوسين وثنائية بين الأدينين والثمين كما يتضح موقع كل هذه الأنواع الثلاثة من
الروابط داخل الجزيئ من شكل التركيب الجزيئى الأتى لسلسلة واحدة من الحمض النووى:



يطاق علي لوحة البنائية المكونة من السكر الخماسي وحمض الفوسفوريك واحدي القواعد الأربعة نيوكليوتيدة واذا نزع حامض الفوسفوريك تسمى نيكليوسيدة

Nucleoside

يلخص الجدول الاتي بعض الفروق الرئيسية فى التركيب الكيماوى والفيزيائى بين د ن أ, ر ن

RNA	DNA	وجه المقارنة
في السيتوبلازم أساسا	في النواة أساسا	الموقع
ريبوز	ديوكسي ريبوز	السكر الخماسي
سيتوسين - يوراسيل	سيتوسين - ثايمين	القواعد البريميدينية
أدينين - جوانين	أدينين - جوانين	القواعد البيورينية
البغات القاعدية مع انزيم ريبونيكلييز	فولجين والصبغات القاعدية	التفاعل الكيميائي
بناء البروتين	المادة الوراثية	دوره في الخلية
منخفض نسبيا	مرتفع جدا	الوزن الجزيئ
RNase	DNase	الانزيم المحلل
شريط واحدة	شريطان	عدد الأشرطة
(r-RNA ..m-RNA ...t-RNA) ثلاثة أنواع	نوع واحد بثلاث صور	أنواع

قاعدة شارجاف لتزاوج القواعد النيتروجينية

Rule of Chargaff

قام شارجاف عام 1949-1952

بتحليل محتوى جزيئ الدنا من القواعد النيتروجينية فى عدد كبير من الكائنات الحية المختلفة وقد وجد ان القواعد الاربعة لاتوجد بكميات متساوية كما ان نسبتها

تختلف في الكائنات من نوع الى النوع الاخر مما ادى الى الاعتقاد بان تتابع القواعد النروجينية فى جزئ د ن ا اكثر أهمية من كمياتها او مقدارها فى

تحديد خصائصها الورثية .كما اثبتت نتائج شار اجاف ايضا ان نسب

القواعد النروجينية الاربعة ليست عشوائية علي الاطلاق حيث تبين ان كمية الادنين فى جميع العينات تساوي كمية الثايمين فى حين تساوت كمية السيتوسين مع كمية الجوانين وقد ساعدت هذه القاعدة البيولوجية الهامة فى فهم التركيب الثلاثى الابعاد لجزئ دنا فى الحلزون المزدوج كما سيأتى بعد.

وراثة 10

المحاضرة العاشرة

نموذج الحلزون المزدوج لجزئ د ن ا:

DNA double helix

اهتم العلماء بتحليل صور انحراف اشعة

X

لجزينات دنا و التي قام بها

Wikins and Franklin

في الفترة من 1950-1952 وقد أظهرت هذه الصور طرز

معينة منتظمة أدت بالعلماء الي التكهّن بأن جزئ د ن أ ليس فقط حلزوني التركيب بل أهم من ذلك أنه يتكون من أكثر من سلسلة واحدة من متعدد النيوكليوتيدات , قد تكون اثنين أو ربما ثلاثة سلاسل . في نفس الوقت أمكن تحديد الروابط الفوسفو استيرية الثنائية التي تربط بانتظام بين النيوكليوتيدات في سلسلة د ن أ كما كان لقاعدة شار اجاف أهمية كبيرة في التوصل الي العلاقة بين القواعد النيتروجينية في جزئ د ن أ ذو التركيب الحلزوني المزدوج . أدى ذلك و غيره من الأبحاث الي اعلان واتسون وكريك عام 1953 عن نموذج الحلزون المزدوج لتفسير تركيب جزئ د ن أ بحيث توفر في هذا النموذج الخواص و الشروط المطلوبة للمادة الوراثية. يتكون د ن ا حسب هذا النموذج من سلسلتين متكاملتين من متعددات النيوكليوتيدات

ملتفة أو متحلزنة كل حول الأخرى بانتظام في شكل لولب مزدوج يميني الاتجاه تتكون

كل سلسلة في هذا الحزون من عديد من النيوكليوتيدات المرتبطة بروابط فوسفو استيريديية ثنائية بين السكر والفوسفات كما سبق القول في حين ترتبط القواعد النتروجينية بالسكر برابطة جليكو سيديية و تكون متعامدة على المحور الأساسي للجزئ و موجودة الي الداخل بحيث تتقابل القواعد النتروجينية من احدى السلسلتين مع القواعد المكلمة

لها في السلسة المقابلة حسب قاعدة شارجاف

$$A=T , G=C$$

الرابطة بين الأدينين والثيمين ثنائية ولأخري ثلاثية.

وجد ان القواعد النيتروجينية تكون مفلطحة وأسطحها كارهة للماء مما يجعلها تتلاصق بقوي يطلقعليها قوي التراص

Stacking

ترتبط القواعد المتقابلة بين السلسلتين بروابط هيدروجينية كما سبق بحيث ترتبط اثنان منها بثلاث روابط هيدروجينية في حين ترتبط الأخرتان

برابطتين فقط.

وجد أن هذه التزاوجات بين القواعد هي الوحيدة الممكنة نظرا لأن تقابل قاعدتين من نوع البيوري (ثنائية الحلقة كبيرة الحجم نسبيا) سيحتل فراغ كبيرا بحيث لا يسمح بتكوين حلزون منتظم ومن جهة أخرى سيؤدي تقابل قاعدتين من نوع البيريميدين معاً الي شغل فراغ صغير نسبيا مما يؤدي الي خلخلة غير مرغوبة في الحلزونية.

يؤدي التقيد بقاعدة تزواج القواعد هذه

Base pairing rule

الي وجود علاقة تكامل صارمة بين تتابع القواعد بين السلسلتين في الحزون المزدوج . فمثلا اذا كان لدينا التتابع

5-ATGCAGTC-3

علي احدي السلسلتين فنجد

3-TACGTCAG-5

علي السلسلة المقابلة. يترتب علي حتمية التزاوج بين القواعد الأربعة أنه لا بد أن تكون الروابط الفوسفواستيرية الثنائية للسلسلتين موجهة في اتجاهين متضادين

Antiparallel

علي ذلك فان الحلزون المزدوج اذا انقلب بواقع 180 درجة فانه سيبدو ظاهريا مطابق للحلزون الاصلى. تبين ان الروابط الجليكوسيدية التي تربط القواعد بالسكر لاتكون موجهة لبعضها البعض بالضبط مما يؤدي الى ان الهيكل الاساسى (سكر _ فوسفات) لسلسلتين الحلزون المزدوج لا يكونان على مسافات متساوية من محور الحلزون و بذلك يكون الاخدودان المتكونان على طول المحور الاساسى غير متساويان فى الحجم (العمق) فيتكون اخدود عميق يسمى الاخدود الكبير او الرئيسى

Major groove

بالتناوب مع اخدود اقل عمقا يسمى الاخدود الصغير .

Minor groove

تكون ارضية الاخدود الكبير مملوء بذرات النيتروجين و الاكسوجين التي تخص ازواج القواعد التي تعلوه والتي تمتد الى الداخل من الهيكل الاساسى الخاص بها و على العكس من ذلك نجد ان ارضية الاخدود الصغير تكون مملوءة بذرات النيتروجين والأكسوجين للقواعد و التي تمتد الى الخارج فى اتجاه الهيكل الاساسى. وقد تبين ان امكانات حدوث روابط هيدروجينية فى الاخدود الكبير تؤدي الى امكان زيادة الاعتماد عليه فى التعريف على تتابع القواعد فى جزئ د ن ا عما فى الاخدود

الصغير. وقد ادت هذه الحقيقة لى التكهن بان بعض البروتينات المتخصصة (مثل البروتين المثبط او المحفز) التى تتفاعل وترتبط مع تتابعات معينة على جزئ د ن ا عن طريق تكوين روابط هيدروجينية مع مجاميع معينة توجد على الاغلب فى الاخدود الكبير.

ارتباط جزئى الدنا البكتيري ببروتينات شبه هستونية:

ظل الاعتقاد السائد لعدة احقاب أن جزئ د ن أ البكتيري يكون عاريا و لا يرتبط به بعكس مميزة النواة ,أية بروتينات شبه هستونية بحيث لا يوجد له تركيب منضغط

شبية بكروماتين كروموسومات مميزة النواة ولكن تبين حديثا باستخدام تقنيات أكثر تقدما أن بعض المناطق من كروموسوم بكتيريا القولون تنتظم فى تراكيب تشبه حبات الخرز و التى أمكن استخلاص كميات صغيرة من البروتينات القاعدية منها تشبه الهستونات . وقد يكون لذلك الارتباط علاقة بوجود مناطق منضغطة بانتظام على طول الكروموسوم البكتيريا حتى يمكنه أداءوظائفه . أمكن بلورة احدى هذه البروتينات ويطلق عليها البروتين 2 المرتبط ب د ن أ-

DNA binding protein 2

وتبين أنه مكون من سلاسل ببتيدية حجمها 9500 دالتون ترتبط ببعضها فى ثنائيات

Dimers

ويمتد منها أذرع غنية فى الأرجينين لها القدرة على التفاعل مع الفوسفات فى الهيكل الأساسى لجزئ د ن أ من المرجح أن هذه الثنائيات البروتينية المتجاورة مع د ن أ فى غير مميزة النواة تقوم بتكوين تنظيم حلزونى معين مع د ن أ المرتبط من الخارج.

و من الجدير بالاهتمام ان متوسط درجة التحلزن الفائق (اى عدد لفات التحلزن الفائق لكل 10 أزواج من القواعد) يبلغ حوالى 0.05 لجميع الحلزون الطبيعية

لجزيئ دن اسواء فى البكتيريا او فى الخلايا مميرة النواة مما يوحي بان التركيب الكروماتينى قد يكون متشابه فى غير مميزة النواة ومميزة النواة على السواء .

بعض خواص جزيئ الدنا:

1- ثبات التناظر

Stability of tautomeric form

تبين أن ذرات الهيدروجين المرتبط بالأكسجين أو النيتروجين في القواعد البيورينية أو البريميدينية تفضل صوراً ارتباطية معينة كما تميل إلى البقاء في أماكن معينة ولا تنتقل بين ذرات الأكسجين أو النيتروجين في تلك القواعد إلا في حالات نادرة ويقال في هذه الحالة أن تلك الذرات ثابتة أو مستقرة التناظر

Tautomericly stable

حيث ان الوضع الطبيعي أن يكون النيتروجين في الصورة الأمينية

Amino form (NH₂)

بينما في الوضع النادر تكون في الصورة الايمينية

Imino form (NH)

كما أن ذرة الأكسجين المرتبطة بذرة الكربون رقم 6 في الجوانين والثايمين تكون عادة في الصورة الكيتونية

Keto form (C=O)

ونادراً ماتأخذ الشكل الاينولي

Enol form (COH)

ويعد هذا الثبات أو الاستقرار مهماً جداً لجزيئ الدنا أن يقوم بوظائفه البيولوجية بصورة منتظمة. فلو كانت ذرات الهيدروجين حرة الحركة وليست ثابتة في مواقعها هذه لأصبح من الشائع أن تتمكن قاعدة الادنين من التزاوج مع قاعدة السيتوسين

في حين تتزوج قاعدة الجوانين مع الثايمين. وسوف يؤدي ذلك الي اختلال في تتابع القواعد بين السلسلتين بحيث تفقد صفة التكامل الأساسية. وبالتالي يفقد جزيئ الدنا أهم خاصية من خصائصه وهي القدرة علي التناسخ الذاتي بدون أخطاء

Self-replication

اذ أنه لوسمح للصورة النادرة أن تزداد فسيؤدي ذلك الي زيادة كبيرة وغير مرغوبة في الأخطاء (الطفرات) مما يؤثر سلبا علي نمو وانقسام الخلية.

2- الدنترة واعادة الاتحاد

Denaturation and annealing

من الخصائص الهامة لجزيئ الدنا قدرة السلسلتين الداخلتين في تركيبه علي الانفصال والابتعاد عن بعضها تحت ظروف معينة فيما يعرف بعملية الدنترة

Denaturation

وذلك عند تعريض الحلزون المزدوج لدرجة حرارة أعلي من درجة الحرارة الفسيولوجية (أي حوالي 100 درجة) ويحدث ذلك نتيجة لكسر الروابط الهيدروجينية. وهي روابط ضعيفة وسهلة الكسر بطبيعتها والتي تربط أزواج القواعد في السلسلتين. ونتيجة لارتباط الجوانين والسيتوسين بثلاث روابط هيدروجينية فإنه يلزم في حالة الجزيئات الغنية في نسبة هاتين القاعدتين درجة حرارة أعلي من تلك التي ترتفع فيها نسبة الأدنين والثايمين حيث أن الأخيرة تكون مرتبطة برابطتين فقط. أي أن درجة حرارة الدنترة (ويطلق عليها نقطة الانصهار)

(Tm) depends on the ratio (G+C ÷ A+T)

تعتمد علي النسبة السابقة وبزيادة هذه النسبة ترتفع درجة حرارة الدنترة. واذًا تم التبريد البطيئ لجزيئ الدنا المدنتر فان السلسلتين المكاملتين سيعاد اتحادهما حيث تسمى هذه العملية

Renaturation or Annealing

وتتجاذب أزواج القواعد وترتبط بروابط هيدروجينية حسب قاعدة شارجاف وبذلك يستعيد الجزيئ التركيب الحلزوني الأصلي.

أدت دراسات اعادة الاتحاد الي اكتشاف التتابعات المتكررة في جزئ د ن أ في الكائنات مميزة النواة فعند ما تكون تتابعات معينة في الجزئ عالية التكرار

Repetitive highly

فان اعادة الاتحاد بينها سيكون أسرع بكثير عما في التتابعات الممثلة بنسخ وحيدة.

يمكن الحصول علي هجين بين سلسلة د ن أ المفردة الناتجة من الدنترة و بين سلسلة من جزئ ر ن أ المكمل لها و تعد عملية التهجين الجزيئى

من التقنيات الهامة في معرفة العلاقات التطورية بين الأنواع علي المستوي الجزيئى كما أنه يفيد جدا فى معرفة مصدر ر ن أ حيث لا يتم انجذابه و تهجينه الا مع د ن أ الذى تم نسخه عليه .

يمكن أيضا الاستفادة من عملية الدنترة لجزئ د ن أ في عمل خريطة مادية لجزئ د ن أ فيما يعرف بعملية رسم خرائط الدنترة الجزيئية

Partial denaturation mapping

تعتمد هذه التقنية علي حقيقة أن المناطق الغنية في أزواج القواعد

A and T

تنفصل كما سبق القول بمعدل أسرع و أسهل عن

G and C

يمكن التعرف علي هذه المناطق تحت المجهر الألكتروني علي شكل عروات

Loops

أو فقاعات .

Bubbles

يمكن قياس المسافات بين العروات و نهاية جزئ د ن أ .

ورائة 11

المحاضرة الحادية عشرة

الصور المختلفة لجزئى الدنا

Different forms of DNA

ظل الاعتقاد السائد حتى وقت قريب أن جزئى د ن أ لا يوجد الا في صورة

Configuration

كما قدمها واتسون وكريك بمعدل (36) للحلزونة بين القواعد المتجاورة (أى عشرة أزواج من النيوكليوتيدات لكل لفة حلزونية واحدة) . و أن الشكل الهندسى للحلزون موحد و منتظم . الا أن التجارب اللاحقة أثبتت أن د ن أ متعدد الصور حسب تتابع القواعد في الجزئى . يعد ذلك هاما جدا حيث يؤثر علي تفاعله مع البروتينات و قد وجد أن هناك ثلاث صور مختلفة لجزئى د ن أ أكثرها شيوعا و ثباتا

هو الصورة الأصلية التي قدمها واتسون و كريك و التي تعرف بالصورة

B

.وهو حلزون منتظم يمينى الدورة . الي جانب ذلك توجد صورة أخرى نادرة يطلق عليها

الصورة

A

يحتوى فيها الجزئى علي بعض مناطق ذات تتابعات معينة و هو يمينى

الدورة أيضا الا أن أزواج القواعد تكون منحدره أو مائلة بشدة كما تكون منزاخة نحو

الخارج بالنسبة لمحور الحلزون مما يؤدي الي تكون حلزون أقصر و أوسع عما في

الصورة

B

. يتكون هذا النوع عادة تحت ظروف نقص الماء كما أنه الأكثر شيوعا عند

تزاوج ر ن أ مع د ن أ كما هو الحادث في الأجزاء البادئة

Primer

في شظايا أو كازاكي كما سيأتي بعد . و يرجع ذلك الي أن مجموعة الهيدروكسيل في

سكر الريبوز في جزئ ر ن أ لا تسمح بتكون حلزون هجين بين

DNA and RNA

من نوع

B

ويعد هذا هو السبب أيضا في أن حلزون ر ن أ / ر ن أ (في دبوس الشعر)

Hairpin

الذي يتكون أحيانا يكون من النوع

A

يوجد نوع ثالث من د ن أ النادر ذو حلزون يساري الدورة يسمى الصورة

Z

وهو متعرج و غير منتظم و من هنا جاءت تسمية

Z

و يتميز بوجود تتابعات خاصة و يتكون تحت ظروف خاصة .

قد يكون لكل من هذه الصور النادرة دور في التعرف علي البروتينات التي ترتبط ب

د ن أ (مثل المحفز أو المثبط)

Promotor or repressor

كما سيأتى بعد . والآن دعنا نلخص الفروق المشاهدة والمقيسة بين هذه الصور الثلاث في هذا الجدول:

الصور المختلفة لجزئ دن أ :

المقارنة	الصورة A	الصورة B	الصورة Z
معدل الحدوث	نادر	شائع	نادر جدا
الشكل العام	قصير وواسع	أطول وأرفع	مستطيل ورفيع
الارتفاع بين أزواج الفواعل	2.3A	3.32A	3.8A
اتجاه الحزون	يميني	يميني	يساري
عدد الفواعل لكل دورة حلزون	11	10	12
متوسط الدوران لكل زوج من الفواعل	33.6	35.9	60

تابع

Z	B	A	
-9	-1.2	+19.0	درجة ميل القواعد بالنسبة للمحور
الأخدود الكبير	خلال أزواج القواعد	الأخدود الكبير	موقع محور الحلزون
مفطح علي سطح الحلزون	واسع ومتوسط العمق	ضيق جدا وعميق جدا	نسب الأخدود الكبير
ضيق جدا وعميق جدا	ضيق ومتوسط العمق	واسع جدا وضحل	نسب الأخدود الصغير

تضاعف الدنا

عند دراسة دورة الخلية

Cell cycle

تبين لنا بوضوح المرحلة التي يتضاعف فيها وكما يستغرق تضاعفه من الوقت

بالنسبة للمراحل الأخرى المكونة لطور السكون في الكائنات مميزة النواة كذلك تبين لنا من دراسة الانقسام الميتوزي أهمية تضاعف الدنا ليس فقط بغرض التضاعف وإنما لارتباط ذلك ارتباطاً حتمياً حتى النخاع بتوارث الكائنات واستمرارها في البقاء.

كذلك وأنه قد أصبح واضحاً لدينا الآن أن عملية التضاعف هذه لا بد وأن تتم بدقة

متناهية لأن تماثل الخلايا وتطابقها التام من حيث كمية الدنا أمر حتمي لبقاء الكائن

الحى و أدائه لوظائفه وكذلك استمراره بنفس الكيفية والسؤال الآن بعد أن عرفنا أهمية

انتضاعف كيف يحدث التضاعف؟

هذاما سوف نجيب عليه في جزء التالي:

يمكن اعتبار ميكانيكية تناسخ (تضاعف) جزئى د ن أ نتيجة مباشرة لطبيعة تركيب

الحلزون المزدوج. إذ لا بد أن تنفصل السلسلتين المكونتين للحلزون حتى يتسنى

استخدام كل منها كقالب لبناء جزئى جديد من د ن الكي يحدث هذا الانفصال يجب أن

تنفك أولاً حلزونة اللولب و ذلك بدوران الأجزاء غير المتكررة من الحلزون حول محورها كما

أن الروابط الهيدروجينية التي تربط بين أزواج القواعد المتقابلة في الجزئى الأصيلى تكون

سهلة الكسر عادة بدون الحاجة الى بذل طاقة او تفاعل انزيمى . وجد ان المجاميع الجانبية

فى أزواج القواعد المتقابلة (بعكس مركبات عضوية أخرى) فى مقدورها تكون عدد من

الروابط الهيدروجينية المتخصصة جدا (النوعية) , و بذلك يتوفر لدينا قالب نموذجى لبناء

جزئى جديد عليه حيث يتم التجاذب بين القواعد فى القالب والقواعد المكملة فى السلسلة

الجاري بناؤها عندما تضاعف القواعد واحدة تلو الأخرى طبقاً لقاعدة شاراجاف ويتم ذلك

بصورة دقيقة بحيث تنعدم تقريباً فرصة حدوث خطأ (10) مما يؤدى الى انتاج جزيئات جديدة

عبارة عن صورة طبق الأصل دقيقة للجزئى الأصيلى.

الطريقة شبه المحافظة لتناسخ د ن أ .

أ . يقترح نموذج واتسون و كريك أن التناسخ يتم حسب ميكانيكية تعرف بالطريقة

شبه المحافظة

Semi-conservative

بمعنى أن نصف جزئ د ن أ الأصلي (سلسلة) يحافظ عليه في حين يتم بناء سلسلة جديدة عليها .

و قد أمكن التحقق من صحة هذه الميكانيكية بعدة أدلة تجريبية :.

فقد قام ميسيلسون و ستاهل عام 1958

Meseleson and Stahl

بتجربة علي بكتيريا لقولون و استخدموا النيتروجين الثقيل (النظير المشع)

N

في تنمية الزرعة البكتيرية لعدة اجيال حتى يتأكد من ان كل ذرات النيتروجين في جزئ د ن أ معلمه بالنيتروجين الثقيل , بعد ذلك تم نقل الخلايا البكتيرية الى مزرعة تحتوى على النيتروجين العادى (الخفيف). استخلص د ن أ من الخلايا وتم تقدير كثافته بواسطة الطرد المركزي فائق السرعة

Ultracentrifugation

في متدرج كثافى

Density gradient

من محلول كلوريد السزيوم. تبين انه بعد اول دوره (جيل) من الاتقسام ظهرت قمة واحدة تمثل جزئ هجين ثقيل / خفيف

H/L

نتيجة لتكون الجزيء من سلسلة أصلية ثقيلة وسلسلة مكملة خفيفة. في الجيل الثاني ظهرت قمتان لجزيئات الدنا واحدة تمثل الهجين وواحدة تمثل الخفيف فقط

L/L

يعكس ذلك بوضوح حتمية انفصال السلسلتين الأصليتين ثم استخدام كل سلسلة كقالب لبناء نسخة عليها.

من جهة أخرى تمكن تايلور ومعاونوه

Tylor and others 1957

من اثبات الطريقة شبه المحافظة في الكائنات مميزة النواة.

اذ أنه من المعروف أن كل كروماتيده في الكروموسوم تمثل جزيء واحد من د ن أ. تم تعليم خلايا القمم النامية لجذور نبات الفول

بالثيميدين المشع ثم سمح لها بعد ذلك بالنمو في بيئة غير معلمة. عند دراسة كروموسومات هذه خلايا في الطور الاستوائى بعد جيل (دورة) أو جيلين (دورتين) من الانقسام الخلوى وذلك باستخدام طريقة التصوير بالاشعاع الذاتى تبين أن كلا من الكروماتيدتين كانتا مشعتان بعد جيل واحد (دورة) في حين كانت كروماتيدة واحدة فقط هى المشعة بعد دورتين من انقسام الخلية كما هو متوقع حسب النظرية شبه المحافظة لتناسخ د ن أ.

بدء التناسخ من نقطة وحدة تسمى منشأ التناسخ

Replication origin

عند عزل الجزيء الخيطى ل د ن أ على فترات أثناء عملية التناسخ لفيروس وفحصه تحت المجهر الالكترونى كان المتوقع أن تبدأ عملية التضاعف (التناسخ) عند احدى النهايتين أو عندهما معا حيث أنه من السهل تخيل أن يبدأ انفصال السلسلتين عند الأطراف و ليس فى المناطق الداخلية للحزون المزدوج .

الا أنه تبين أن التضاعف يبدأ فى الحقيقة من الداخل و من نقطة معينة تسمى نقطة

منشأ التناسخ

Origin of replication

وقد وجد أنه بالنسبة لهذا الفيروس تكون علي مسافة حوالي 17% من بداية النهاية اليسري للجزيئ.

بمجرد ان يبدأ بناء جزيئ دن ا يستمر البناء في الاتجاهين مما يعطي شكل العين التي لا تلبث ان تنمو لتأخذ شكل حرف

Y

و من هنا جاءت تسميتها شوكة التناسخ

Replication fork

وتظل عملية التناسخ حتي تصل الشوكة الي نهاية جزيئ الدنا. ان ظهور هذه الاشكال ينفي أن عملية النسخ تتم علي مرحلتين بمعنى أنه يتم الانفصال التام بين السلسلتين الأبوتين أولاً قبل أن تبدأ عملية التناسخ في المرحلة التالية.

ورائة 12

المحاضرة الثانية عشرة

تابع تضاعف الدنا

اتجاه النسخ

Replication direction

كما ذكرنا من قبل ان سلسلتى الحلزون المزدوج تكونا متضادين فى الاتجاه و هذا يعنى ان السلسلتين النوويتين الجارى بناؤهما على كل من شوكتى التضاعف لابد ان تكونا ايضا متضادتين فى الاتجاه و بناء على ذلك فيكون الاتجاه العام فى التناسخ لاحدى السلسلتين هو 3-5 بينما يكون نمو السلسلة الاخرى 5_3 الا ان جميع انزيمات بلمرة ال د ن ا المعروفة حتى الان تشارك فى اضافة النيوكليدات يمكنها العمل على نمو و استطاعة السلسلتين الجديدتين فى الاتجاه 5-3 لأن التفاعل الكيماوى التى تساعد فيه هذه الانزيمات يسمح للنوكليدات ثلاثية الفوسفات من التفاعل مع مجموعة 3_ هيدروكسيل حرة

3-OH

ولقد تمكن

(1969) O kazaki

من اكتشاف قطع صغيرة من الدنا تم بناؤها فى الاتجاه 3-5 على الخيط المقابل للقالب المعتاد لاتجاه البناء الطبيعى للسلسلة عرفت باسم قطع أو شظايا أوكازاكي.

الهندسة الوراثية

قبل تاريخ 1070 ميلادية كانت الأبحاث على الحمض النووى

DNA

من اصعب الأمور التي كانت تواجه علماء الوراثة في الكيمياء

كانت معظم الابحاث تجرى بشكل غير مباشر على الحمض النووي الريبوزى او البروتين. لكن الحال تحول بشكل كامل فأصبح علم الوراثة المتعلق بفحص الدنا(و المعروف بعلم الوراثة الجزيئية) من اسهل العلوم و اكثرها تطور لقد اصبح من السهل صنع نسخ عديدة من اى جين (مورث) او مقطع محدد من الدنا كما امكن معرفة تسلسل الاحماض النووية

بسرعة تتعدي المئات فى يوم الواحد كما استطاع العلماء استكشاف الجينات الموجودة على الكروموسومات كما استطاعوا تغييرها وتعديلها بالشكل الذي يريدون وليس هذا فحسب بل استطاعوا ان يعيدوا هذه الجينات المعدلة الى الخلية وعرزها في

الكروموسوم الذي يريدون كما امكن انتاج كميات كبيرة من البروتينات كالهرمونات واللقاحات المختلفة و التي كانت تنتج فى السابق من الجثث الميتة او تستخلص من الحيوانات و التي كانت تحوفاها المخاطر من انتقال العدوى الى الانسان كما ان هذه الثورة العلمية فتحت المجال امام الكثيرين من محبى هذا العلم فى اختراع و اكتشاف طرق جديدة و حديثة فى التعامل و حفظ و تغيير هذه المادة الحيوية فى الانسان والحيوان والنبات وهذا من فضل الله علي عباده من البشر أن علمهم مالم يكونوا يعلمون وأطلعهم علي بعض أسرار مخلوقاته. لقد غير هذا العلم المنطلق كالصاروخ الكثير من المفاهيم الطبية

التي دفعت كثير من كليات الطب الى تعديل مقرراتها لتزويد طلابها بالمزيد من هذا العلم لقد اطلق على عملية نسخ و تعديل وزرع الجينات اسم الهندسة الوراثية و هو اسم عام لا يحدد فكرة معينة او تقنية محددة ولكنه يعنى بكل مايقام به فى تغيير او تعديل المادة الوراثية. و يتفرع من هذا العلم الكثير من التقنيات و هى متناثرة و موزعة على الكثير من فروع الطب و العلوم و اليك اهم 6 تقنيات تختص بالهندسة الوراثية:

1 - قص و قطع الحمض النووي بمقصاة خاصة تسمى انزيمات القطع واكتشاف هذه المقصاة ساعد كثيرا فى مهمة التحكم فى الحامض النووي

2 - فصل قطع الدنا على لوح من الجل بالكهرباء

Gel electrophoresis

3- معرفة التسلسل النووي

DNA sequencing

لكل قطع الدنا التي يتم عزلها بشكل دقيق وسريع والتي تسمح للعلماء معرفة التركيب الانشائي للجينات ومعرفة واستنتاج نوع البروتين الذي ينتج منه

4- تقنية تهجين الحمص النووي

Nucleic acid hybridization

و التي مكنتنا

من معرفة احجام القطع من الحمض النووي والكشف عن القطع المحددة من الحمض النووي في خليط معقد من المتشابهة.

5- استنساخ الدنا

DNA cloning

والتي تسمح بانشاء نسخ عديد و متطابقة من قطع الدنا

6- تقنية هندسة او تعديل الدنا

DNA engineering

و التي تسمح بانتاج نسخة معدلة من جين ما ثم اعادته مرة اخرى الى الخلية.

انزيمات القطع

Restriction nucleases

الانزيمات القاطعة

قص و قطع الحمض اننوي:

كما هو معروف فان البروتينات موجودة داخل الخلية على شكل قطع منفصلة عن بعضها البعض و هذا بالطبع سهل عملية فصلها عن بعضها البعض بطرق فنية مناسبة. ولكن الجينات موجودة على الكروموسومات على شكل حبات متصلة ببعضها البعض و ليست على شكل قطع منفصلة, و هذا التسلسل و الترابط في الجينات جعل عملية فصل و عزل و استخلاص جين محدد من بقيه الجينات مهمة صعبة ان لم تكن مستحيلة قبل عام 01970

ولكن اكتشاف الانزيمات القاطعة ساعد في عملية استخلاص الجينات و قطع الدنا و نسخها .

الانزيمات القاطعة:

لا شك أن كل كائن حي لديه طرق دفاع مختلفة تحميه من غارات الأعداء و هجوم المعتدين والبكتريا هي إحدى هذه الكائنات و لها أعداء كثر و من أهم أعدائه

الفيروسات المختلفة و لقد قامت بعض من البكتيريا بانتاج خمائر (انزيمات) مهمتها

تدمير الفيروسات و من هذه الانزيمات الانزيمات القاطعة أو

Nucleases

و تقوم هذه المقاصة أو القواطع بقص الحمض النووي للفيروس و بذلك يشل عمله و يبطل مفعولة و بما أن دنا مادة موجودة بشكل طبيعي في البكتريا كما هو الحال في الفيروسات و الكثير من الكائنات

الحية فان هذه المقصاة قد تشكل خطرا على البكتيريا نفسها في قصها الدنا الخاص بها ولكن هذا لا يحدث و السر في ذلك هو قيام البكتيريا

بتحويل أجزاء من الدنا

الخاص بها عن طريق اضافة مجموعة الميثيل الي بعض قواعد الحمض النووي من نوع الادينين او

السيتوسين فلا يستطيع المقص أو القاطع من قص الحمض النووي الخاص بالبكتيريا و عند اكتشاف هذه القواطع في السبعينيات الميلادية بدأ العلماء في

استخدامها كمقصاة لقص الدنا

و ساعدتهم هذه المقصاة في عملية التحكم في الدنا. و يوجد حاليا اكثر من

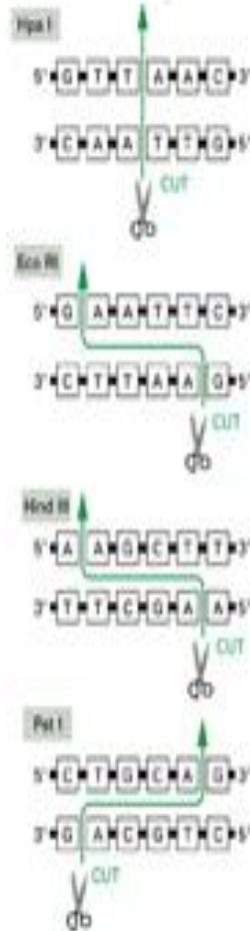
مائة نوع من هذه المقصاة. و تقسم هذه المقصاة الى نوعين رئيسيين النوع الأول يقص شريط الدنا المزدوج بشكل رأسي مستقيم

Blunt ends or blunt cut

, النوع الثاني يقص الشريط المزدوج بشكل متعرج

Staggered cut

أنزيمات القطع مقصاة لقص DNA

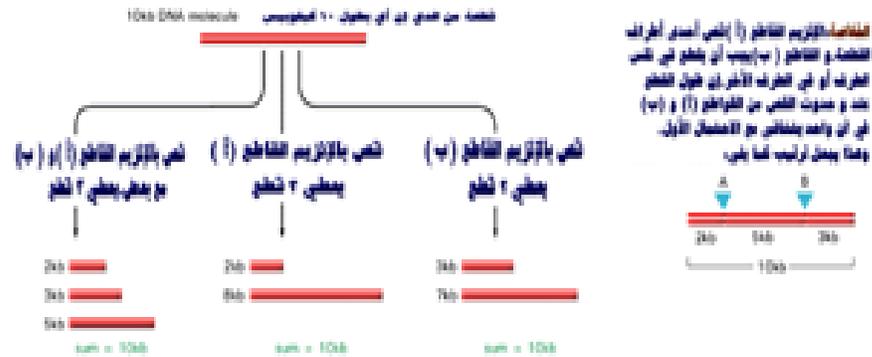


وبالتالي يجعل طرفي المقطوع مادة قابله للزق قطعة غريبة من الدنا فيها وعند لزق قطعة من الدنا في داخل الفراغ الناتج من القطع ينتج لنا قطعة مركبة من قطعتين مختلفتين من الدنا و هذه القطعة تسمى دنا مهجن أو

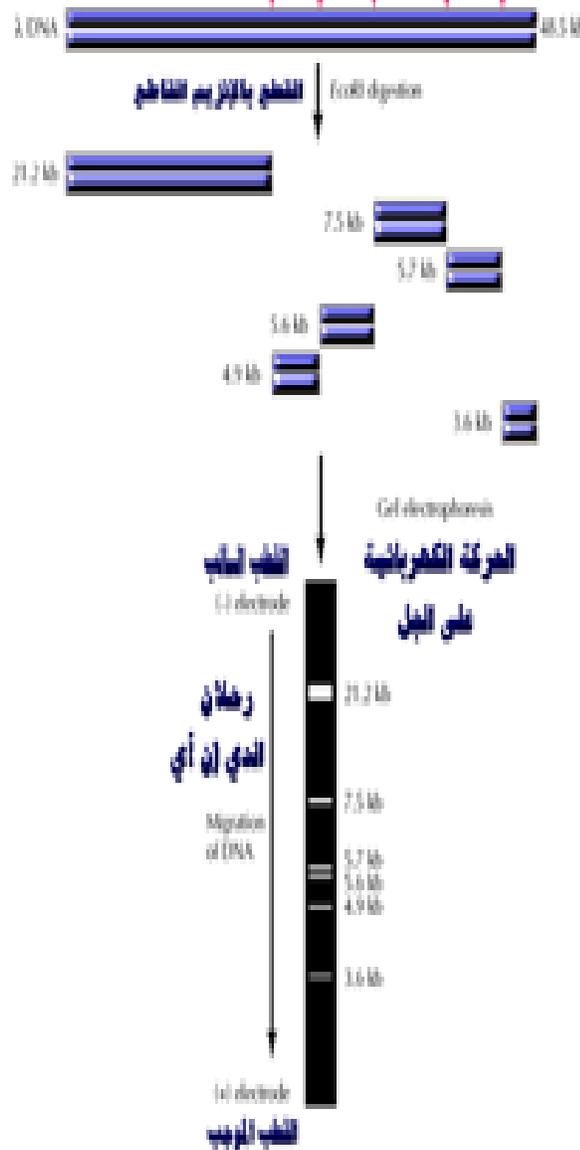
Recombinant DNA

خريطة القطع المحددة

Map RFLP's



DNA قطع بالإنزيم ايكو واحد في خمس أماكن و نتج عنه ست قطع متفاهة الطول و الحجم.



Cutting

A- Blunt cutting B- Staggered cutting

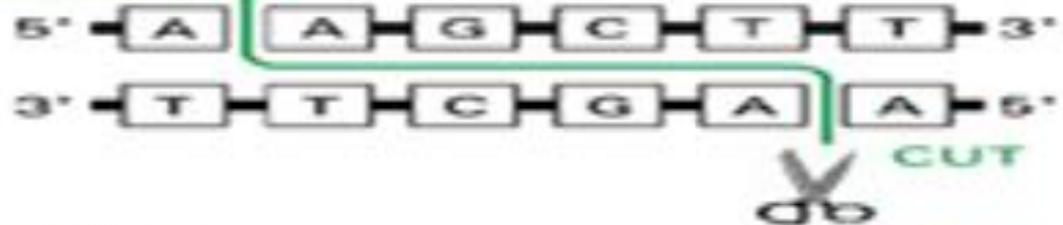
Hpa I



Eco RI



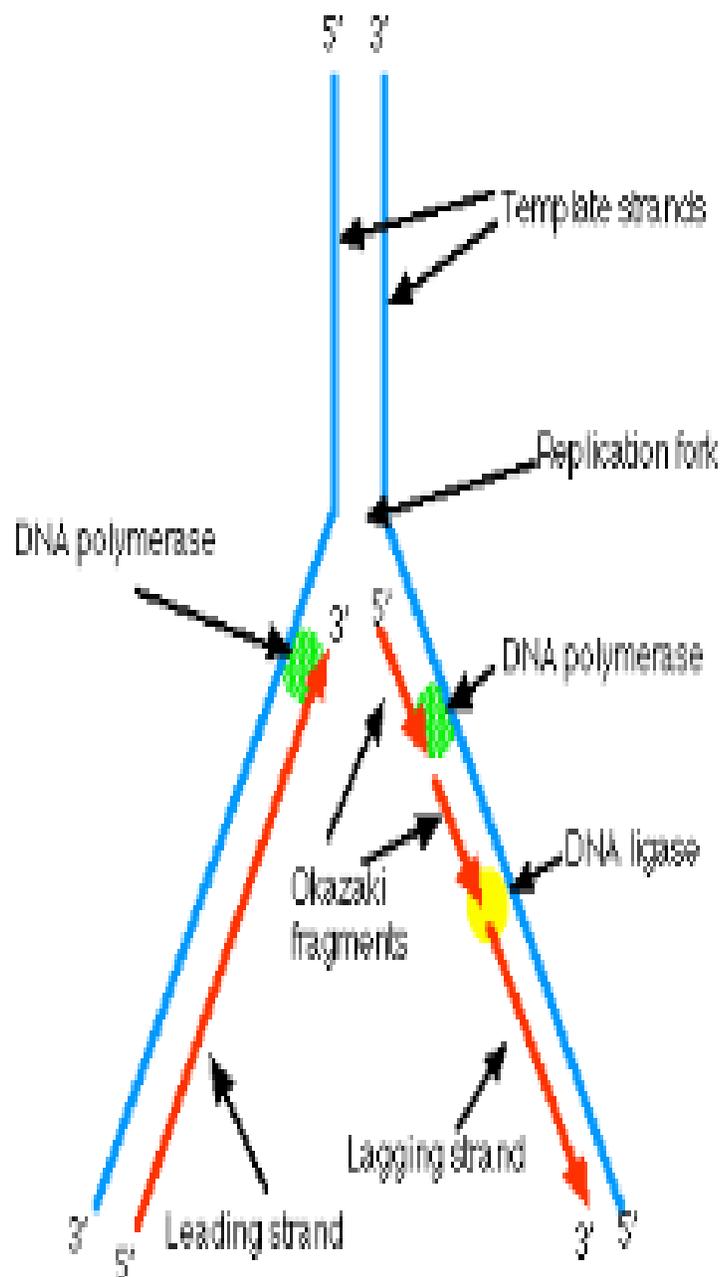
Hind III



Pst I



Molecular Aspects of the DNA Semi-conservative Replication



ورائة 13

المحاضرة الثالثة عشرة

تابع انزيمات القطع

كيف يتعرف الانزيم القاطع علي المكان المفترض أن يحدث القطع فيه؟

كل انزيم قاطع يعتبر مقص خاص لقطع الدنا في نقطة محددة .و يتعرف الانزيم القاطع على مكان القطع حسب تسلسل للقطعة.فكل أنزيم قاطع يقطع في تسلسل محدد.فمثلا الانزيم القاطع المعروف بالهيبا و احد يقطع عندما يجد 6 من القواعد النيتروجينية في هذا التسلسل

GTTAAC

بينما الانزيم القاطع ايكوار واحد يقطع عندما يجد 6 منها في هذا التسلسل

GAATTC

كما هو واضح في الأسفل.

التسمية:

و للمعلومية فان هيبا واحد سمي بهذا الاسم لانه يوجد في بكتيريا

الهيموفلس بارا انفلونزا

Hemophilus parainfluenzae

وهذا الانزيم يعتبر من الانزيمات التي تقطع بشكل راسي مستقيم . بينما انزيم الايكوار واحد فهو مأخوذ من بكتيريا الايكو كولي

Eschericia coli

ويعتبر من الانزيمات التي تقطع بشكل متعرج . اذا لتسمية هذه الانزيمات اقترح الآتي:

1- يؤخذ الحرف الأول كبيرا من الكلمة الأولى من اسم جنس الكائن الذي اكتشف الانزيم فيه

2- يؤخذ الحرفين الاول والثاني من الكلمة الثانية في اسم الكائن والدالة علي نوع الكائن

3- اذا اكتشف في النوع الواحد أكثر من واحد من انزيمات القطع تأخذ أرقامها بالتسلسل

4- اذا اكتشف الانزيم في سلالة من سلالات أي نوع يكتب الحرف الأول كبير من هذه السلالة مثل

Eco R1

واليك تسلسل مواقع القطع لبعض الانزيمات القاطعة

GGATCC	Bacillus amyloliquefaciens H	BamHI
GAATTC	Escherichia coli RY13	EcoRI
GGCC	Haemophilus aegyptius	HaeIII
AAGCTT	Haemophilus influenza Rd	HindIII
GTTAAC	Haemophilus parainfluenzae	HpaI
CCGG	Haemophilus parainflue	

القطع المحددة

Restriction fragments

عندما يضاف الانزيم القاطع الى محلول به شريط دنا فانه يقطعه الى عدة قطع و

ليس الى قطعتين فقط و كل قطعة مقطوعة بالانزيم تسمى قطعة محددة و يختلف طول هذه القطع على حسب المسافة التي بين كل مقطع و اخر و لكن يجب ان تكون كل قطعة

محددة لها نفس الحجم في كل نوع من الكائنات الحية. وذلك يعني أن بني الانسان جميعا لديهم قطعة واحدة محددة يقطعها الانزيم القاطع هيبا واحد في الكروموسوم رقم 2. ويمكن التأكد من ذلك بتحليل قياس لهذه القطعة بتقنية حركة الدنا أي الكهربائية علي الجل كما سيأتي بعد

و اذا حدث ان وجد انسان ليس لديه نفس الحجم المفترض للقطعة ففي هذه الحالة نستنتج ان ذا الشخص لدية طفرة (تغير في تسلسل الذي ان أي) في احد الاماكن التي كان من المفترض ان يقصها

الانزيم فلم يتم القطع فيها.و بذلك فان حجم القطعة قد اختلف. تعرف هذه الظاهرة عند علماء الوراثة بتفاوت القطع المحددة المصحوب بطفرة.

Restriction Fragment Length Polymorphism (RFLP)

خريطة القطع المحدد

Map of restriction fragments

لقد انشأ العلماء خريطة تسمى خريطة القطع المحددة لكثير من الكائنات الحية. و هذه الخريطة تبين مكان القطع و محلها مقارنة بالقطع الاخرى و.

عملت هذه الخريطة عن طريق تقطيع جميع الكروموسومات باضافة انواع مختلفة من الانزيمات القاطعة ثم رتبت هذه القطع بشكل منظم. و كان

الهدف من هذه الخريطة هو لتحديد نقاط و علامات على طول الشريط الطويل من الذي ان أي الذي تتركب منه الكروموسومات ولكي يستطيعوا ان يقارنوا بين هذه القطع في الكائنات المختلفة.

انظر الشكل التوضيحي لخريطة القطع المحددة في المحاضرة السابقة وستجد أن قطعة بطول 5.48 كيلو بيس من دنا البكتريوفاج ليميدا 1 قطع بالنزيم القاطع ايكو1 في خمس أماكن ونتج عنه ستة قطع متفاوتة الطول والحجم. وضعت هذه القطع علي لوح من الجل وفصلت كهربيا وأخرج حجمها كما هو موضح في الشريط الأسود في أسفل الصورة.

الفصل الكهربى لقطع الدنا:

Gel Electrophoresis

لأن جزيئات الدنا جزيئات مشحونة كهربيا (وكما هو واضح في الشكل التوضيحي السابق والشكل التوضيحي في الأسفل) وبعد تقطيعها بأنزيمات القطع كما سبق شرحه توضع علي لوح من الجل متصل بطرفيه قطبي بطارية كهربية تولد تيارا مستمرا وعند فتح التيار تتحرك هذه القطع في اتجاه القطب المخالف لها في الشحنة وتعتمد حركتها علي حجم هذه القطع فالقطع صغيرة الحجم تتقدم علي القطع كبيرة الحجم فيكون أصغرها حجما في المقدمة وأكبرها حجما في المؤخرة وباستخدام شريط مدرج علي جانب اللوح يمكن قياس أحجام هذه القطع بوحدة تسمى الكيلو بيس وهي تساوي ألف بيس وباستخدام صبغات الوميض يمكن تصوير هذه القطع وتكبيرها ومشاهدتها واستخدام هذه الصور في الأغراض العلمية والطبية.

ولحسن الحظ هذه الأيام يمكن رؤية الجزيئات المفصولة علي الجل مباشرة علي شاشة الكمبيوتر وتصويرها بسهولة. لكن بمرور الوقت بدأت تظهر للوح الجل سلبيات مثل عدم ظهور القطع الصغيرة جدا من الدنا علي لوح الجل واتضح أن السبب في ذلك هو كبر الفراغات الموجودة بين جزيئات مادة الجيل والتي تسقط فيها هذه القطع. وتم حل هذه المعضلة باستخدام مادة أخرى المسافات بين جزيئاتها صغيرة جدا لا تسقط فيها القطع الصغيرة جدا من الدنا وهذه المادة الجديدة التي استخدمت بدلا من الجل (عند الحاجة اليها كما سبق أن أوضحنا منذ قليل) تسمى مادة البولي أكريلاميد.

Polyacrylamide

مع مرور الوقت وتوالي نجاح طريقة الفصل الكهربائي هذه ظهرت مشكلة أخرى ليست بسبب الجل هذه المرة وإنما اتضح أنها بسبب التيار المستمر حيث لا يمكنه جذب القطع الكبيرة جداً من الدنا على لوح الجل بطريقة مستقيمة بل إن هذه القطع تترنح يمينا ويسارا أثناء حركتها على لوح الجل فتسير في خط متعرج وبالتالي يصعب قياس حجمها بدقة. ولحسن الحظ تمكن العلماء من حل هذه المعضلة باستخدام نبضة من تيار متردد تسري عند الزوم عند طريق الكمبيوتر جنب إلى جنب مع التيار المستمر. وظيفة هذه الومضة من التيار المتردد هو إعادة القطعة الكبيرة المترنحة هذه إلى الوضع الصحيح على اللوح كلما لزم الأمر.

تسلسل الدنا

DNA Sequencing

لا شك أن العلماء يحتاجون إلى معرفة التركيبية التسلسلية لكل جين وهذا يمكنهم من معرفة المزيد عن البروتين الذي يصنعه ذلك الجين وعن التركيبية التنظيمية لعمل الجين وقد يصلون على ضوءه إلى معرفة الأمور التي تتحكم في عمله كما أنه بمعرفة التسلسل النووي للجين يمكن مقارنته بالجينات التي سبق اكتشافها وهذا قد يعطي معلومات غزيرة عن وظيفة هذا الجين ويختصر الكثير من الأبحاث.

و يتجنب إعادة إجرائها. وهناك طريقتان أساسيتان لمعرفة التسلسل النووي لأي قطعة

من الدنا الأولى تسمى بالطريقة الإنزيمية والأخرى

بالطريقة الكيميائية ولقد طغت الطريقة الأولى حتى أصبحت هي الأكثر استعمالاً.

الطريقة الإنزيمية:

Enzymatic method

يطلق على هذه الطريقة أيضاً طريقة سنجر

Sanger procedure

نسبة الى د. فريدريك سنجر و الذي اسس هذه الطريقة كما انها ايضا تعرف التسلسل عن طريق

Dideoxy sequencing

دي ديوكسي و تتركز هذه الطريقة على مفهوم ان شريط الدنا في الاساس مبنى من جزيئات من الديوكس . يختلف الديوكسي نيوكلويتيد عن دي ديوكسي نيوكلويتيد بعدم وجود مجموعة (هيدروكسي) في النقطة الثالثة من حلقة السكر الخماسية الشكل.

يوجد على النقطة الثالثة من حلقة السكر الريبوزي مجموعة مؤكدة أي مجموعة هيدروكسيه

(OH)

و هذه النقطة هي

التي ترتبط في النقطة الخامسة من الجزيء الذي يليها و هكذا يتم الترابط لتكون شريط طويل من الدنا. قد قام د.سنجر بالاستفادة من هذا الخاصية فبدل الجزيء من

(OH) to (H)

عن طريق اضافة دي دي ديوكسي نيوكلويتيد

ddNTPs instead of dNTPs

بدل من ديوكسي نيوكلويتيد و ذلك عن طريق نسخ الشريط مرة أخرى و هذا يؤدي الى توقف ترابط الجزيئات و يكون في طرف كل جزيء نوع واحد من الأحماض النووية.

و اليك الخطوات الأساسية للقيام بهذا الاختبار بالترتيب:

1- القيام بنسخ الذي ان أي وذلك على الشكل التالي:

أ- أضف الى عينة الذي ان أي قطع من البريمر

Specific primer

يعرف انه

سوف يلتصق بالذي ان أي المراد نسخة و معرف (ملتصق بطرفة) بعنصر مشع.

ب- قسم العينة الى أربع أنابيب اختيار و كل أنبوبة اكتب عليها السماء التالية

(dGTP , dATP . dCTP , and dTTP)

ج- أضف انزيم البولمريز

DNA Polymerase

د- أضف الى كل أنبوبة نوع واحد من الذي ديوكسي نيوكليوتيد حسب اسم الأنبوب .و

أضيف معه كمية من ديوكسي نيوكليوتيد . سوف يحدث التفاعل و يبدأ البريمر بنينان

و تركيب ورض هذه الأحماض النووية .و عند اضافته لدي ديوكسي نيوكليوتيد فان

الشريط يتوقف على هذه النقطة .ثم يحدث تفاعل أخر لنسخ شريط أخر و عند اضافة

دي ديوكسي نيوكليوتيد يتوقف التفاعل و هكذا تستمير العملية و ينتج عندي في

النهاية قطع منسوخة و متفاوتة الطول في كل أنبوب اختبار.

2-أضيف كمية من كل الأربعة أنابيب في حقل خاص على لوح الاقروز ثم امرر تيار كهربائي

و من ثم تظهر على طول اللوح القطع المنسوخة و متفاوتة الأطوال كل حقل يعطيني ترتيب القطع.

3-تعريضها للأشعة

Autoradiography

لكي

يتسنى رؤية الذي ان أي و الذي عليه مادة مشعة .

4- ابدأ بقراءة لوح الاقروز من أسفل الى أعلى .وكل مامر على نسخة من الذي

ان أي اعرف ترتيب و نوع الديديوكسي نيوكليوتيد الذي في طرفه و استمر في

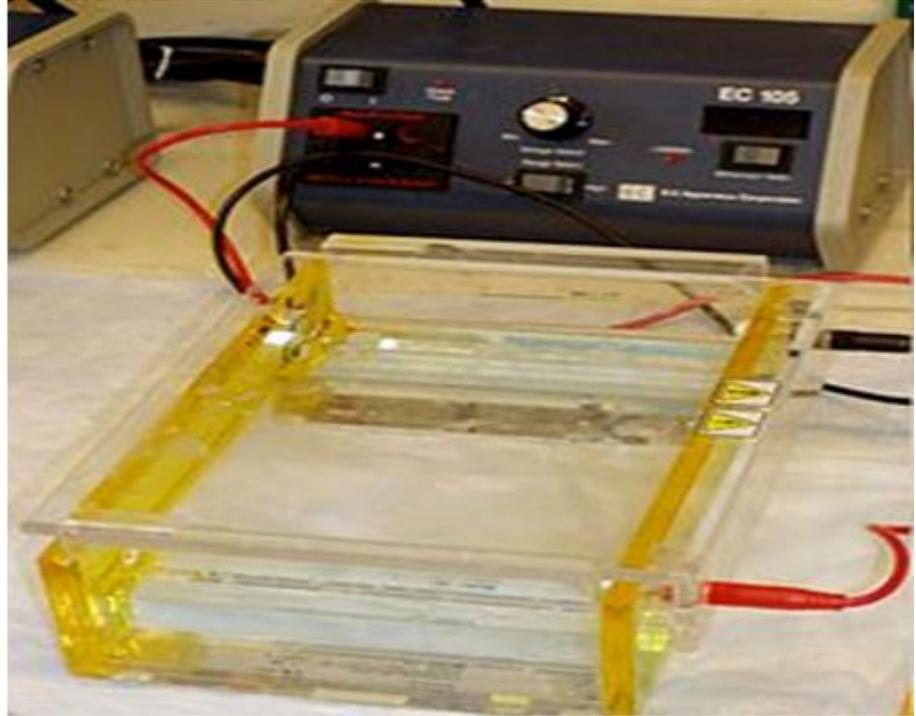
القراءة الى ان ينتهي لوح الاقروز و لتسهيل عملية القراءة استخدم الكمبيوتر لكي يقرأها بشكل الي و ذلك بتعريض لوح الاقروز الى أشعة ليزر و عن طريق وحدة استشعار ومضخم للنبضات

photomultiplier

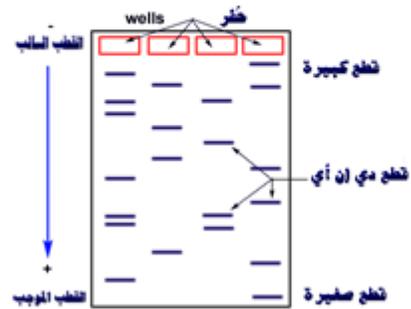
يستطيع الكمبيوتر أن يحدد نوع الذي ديوكسي نيوكليوتيد ثم يرتبها و يطبعها و يعطيك رسما بيانيا لاماكن كل حمض نووي و بالألوان.ولا تستخدم المواد المشعة في القراءة الالية بالكمبيوتر بل يستعاض عنها بمادة مضيئة

Fluorescent

توضع على البريمر على أن يكون لكل دي ديوكسي نيوكليوتيد لون مختلف عن الآخر (أي أربعة ألوان من المادة المضيئة) وبذلك يمكن أن تمر جميع القطع في ممر واحد . ونظرا الي جهاز الكمبيوتر قابل للخطأ فانه يلزم التدقيق والمراجعة لتفادي حدوث الأخطاء. ولقد قامت أجهزة كمبيوتر عملاقة تعمل علي مدار الساعة وتحت مظلة مشروع الجينوم البشري بالكشف الكامل (99% تقريبا) عن التسلسل النووي لجميع الدنا الموجود في الانسان وقد سبق ذلك الكشف عن التسلسل النووي لكثير من الكائنات الحية والعمل جاري لمعرفة المزيد.



2- Gel Electrophoresis



Hpa I = GTTAAC

Eco RI = GAATTC

Mechanism of cutting depends on certain sequence for each enzyme as above

Nomenclature

Hpa I = Hemophilus
parainfluenzae

Eco RI = Escherichia coli

ورائة 14

المحاضرة الرابعة عشرة

الناقلات

Vectors

الناقل والذي تسمى باللغة الانجليزية

Vector

هى فى الغالب فيروسات او قطع من الحمض النووى موجودة فى البكتريا كما ان هناك انواع صناعية تم صنعها فى المختبرات الطبية والعلمية وهى فى العادة مواد شبه صناعة لانها فى الاصل مصنعة من مواد موجودة فى الطبيعية.

البلازميد:

Plasmid

وهى من اشهر الناقلات و هو عبارة عن قطعة صغيرة من الحمض النووى قابلة للتكاثر بمعزل عن بقية الحمض النووي الموجود في الكروموسومات.

وهي شبيهة بالفيروس الصغير ولكنها لا تحتوي علي طبقة خارجية من البروتين.

والبلازميد عبارة عن قطعة من الحمض النووي موجودة في البكتريا خاصة في

Escherichia coli (E. coli) and yeast

وبعض أنواع الخميرة ولديه القدرة علي التكاثر الذاتي وبمعزل عن بقية الكروموسومات الموجودة في الخلية. كما أن هناك بلازميدات تستطيع التكاثر داخا الخميرة والبكتريا في أن واحد. ويوجد نوعان من البلازميد علي حسب نوع الحمض النووي فيها فهناك البلازميد المصنوع من الدنا ونوع آخر مصنوع من الرنا. وهناك أنواع عديدة من البلازميد فمنها الصغير ومنها الكبير كما أن منها من لا يحتوي علي أي جين بينما هناك أنواع كبيرة تحتوي

علي عدة جينات. وبالإضافة الي وحدة التكاثر الذاتي الموجودة علي البلازميد هناك الكثير من الجينات التي قد تكون علي البلازميد وهي مفيدة للعلماء في عملية نسخ الجينات والقطع النووية . فمثلا قد يوجد علي البلازميد جين خاص يكافح المضادات الحيوية كالامبيسيلين والتتراسيكلين. وهذه الجينات الحامية من المضادات الحيوية تساعد في التعرف وعزل البكتريا التي تحتوي علي البلازميد الذي عليه الجين الذي كنا ننوي استنساخه (راجع عملية نسخ الجينلت والقطع النووية لمعرفة المزيد). ويعتقد نظريا أن الفيروسات المنتشرة في الأصل كانت بلازميدات حيث أنها اكتسبت غلاف بروتيني خارجي وأصبحت فيروسا ولا أوافق شخصيا علي هذا الاعتقاد ولكن الأمانة العلمية تقتضي نقل آراء جميع العلماء واحترامها.

أنواع البلازميدات التي تنمو في خميرة الخبز:

YIP, yeast integrating plasmid = selectable marker + cloning sites

YRP ,replicating= YIP+ ARS origin of replication

YEP ,expression= YIP + 2 micron of origin replication

YCP , yeast centromere plasmid = YRP + centromere sepuence

الناقلات الفيروسية:

Viral vectors

ان شهر هذه الأنواع هي الفيروسات البكتيرية المعروفة بالفيج و هي عبارة عن قطعة من الدنا مغطاة بغلاف بروتيني. ومن اشهر انواع الفيج ما يسمى بفيج لامبدا

Lambda phage

و هو فيروس موجود في

E. coli

و هذا النوع من الناقلات تستطيع ان تحمل قطعة من الدنا حتى غاية كيلوبيز. و لقد حورت هذه الفيروسات لكي تستطيع حمل كمية اكبر من الدنا.فعلي سبيل المثال الكوزميد

Cosmids

عبارة عن تهجين جزء (قطعة من الدنا تسمى اللاصقة

Cohesive sequence

تعرف مختصرة بالكوز

Cos-sequence

من فيج ليمبدا مع بلازميد والذي يستطيع نقل حتى 40 كيلوبيز (40kb)

و الباك الفيروسي المسمى بক্রوموسوم بي 1 الصناعي

PAC (P1-derived Artificial Chromosome)

عبارة عن تحوير للفيج بي 1

P1 bacteriophage

و اضافته الى البلازميد

الناقلات الكروموسومية الصناعية:

Artificial chromosomes

نظرا للحاجة الى نقل احجام كبيرة من الدنا فقد قام بعض العلماء بتحويل بعض الناقلات الطبيعية لكي تقوم بهذه المهمة. و يوجد حاليا ناقلات على شكل كروموسوم وفيها القطع الاساسية لكي تعمل على شكل كروموسوم. و من هذه الانواع مايعرف بالياك او كروموسوم الخميرة الصناعي

YAC (Yeast Artificial Chromosomes)

و الذي يستطيع نقل اكثر من 500 كيلوبيز

500 kb

و الياك عبارة عن قطعة من الذي ان اي مترابطة و تحتوي على طرفين للكروموسوم ومركز
للكروموسوم

2 Telomeres and centromere

ومركز للتكاثر

Autonomous replicating

بينما الباك

BAC

البكتيري والذي يستطيع حمل حتى 150 كيلوبيز هو تحويل للبلازميد المعروف ببلازميد
تناسل بكتيريا الايكولي

E. coli fertility plasmid- factor

المراجع المستخدمة

- الببولوجيا الجزيئية، مدخل الهندسة الوراثية الأستاذ الدكتور فتحي عبد التواب

أستاذ الوراثة جامعة عين شمس

مبادئ علم الوراثة الدون ج جا ردير وبيتر سستاذ ترجمة كلامن :أ.د أحمد

شوقي حسن شوقي استاذ الوراثة جامعة الزقازيق والأستاذ الدكتور فتحي عبد

التواب استاذ ورئيس قسم الوراثة جامعة عين شمس و.ا.د علي زين العابدين استاذ

الوراثة جامعة عين شمس وا.د ممدوح ابو المحاسن اسماعيل استاذ الوراثة
جامعة عين شمس مراجعة الأستاذ الدكتور السيد حسن حسنين استاذ الوراثة
وأمين المجلس الاعلي للجامعات.

أساسيات علم الوراثة الأستاذ الدكتور عبد الفتاح بدر استاذ الوراثة جامعة
طنطا كلية العلوم قسم النبات ورئيس قسم النبات والأستاذ بالجامعات السعودية
- بيوتكنولوجي زراعة الخلايا والأنسجة والأعضاء النباتية دكتور ماجد جورج
جامعة الزقازيق

- Chromosomal evolution in higher plants G Ledyard Stebbins

Prof of genetics California, Davis

-Chromosome techniques: Theory and practice Arun Kumar prof.
and head department of botany and center of advanced

Studies in chromosome research , University of Calcuta and
Archanta Sharma Prof. of genetics department of botany and center
of advanced studies in chromosome research University of Calcuta

-Genetic engineering and biotechnology Prof. V.L. Chopra
Biotechnology center , Indian and Dr. Anwar Nasim Department of
biology sciences Ottawa Canda

-Cytogenetic: the chromosome in division. Inheritance and evolution
Carl P. Sawnsen Univ. of Massachusetts and T. Merz Medical
college of Virginia and William j. Young Univ. of Vermont